

# POSZERZAMY HORYZONTY

## TOM XIX

### CZEŚĆ III

#### **Redakcja naukowa**

Dr inż. Małgorzata Bogusz

Dr Monika Wojcieszak

Mgr Piotr Rachwał

MONOGRAFIA

SŁUPSK, CZERWIEC 2020

## **RECENZENCI:**

**Prof. dr hab. Maria Flis** - Uniwersytet Jagielloński, Wydział Filozoficzny

**Dr hab. Artur Jacek Kożuch prof. nadzw. UHP** - Uniwersytet Przyrodniczo - Humanistyczny w Siedlcach, Wydział Nauk Ekonomicznych i Prawnych

**Dr hab. Barbara Zwolińska, prod. nadzw. UG** - Uniwersytet Gdański, Wydział Filologiczny

**Dr inż. Małgorzata Bogusz** - Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny

**Dr inż. Anna Sieczko** - Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk Ekonomicznych

**Dr inż. Piotr Prus** - Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii

**Dr inż. Agnieszka Piotrowska-Puchała** - Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny

**Dr Jan Zawadka** - Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk Ekonomicznych

**Dr Anna Janicka** - Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny

**Dr Monika Wojcieszak** - Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Ekonomiczno - Społeczny

**Dr Lidia Jabłońska-Porzuczek** - Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Ekonomiczno -Społeczny

**Dr Agnieszka Żur** - Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Instytut Ekonomii, Katedra Przedsiębiorczości i Innowacji

**Dr Witold Trela** - Prywatna działalność gospodarcza

## **WYDAWNICTWO:**

Mateusz Weiland Network Solutions

Druk publikacji wykonano na podstawie dostarczonych oryginalnych tekstów, na odpowiedzialność autorów poszczególnych prezentacji.

**ISBN: 978-83-63216-32-0**

# SPIS TREŚCI

## I NAUKI TECHNICZNE, ŚCISŁE ORAZ PRZYRODNICZE

1. KORELACJA STĘŻENIA PYŁU PM <sub>2,5</sub> I TEMPERATURY NA TERENIE ZURBANIZOWANYM <b>Monika Załuska</b> .....	8
2. ANALIZA STĘŻENIA PM <sub>10</sub> I PM <sub>2,5</sub> NA TERENIE ZURBANIZOWANYM PO ZAKOŃCZENIU OKRESU GRZEWCZEGO <b>Monika Załuska</b> .....	14
3. ANALIZA PRZESTRZENNA WYBÓR POTENCJALNYCH MIEJSC LOKALIZACJI FARM FOTOWOTALICZNEJ W GMINIE SAMBORZEC <b>Przemysław Zając</b> .....	22
4. DC MOTOR CONTROL SYSTEM <b>Piotr Ptak</b> .....	30
5. TYPES OF DATA TRANSMISSION IN VEHICLES <b>Maciej Pierzgalski</b> .....	38
6. THE EFFECT OF TEMPERATURE DURING BRAKING ON BRAKING SYSTEM COMPONENTS IN STEADY AND TRANSIENT CONDITION <b>Radosław Krawczyk</b> .....	50
7. COMPRESSOR STATION OPERATION OPTIMIZATION WITH GENETIC ALGORITHM <b>Takerhi Matthew Efe</b> .....	60
8. PROBLEMY W SZLIFOWANIU WALCOWYCH POWIERZCHNI WEWNĘTRZNYCH I MOŻLIWOŚĆ MINIMALIZACJI ICH WPŁYWU NA PRZEBIEG PROCESU <b>Wiesław Czapiewski</b> .....	69
9. CZY W REJONIE STACJI IM. H. ARCTOWSKIEGO (ANTARKTYKA) SKŁAD CHEMICZNY OPADÓW MOŻE BYĆ DETERMINOWANY AKTYWNOŚCIĄ WULKANÓW? <b>Joanna Buch</b> .....	77

10. BADANIA SYMULACYJNE WPŁYWU KĄTA PODAWANIA STRUMIENIA SSP NA SKUTECZNOŚĆ CHŁODZENIA W STREFIE SZLIFOWANIA OTWORÓW <b>Wiesław Czapiewski</b> .....	91
11. ENERGIE CAŁKOWITE I STAŁE SPEKTROSKOPOWE NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH MOLEKUŁ DWUATOMOWYCH <b>Filip Prątnicki</b> .....	108
12. EFEKTY RELATYWISTYCZNE NA PRZYKŁADZIE ATOMÓW MIEDZIOWCÓW ORAZ FLUOROWCÓW <b>Filip Prątnicki</b> .....	121
13. ROZSZERZENIE KOMPONENTÓW PLATFORMY PROGRAMISTYCZNEJ LARAVEL O ZAPYTANIA NIEPRECYZYJNE Z WYKORZYSTANIEM ZMIENNYCH LINGWISTYCZNYCH <b>Łukasz Szymula</b> .....	139
14. WPŁYW OCZYSZCZONYCH ŚCIEKÓW NA ZAWARTOŚĆ NI W OSADACH DENNYCH RZEKI NURZEC (2018) <b>Urszula Tarasiuk</b> .....	153
15. WPŁYW OCZYSZCZONYCH ŚCIEKÓW NA ZAWARTOŚĆ ZN W OSADACH DENNYCH RZEKI NURZEC (2018) <b>Urszula Tarasiuk</b> .....	164
16. PRZEGLĄD STRUKTUR KRYSTALICZNYCH ORAZ ANALIZA ODDZIAŁYWAŃ WYSTĘPUJĄCYCH W KRYSZTAŁACH ZAWIERAJĄCYCH DIKLOFENAK I JEGO POCHODNE <b>Artur Mirocki, Artur Sikorski</b> .....	175
17. IMINOWE KOMPLEKSY JONÓW METALI PRZEJŚCIOWYCH – ZWIĄZKI O SZEROKIM SPEKTRUM AKTYWNOŚCI BIOLOGICZNEJ I FARMAKOLOGICZNEJ <b>Ewelina Żmuda, Bartłomiej Sawicz</b> .....	184

## II NAUKI MEDYCZNE

1. ZESPÓŁ CORNELII DE LANGE- DONIESIENIA OGÓLNE <b>Dominika Gniewek, Agnieszka Maj, Julia Orzepowska</b> .....	198
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

2. ZAGROŻENIA ZWIĄZANE Z EKSPOZYCJĄ NA PROMIENIOWANIE SŁONECZNE I METODY OCHRONY	
<b>Karolina Kosmala, Katarzyna Kliniec, Marcin Dereziński, Krzysztof Przeorski, Mateusz Mendowski</b> .....	205
3. OCENA DZIAŁANIA WYBRANYCH $\alpha$ -KETOKWASÓW W LECZENIU MIEJSCOWYM TRĄDZIKU POSPOLITEGO	
<b>Agnieszka Łaska-Jesionowska, Bogusław Tymoniuk, Nicola Kubik, Paulina Muskala</b> .....	217
4. ANALIZA ODDZIAŁYWAŃ NIESTEROIDOWYCH LEKÓW PRZECIWPALNYCH Z BIAŁKIEM OSOCZA KRWI	
<b>Anna Ploch-Jankowska, Danuta Pentak</b> .....	225
5. ARTETERAPIA I BAJKOTERAPIA A KOMPETENCJE EMOCJONALNO-SPOŁECZNE DZIECI	
<b>Magdalena Słowik</b> .....	234
6. JAK GRZYBY WYMYKAJĄ SIĘ UKŁADOWI ODPORNOŚCIOWEMU GOSPODARZA?	
<b>Paulina Smaruj</b> .....	245
7. CHOROBY NEUROLOGICZNE WIEKU DZIECIĘCEGO - UJĘCIE NEUROLOGOPEDYCZNE	
<b>Kamila Urbaniak</b> .....	257
8. CUKRZYCA - STARA CHOROBA, NOWE PODEJŚCIE - OMÓWIENIE POTENCJALNYCH PRZYSZŁYCH METOD LECZENIA CUKRZYCY NA PODSTAWIE LITERATURY	
<b>Maksim Bogusz, Marcin Penno, Michał Jasiński, Filip Inglot</b> .....	266
9. LECZENIE RAKA ANAPLASTYCZNEGO TARCZYCY PRZY UŻYCIU LENWATYNIBU	
<b>Michał Brzdęk</b> .....	274
10. NIESWOISTE ZAPALENIE JELIT U PSÓW- ETIOPATOGENEZA, ROZPOZANIE ORAZ WSPÓŁCZESNE METODY LECZENIA	
<b>Anna Chojnowska</b> .....	282
11. DZIAŁANIE PRZECIWSTRZENIOWE FILTRÓW UV I ZAPOBIEGAWCZE, W POWSTAWANIU NOWOTWORÓW SKÓRY	
<b>Nicola Kubik, Agnieszka Łaska-Jesionowska, Bogusław Tymoniuk, Paulina Muskala</b> .....	291

12. GDY LECZENIE CHIRURGICZNE ZAWODZI. KORTYKOTROPOWY INWAZYJNY MAKROGRUCZOLAK PRZYSADKI <b>Michał Obel, Adrian Kuś, Małgorzata Szyplowska, Adrianna Gorecka, Michał Siwek</b> .....	298
13. METODY GENETYCZNE DIAGNOSTYKI INFEKCJI WIRUSEM SARS-COV-2 <b>Bogusław Tymoniuk, Agnieszka Łaska-Jesionowska, Nicola Kubik</b> .....	308
14. MOTYWY I BARIERY PODEJMOWANIA AKTYWNOŚCI FIZYCZNEJ PRZEZ WSPÓŁCZESNĄ MŁODZIEŻ <b>Marzanna Herzig, Patryk Blachnicki, Ignacy Dobija, Patrycja Jaskierska, Karolina Miązek</b> .....	319
15. OCENA WPŁYWU DIETY DOKTOR DĄBROWSKIEJ NA ORGANIZM W ZALEŻNOŚCI OD DŁUGOŚCI JEJ TRWANIA <b>Kinga Ochmańska</b> .....	330
16. WSPÓŁPRACA LOGOPEDY I TERAPEUTY INTEGRACJI SENSORYCZNEJ W BUDOWANIU EFEKTYWNYCH METOD TERAPEUTYCZNYCH WOBEC ZABURZEŃ NEUROMOTORYCZNYCH <b>Kamila Urbaniak</b> .....	340



# I NAUKI TECHNICZNE, ŚCISLE ORAZ PRZYRODNICZE

## 1. KORELACJA STĘŻENIA PYŁU PM<sub>2,5</sub> I TEMPERATURY NA TERENIE ZURBANIZOWANYM

**Monika Załuska**

Politechnika Białostocka

Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji

ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

E-mail: m.wysocka@doktoranci.pb.edu.pl

### **Streszczenie:**

Przemysł, energetyka i transport to główne źródła emisji zanieczyszczeń do powietrza. Intensywna eksploatacja środowiska sprawia, że coraz więcej pyłów, metali ciężkich, związków siarki i azotu oraz wielu innych szkodliwych substancji trafia do powietrza. Szczególnie szkodliwe są pyły zawieszone PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>, których podwyższone stężenie odnotowuje się niezwykle często podczas okresu grzewczego. Zmiany poziomu stężeń PM<sub>2,5</sub> są powiązane z innymi czynnikami atmosferycznymi, np. z temperaturą. Zazwyczaj jest to zależność odwrotna, zatem im niższa temperatura, tym nasilona emisja cząstek PM<sub>2,5</sub> z energetyki, tym wyższe stężenie pyłu PM<sub>2,5</sub> odnotowane na stacji pomiarowej.

Celem opracowania jest analiza poziomu zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM<sub>2,5</sub> w Białymstoku na osiedlu Młodych podczas sezonu grzewczego oraz obliczenie współczynnika korelacji pomiędzy stężeniem PM<sub>2,5</sub> a temperaturą powietrza atmosferycznego. Do analizy wykorzystano pomiary uzyskane za pomocą czujników niskokosztowych.

**Słowa kluczowe:** PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, pyły zawieszone, czujniki niskokosztowe, jakość powietrza, zanieczyszczenia powietrza, współczynnik korelacji, temperatura powietrza

### **1. Wstęp**

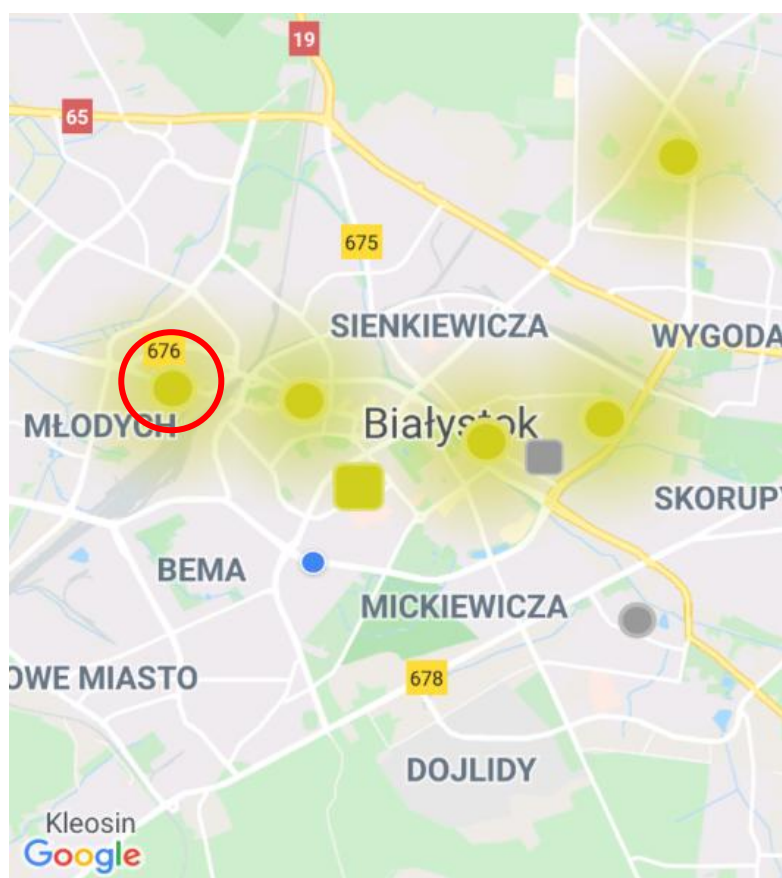
Zanieczyszczone powietrze to w dużej mierze skutek działalności człowieka, głównie w sektorze gospodarczym. Przemysł, transport i energetyka emitują wiele związków pogarszających jakość powietrza, w tym pyły zawieszone, metale ciężkie, związki siarki i azotu (Le Quere i Raupach, 2009). Podczas okresu grzewczego to głównie energetyka jest odpowiedzialna za niską jakość powietrza atmosferycznego (Juda-Rezler (red.), 2016, Gaj, 2016, GUS, 2014), w tym okresie odnotowuje się liczne przekroczenia (Załuska, 2020). Na terenie zurbanizowanym podwyższone stężenia obserwuje się zazwyczaj w dzielnicach domów jednorodzinnych, które nie są podłączone do miejskiej sieci ciepłowniczej ani do sieci gazowej. Właściciele indywidualnych kotłowni przydomowych często stosują paliwo wątpliwej jakości, które dodatkowo spalane w niskiej temperaturze powoduje powstawanie dużej ilości cząstek stałych, które oscylują w niewielkiej odległości od budynku. W połączeniu z wilgocią dają trującą mieszaninę smogu. Zazwyczaj im niższa temperatura powietrza zewnętrznego, tym więcej paliwa zostaje użyte w kotłowniach przydomowych, co



finalnie przekłada się na wyższe stężenia, a nawet przekroczenia norm zawartości PM<sub>2,5</sub> w powietrzu.

## 2. Materiał i metody

Analizie poddano stężenie pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub> oraz temperaturę powietrza atmosferycznego w dniach 01.01.2020 r. – 31.01.2020 r., zatem podczas trwania okresu grzewczego. Pomiarów dokonano na terenie miasta Białystok w województwie podlaskim. Analizę przeprowadzono na podstawie danych, które pobrano z panelu klienta Airly (<https://airly.eu/panel/reports/>). Na poniższej mapie (Rys. 1.) zaznaczono lokalizację sensora na osiedlu Młodych w Białymstoku.



**Rysunek1. Lokalizacja sensora Airly**

Źródło: <https://airly.eu/map/pl/> (dostęp: 04.06.2020 r.).

Zasada działania czujnika opiera się na metodzie dyfrakcji laserowej, pomiary są przetwarzane na informacje, które są następnie przesyłane do chmury danych przez sieć GSM lub WiFi. Dane z czujnika można odczytać w panelu analitycznym, na interaktywnej mapie i za pomocą aplikacji mobilnej Airly. Czujnik został zainstalowany na wschodniej ścianie budynku, na wysokości około 4 m nad poziomem gruntu. Czujnik co minutę rejestruje dane, które można odczytać w czasie rzeczywistym, a następnie zostają uśrednione do 1 godziny. Sensor odczytuje stężenie PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, ciśnienie atmosferyczne, wilgotność względną powietrza oraz temperaturę powietrza. Następnie porównano wartości pomiarów PM<sub>2,5</sub> z wartościami dopuszczalnymi określonymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia

24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. 2012 poz. 1031) oraz z normami Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) (Tab.1.)

**Tabela 1. Dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń powietrza**

Substancja	Okres uśredniania wyników pomiarów	Dopuszczalny poziom substancji w powietrzu wg Rozporządzenia	Dopuszczalny poziom substancji w powietrzu wg WHO
		[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Pył zawieszony PM2,5	24 godziny	-	25
	rok kalendarzowy	25	-

Źródło: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012 poz. 1031 z późn. zm.) oraz WHO

Kolejno obliczono współczynnik korelacji w celu określenia powiązania pomiędzy wartością temperatury powietrza zewnętrznego a stężeniem pyłu PM2.5 w powietrzu atmosferycznym. W tym celu wykorzystano wzór (1) na współczynnik korelacji liniowej Pearsona:

$$r_{XY} = \frac{C(X, Y)}{\sqrt{S_x^2 \cdot S_y^2}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{C(X, Y)}{S_x \cdot S_y}$$

(1)

gdzie:

$C(X, Y)$  – kowariancja między cechami X i Y,

$S_x^2$  – wariancja cechy X,

$S_y^2$  – wariancja cechy Y,

$S_x$  – standardowe odchylenie cechy X,

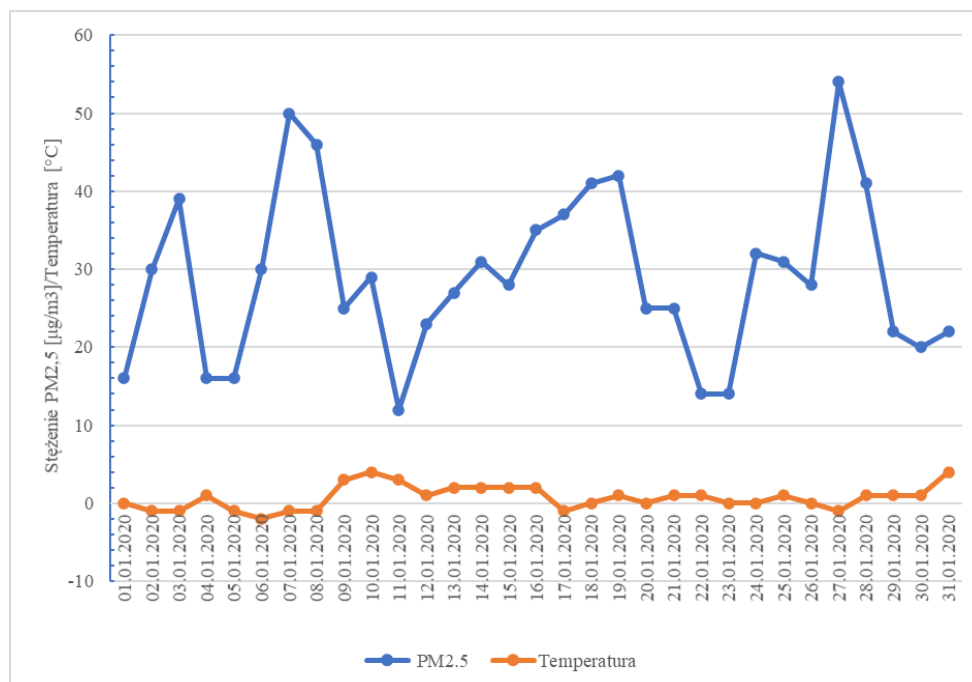
$S_y$  – standardowe odchylenie cechy Y.

Interpretację współczynnika korelacji przedstawiono poniżej:

- $|r_{XY}| < 0,2$  – nie ma liniowej zależności między cechami,
- $0,2 < |r_{XY}| < 0,4$  – niska (słaba) relacja liniowa,
- $0,4 < |r_{XY}| < 0,7$  – umiarkowana (średnia) zależność korelacyjna,
- $0,7 < |r_{XY}| < 0,9$  – znacząca (silna) zależność liniowa,
- $|r_{XY}| > 0,9$  – bardzo silna zależność liniowa,
- $|r_{XY}| = 1,0$  – zależność funkcjonalna (1 - rosnąca funkcja liniowa, -1 - liniowa funkcja malejąca),
- $|r_{XY}| = 0$  – brak jakiegokolwiek zależności między funkcjami.

### 3. Wyniki i dyskusja

Na poniższym rysunku (Rys. 2.) przedstawiono poziom stężenia PM2,5 oraz wartość temperatury powietrza atmosferycznego, odnotowane na przestrzeni miesiąca (styczeń 2020 r.) przez czujnik zlokalizowany na osiedlu Młodych w Białymstoku.



**Rysunek 2. Stężenie PM<sub>2,5</sub> w µg/m<sup>3</sup> oraz wartość temperatury powietrza atmosferycznego w °C w Białymstoku**

Na wykresie (Rys. 2) można zauważyć zależność: im niższa temperatura powietrza atmosferycznego, tym wyższy poziom stężenia pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub>. Na podstawie postaci graficznej ciężko ocenić jak silna jest zależność pomiędzy stężeniem PM<sub>2,5</sub> a temperaturą, więc obliczono współczynnik korelacji liniowej Pearsona.

**Tabela 2. Odnotowane wartości stężenia pyłu PM<sub>2,5</sub> oraz temperatury powietrza wraz z obliczeniami pomocniczymi**

Data	PM2.5	Temperatura					
	xi	yi	xi-xśr	yi-yśr	(xi-xśr)(yi-yśr)	(xi-xśr) <sup>2</sup>	(yi-yśr) <sup>2</sup>
01.01.2020	16	0	-13,06	-0,71	9,27	170,68	0,50
02.01.2020	30	-1	0,94	-1,71	-1,60	0,88	2,92
03.01.2020	39	-1	9,94	-1,71	-16,99	98,71	2,92
04.01.2020	16	1	-13,06	0,29	-3,79	170,68	0,08
05.01.2020	16	-1	-13,06	-1,71	22,34	170,68	2,92
06.01.2020	30	-2	0,94	-2,71	-2,53	0,88	7,34
07.01.2020	50	-1	20,94	-1,71	-35,79	438,29	2,92
08.01.2020	46	-1	16,94	-1,71	-28,95	286,81	2,92
09.01.2020	25	3	-4,06	2,29	-9,31	16,52	5,25
10.01.2020	29	4	-0,06	3,29	-0,21	0,00	10,83
11.01.2020	12	3	-17,06	2,29	-39,08	291,20	5,25
12.01.2020	23	1	-6,06	0,29	-1,76	36,78	0,08
13.01.2020	27	2	-2,06	1,29	-2,66	4,26	1,66
14.01.2020	31	2	1,94	1,29	2,50	3,75	1,66
15.01.2020	28	2	-1,06	1,29	-1,37	1,13	1,66
16.01.2020	35	2	5,94	1,29	7,66	35,23	1,66

17.01.2020	37	-1	7,94	-1,71	-13,57	62,97	2,92
18.01.2020	41	0	11,94	-0,71	-8,47	142,46	0,50
19.01.2020	42	1	12,94	0,29	3,76	167,33	0,08
20.01.2020	25	0	-4,06	-0,71	2,88	16,52	0,50
21.01.2020	25	1	-4,06	0,29	-1,18	16,52	0,08
22.01.2020	14	1	-15,06	0,29	-4,37	226,94	0,08
23.01.2020	14	0	-15,06	-0,71	10,69	226,94	0,50
24.01.2020	32	0	2,94	-0,71	-2,08	8,62	0,50
25.01.2020	31	1	1,94	0,29	0,56	3,75	0,08
26.01.2020	28	0	-1,06	-0,71	0,76	1,13	0,50
27.01.2020	54	-1	24,94	-1,71	-42,63	621,78	2,92
28.01.2020	41	1	11,94	0,29	3,47	142,46	0,08
29.01.2020	22	1	-7,06	0,29	-2,05	49,91	0,08
30.01.2020	20	1	-9,06	0,29	-2,63	82,17	0,08
31.01.2020	22	4	-7,06	3,29	-23,24	49,91	10,83
<b>SUMA</b>	<b>901</b>	<b>22</b>			<b>-180,42</b>	<b>3545,87</b>	<b>70,39</b>

Na początku obliczamy średnie zmiennej  $x$  i  $y$ , dla  $n=31$  obserwacji:

$$\bar{x}_x = \frac{901}{31} = 29,06$$

$$\bar{x}_y = \frac{22}{31} = 0,71$$

Kolejno obliczono odchylenie standardowe:

$$S_{dx} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x}_x)^2}{n}} = \sqrt{\frac{3545,87}{31}} = 10,69$$

$$S_{dy} = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{x}_y)^2}{n}} = \sqrt{\frac{70,39}{31}} = 1,51$$

Następnie oszacowano wartość kowariancji:

$$cov(x, y) = \frac{\sum(x_i - \bar{x}_x)(y_i - \bar{x}_y)}{n} = \frac{-180,42}{31} = -5,82$$

Finalnie obliczono współczynnik korelacji liniowej Pearsona:

$$r_{xy} = \frac{cov(x, y)}{S_{dx} \cdot S_{dy}} = \frac{-5,82}{10,69 * 1,51} = -0,361$$

Otrzymany współczynnik korelacji liniowej Pearsona niesie dwie istotne informacje:

- ujemna wartość współczynnika korelacji mówi o tym, że zależność jest odwrotna, zatem można stwierdzić, że im niższa temperatura tym wyższe stężenie PM<sub>2,5</sub> w powietrzu atmosferycznym,
- wartość współczynnika wynosi -0,361, zatem mieści się w przedziale  $0,2 < |r_{xy}| < 0,4$ , zatem zależność pomiędzy stężeniem PM<sub>2,5</sub> a temperaturą powietrza atmosferycznego można określić jako niską korelację liniową (słaba zależność).

#### 4. Wnioski

Zanieczyszczenia obecne w powietrzu powodują niepożądane efekty ekonomiczne, społeczne i zdrowotne, dlatego istotnym działaniem jest monitorowanie i wprowadzanie metod polepszających jakość powietrza.

Analiza stężenia PM<sub>2,5</sub> w Białymstoku pozwala stwierdzić, że przekroczenia normy WHO, tj. 25 µg/m<sup>3</sup> wystąpiły w ciągu 21 dni w styczniu 2020 r. Analiza statystyczna pokazuje, że współczynnik korelacji liniowej Pearsona wyniósł  $r_{xy} = -0,361$ , zatem zależność pomiędzy stężeniem PM<sub>2,5</sub> a temperaturą powietrza atmosferycznego jest odwrotna, natomiast siła korelacji jest niewielka.

#### Bibliografia:

1. Gaj K. (2016). Powietrze atmosferyczne: jakość, zagrożenia, ochrona: praca zbiorowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
2. GUS (2014). Ochrona Środowiska 2014, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
3. Juda-Rezler K.(red.) (2016). Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
4. Le Quere C., Raupach M. (2009). Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. Nature Geoscience, 2, s. 831–836.
5. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012 poz. 1031 z późn. zm.)
6. Wijayatunga, P. (2016) A geometric view on Pearson's correlation coefficient and a generalization of it to non-linear dependencies. Ratio Mathematica, Vol. 30, 3-21.
7. Załuska M. (2020) Analiza poziomu PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> za pomocą czujników niskokosztowych na terenie zurbanizowanym, w: Poszerzamy horyzonty, vol. 18, cz. II., s. 27-35.

#### Wykaz stron internetowych:

8. <https://airly.eu/map/pl/> (05.06.2020 r.)
9. <http://powietrze.gios.gov.pl>, (06.06.2020 r.)
10. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Summary of risk assessment. Document available online: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide> (02.06.2020 r.)

## 2. ANALIZA STEŻENIA PM10 I PM2,5 NA TERENIE ZURBANIZOWANYM PO ZAKOŃCZENIU OKRESU GRZEW CZEGO

**Monika Załuska**

Politechnika Białostocka

Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji

ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

Email: m.wysocka@doktoranci.pb.edu.pl

### **Streszczenie:**

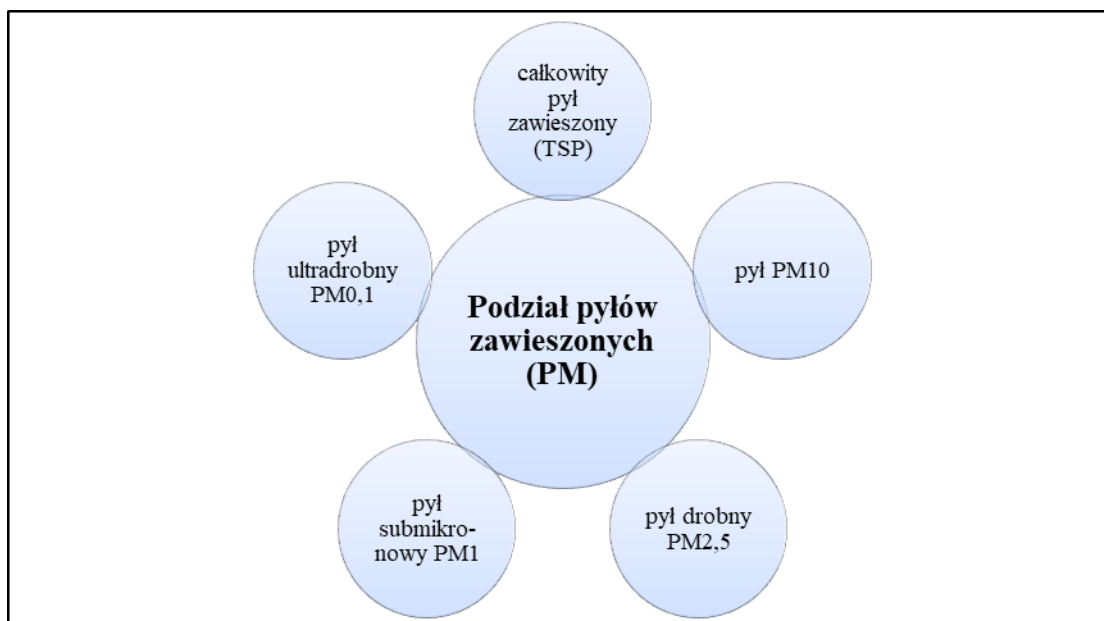
Czujniki niskokosztowe stanowią alternatywę dla drogich stacji badawczych państwowego monitoringu środowiska. Ich stosunkowo niska cena pozwala na zbudowanie sieci monitorowania stężeń zanieczyszczeń powietrza, która w szybki sposób reaguje na zmiany stężeń i na bieżąco przesyła wyniki pomiarów w czasie rzeczywistym. Silna eksploatacja środowiska, a w związku z tym coraz większa emisja zanieczyszczeń do powietrza sprawiają, że powinno się przykładać coraz większą uwagę do działań monitoringowych oraz zapobiegawczych w celu ochrony otoczenia, w którym żyjemy. Szczególnie szkodliwe są pyły zawieszane PM10 i PM2,5, których podwyższone stężenie odnotowuje się szczególnie często podczas okresu grzewczego. Jednak po zakończeniu okresu grzewczego pyły zawieszane nadal są obecne w powietrzu atmosferycznym, a ich głównym źródłem jest emisja z silników pojazdów.

Celem opracowania jest analiza poziomu zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM10 i PM2,5 w Bielsku Podlaskim po zakończeniu sezonu grzewczego, porównanie z normami krajowymi i WHO oraz końcowa ocena jakości powietrza atmosferycznego. Do analizy wykorzystano pomiary uzyskane za pomocą czujników niskokosztowych.

**Słowa kluczowe:** PM10, PM2,5, pyły zawieszane, czujniki niskokosztowe, jakość powietrza, zanieczyszczenia powietrza

### **1. Wstęp**

Zanieczyszczenia obecne w powietrzu są związane z nieustannym rozwojem gospodarczym i działalnością człowieka. Energetyka, przemysł i transport generują wiele związków pogarszających jakość powietrza, w tym pyły zawieszane, metale ciężkie, związki siarki i azotu (Le Quere i Raupach, 2009). W Polsce stosuje się głównie takie paliwa jak: węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropę naftową i gaz ziemny, przy dominującym udziale paliw stałych (Nadziakiewicz, 2005, Juda-Rezler (red.), 2016, GUS, 2014). Paliwa stałe składają się z głównie węgla, wodoru, siarki oraz niepalnych składników mineralnych, które podczas procesu spalania transformują się w cząstki żużlu i gruboziarnisty pył. Cząsteczki pyłu podlegają rozdrobnieniu, w wyniku czego powstaje pył dyspersyjny. W przypadku składników mineralnych, w czasie spalania w wysokiej temperaturze podlegają częściowemu odparowaniu, sublimacji, a następnie kondensacji, co prowadzi do powstania pyłów koloidalnych. Powstałe cząsteczki – pyły zawieszane – rozróżniamy z uwagi na wielkość średnicy (Juda-Rezler (red.), 2016, Gaj, 2016)



**Rysunek 1. Podział pyłów zawieszonych**

Źródło: Juda-Rezler (red.), 2016.

Obecność pyłów zawieszonych w atmosferze niekorzystnie wpływa zarówno na zdrowie ludzi jak i stan środowiska. Pyły charakteryzują się właściwościami rakotwórczymi, alergizującymi, są przyczyną licznych chorób układu oddechowego i sercowo-naczyniowego. Wysoka wilgotność powietrza sprawia, że pyły łączą się z kropelkami wody tworząc zawiesinę trującego smogu (Nantka, 2011, Kaiser, 2010, Cincinelli, 2017, Gładyszewska-Fiedoruk, 2013 i 2016).

Województwo podlaskie charakteryzuje się niskim poziomem stężeń zanieczyszczenia powietrza, podwyższone wyniki odnotowuje się na terenach zurbanizowanych. W okresie grzewczym głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza jest niska emisja, powstająca w wyniku korzystania z wątpliwej jakości paliwa w kotłowniach indywidualnych. Poza sezonem grzewczym pyły zawieszone pochodzą z sektora transportowego oraz zakładów przemysłowych. Monitoring powietrza w województwie podlaskim jest realizowany za pomocą pięciu stacji pomiarowo-badawczych należących do Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Dodatkowo w większych miastach rozwija się sieć złożona z niskokosztowych czujników powietrza, której sponsorami są samorządy, firmy oraz osoby prywatne. Sensory wysyłają zebrane dane na serwer, które po przetworzeniu są dostępne na platformie internetowej lub aplikacji na telefon. Lepsza dostępność czujników niskokosztowych z uwagi na ich stosunkowo niską cenę pozwala stworzyć sieć sensorów. Im „gęstsza” sieć sensorów, tym mniejszy błąd pomiarowy oraz lepsza jakościowo informacja o zanieczyszczeniu powietrza na terenie całej monitorowanej miejscowości. Wtedy zdecydowanie łatwiej zlokalizować miejscowe źródła zanieczyszczeń, np. z obszarów zabudowy jednorodzinnej czy z konkretnego zakładu.

## 2. Materiał i metody

Przedmiot analizy to stężenie pyłów zawieszonych PM10 i PM2,5 poza sezonem grzewczym na terenie miasta Bielsk Podlaski w województwie podlaskim. Analizę przeprowadzono na podstawie danych z dnia 07.06.2020 r., które pobrano ze strony <https://airly.eu/map/pl/>. Na poniższej mapie (Rys. 2.) zaznaczono lokalizację sensorów Airly na terenie Bielska Podlaskiego.



**Rysunek 2. Mapa sensorów Airly w Bielsku Podlaskim**

Źródło: <https://airly.eu/map/pl/> (dostęp: 04.06.2020 r.).

W mieście zamontowano dziesięć sensorów. Do badania wybrano cztery czujniki, po jednym z każdej części miasta, podzielonego ulicami: Białostocką, Białowieską, Wojska Polskiego i 11 Listopada. Wybrane czujniki są zlokalizowane w następujących miejscach na terenie Bielska Podlaskiego (patrz Rys. 2.):

- sensor nr 1 – ul. Rejonowa,
- sensor nr 2 – ul. Kopernika,
- sensor nr 3 – ul. E. Orzeszkowej,
- sensor nr 4 – ul. C.K. Norwida.



Czujniki oznaczone numerami od 1 do 4 co minutę rejestrują dane, które można odczytać w czasie rzeczywistym, a następnie zostają uśrednione do 1 godziny. Następnie porównano wartości pomiarów PM10 i PM2,5 z wartościami dopuszczalnymi określonymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. 2012 poz. 1031) oraz z normami Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) (Tab.1.)

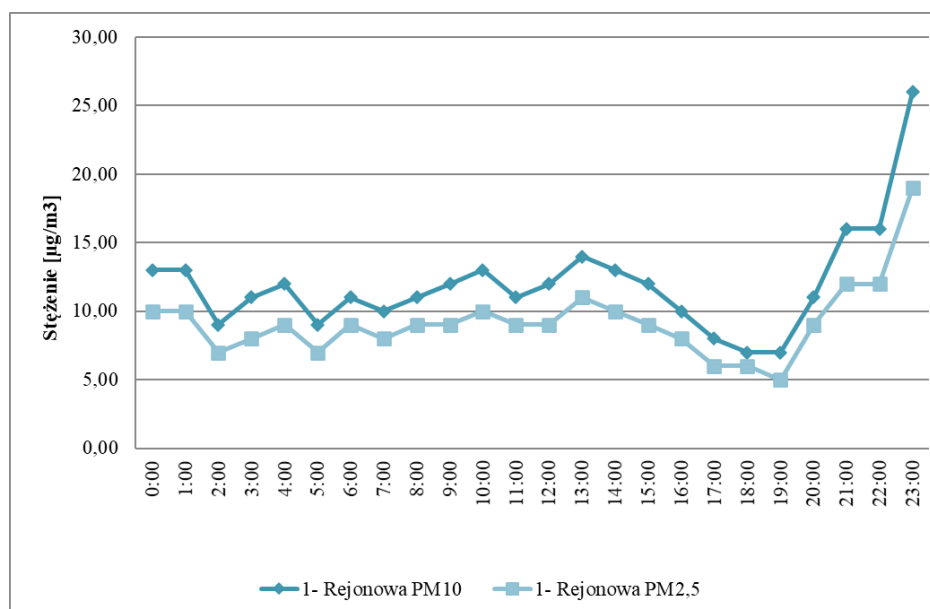
**Tabela 1. Dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń powietrza**

Substancja	Okres uśredniania wyników pomiarów	Dopuszczalny	Dopuszczalny
		poziom substancji w powietrzu wg Rozporządzenia	poziom substancji w powietrzu wg WHO
		[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Pył zawieszony PM10	24 godziny	50	50
	rok kalendarzowy	40	-
Pył zawieszony PM2,5	24 godziny	-	25
	rok kalendarzowy	25	-

Źródło: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012 poz. 1031 z późn. zm.) oraz WHO

### 3. Wyniki i dyskusja

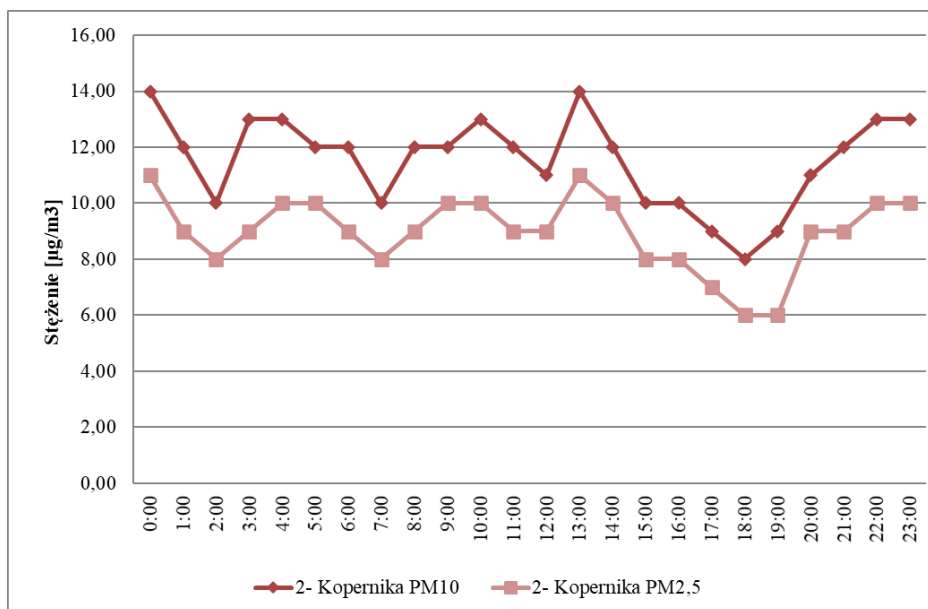
Na poniższych rysunkach (Rys. 3. – Rys. 6.) przedstawiono wyniki analizy stężenia PM10 i PM2,5 odnotowanych w ciągu 24 godzin w dniu 07.06.2020 r. przez cztery czujniki zlokalizowane w Bielsku Podlaskim.



**Rysunek 3. Stężenie PM10 i PM2,5 w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  w dniu 07.06.2020 r. (sensor nr 1 – Rejonowa)**

Wykres (Rys. 3.) przedstawia poziom stężenia PM10 i PM2,5 po zakończeniu okresu grzewczego, odnotowane przez sensor nr 1 na ul. Rejonowej w Bielsku Podlaskim. W okolicy montażu czujnika funkcjonuje zabudowa mieszana: usługi, domy jednorodzinne oraz budownictwo wielorodzinne. Zabudowa wielorodzinna korzysta do miejskiej sieci

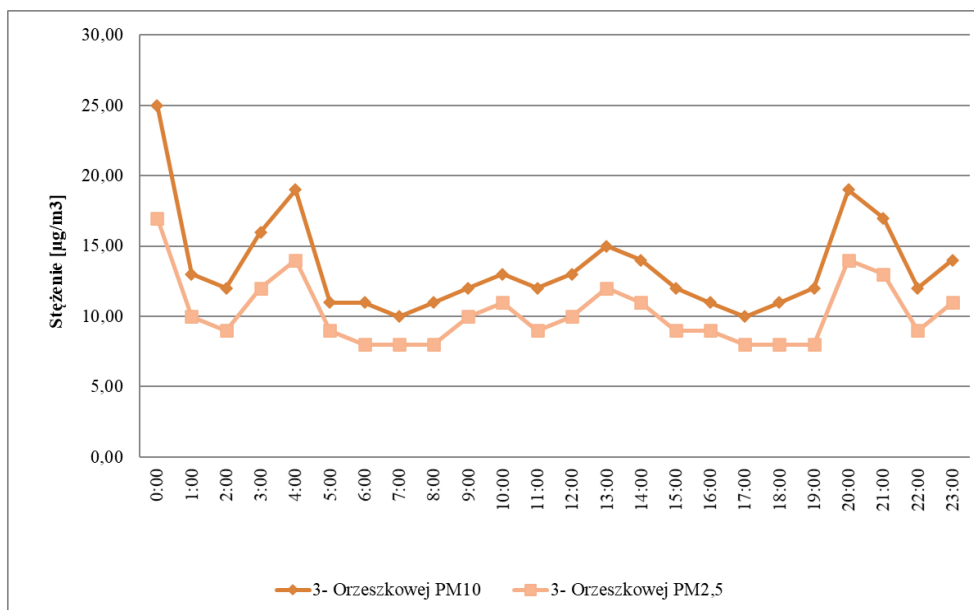
ciepłowniczej. Odnotowano wzrost emisji pyłów po godz. 19:00, co może oznaczać pracę kotłowni przydomowych na cele ciepłej wody użytkowej. Wahania stężeń pyłów mogą być związane z ruchem samochodowym w pobliżu punktu pomiarowego. O godz. 23:00 w tym dniu osiągnięto maksymalne stężenie dla PM10 wynoszące  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i dla PM2,5 równe  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Rysunek 4. Stężenie PM10 i PM2,5 w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  w dniu 07.06.2020 r. (sensor nr 2 – Kopernika)**

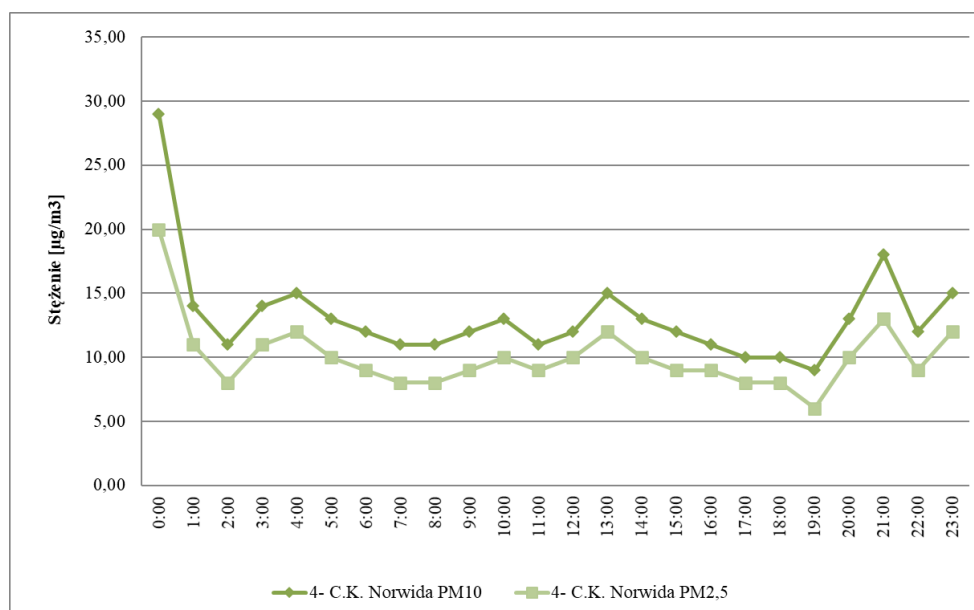
Wykres (Rys. 4.) obrazuje stężenie PM10 i PM2,5 poza okresem grzewczym, odczytane przez sensor nr 2 na ul. Kopernika w Bielsku Podlaskim. W okolicy dominuje zabudowa wielorodzinna, budynki użyteczności publicznej (szkoła podstawowa, liceum), usługi oraz domy jednorodzinne. W pobliżu znajduje się park miejski. Zabudowa wielorodzinna jest podłączona do miejskiej sieci ciepłowniczej. Można zauważyć, że w ciągu całej doby odnotowano wahania pyłu PM10 i PM2,5. Maksymalne stężenie PM10 wyniosło  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  o godz. 0:00 i 13:00, a najwyższe stężenie PM2,5 to  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , również w tych samych godzinach.

Na wykresie widać tendencję wzrostową po godz. 19:00.



**Rysunek 5. Stężenie PM10 i PM2,5 w µg/m<sup>3</sup> w dniu 07.06.2020 r. (sensor nr 3 – Orzeszkowej)**

Wykres (Rys. 5.) przedstawia stężenie PM10 i PM2,5 podczas okresu grzewczego, odnotowane przez sensor nr 3 na ul. Orzeszkowej w Bielsku Podlaskim, przy Miejskim Ośrodku Sportu i Rekreacji. W okolicy dominuje zabudowa jednorodzinna oraz niewielki teren zielony (boiska i mały park). Odnotowano wzrosty stężenia pyłów w godz. 2:00-4:00, a potem między godz. 19:00 a 20:00, co może oznaczać pracę kotłowni przydomowych na cele podgrzewu ciepłej wody. O godz. 0:00 osiągnięto maksymalne stężenie dla PM10 wynoszące 25 µg/m<sup>3</sup> i dla PM2,5 równe 17 µg/m<sup>3</sup>, co może być wynikiem pracy kotłowni indywidualnych w dniu poprzednim.



**Rysunek 6. Stężenie PM10 i PM2,5 w µg/m<sup>3</sup> w dniu 07.06.2020 r. (sensor nr 4 – CK Norwida)**

Wykres (Rys. 6.) przedstawia stężenie PM10 i PM2,5 poza okresem grzewczym, odnotowane przez sensor nr 4 na ul. C.K. Norwida w Bielsku Podlaskim, przy Stacji Uzdatniania Wody. W okolicy przeważa zabudowa jednorodzinna oraz tereny zielone. Sensor jest zlokalizowany na skraju osiedla domów jednorodzinnych. Czujnik odnotował wzrosty stężenia pyłów w godz. 2:00-4:00 oraz 11:00-13:00, a potem między godz. 19:00 a 23:00. O godz. 0:00 osiągnięto maksymalne stężenie dla PM10 wynoszące  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i dla PM2,5 równe  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dla różnych lokalizacji widać wspólny mianownik, którym są podobne godziny wzrostu stężeń zanieczyszczeń pyłowych, tj. po godz. 19:00. Uśrednione wyniki 24-godzinne porównano w Tabeli. 2.

**Tabela 2. Uśrednione wyniki 24-godzinne w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i porównanie z normami: krajową i WHO**

	1 – Rejonowa	2 – Kopernika	3 – Orzeszkowej	4 – C.K. Norwida	norma WHO	norma wg Rozporządzenia
	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$
<b>PM10</b>	11,96	11,54	13,54	13,17	50,00	50,00
<b>PM2,5</b>	9,21	8,96	10,29	10,04	25,00	-

Podsumowanie wyników pomiarów uśrednionych dobowo pokazuje, że norma WHO jak norma wg Rozporządzenia dla PM10 i PM2,5 nie zostały przekroczone. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012 poz. 1031 z późn. zm.) nie ustala normy dobowej dla PM2,5. Jak widać, po zakończeniu okresu grzewczego normy dla pyłów zawieszonych nie są przekraczane. Dla porównania, podczas okresu grzewczego, w tych samych lokalizacjach występowały znaczne przekroczenia (Zaluska, 2020)

#### 4. Wnioski

Zanieczyszczenia obecne w powietrzu powodują niepożądane efekty ekonomiczne, społeczne i zdrowotne, dlatego istotnym działaniem jest monitorowanie i wprowadzanie metod polepszających jakość powietrza.

Analiza stężeń PM10 i PM2,5 w czterech wybranych lokalizacjach w Bielsku Podlaskim pokazuje, że nie odnotowano przekroczeń dopuszczalnego poziomu  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  /dobę dla pyłu PM10 oraz  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ /dobę dla pyłu PM2,5 wg WHO. Wahania stężeń w wybranych lokalizacjach mogą świadczyć o lokalnych użytkowaniu kotłowni przydomowych na cele podgrzewu wody.

#### Bibliografia:

1. Chen H., Winder Lich J. (2012). Validation of Routine Continuous Airborne CO<sub>2</sub> Observations near the Bialystok Tall Tower. Atmospheric Measurement Techniques, 5(4), s. 873–889.

2. Cincinelli A., Martellini T. (2017). Indoor Air Quality and Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, no. 11, s. 1286.
3. Gaj K. (2016). Powietrze atmosferyczne: jakość, zagrożenia, ochrona: praca zbiorowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
4. Gładyszewska–Fiedoruk K. (2013). Jakość powietrza wewnętrznego ze szczególnym uwzględnieniem stężenia dwutlenku węgla. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok.
5. Gładyszewska-Fiedoruk K., Nieciecki M. (2016). Indoor Air Quality in a Multi-car Garage. *Energy Procedia*, 95, s. 132-39.
6. GUS (2014). Ochrona Środowiska 2014, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
7. Juda-Rezler K.(red.) (2016). Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
8. Kaiser K. (2010). Tlenek i dwutlenek węgla w pomieszczeniach. *Rynek Instalacyjny*, 9, s. 90-96.
9. Le Quere C., Raupach M. (2009). Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience*, 2, s. 831–836.
10. Nadziakiewicz J. (2005). Źródła zanieczyszczenia powietrza i metody oczyszczania gazów z zanieczyszczeń pyłowych i gazowych. Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji w Bytomiu, Bytom.
11. Nantka M.B. (2011). Wentylacja z elementami klimatyzacji. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
12. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012 poz. 1031 z późn. zm.).
13. Załuska M. (2020) Analiza poziomu PM10 i PM2,5 za pomocą czujników niskokosztowych na terenie zurbanizowanym, w: *Poszerzamy horyzonty*, vol. 18, cz. II., s. 27-35.

**Wykaz stron internetowych:**

14. <https://airly.eu/map/pl/> (05.06.2020 r.).
15. <http://powietrze.gios.gov.pl>, (06.06.2020 r.).

### **3. ANALIZA PRZESTRZENNA WYBÓR POTENCJALNYCH MIEJSC LOKALIZACJI FARM FOTOWOTALICZNEJ W GMINIE SAMBORZEC**

#### **Przemysław Zajac**

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji

Studenckie Koło Naukowe Gospodarki Przestrzennej „LOCUS”

ul. Balicka 253c, 30 – 198 Kraków.

Email: przemyslaw.zajacc@gmail.com

#### **1. Wstęp**

Wizja wyczerpania się złóż paliw kopalnianych na skutek dynamicznego rozwoju gospodarek światowych oraz następujące zmiany klimatyczne, spowodowane działalnością człowieka, zwiększają zapotrzebowanie na odnawialne źródła energii (OZE). Kluczową rolę w bilansie paliwowo-energetycznym w większości krajów wysokorozwiniętych, odgrywają odnawialne źródła energii, zwiększając poziom jego bezpieczeństwa. OZE przyczyniają się do racjonalnego gospodarowania zasobami surowców energetycznych oraz ograniczenia zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska [Tytko, 2005]. Państwa wysoko rozwinięte od wielu lat zwiększają udział OZE, które nie oddziałują negatywnie na środowisko. Wpływają korzystnie na poziom zużycia konwencjonalnych źródeł energii [Sowa, 2018]. Energia słoneczna jest jednym z pierwotnych źródeł wykorzystywanych jako OZE, posiada wiele zalet w porównaniu do pozostałych źródeł energii. Za pomocą instalacji fotowoltaicznej wykorzystuje się promieniowanie słoneczne do produkcji energii elektrycznej. Powyższe instalacje poprzez wbudowane ogniwa fotoelektryczne pozyskują energię na drodze konwersji fotowoltaicznej [Nowak, Stachel, 2011].

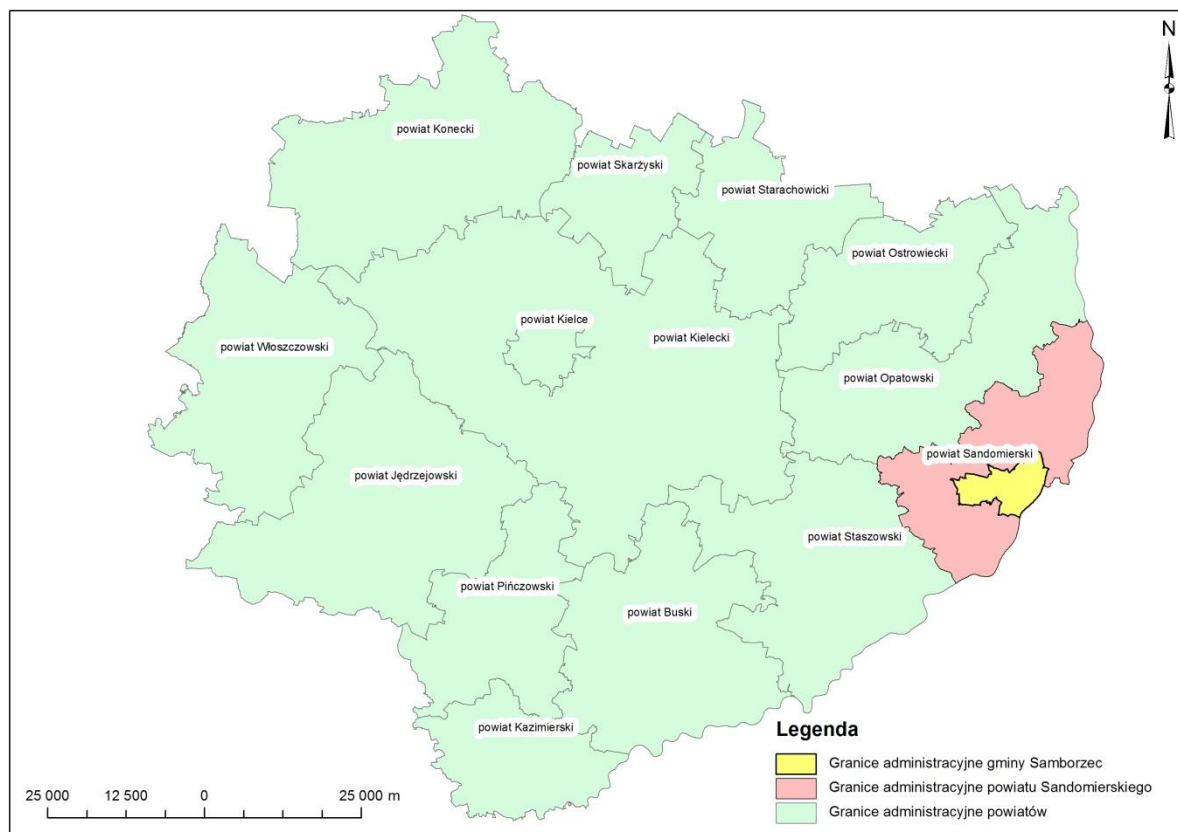
Praca ma na celu wskazanie optymalnych lokalizacji do budowy farm słonecznych w gminie Samborzec. Wszelkiego typu instalacje zasilane energią słoneczną muszą mieć możliwie jak najlepszy dostęp do jego promieni, dlatego decydując się na budowę farmy fotowoltaicznej, należy w pierwszej kolejności mieć na względzie usytuowanie całej inwestycji.

W celu założenia własnej farmy fotowoltaicznej, w pierwszej kolejności należy zapoznać się z wszelkimi przepisami i wytycznymi prawnymi, które dotyczą inwestycji fotowoltaicznych. Uzyskanie pozwoleń jest ściśle związane z wielkością danej instalacji, zakładaną mocą nominalną oraz z powierzchnią jaka zostanie zajęta przez instalację wraz z infrastrukturą towarzyszącą. W przypadku budowy farmy fotowoltaicznej są to nie tylko moduły ogniw fotowoltaicznych ale również konieczne drogi wewnętrzne, linie kablowe energetyczne i światłowodowe, przyłącza elektroenergetyczne, transformatory, konwertery oraz inne niezbędne do funkcjonowania elektrowni elementy infrastruktury. Jako że eksploatowane urządzenia fotowoltaiczne wytwarzają energię, zalicza się je do działalności produkcyjnej. Z tego względu ich usytuowanie musi być zgodne z zapisami Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego (MPZP) uchwalonego przez daną jednostkę gminy. Jeżeli wybrany teren inwestycji posiada MPZP konieczne jest zweryfikowanie ustaleń

rysunku i treści opisu z zamierzeniem inwestycyjnym. W przypadku braku MPZP określenie sposobów zagospodarowania i warunków zabudowy terenu następuje w drodze decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu [.\[www.sejm.gov.pl/sejm7.nsf/InterpelacjaTresc.xsp?key=59D02898\]](http://www.sejm.gov.pl/sejm7.nsf/InterpelacjaTresc.xsp?key=59D02898). Podczas ustalania lokalizacji pod budowę farmy brane są pod uwagę następujące aspekty: klasa gruntu w przypadku gruntów ornych najlepiej klasa IV lub słabsza, lokalizacja na obszarze objętym MPZP z wyznaczonymi obszarami pod tego typu przedsięwzięcie lub w oparciu o opracowaną Decyzję WZ. Teren nie może też zostać wyznaczony na terenie chronionym, terenie zalewowym ani osuwiskowym. Ważnym aspektem są również: powierzchnia działki, która powinna wynosić od 1 do 2 ha, nachylenie terenu do 5% oraz wystawa najlepiej południowa, południowo zachodnia. Teren też musi posiadać dostęp do drogi publicznej i znajdować się w niewielkiej odległości od rozdzielczej linii energetycznej średniego napięcia [\[https://blog.ongeo.pl/dzialki-pod-farme-fotowoltaiczna/\]](https://blog.ongeo.pl/dzialki-pod-farme-fotowoltaiczna/).

## **2. Charakterystyka analizowanego obszaru**

Gmina wiejska Samborzec jest położona w południowo wschodnim krańcu województwa świętokrzyskiego na pograniczu Wyżyny oraz Kotliny Sandomierskiej. Na rycinie 1 została przedstawiona lokalizacja gminy Samborzec na tle województwa. Położone jest ono 91 km na wschód od miasta Kielce. Obszar gminy zajmuje 85,37 km<sup>2</sup> co stanowi niewiele ponad 12,6% powierzchni powiatu. Według danych z roku 2018 gmina liczyło 8596 mieszkańców [Statystyczne Vademecum Samorządowca, 2019]. W gminie Samborzec gospodarka oparta jest na sadownictwie i warzywnictwie, stanowiąc 80% użytków rolnych. Miejscowość posiada korzystne warunki glebowe i klimatyczne sprzyjające produkcji rolniczej [Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Gminy Samborzec].



**Rycina 1. Gmina Samborzec na tle województwa Świętokrzyskiego**

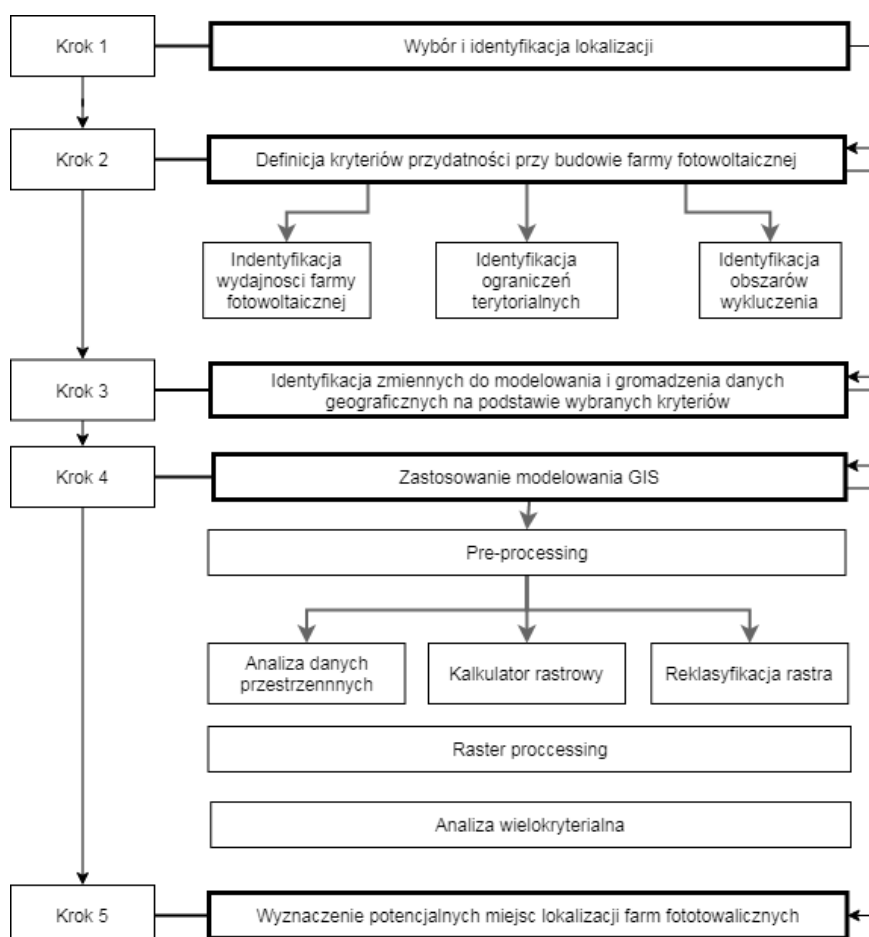
Źródło: Opracowanie własne.

### 3. Materiały i metody

W wyborze potencjalnej lokalizacji elektrowni słonecznej przyjęto czynniki środowiskowe oraz ekonomiczne. W pracy nie wzięto pod uwagę czynników społecznych. Wśród aspektów środowiskowych uwzględniono klasę bonitacyjną gruntu, nachylenie oraz ekspozycje terenu, odległość od form ochrony przyrody i terenów zagrożonych podtopieniem. Do kwestii ekonomicznych zaliczono potencjalną powierzchnię wyznaczonego obszaru, strukturę użytkowania gruntów, odległość od zabudowań, dróg [Foks, Całka, Bielecka, 2019].

W niniejszej pracy do wyznaczenia terenów pod inwestycje elektrowni fotowoltaicznych posłużono się narzędziami GIS. Narzędzia GIS posłużyły do wyznaczenia m.in. nachylenia oraz ekspozycji terenu. Za pomocą programu ArcMap 10.5, wykorzystując algorytm map dokonano analizy geodanych w oparciu o dane rastrowe. W analizie wykorzystano również narzędzie buforowania, operacja ta pozwoliła na wyznaczenie obszaru w żądanej odległości od wybranego obiektu. Wielkość wyznaczonych stref jest zależna od rodzaju obiektu [Synowiec, 2013]. Metodologia opracowana w pracy obejmowała 5 kroków, które zostały przedstawione na rycinie nr 2.





**Rycina 2. Diagram przedstawiający poszczególne etapy pracy**

Źródło: Opracowanie własne.

Kryteria przyjęte w analizie wyznaczenia potencjalnych miejsc inwestycji, dotyczą konieczności spełnienia przez daną lokalizację określonych warunków. W poniższej tabeli nr 1 zostały przedstawione kryteria. Analiza wielokryterialna wyróżnia dwa możliwe kryteria do zastosowania. Zastosowanie miękkich kryteriów na potrzeby analizy, skutkuje otrzymaniem stopnia przydatności terenów dla założonego celu. Natomiast wykorzystanie twardych kryteriów analizy, skutkuje uzyskaniem mapy wynikowej przedstawiającej obszary spełniające założone warunki oraz takie, które nie są zgodne z nimi. Do głównych zalet stosowania kryteriów twardych w porównaniu do pozostałych jest precyzyjne określenie terenu spełniającego przyjęte założenia. Powyższa metoda polega na przypisaniu poszczególnym terenom odpowiedniego atrybutu przydatności. Do wyznaczenia terenów pod inwestycje elektrowni fotowoltaicznej zastosowano analizę wielokryterialną (metodę twardą nakładkowania, opartą na logice Boole'a). Powyższa metoda polega na przypisaniu poszczególnym terenom odpowiedniego atrybutu przydatności. Obszar posiadający wartość 0 oznacza, że jest nieprzydatny i został wyłączony z analizy. Natomiast wartość 1 informuje, że teren spełnia założone kryteria. Wynikiem analizy jest mapa przydatności, która jest prostym iloczynem poszczególnych map przydatności [Szafranko, 2014].

**Tabela 1. Kryteria przyjęte w analizie potencjalnych miejsc inwestycji**

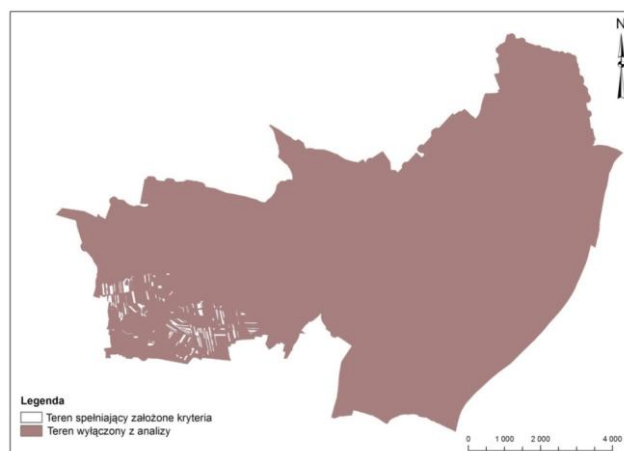
Kryterium	Wartości graniczne	Atrybut
Nachylenie terenu	0-5%	1
	< 5%, >5%	0
Ekspozycja terenu	S, SW	1
	EW, W, NE, N, NW	0
Bonitacyjna klasyfikacja gleb gruntów orných	5,6,7,8	1
	1, 1z, 2, 2z,3,3z,4	0
Struktura użytkowania gruntów	Roślinność trawiasta, uprawa na gruntach orných	1
	Pozostałe formy użytkowania	0
Odległość od dróg	0 - 100m	1
	< 100m	0
Wielkość działek	< 1, 2> ha	1
	< 1, 2 < ha	0
Formy ochrony przyrody	Brak występowania	1
	Występowanie	0
Obszary zagrożone podtopieniami	Brak występowania	1
	Występowanie	0

Źródło: Opracowanie własne.

W przeprowadzeniu analizy przestrzennej lokalizacji elektrowni fotowoltaicznej w gminie Samborzec umożliwiło wykorzystanie następujących danych przestrzennych:

1. Numeryczny Model Terenu
2. Mapa obszarów zagrożonych podtopieniami w skali 1:50 000 wykonana przez Państwowy Instytut Geologiczny, zdigitalizowana na podstawie WMS udostępnionego przez Geoportal (<http://geoportal.pgi.gov.pl>).
3. Baza Danych Obiektów Topograficznych BDOT10k.

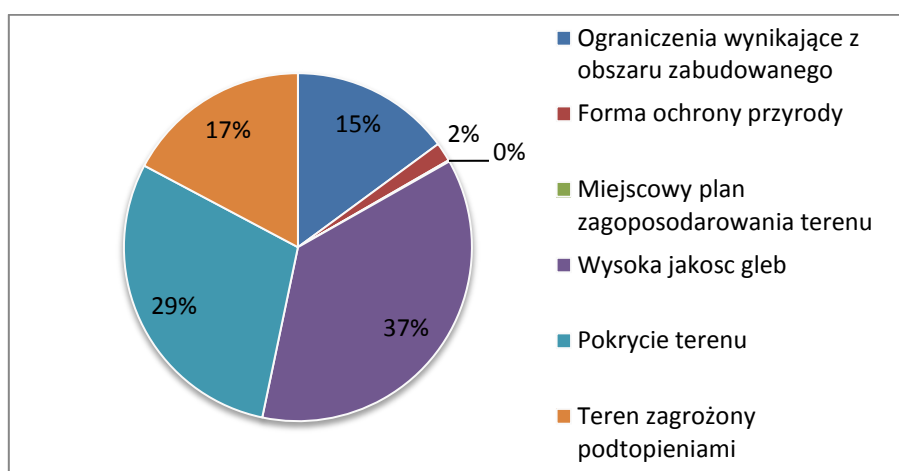
#### 4. Wyniki



**Rycina 3. Mapa wynikowa terenu wyłączonego z analizy**

Źródło: Opracowanie własne.

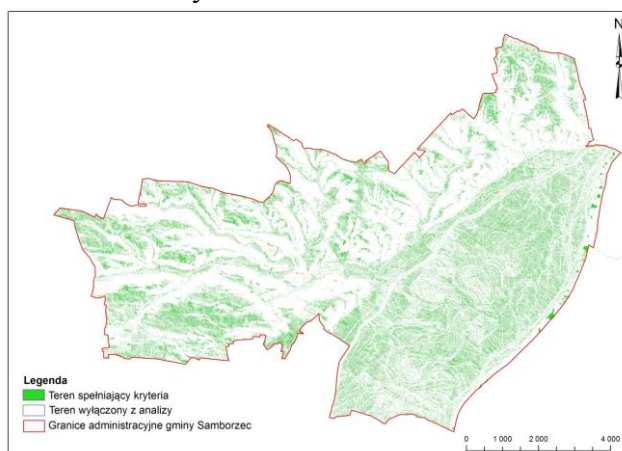
Niemal 98,9% powierzchni zostało wykluczonych z dalszej analizy przy użyciu twardych kryteriów. Wyniki tej procedury przedstawiono na rycinie 3. Mapa pokazuje obszary nieodpowiednie dla lokalizacji farmy słonecznej. Wśród terenów wyłączonych z analizy znajdowały się m.in. obszar zabudowany, obszar objęty miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego, nieodpowiednie pokrycie terenu, wysoka jakość gleb, formy ochrony przyrody oraz tereny zagrożone podtopieniami. Procentowy udział terenu wyłączanego z analizy przedstawia wykres nr 1.



**Wykres. 1 Diagram kołowy**

Źródło: Opracowanie własne.

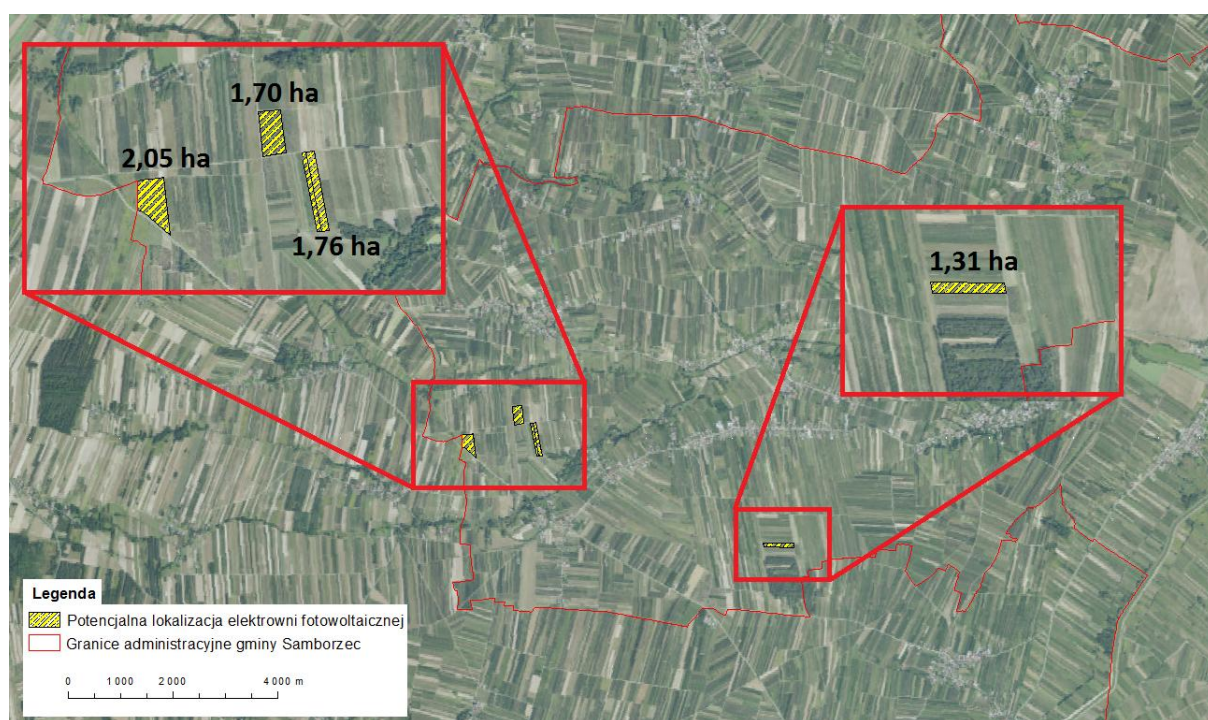
W pracy została przeprowadzona analiza rzeźby terenu dla potrzeb ustalenia potencjalnej lokalizacji elektrowni fotowoltaicznej. Za pomocą narzędzi GIS obliczono nachylenie oraz ekspozycję terenu, które posłużyły do dalszej pracy. Uzyskano położenie terenów spełniających kryteria projektowe. Teren oznaczony kolorem zielonym stanowi obszar, w którym występuje nachylenie terenu do 5% oraz wystawa jest skierowana w stronę południową lub południowo zachodnią. Łączna powierzchnia terenu posiadająca korzystną rzeźbę wynosi 1315 ha, stanowiąc 15,4% powierzchni całej gminy. Teren oznaczony kolorem białym został wyłączony z dalszej analizy, ze względu na niespełnianie założeń. Mapa wynikowa została przedstawiona na rycinie nr 4.



**Rycina 4. Mapa wynikowa kształtowania powierzchni**

Źródło: Opracowanie własne.

W wyniku przeprowadzonej analizy metodą twardą oraz połączeniu map wynikowych związanych z korzystnym ukształtowaniem terenu i terenów wykluczonych, zostało wyselekcjonowanych 4 lokalizacji, charakteryzujących się korzystnymi warunkami technicznymi. Wybrane działki spełniają wszystkie założenia projektowe. Przestrzenne rozmieszczenie obszarów o wysokiej przydatności do założenia elektrowni fotowoltaicznej zostały przedstawione na rycinie nr 5. Łączna powierzchnia wybranych fragmentów w obszarze badań wyniosła 6,82 ha, stanowiąc 0,08% powierzchni gminy.



**Rycina 5. Potencjalna lokalizacja elektrowni fotowoltaicznych w gminie Samborzec**

Źródło: Opracowanie własne.

## 5. Podsumowanie

Wzrost produkcji energii elektrycznej z nieodnawialnych źródeł energii prowadzi do stopniowego wzrostu wyczerpania zasobów naturalnych i ma negatywny wpływ na środowisko. Państwa wysoko rozwinięte od wielu lat zwiększają udział OZE w ogólnej produkcji energii elektrycznej. Energia słoneczna wytwarzana przez podłączone do sieci systemy fotowoltaiczne jest uważana za ważne alternatywne źródło energii elektrycznej ze względu na jej system produkcji czystej energii, łatwą instalację oraz niskie koszty eksploatacji i konserwacji. Na potrzeby niniejszej pracy została przyjęta analiza wielokryterialna (MCE, Multi-Criteria Evaluation), która umożliwiła wybór potencjalnej lokalizacji farmy fotowoltaicznej. Powyższa metoda polega na przekształceniu i złączeniu szeregu danych przestrzennych w mapę wynikową. Na podstawie przyjętych kryteriów wyznaczono 4 obszary od 1 do 2 ha. Łączna powierzchnia wybranego obszaru wynosi 6,82 ha stanowiąc 0,08% obszaru gminy. W gminie Samborzec 98,9% powierzchni zostało wyłączone z analizy. Wyselekcjonowane tereny posiadają korzystne warunki lokalizacyjne, znajdujące się w południowo-zachodniej części gminy. Wybór jest zależny głównie od formy użytkowania gruntu oraz niskiej jakości gleb. Kolejnym kluczowym czynnikiem była

wystawa oraz nachylenie terenu, które sprzyjają wyższemu nasłonecznieniu. W przeprowadzonej analizie uwzględniono, również dotychczasowe przepisy prawne. Praca ma na celu przedstawienie korzyści wynikających z zastosowania analizy wielokryterialnej w środowisku GIS, podczas wyboru potencjalnej lokalizacji elektrowni fotowoltaicznej. Analizy przestrzenne GIS umożliwiają usprawnienia procesu podejmowania decyzji dotyczącej inwestycji, optymalizację kosztów i ryzyka inwestycyjnego.

### **Bibliografia:**

1. Tytko T. (2007). Odnawialne źródła energii, wybrane zagadnienia.
2. Nowak W. Stachel A. (2011) Kolektory słoneczne i panele fotowoltaiczne jako źródło energii w małych instalacjach cieplnych i elektroenergetycznych Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.
3. Sowa S. (2018) Odnawialne źródła energii jako czynnik wpływający na poprawę efektywności, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energii Polskiej Akademii Nauk, str. 1-5.
4. Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. z 2003 r. Nr 80, poz. 717, z późn. zm.)
5. Szafranko E. (2014). Metody analizy wariantów inwestycji drogowych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie.
6. Foks A. Całka B. Bielecka E. (2019). Zastosowanie wielokryterialnych analiz przestrzennych w celu poszukiwania potencjalnej lokalizacji farm fotowoltaicznych w gminie Torzym, Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej, Roczniki Geomatyki 2019, Tom XVII, Zeszyt 3(86): 171-182.
7. Synowiec W. Luc M. (2013). Wielokryterialna ocena przydatności terenu do rozwoju energetyki wiatrowej na przykładzie gminy Rymanów. Przegląd Geograficzny 2013, 85, 3, s. 323-352.

### **Wykaz stron internetowych:**

8. <http://www.sejm.gov.pl/sejm7.nsf/InterpelacjaTresc.xsp?key=59D02898> (dostęp, 20.05.2020).
9. <https://blog.ongeo.pl/dzialki-pod-farme-fotowoltaiczna/> (dostęp, 21.05.2020).
10. [https://kielce.stat.gov.pl/vademecum/vademecum\\_swietokrzyskie/portrety\\_gmin/powiat\\_sandomierski/Samborzec.pdf](https://kielce.stat.gov.pl/vademecum/vademecum_swietokrzyskie/portrety_gmin/powiat_sandomierski/Samborzec.pdf) (dostęp 31.05.2020).

## 4. DC MOTOR CONTROL SYSTEM

### MSc. Piotr Ptak

Czestochowa University of Technology

Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science

Student Science Club

Computer Design of Mechatronic Devices and Machines

Aleja Armii Krajowej 21, 42-202 Częstochowa

E-mail: ptak@imipkm.pcz.pl

### 1. Introduction

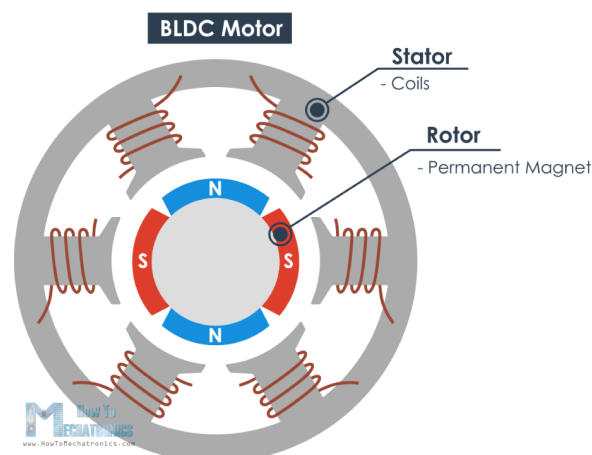
Today we can find engines in every device. With the increase in their use, the demand for efficient control systems and the creation of more advanced machines has increased.

Modern control systems allow you to perform operations with high precision and accuracy. The combination of two disciplines, electronics and computer science allows you to create embedded systems that meet these requirements.

### 2. Types of used motors

DC motor - DC electric motor used to convert electricity into mechanical energy. As a DC electric machine it can work interchangeably as a motor or generator. In the latter case, the rotor is driven by mechanical energy supplied from the outside, and the generated electricity is received at the armature winding terminals. Most DC motors are commutator motors, that is, those in which the armature winding is powered by a commutator. However, there are many DC motors that do not have a commutator or commutation takes place electronically, more about the topic in [1]. Electric motors can be divided into two large groups. The first of these are DC electric motors, which we divide into:

Brushless motor, BLDC motor (BrushLess Direct-Current motor) - a type of electric motor in which instead of a mechanical commutator with brushes an electrically controlled commutator is used, the coils are stationary and the magnets are located on the rotor.



Picture 1. Diagram of brushless motor [2]

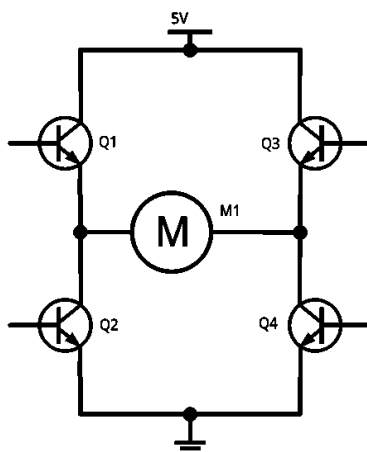
The electronic commutator is powered by direct current. The commutator system turns on and off the power to coils, whose magnetic field causes the rotor to rotate.

Commutator motor - characterized by a rotor with a magnetic core made of a set of electrical plates equipped with a winding connected to a commutator, on which the carbon brushes slide. The rotor moves as a result of the current flowing through it and the magnetic field generated by the stator. The movement takes place continuously, due to the switching by the commutator of the direction of the current flowing through the rotor. Low power DC motors are most often equipped with a permanent magnet. No power supply to the stator eliminates the source of losses. In large motors, however, the stator is an electromagnet with a solid magnetic core. Low-power DC commutator motors are used in model making (car, water and flying models), mechanical toys, cars (wiper drive, window lifters, starter), home appliances powered by batteries (walkmans, toothbrushes, shavers, depilatories) or from the network (tape recorders, video recorders). High-power engines, even up to several hundred kW, are used in industry and transport to drive devices that require start-up under load and speed control as traction motors (trams, locomotives), drive of rolling mills or mine hoisting machines. In the case of AC power, the motor stator is an electromagnet, and its magnetic circuit is made like a rotor from an electrical plate packet. AC commutator motors have a high starting torque, they do not need a capacitor like single-phase induction motors, they are lighter than them and reach higher speeds (above 3000 rpm). Small motors reach up to 10,000 rpm and larger motors, e.g. in a vacuum cleaner, accelerate to 25,000 rpm. AC commutator motors with power from several dozen W to 2 kW are used in drives of many home appliances, for example in mixers, grinders, vacuum cleaners, dryers, juicers, and numerous power tools.

The main advantage of brushless motors is much higher durability and reliability resulting from the elimination of brushes from the construction, which are the most common cause of failure and the fastest wearing mechanical element of the motor. Thanks to this, the only wear element of the engine are its bearings. The elimination of brushes ensures quieter engine operation and higher energy efficiency. In addition, the design of brushless motors allows the use of sealed housings, because the heat from the coils can be removed directly through the housing, which eliminates the need for air circulation. Another advantage of brushless motors is the ability to control the rotational speed almost regardless of the motor moment. The main disadvantage of brushless motors is the higher production cost. It results from the need to use special electronic controllers.

### **3. Control of brush motor**

The H bridge is an electronic system that can support DC motors. Allows you to control the direction of motor rotation by reversing the power poles. Most often the bridge h consists most often of 4 semiconductor switches with protective diodes shown in Figure 3 [3].



**Picture 2. Schematic of H bridge [4]**

The integrated circuit can operate in several modes, which are described in the truth table:

**Table 1. The table describes the type of output relative to the input settings**

Number	Q1	Q2	Q3	Q4	Output
0	0	0	0	0	Stop
1	1	0	0	1	Move to left
2	0	1	1	0	Move to right
3	1	1	1	1	Stop

1 – High state

0 – Low state

The table describes the effects of opening or closing individual switches in each combination. The most important parameters of the H bridge are described on the example of the L293D system:

Number of channels: 2 (describing the maximum number of devices that can be connected in this case)

Maximum motor supply voltage: 36 V

Average current per channel: 0, 6A

Peak current per channel: 1.2A

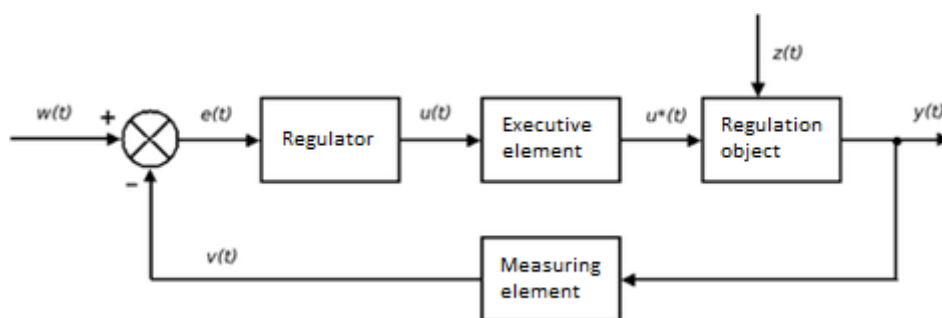
Built-in protection diodes (if they do not have to be added, an external schottky)

#### 4. Regulation system

Regulation is the process of deliberately influencing a regulated value. During operation, the regulated value is processed and compared with the feedback value. This makes it possible to strive for a given parameter and maintain it. Regulation systems are divided into:

- regulation system, in which the input signal is fed directly to the executive object, because there is no feedback system in it.
- closed control system with feedback system allowing for correcting the system operation.





**Picture 3. Schematic of regulation circuit [5]**

The control object is a device or process as a result of external forces acting on it, the control algorithm is implemented. The control object is influenced by the input data, which are called adjustable signals and external interference. Examples of a complex control object are boiler control with temperature control [5]. Executive object - an example is e.g. a motor, servo, fan, pump. The task of the executive object is to force the change based on the control signal received from the controller. The Measurement Object is designed to measure variable values over time and send them to the controller. Variables obtained as a result of the measurement may change due to the intended impact of the executive object in order to maintain the required regulation of the object. The object may be affected by factors that interfere with measurements, which in turn leads to poor system regulation. As the measuring object can be used:

- Resistive sensors
- Hall sensor
- Pressure, humidity and temperature transducers
- Electronic pulser

All measuring devices should have unified signals allowing for cooperation of various devices, in this case the measuring object with the controller. The controller is an element of the control system that is designed to generate a control signal so that the object behaves in the right way. Most often, the input data comes from the additive system and is called the regulation error [6]. Control deviation is the calculated difference between the setpoint and the resulting feedback. The result of the summing system is sent to the controller and converted into a control signal. The control signal goes to the executive object forcing changes throughout the control system [6].

Classification of regulation systems

Regulation systems can be divided according to:

- Control purpose set
- The way the regulator works

Examples of regulators with a given control purpose are:

A fixed value control system is one that maintains a constant value for the output variable during the control process. An additional requirement of such regulation is that the regulation error should be within a specified standard. An example of such a control is the air conditioner maintaining the room temperature [5].

The follower system is designed to follow the setpoint so that it is equal to the initial value. The setpoint change is random and is not predictable by the controller [5].

A programmable system is a variant of a follower system in which the course of a set variable is predetermined in time. An example of such control is a metallurgical furnace [5].

Systems divided into the way of work are:

The cascade system interconnects two controllers in such a way that one controls the settings of the other controller and the other with the output signal. The use of two regulators allows for better regulation. An example of use are servo position control systems [5].

An adaptive system is one in which controller settings must be constantly adapted to the control object. It has a mechanism that allows you to calculate and set new settings. An example of use is flight by plane, the weight of the aircraft decreases as a result of burning fuel, which requires new settings for the control object [5].

## 5. Control of brushless motor

### Current spatial vector

In further analysis, it is more convenient to use winding currents than the stator magnetic field, because they can be measured more easily. Therefore, current spatial vectors are used.

The spatial vector of current for a given winding has the direction of the field generated by that winding and a value proportional to the current that flows through it. This allows the total stator field to be expressed as a spatial vector of current, being the sum of three components, each of which is a spatial vector of the current of one stator winding.

In this approach, the goal of effective control should be to limit those components of the stator current that produce an undesirable component of its field. Ideally, the winding currents should have sinusoidal waveforms, shifted by  $120^\circ$  in phase and in phase with the rotor rotation angle. This is achieved in different control techniques to varying degrees.

### Keystone control

One of the simplest methods for controlling brushless motors is trapezoidal control. It is used when position control is not required, but rather engine speed or torque. The fact that the latter changes relatively little if the magnetic fields of the stator and rotor are not exactly perpendicular but the deviation from  $90^\circ$  is also relatively small is used in this case.

In this technique, the position of the rotor is determined with an accuracy of  $60^\circ$ . Therefore, six different items can be distinguished. Hall sensors built into the engine are used to measure them.

In this method, current of equal intensity flows only through two windings at the same time. When the rotor rotates, the winding power is switched. As a result, the deviation of the direction of the current spatial vector from  $90^\circ$  is  $\pm 30^\circ$ . This translates into a torque ripple of a dozen or so percent.

In addition, the currents flowing through the stator windings have no sinusoidal waveforms, and their switching is accompanied by an audible sound due to the magnetostriction effect. It is also difficult to control the engine at low speeds in this way. Figure 2 shows a block diagram of a BLDC motor controller that implements the trapezoidal control method.

Its part is the PI controller, which is responsible for regulating the current flowing through the stator windings. An error signal is given at the input of this regulator, which is the deviation of the actual value of the engine torque from the set point. It is integrated and then amplified. The controller output signal is fed to the PWM modulator input.

Commutation control is carried out regardless of current regulation. The selection of a pair of windings through which current is to flow at a given rotor position is based on the results of measurements from Hall sensors. The third winding is always disconnected.

An alternative to trapezoidal control at low engine speeds is sinusoidal control. In this case, sinusoidal currents flow through all motor windings, with phases selected so that the rotating spatial vector of the current is always perpendicular to the rotor and has a constant value. This eliminates torque ripple and current commutation problems.

To implement these assumptions, however, much more accurate information about the current position of the rotor is needed than that which is processed in the trapezoidal control. Therefore, Hall sensors that only provide coarse data cannot be used in this case. Encoders are an alternative to these sensors. These sensors continuously provide information about the current rotor setting.

Sinusoidal control - example of implementation

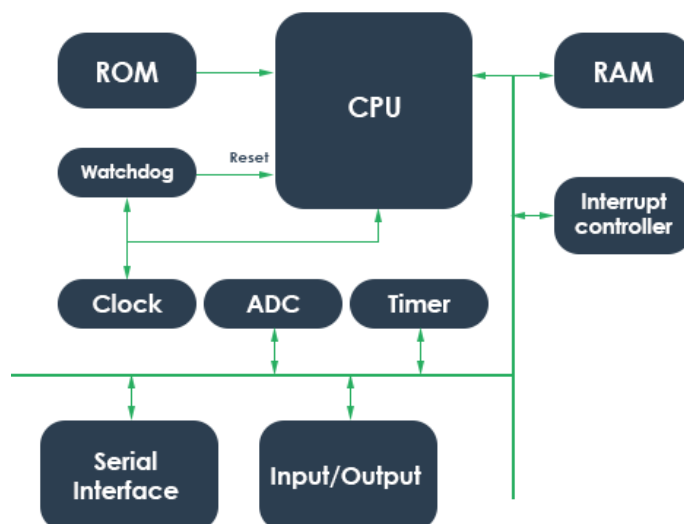
Because of the way the windings are connected, the current in the third winding is equal to the negative sum of the currents in the other two windings. Therefore, it cannot be regulated separately. Encoder position information from the encoder is used to generate two sinusoidal waveforms shifted by  $120^\circ$  in phase. These signals are further multiplied by the set torque value, so that the amplitudes of these waveforms will be proportional to it. They are then fed to the inputs of PI regulators, which are responsible for regulating the current flowing through the two motor stator windings. Output signals from the controllers are fed to the inputs of two PWM modulators. The input signal of the third PWM modulator is in turn calculated on the basis of control signals from PI controllers.

Vector control

Due to the limited frequency response of proportional-integral controllers, the accuracy of sinusoidal control decreases as the engine speed increases. This problem does not apply to another technique, which is vector control. What's more, this method does not have a problem with low speed motor control, considered a disadvantage of trapezoidal control technology. This is due to the fact that in vector control, the controlled quantities are transformed first, and then they are processed by PI controllers. Then the control signals are transformed again to the form in which they can be fed to the PWM modulator input. As a result, PI controllers do not operate directly on current and voltage varying over time, so the quality of control is not dependent on the engine speed. In the ideal case, the spatial vector of the current has a constant value and direction perpendicular to the rotor, regardless of its position. Figure 4 shows a block diagram of a brushless motor controller that implements the vector control method.

## 6. Embedded system

The embedded system is a specialized computer system that can be an integral part of another system or an independent system. The most common embedded systems are based on microcontrollers. A microcontroller is a single integrated circuit capable of performing instructions. In addition to calculations, the main task of the microcontroller is to control peripheral systems. These include processor output control systems, counters, and analog-to-digital converters [7].



**Picture 4. Example of architecture of microcontroller [8]**

Embedded systems have found the use in virtually all areas, due to the desire for all-round automation of every process.

Examples of using embedded systems are:

Medical equipment (e.g. magnetic resonance imaging), measuring equipment (e.g. oscilloscope), mobile phones (e.g. processor), aircraft control system (e.g. autopilot), televisions (e.g. matrix control).

Depending on the type of embedded system work, two programming techniques are used:

"Bare-metal" means that the processor does not use the operating system. These programs must control all hardware work. Therefore, good knowledge about the microcontroller and programming methods is required [8].

Working under the control of the operating system. Using the operating system, we give some control to the software. For this reason, the system needs additional resources, which ultimately reduces software performance [8].

The choice between "bare metal" programming and one based on the operating system depends on the requirements of the application. When a fast response time is required, a model without an operating system will be selected. If time determinism is not required, the operating system model will be chosen [8].

The embedded system is a special-purpose computer system that becomes an integral part of the equipment it supports. The embedded system meets certain requirements defined for the tasks it is to perform. So you can't call it a typical multi-functional personal computer. Each embedded system is based on a microprocessor (or microcontroller), programmed to perform a limited number of tasks, or even to one.

Depending on the complexity of the tasks performed, it may contain software dedicated exclusively to this device (firmware), or it may be an operating system together with specialized software. This can also be determined by the degree of reliability that the embedded system is to offer. The general rule is that the less complex and specialized the software is, the more reliable the system is and can respond more quickly to critical events.

System reliability can be increased by splitting tasks into smaller subsystems as well as by redundancy. This may involve, for example, using two identical devices for one task, which can take over the task of the other in the event of failure of one of them.

The first built-in computer is considered to be the one that controlled the American Apollo rocket. The first mass-produced embedded computer controlled the Minuteman rocket.

These types of systems are used in all areas, because nowadays it is strived for all devices to be intelligent, capable of autonomous work, and to perform increasingly complex tasks. Examples of areas and technical devices in which embedded systems are used:

- car and ABS engine control systems, on-board computers
- aircraft, rocket, missile control equipment, intelligent bombs
- medical equipment, including but not limited to Holter monitors
- measuring equipment, including: oscilloscopes, spectrum analyzers
- ATMs and similar ATM devices
- thermostats, air conditioners,
- microwave ovens, dishwashers
- PLC controllers used in industry to control and control production processes and machines
- controllers for all kinds of mechanical robots
- alarm systems used to protect people and property, e.g. anti-burglar, fire and other
- televisions, DVD players, camcorders, digital video recorders
- mobile phones and telephone exchanges,
- printers, photocopiers
- calculators
- computer hardware, including but not limited to: hard drives, optical drives, routers, time servers and firewalls.

### **Bibliography:**

1. <https://forbot.pl/blog/silniki-elektryczne-szczotkowe-bezszczotkowe-krokowe-id2802>
2. <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-brushless-motor-and-esc-work/>
3. <https://forbot.pl/forum/topic/16-teoria-mostek-h-h-bridge-kompendium-dla-robotyka/>
4. <http://www.robotyka.net.pl/mostek-h-h-bridge/>
5. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Uk%C5%82ad\\_regulacji\\_\(automatyka\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Uk%C5%82ad_regulacji_(automatyka))
6. [http://www.i15.p.lodz.pl/strony/elektrownie/uklady\\_automatycznej\\_regulacji.pdf](http://www.i15.p.lodz.pl/strony/elektrownie/uklady_automatycznej_regulacji.pdf)
7. <https://www.codrey.com/learn/microcontroller-basics/>
8. <http://www.iisi.pcz.pl/index.php/pl/do-pobrania?func=startdown&id=1668>

## 5. TYPES OF DATA TRANSMISSION IN VEHICLES

**Maciej Pierzgalski**

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa

E-mail: pierzgalski@imipkm.pcz.pl

### 1. Introduction

When one goes back a dozen years and mention older cars, one can see a picture of a vehicle in which most of the elements were mechanically controlled. Usually, the electrical installation limited himself to supplying voltage to the ignition of the engine and to all kinds of lighting. However, over time and technology, the dynamic development of automotive technology has led to the rapid introduction of systems and systems based on microprocessor control. More and more systems began to require electronic control, new systems were introduced to increase active and passive safety and comfort zone modules were added. This required the use of such connections between devices in which there could be a fast and reliable data transmission between them. Due to the number of necessary electronic modules in vehicle constructions and the fact that individual devices cooperate with other systems on a continuous basis by receiving, processing and forwarding information to subsequent systems or actuators in real time, these systems can no longer have a traditional installation and cabling where a separate cable was needed for each type of information and direction of flow. With such a large number of electronic circuits and systems, this would result in the need for intersection connections, increase in the length of wires and connectors, leading to a decrease in the reliability of the entire system. In addition, it would generate a lot of interference that could cause uncontrolled behavior of some systems. That is why data buses were created that enabled data transfer depending on the priority and the current demand of a given module. This reduced the amount of cabling needed, and hence the cost of the electrical installation. The data bus could be compared to a computer network that connects various control devices by means of a bundle consisting of two or three wires. They can be classic electric wires or optical fibers. The advantage of using a data transmission bus is the use of digital signals that are based on two voltage levels corresponding to logic signals "0" and "1". Unlike analog signals, the transmission is more resistant to interference and prevents delays in transmission.. [1].

### 2. Type of data transmission buses

This chapter will introduce the types of buses used in vehicles. Each of them will be briefly discussed and their advantages and disadvantages will be presented.

#### 2.1. CAN bus

The CAN (Controller Area Network) bus was created in the 1980s at Robert Bosch GmbH for use in the automotive industry, but is also currently used in industrial field buses. It has a serial structure and usually uses a twisted pair of copper wires. There is no separate

master on this bus, therefore it belongs to the multimaster bus group. There are three types of this bus:

- CAN-A – is a network with data transmission up to 10 kbit/s and is usually used to diagnose hardware.
- CAN-B – is a network with data transmission up to 125 kbit/s and is used in vehicle comfort systems and interior furnishings, often also called Low Speed CAN.
- CAN-C – is the fastest, and its data transmission speed reaches 1 Mbit / s and is used for devices where an almost immediate response is needed, among others drive and braking system control. Otherwise called High Speed CAN.

One CAN network can support up to 35 devices and send data about 2500 signals in 250 CAN transmissions. The transmitted data consists of high and low signals, transmitted at high speed one after the other.

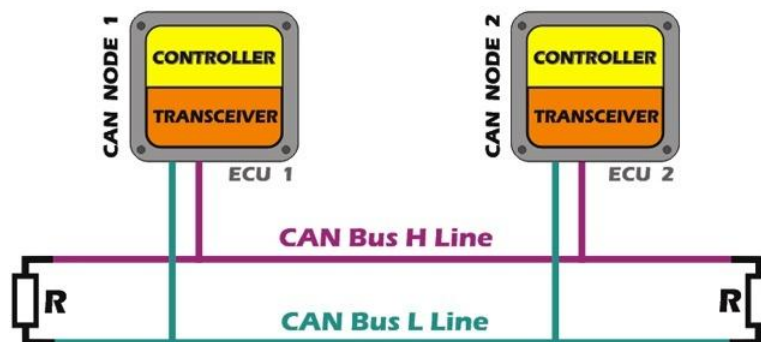


Figure 2.1. Elements of the CAN network node [2]

Data is send and received using special circuits called CAN transceivers, whose additional task is to maintain the appropriate voltage and protect against surges. Another system that supervises data exchange is the CAN controller. It checks compliance with the protocol, recognizes errors and also checks signal confirmation. Only the signal intended for a given device goes to the microcontroller. If the data are to be circulated, the microcontroller sends them through the controller to the transceiver, and the latter to the network. Below is a diagram of sending a signal to the bus.

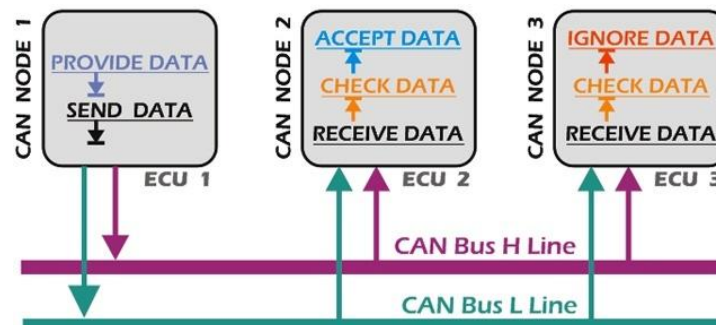
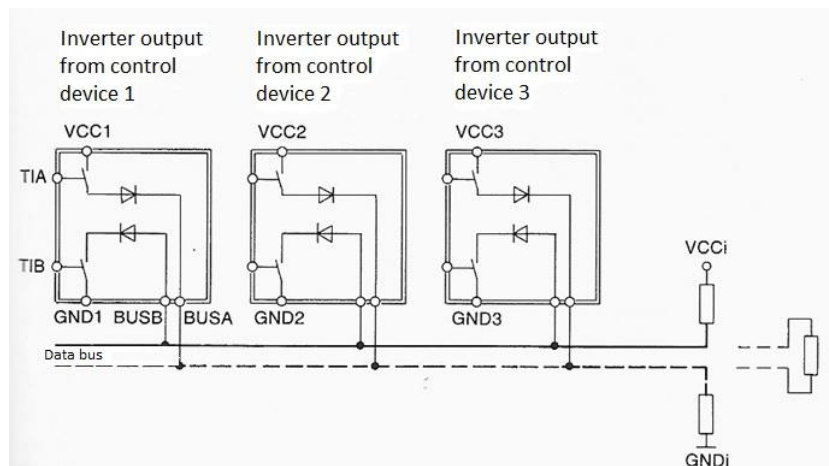


Figure 2.2. CAN bus transfer process [3]



**Figure 2.3 Diagram of inverter outputs in connection with the data bus**

The drive outputs shown in the diagram are drawn as contacts connected in series with the diodes. In normal position, the contacts are normally open. Data transmission occurs by quickly changing the position of the contacts, in this way the higher voltage cable is connected to ground and the other cable with the same voltage but directed in the opposite direction. The bus receives signals with two different high and low voltages. In this way, the bus can send and receive signals in both directions. The example described above shows us CAN-C buses terminated with resistors in order to absorb signals that could be reflected in the form of an echo. Thanks to this, one can avoid interference occurring during data transmission. With CAN-B and CAN-A networks, there is no such impedance, which is why it is no longer necessary to use absorbing resistors at the end of the bus. In the bus with final impedance at rest, the first wire has a voltage of 5V and the second one has 0V. One system is then in a recessive (disappearing) state. After switching on in the first wire, the voltage drops from 5V to 1V and it is called CAN-High (CAN-H), while in the second wire it increases from 0V to 4V and is called CAN-Low (CAN-L). Then the system goes from recessive to dominant state.

Based on the example described above, data transmission is similar in one- and three-wire buses. The disadvantage of a single-wire system is that damage to the cable interrupts communication, and in addition, this system is more susceptible to interference, because multi-strand cables use stranded wires in which the second wire flows in the opposite direction and the reverse voltage. This is called differential transmission, which allows one to filter out interference. However, if high security and high transmission speed are required, one use a three-wire bus in which the third wire functions as a screen. Going further, if one look at the message format on the CAN bus, it will be seen that all nodes have equal rights and can send and receive at the same time, therefore appropriate rules must be defined. They are contained in the CAN protocol which has a well-defined data frame.

- SF field – Start of frame.
- Message field.
- Control field.
- Data field.
- CRC field - Cyclic redundancy check.
- Ack field – Acknowledge.



- EOF field - End of frame.



Figure 2.4. Format komunikatu w magistrali CAN [4]

*Start of frame* - it is a 1-bit frame start marker and it is used to synchronize all devices in the CAN network.

*Arbitration field* – it is an arbitration field that consists of an identifier and a control bit. Information is assigned to the device by means of the identifier. It is also used to check the order priority and priority right to send a message. This is due to its numerical value. The more dominant bits, the higher priority. During the identifier transmission, the node also checks whether it is authorized to transmit information at this time and if there is any other node with a higher priority.

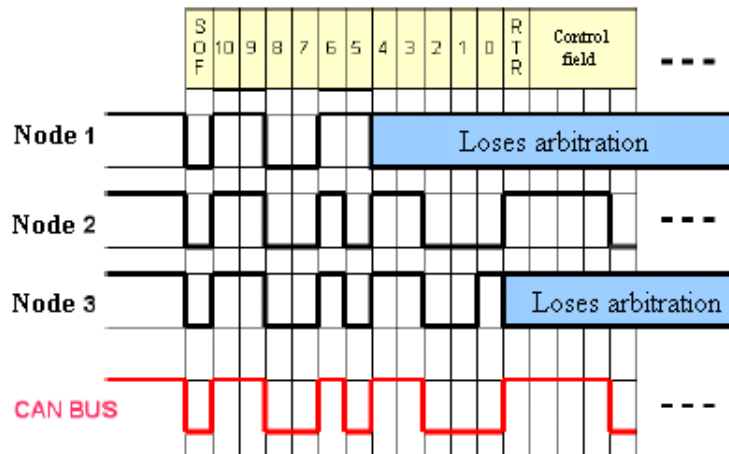


Figure 2.5. Priorytet nadawania danych na podstawie bitów identyfikatora[5]

However, if it happens that a node with a higher priority (more dominant bits in the identifier) begins to transmit, then a node with a lower priority will stop sending and wait until it can transmit again (its priority will be the highest again).

Based on the control bit, the nodes recognize whether this frame will send or receive data.

*Control field* - it is a control field (6 bits) whose task is to inform about the number of bytes of the data field and the number of information contained in it. On this basis, nodes are able to assess whether all the information has reached them.

*Data field* – it is a data field containing information content (from 0 to 8 bytes). An example is the throttle angle message. It is sent in 8-bit format, which gives us a total of 256 throttle angle values:

- 0000 0000 = throttle closed
- 0000 0001 = 0.4 degree open throttle
- 0000 0010 = 0.8 degree open throttle
- 0000 0011 = 1.2 degree open throttle
- 0000 0100 = 1.6 degree open throttle

0000 0101 = 2.0 degree open throttle

0000 0110 = 2.4 degree open throttle

and so on up to:

1111 1111 = throttle fully open

*CRC Field*- it is a 16-bit control field, whose task is to recognize interference in data transmission and it has a checksum calculated from the entire frame, which is checked by all nodes.

*Ack Field* – is a 2 - bit field which, using the dominant bit sent by all nodes, leaves information on the correct receipt of the message. However, if there is no dominant bit, it is information that for a given device it is necessary to repeat transmission because interference occurred during transmission.

*End of frame* – it is the end-of-frame field, consisting of 7 identical recessive bits and means the end of the message transmission.

Between frames there are spaces that are called Inter frame space. They consist of 3 recessive bits that separate messages. Only after these bits can the next message be sent.

The data frame length for CAN bus cannot exceed 130 bits. Therefore, the time between sent messages is not too long. During data transmission, however, one may come across some errors, for this purpose additional control mechanisms were used.

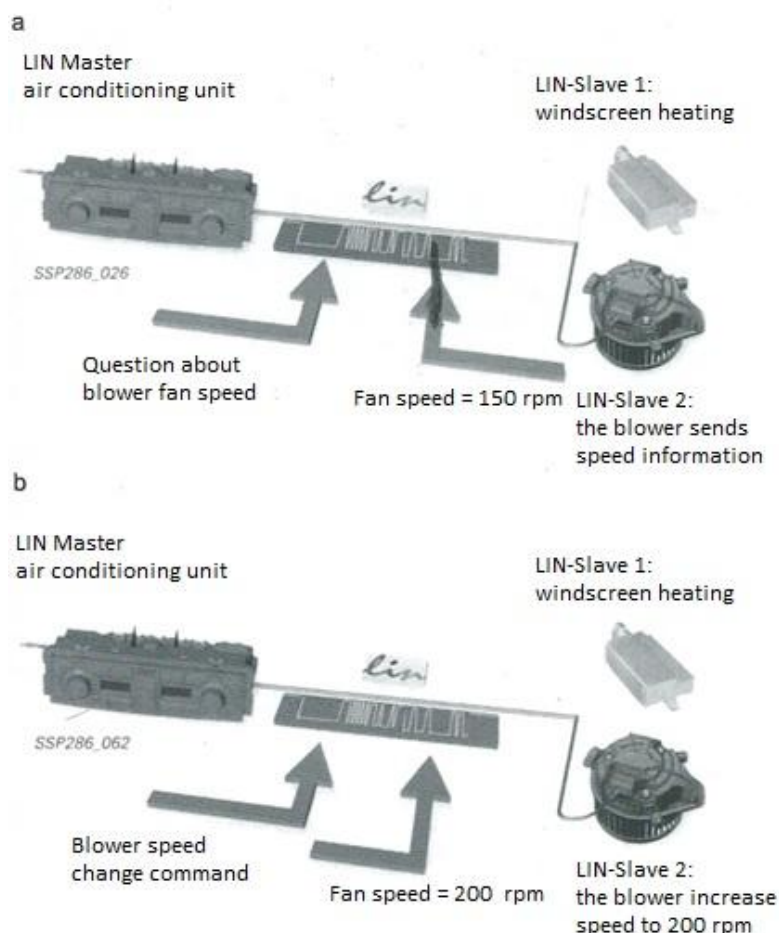
*Error frame* – it is an error frame which, after being detected by an error in data transmission, sends an error frame to the other devices. It is built of 6 dominant bits, which overlap the message, and in this way are understandable for all stations in the network.

Overload frame- is an overflow frame that is sent by a node where data could not be processed. During the next transmission cycle, the information is delayed by the time which was missing for reading the data.

*Remote frame* – is a remote frame by which a network node can request information that it needs for calculations, which has not been transmitted for a long time [6].

## 2.2. LIN bus

The LIN bus was created to minimize costs and replace the CAN bus. However, its speed does not allow too much and is used only in ride comfort systems and body equipment. It is a master-slave network, i.e. it has one main master control device and slave devices. It is a single-wire network with a speed of up to 20 Kbit / s, which can manage up to 16 devices. Air conditioning in cars is a common use of this bus. In the LIN network, each device has its own address, as opposed to the CAN network. Messages in this network are tracked by all devices, but accepting and replying takes place when the information does not contain an error and the address matches the address of the device. Before sending a message on the LIN bus, synchronization occurs, which aims to tune the devices in the same "cycle". The message starts with the header containing the device address and the synchronization field. Then one has a message field (Response Field) in which information is transmitted with a control command from the master device or with a data packet from the slave device.



**Figure 2.6. Communication in the LIN bus on the example of blower fan speed control**

Errors occurring during data transmission or any damage are saved in the memory of the master device and can be read by means of a diagnostic tester. If the master and slave devices are unable to communicate with each other, the reasons may be as follows:

- Break or short in the transmission cable.
- Low voltage or damaged power supply.
- One of the devices has failed.
- Incorrectly selected slave device (after replacement).
- Incorrect or incomplete software (after replacement).
- Occurrence of electromagnetic interference.
- Too high resistance in cables due to contact corrosion, humidity or other contaminants.

However, if during LIN bus diagnostics errors cannot be read from the memory of the master device and the network has stopped working, then this is an indication of possible damage to the master device [6].

### 2.3. MOST bus

The MOST (Media Oriented Systems Transport) bus is one of the fastest networks found in cars and uses optical data transmission. Its speed is up to 22.5 Mbit / s, and the topology in which it works most often is a star. Usually it is used in ride comfort systems, entertainment, multimedia, as well as in passive safety systems, i.e. seat belts, airbags. This network uses fiber optic technology to achieve maximum speeds and avoid electromagnetic interference. Thanks to optical fibers, one has fewer cables in our installation, thanks to which the installation costs decrease, but making cables is a bit harder and more expensive than traditional ones.

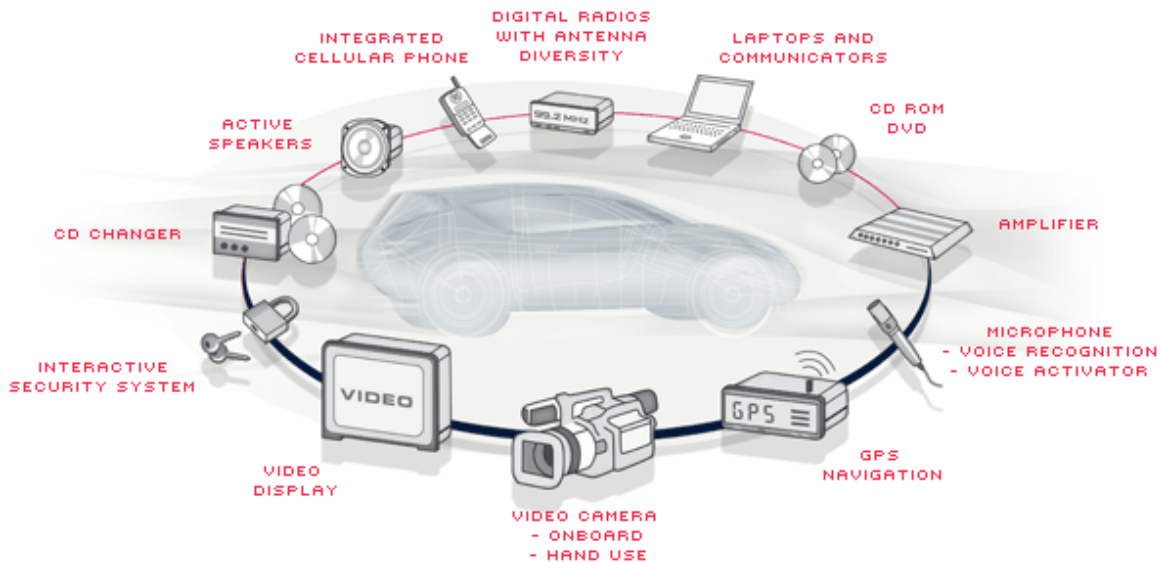


Figure 2.7. Devices connected by MOST[7]

The data transmission itself takes place by means of light signals sent by a red diode with a wavelength of 650 nm. These signals are received by a photodiode, from which they go to the transceiver that receives and sends data, then to the microcontroller which processes these data. There are a few nuances to remember about fiber optic cables.

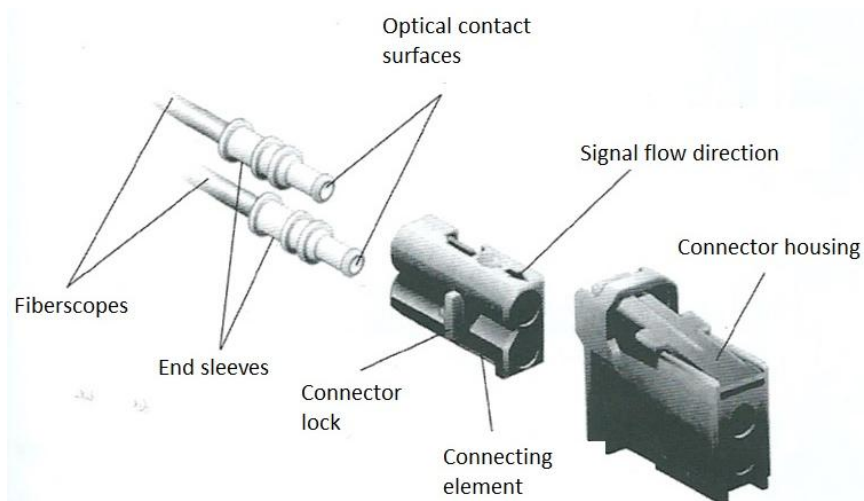
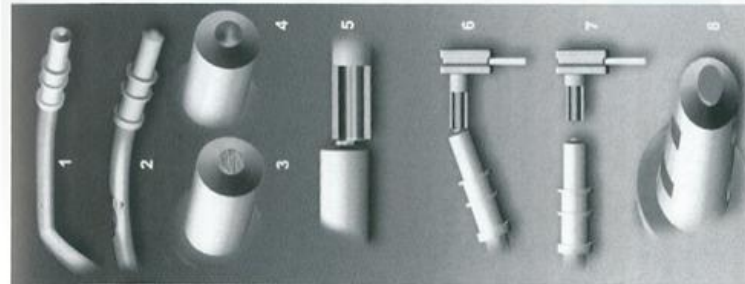


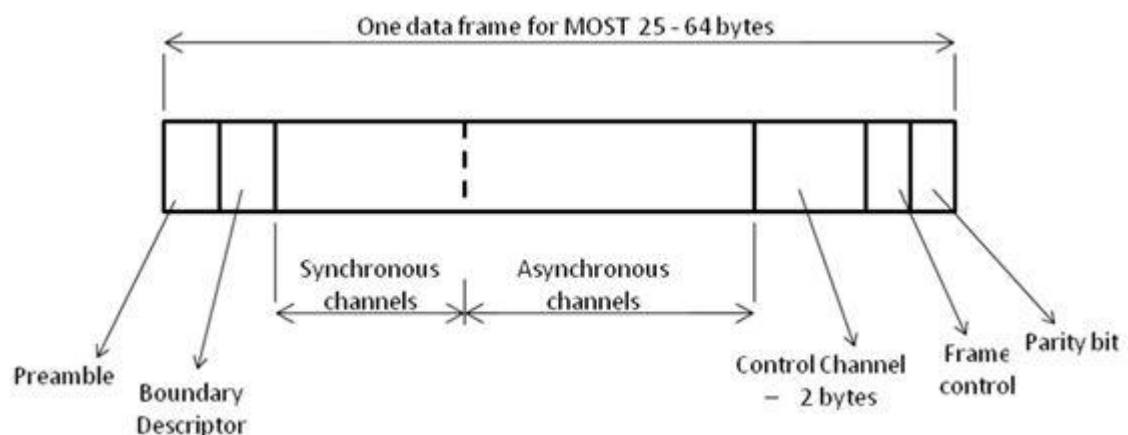
Figure 2.8. Plug connection in the fiber optic network

Fiber cannot be bent more than on a 25mm radius. Its coat cannot be scratched and the beam reflection angle is too sharp. It must not be subjected to high temperatures, chemicals or mechanical stress. Poor earning as well as the above drawbacks can lead to signal attenuation, which weakens the light and consequently the quality of transmission.



**Figure 2.9. The most common causes of signal attenuation: 1 - cable bending radius too small, 2 – defective outer layer reflecting light, 3 – jagged frontal Surface, 4 – dirty frontal Surface, 5 – offset faces in the connector, 6 – oblique fitting assembly, 7 – gap between the tips, 8 – crushed fiber optic**

The data frame of this network looks like this:



**Figure 2.10. Data frame in the MOST bus [8]**

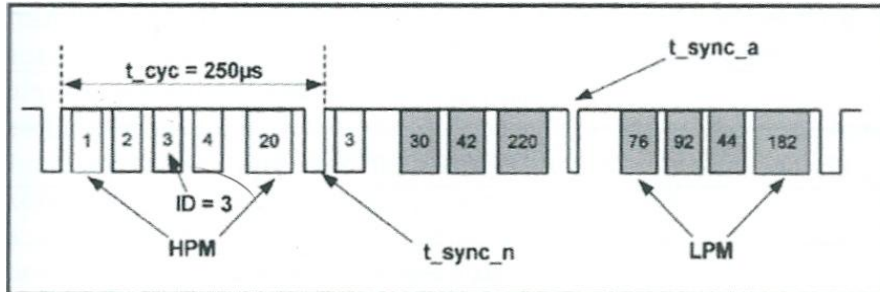
It consists of:

- Two Control Channel bytes assigned to the sender and recipient address and the control order.
- Frame control which contains additional status information.
- Parity bit A parity field that is intended for the control bit whose task is to recognize an irregularity in the transmission of information [6].

#### **2.4. Byteflight bus**

The Byteflight bus is a bus based on optical data transfer at a speed of 10 Mbit / s. It serves mainly for applications in safety-relevant control systems. Its feature is that, unlike other networks, one can control the time and priority of an event in it. Access to the bus is obtained accidentally or by the priority information method.

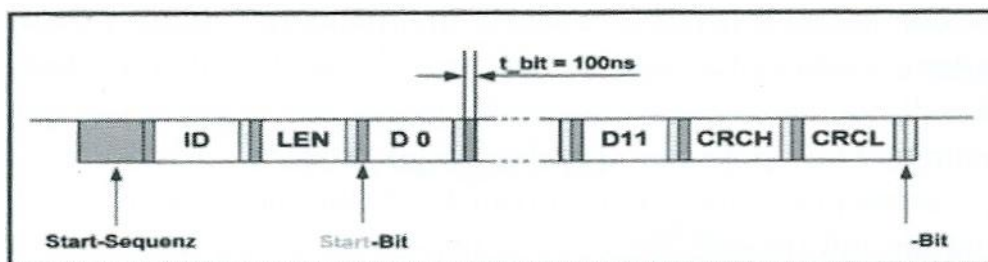
In this network, the basis for data transmission is an information cycle that lasts 250µs, and is separated by synchronization intervals broadcast by SYNC-Master, which is the main unit of the network. After the synchronization impulse, the time slots count down from 0-255 by all devices in the network. In the information one has an encoded identifier from 1-255 in which the priority of task performance is set.



**Figure 2.11. Time controlled Byteflight network data frame**

- ID – Identity.
- HPM – High priority messages.
- LPM – Low priority messages.
- t\_cyc - Duration of the pulse cycle.
- t\_sync\_n - Normal synchronization pulse.
- t\_sync\_a - Alarm synchronization pulse.

When the countdown of the time slots equals the identifier, a specific task is performed. However, if there is no information in the time slot, then the network counts down by which it works very quickly. Small identifier values are usually assigned to the most important elements (e.g. sensors), and higher to elements with lower priority. There is a rule that only the control device can send information, once during one cycle. This protects against overlapping messages, and thus the transmission is ordered. However, when a given order is triggered by a sudden event (airbag explosion), the network goes into an alarm state and the synchronization pulse time is half as short.



**Figure 2.12. Urgent event controlled Byteflight network data frame**

- ID – Identity.
- LEN - Length.
- D 0 - Data byte with value 0.
- D 11 - Data byte with value 11.
- CRCH - Cyclic Redundancy Check - high level.
- CRCL - Cyclic Redundancy Check - low level.

The data frame starts with a 6-bit start sequence, then the identifier is sent. The identifier is followed by a message that can have up to 12 bytes. Each data byte is separated by a start bit and a stop bit. Finally, two CRC (Cyclic Redundancy Check) bytes and two stop bits are sent. The duration of an urgent task is 4.6 to 16  $\mu$ s, depending on the amount of data being sent.

If an error occurs, it can be sent again in the next synchronization impulse. In addition, errors are saved in memory and if they were repeated they can be displayed in the form of a control [6, 9].

## 2.5. Flexray

Flexray is an interface created in 2000. by a consortium of BMW, Philips, Motorola and DaimlerChrysler. The aim of this consortium was to create a solution that will take advantage of the CAN bus, and at the same time solve the problem with its certain restrictions, i.e. too low transmission speed, lack of synchronization in the operation of nodes and one communication channel.

The latest FlexRay specification marked with the number 3.0.1 was presented in 2010. This interface is based on the OSI / ISO model and uses its three layers: physical, application (optional) and data links.

Devices connected with the FlexRay interface can create both a bus topology and a star. According to the specification, the distance between two nodes should not exceed 24 meters, and the maximum number of nodes in the network is 22. In the FlexRay interface one has two signal lines: Bus Plus (BP) and Bus Minus (BM). Each of the nodes is attached to both of these lines. Similarly to the CAN bus, information is sent by the differential method, assuming one of two states: recessive and dominant. A recessive state occurs when the voltage difference between Bus Plus and Bus Minus lines is equal to 0. However, the dominant state occurs in two cases, when:

- Bus Plus and Bus Minus voltages are 3.5V and 1.5V respectively, which represents logical 1.
- Voltages on lines change values, which represents logical 0.

Flexray uses two communication channels as opposed to older CAN and LIN interfaces. This allows one to send one message over two lines, which reduces the risk of not providing information. Each channel guarantees information transfer at up to 10 Mbps. If the doubling of the signal is not required, the channels can be combined with each other and create one channel with twice the bandwidth. The choice of one or two channels can be individually selected for each message.

Communication is synchronized using the time triggered communication mechanism. This mechanism due to the use of medium called TDMA (Time Division Multiple Access). This means that a network node cannot start transmitting data at any time. It can only do so within the time allotted to it by the system. Each node has its own time slot.[12]

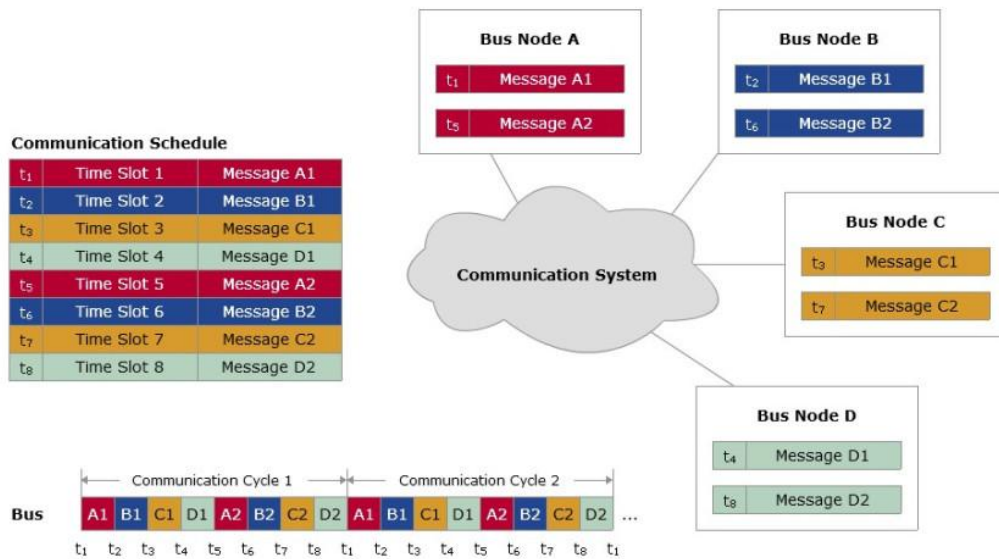


Figure 2.13. Communication scheme using the TDMA method[10]

In the Flexray interface, the data frame consists of the following fields:

- StFI (Startup Frame Indicator) – frame start indicator.
- SyFI (Sync Frame Indicator) – synchronization indicator.
- NFI (Null Frame Indicator) – frame content indicator (empty frame or data frame).
- PPI (Payload Preamble Indicator) – indicator of whether NMI (network management vector) or message identifier is sent in the data field.

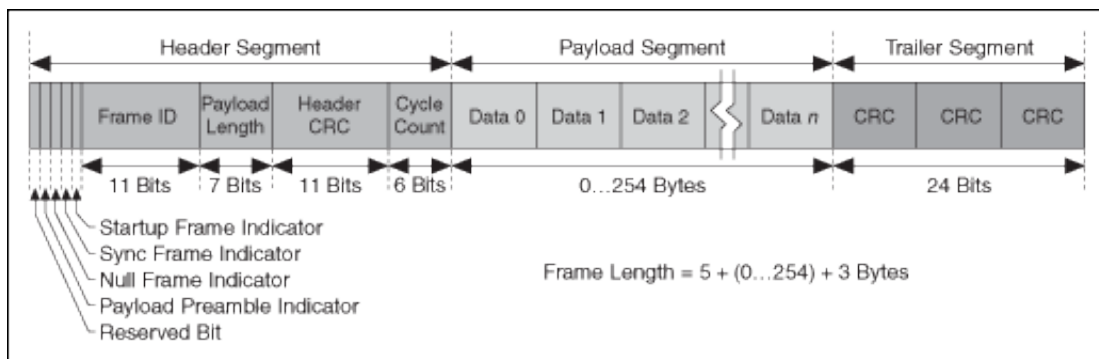


Figure 2.14. FlexRay data frame format [11]

- R (reserved) – bit reserved.
- ID (Identifier) – frame identifier (address).
- PL (Payload Length) – field informing about the number of bytes of data.
- CRC (Cyclic redundancy check) - checksum used to detect random errors occurring during transmission.
- CC (Cycle Count) – information about the cycle in which the frame is transmitted.
- Dane – data field (up to 254 bytes).
- CRC – second message checksum.



### 3. Summary

This article discusses the types of data transmission commonly used in vehicles. The operation of each of them is briefly outlined. The use of this type of communication between devices is also used in other industries. One can also see how it all developed over time, compare the pros and cons, and maybe find another application.

Currently, work is underway to introduce new systems that will be able to remotely connect with other cars and the environment in order to inform the driver about the current state of the road, hazards or traffic obstructions. This will be aimed at increasing the level of safety and fluidity of moving vehicles.

### Bibliography:

1. <https://warsztat.pl/artykuly/magistrale-transmisji-danych-w-pojazdach-samochodowych,57004,bm9uZSE1NzAwNCEhbm93b2N6ZXNueXdhcnN6dGF0LnBsL2FydHlrdWx5LzEwLTIwMTMvb2xlamUvMg>
2. <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-72a0056f42cbcd821bd8e40815e02633.webp>
3. <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-0819fa1f60c0d063dd5b073e022af22b.webp>
4. <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-b94ea862b148a79d76e3ffdb8514b7cb.webp>
5. [http://canbus.pl/images/csma\\_en.png](http://canbus.pl/images/csma_en.png)
6. Herner Anton, Hans-Jurgen Riehl, *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, wydanie 11, Warszawa, 2014
7. [https://www.mostcooperation.com/fileadmin/content\\_filestorage/content\\_images/motivation-for-most.gif](https://www.mostcooperation.com/fileadmin/content_filestorage/content_images/motivation-for-most.gif)
8. <https://autoelectricalsystems.files.wordpress.com/2015/11/test-48.jpg>
9. Colin R. Ferguson, Allan T. Kirkpatrick, *Internal Combustion Engines Applied Thermosciences*, John Wiley & Sons, Inc. edition 2, New York, 2000
10. <https://automotiveembeddedsite.wordpress.com/flexray/>
11. <http://zone.ni.com/images/reference/en-XX/help/372841W-01/flexrayframeformat.gif>
12. <https://ep.com.pl/files/11117.pdf>

## 6. THE EFFECT OF TEMPERATURE DURING BRAKING ON BRAKING SYSTEM COMPONENTS IN STEADY AND TRANSIENT CONDITION

**mgr inż. Radosław Krawczyk**

Faculty of Mechanical Engineering And Computer Science

Czestochowa University of Technology

Department of Mechanics and Fundamentals of Machine Design

Dąbrowskiego 73, 42 - 201 Częstochowa

E-mail: krawczyk@imipkm.pcz.pl

### 1. Introduction

Brakes are one of the most important systems in the construction of our car. Their task is to lose speed, which can be high in sports. They are the element of the vehicle that has the greatest impact on safety. It can be extremely dangerous when they go wrong but most of the time we get fair warning that the parts are going to need to be replaced.

Types of braking systems

Brakes used in motor vehicles can be divided into:

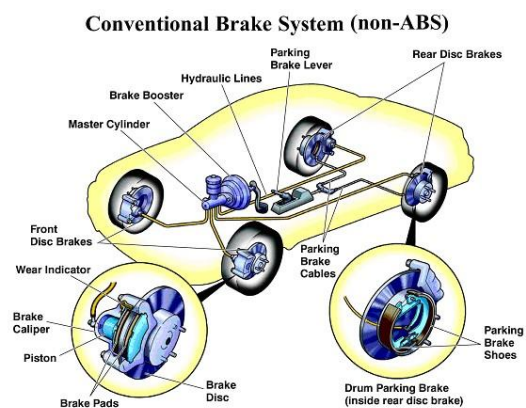
1) due to the construction and operating principle:

- disc,
- drum,
- belt,

2) because of the way it is run:

- hydraulic,
- pneumatic,
- mechanical,
- mixed e.g. pneumatic and hydraulic,

Source: medium.com



**Figure 1. Braking system in Cars**

Electromagnetic brakes are getting popular now-a-days. It uses electric motor that is included in the automobile which help the vehicle come to a stop. It is mostly found in hybrid and electric cars and uses an electric motor to charge the batteries and regenerative brakes.

A hydraulic brake system is composed of a master cylinder that is fed by a reservoir of hydraulic braking fluid. This is connected by an assortment of metal pipes and rubber fittings which are attached to the cylinders of the wheels. The wheels contain two opposite pistons which are located on the band or drum brakes which pressure to push the pistons apart forcing the brake pads into the cylinders, thus causing the wheel to stop moving.

Hydraulically operated disc and drum brakes are used in passenger cars. We often find disc brakes on the front axle and drum brakes on the rear. Due to the application, we distinguish two types of braking systems:

basic - called working, it is usually a hydraulic system, additional - colloquially called the handbrake, parking or emergency brake, it is most often the system of levers and tie rods currently being replaced by electro-pressure systems.

Frictional Brake System it is the traditional braking system and commonly found in most of the automobiles. They are service brakes, and typically found in two forms; Pads(Disc) and Shoes(Drums). As the name implies, these brakes use friction to stop the automobile from moving. The pads are located on top of the disc which is rotating with the front wheel, and the shoes are located inside the drum which is rotating with the rear wheel. The pads will close in on the disc and stop the vehicle and the shoes will expand and rub with drum to stop the vehicle.

Temperature in the braking system is a very important element affecting the quality and safety of driving. Usually, most organic brake pads look very similar when it comes to temperature. Such a mixture included in the friction linings works well with a load in the range of 350-400 degrees C. It is surprising that nobody is inquiring about what temperature range can be bricks from manufacturers such as Ferodo or TRW. A clear standard, typical for a given class, does not exist here, in practice the thermal parameters of individual blocks may vary. For example, some budget brake liner manufacturers are increasing the proportion of organic tar in the composition.



**Figure 2. Brake temperature**  
Source: quora.com

Such a procedure significantly reduces the temperature limit of such products to 250-280 degrees C. And if someone thinks that 250 degrees C. is a very remote value that you will never reach in your car during braking, we ensure: long-term braking for example a long descent at a speed of about 80 km / h in a few minutes will lead our car's brakes to the aforementioned border. To put it simply: it is enough to accelerate the car to 60 km / h three times on an even road and brake strongly to a stop to reach the temperature limit of 300 degrees C.

## 2. Structure and operation of the system

Referring to physics, we can say that the role of the braking system is to cause a force acting on a moving car with the opposite direction to its movement in order to reduce the speed of the car or stop it. Translating this into a more accessible language, it can be said that modern brake systems operate on the basis of Pascal's law.

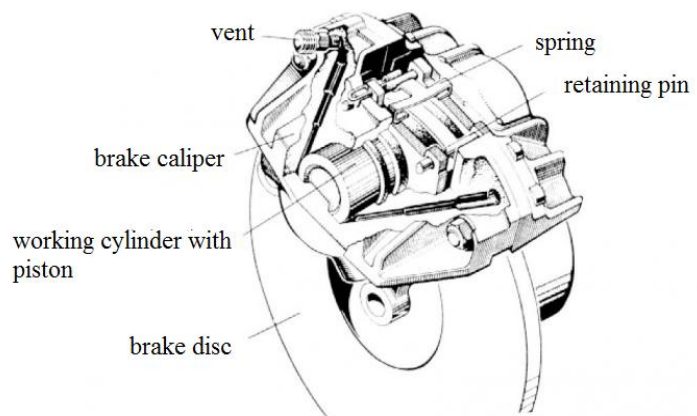
Thanks to the constant pressure in the closed hydraulic system, we can increase the pressure on the working elements (cylinders, blocks, jaws, discs, drums). Pressure on the brake pedal results in an increase in the pressure of the fluid (brake fluid), which evenly affects all components of the braking system. As a result, the multiplied force presses the friction elements against the brake disc or drum causing friction causing a reduction in speed or stopping the car.

During braking, the kinetic energy of the braked vehicle turns into heat, which results in the need to remove the resulting heat from the braking system components. In disc brakes, the friction force is created by pressing flat friction pads against the flat surfaces of a rotating brake disc with a wheel hub.

Brake discs are made as iron castings. In the drum-brake brakes, the braking moment arises due to the friction between the inner surface of the brake drum rotating together with the wheel of the brake drum and the brake shoes located inside the drum and secured against rotation.

These are the components used in brakes system:

- **Brake Pedal:** It is located in the center of the accelerator and clutch pedal. The brake system is activated only after pressing this pedal.
- **Fluid Reservoir:** It is the brake fluid or brake oil which is used on the braking system.
- **Fluid Lines:** These are pipes through which the brake fluid flows in the vehicle.
- **Brake Pads:** Steel backing plates used in disk brakes. It is usually made of ceramic, metal or other hard-wearing composite materials.
- **Brake Shoes:** 2 pieces of sheet steel welded together that carry the brake lining.
- **Brake Drum:** It is the rotating drum-shaped component used in drum brakes.
- **Rotor:** It is a cast iron brake disc connected to wheel and/or axle, sometimes made of reinforced carbon-carbon, ceramic matrix or other composite.
- **Brake Lining:** It is heat-resistant, soft but tough material with a high friction characteristic housed inside a brake shoe.
- **Piston:** It is a moving component contained by a cylinder.
- **Caliper:** A device on which brake pads and pistons are mounted
- **Floating Calipers/Sliding Caliper:** It moves relative to rotor; uses a piston on a single side of disc to push inner brake pad into braking surface before pulling caliper body in to apply pressure on opposite side of disc.
- **Fixed Calipers:** It does not move relative to rotor and is sensitive to imperfections; uses one or more single pairs of opposing pistons to clamp from each side of the rotor.
- **Master Cylinder:** A device that converts the non-hydraulic pressure from your foot into hydraulic pressure and controls slave cylinders at the opposite end of the hydraulic system.
- **Vacuum Booster:** A component used to enhance the master cylinder and augment pressure from a drivers foot through the use of a vacuum in the engine intake; only effective while vehicles engine is running.



**Figure 3. Disc Brakes**

Source: rallyandrace.pl

Quite often, if there is no specific information on the label, experts on automotive topics mix these types of blocks together, giving them incredible properties - including temperature resistance. Brake pads can be divided into three groups:

- 1) Civilian brake pads. This group includes original components and replacements of comparable quality. These are homologated spare parts - that is, useful for everyday driving. Their temperature range is 0-350 degrees C. (Ferodo, TRW, ATE and the like).
- 2) High performance brake pads (including ceramic). Approved, but useful for everyday driving, with enhanced composition. In this case, the temperature range is 0-600 degrees C. These are Power Stop, EBC, Green stuff, Ferodo DS2000, Power Friction and other products adapted for use on public roads.
- 3) Sports friction linings. They do not have road approval, which means that they are prohibited on public roads. This group includes EBC Blue stuff, Ferodo DS2500, Hawk. Sometimes the lower bound raises discussions. It is about braking efficiency at zero temperature. Recall that the blocks from the first and second groups do not require prior heating before use - they are effective from 0 degrees C. However, sports brake blocks from the third category need to be warmed up mandatory. We cannot use such products on public roads.

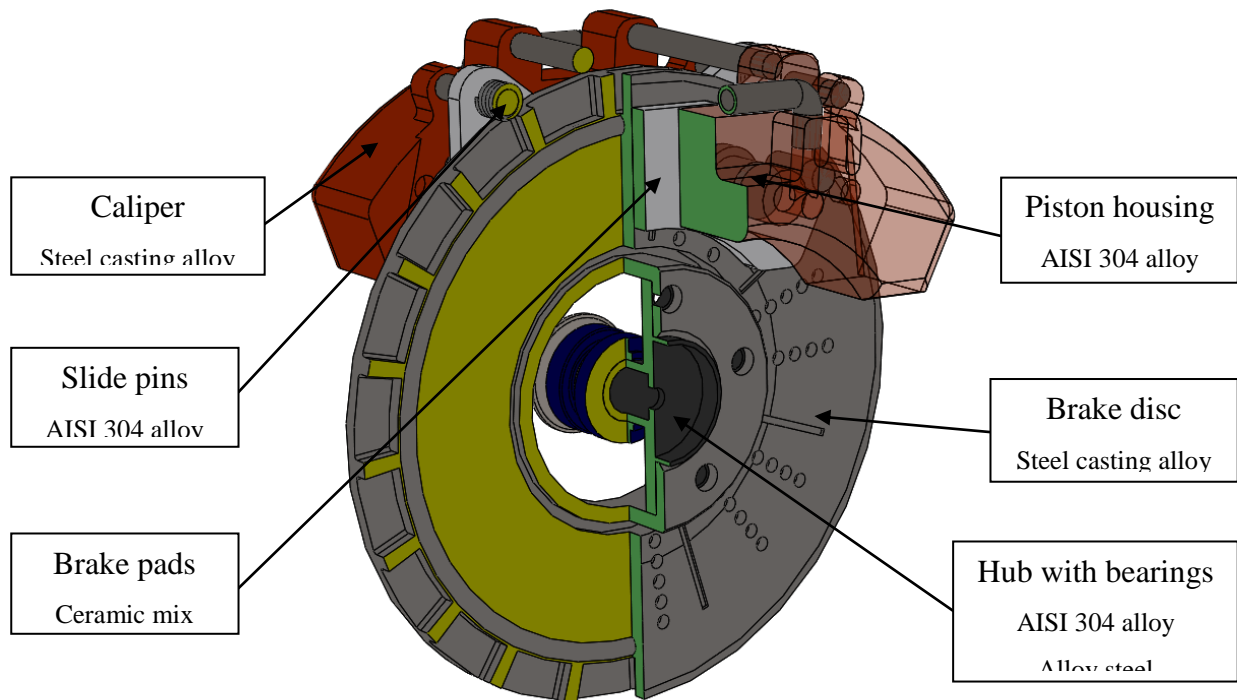
The impact of temperature on the effectiveness of the braking process cannot be overestimated. The coefficient of friction of brake pads usually depends strongly on the temperature of the pads and the discs cooperating with them. Here you can cite an example directly from the car engine: the current available torque value always depends on the current speed of the crankshaft. Also, the friction coefficient should be presented under the curve substitution, which has its origin at zero. The next one rises quickly with the temperature increase of the braking system working elements, then it begins to decrease sharply when it reaches about 300-350 degrees C. After exceeding the mentioned 300-350 degrees C. the braking distance begins to increase uncontrollably. Are you probably wondering what is happening at the moment with the brake pads?

Organic friction linings begin to burn and give off in the form of gas. The gas, in turn, produces a kind of "airbag" between the working surface of the brake pads and discs. As a result, reducing their effectiveness. This phenomenon in the world has received the name "fade friction".

Wide temperature area - not yet an indicator of effectiveness. Over the entire temperature range, the friction coefficient is not stable. There are constantly larger or smaller deviations from the average value - which is a completely normal phenomenon. For some manufacturers, the curve depicting the changes in the friction coefficient can take a very sharp shape - it grows quickly and falls even more sharply resulting in a decrease in the efficiency of the braking system. For example, Black brake pads show only unstable behavior.

### **3. Mechanism design**

The model was made in SolidWorks and includes: a ventilated brake disc that has a diameter of 350 millimeters, brake pads, caliper, slide pins, piston housing, hub with bearings.



**Figure 4. Section of the model with materials**

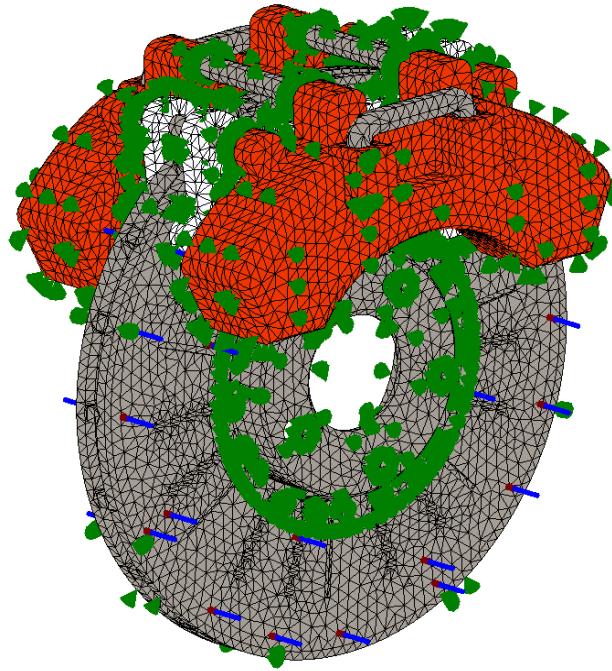
The grid parameters for each study were determined in one way. This allows us to get graphs of temperature distribution without entering the error caused by variables. The table below presents the basic parameters of the grid.

**Table 1. Grid parameters**

Jacobian points	4 points
Element size	8 mm
Tolerance	0.5 mm
Total nodes	163986
Total elements	103340
Maximum Aspect Ratio	29.859
Percentage of elements with Aspect Ratio <3	92.9
Percentage of elements with Aspect Ratio >10	0.304

The element size, tolerance and Jacobian points\* have been defined by the user.

\*The Jacobian check is based on a number of points located within each element. The software gives you a choice to base the Jacobian check on 4, 16, 29 Gaussian points or At Nodes. It is recommended to set Jacobian check to At Nodes when using the p-method to solve static problems.



**Figure 5. Model with mesh and thermal load**

The model has been simplified by excluding elements such as the hub with bearings and springs. These elements do not affect the results, and their absence accelerates the calculation procedure. During the study, two states were considered for the type of solution. Each state has its own types of thermal load and associated phenomena. All the details are described in the next chapter.

#### **4. Thermal load - steady state**

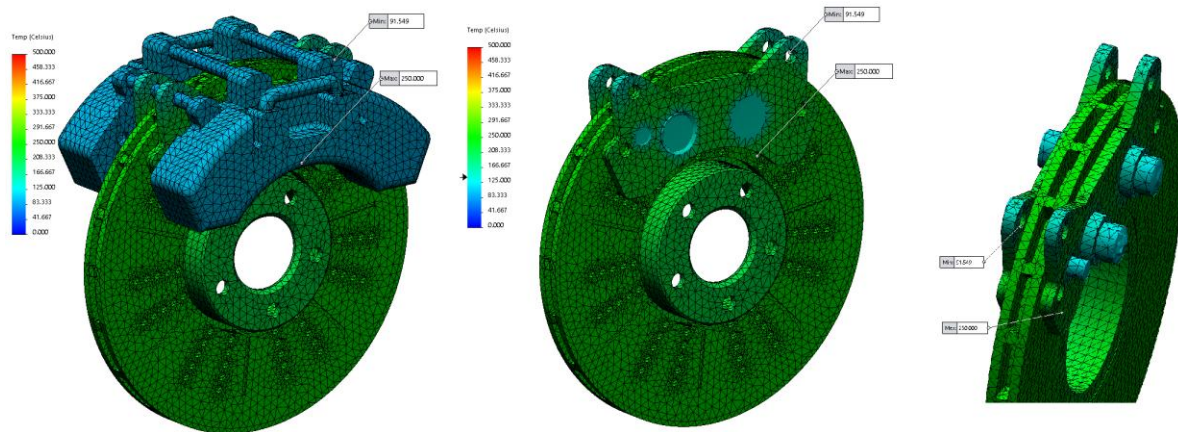
Steady state - the state of the physical system in which the description of this system is independent of the time variable. This does not mean a lack of movement, heat flow, electricity and the like, but only the invariability of these quantities over time.

The following thermal loads were selected for the steady state:

- Initial temperature - 16C,
- Temperature generated by friction - 250C/350C/500C,
- Convection for braking system components - convection coefficient -  $10\text{W} / (\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,
- Bulk Ambient Temp. – 290 K.

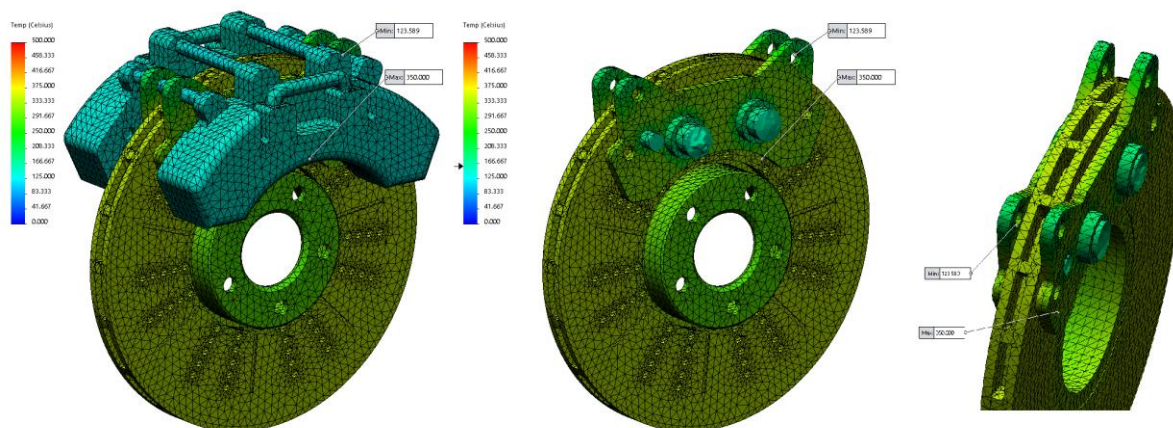
A special area (on the diameter) of brake pad contact has been separated on the brake disc.

The first case for steady state is a thermal load of 250 degrees Celsius. The graphs below present the temperature distribution on all elements of the tested system.



**Figure 6. The first case - 250 degrees Celsius thermal load**

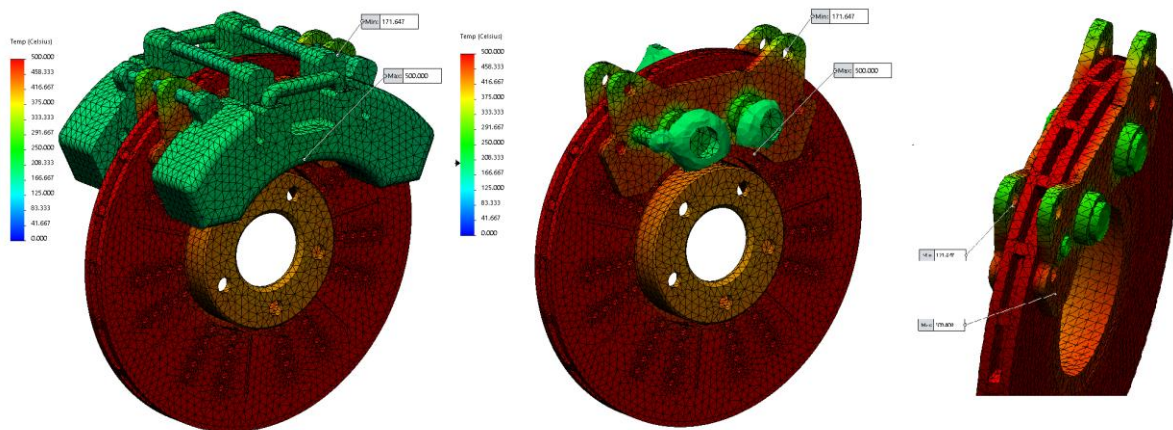
From the graph, we can see that when the brake pads contact the brake disc, the heat generated as a result of friction is not transferred to the neighboring elements to a large extent. The minimum temperature we received for a steady state under a load of 250 degrees Celsius and the above parameters is 91.5 degrees Celsius. Assuming that the critical value is 500 degrees Celsius, we are not able to overheat the system.



**Figure 7. The second case - 350 degrees Celsius thermal load**

A similar situation was presented for the second case with a load of 350 degrees Celsius. The minimum temperature we received is 123.5 degrees Celsius. The highest temperature occurred on the brake disc on the diameter of the attachment of the brake studs (at the point of contact).





**Figure 8. The third case - 500 degrees Celsius thermal load**

The last case for the steady state is a critical temperature load of 500 degrees Celsius. The minimum temperature reached by the "cliper" element is 171.5 degrees Celsius. As in other cases, the maximum temperature is on the brake disc, but it is not distributed evenly over the entire element. We can conclude that the structure and additional tunnels contribute to proper convection.

As above, the steady state allows the final result to be obtained, which without interference from outside cannot change.

## 5. Thermal load - transient

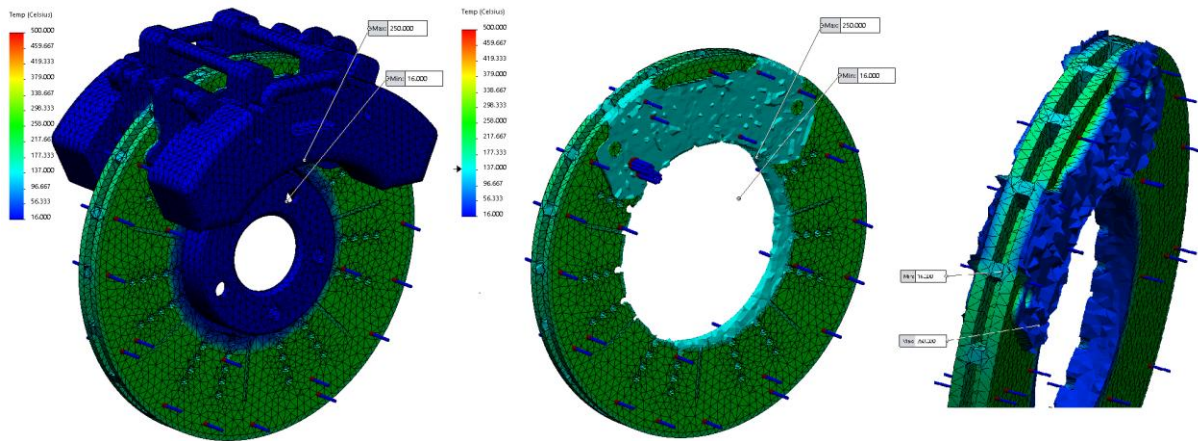
The transient state is defined as the state in which one in equilibrium conditions is unfulfilled. There are three basic equilibrium conditions: mechanical equilibrium, thermal equilibrium and chemical equilibrium.

The following thermal loads were selected for the transient state:

- Initial temperature - 16C,
- Temperature generated by friction - 250C/350C/500C,
- Convection for braking system components - convection coefficient -  $10\text{W} / (\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,
- Bulk Ambient Temp. – 290 K.
- Test time - 5 seconds
- 0.5 second step of time

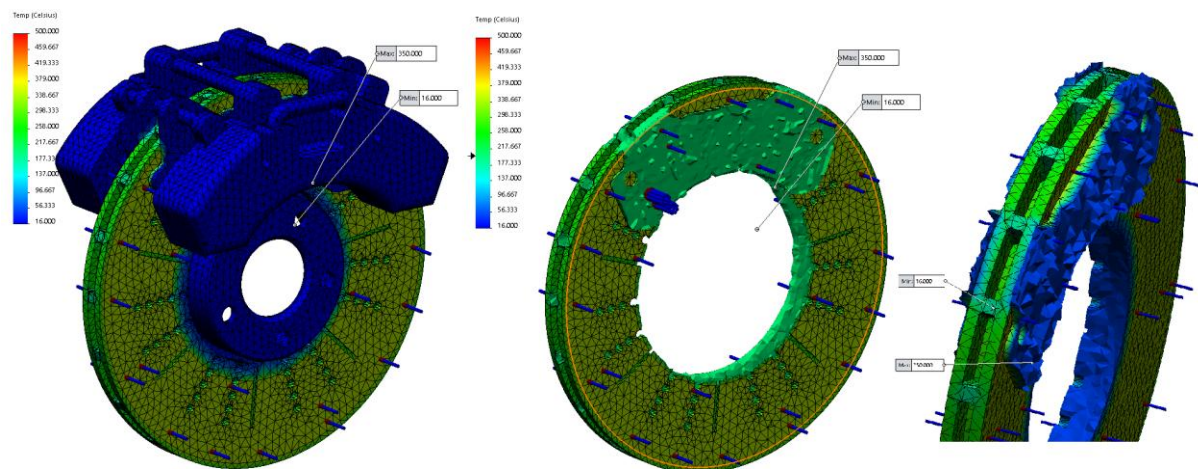
A special area (on the diameter) of brake pad contact has been separated on the brake disc.

The first case for transient is a thermal load of 250 degrees Celsius. The graphs below present the temperature distribution on all elements of the tested system.



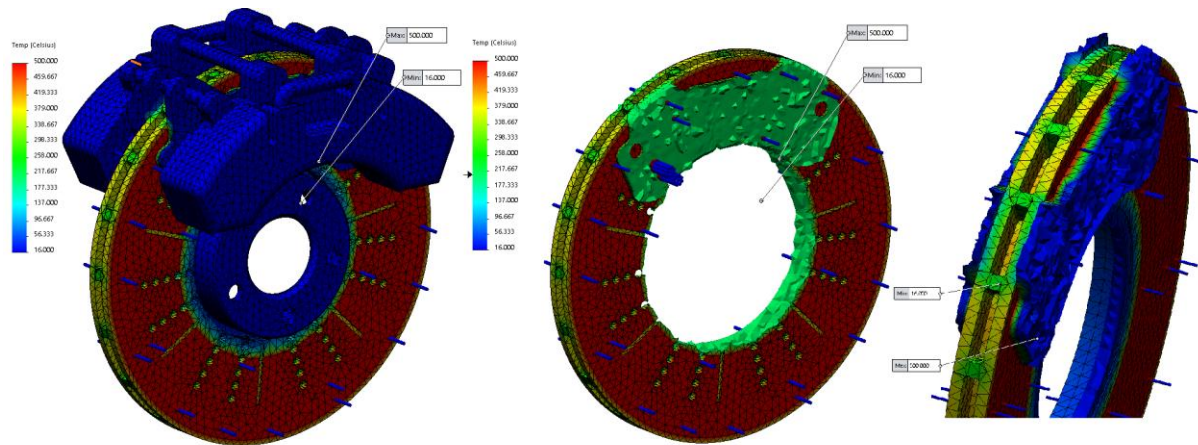
**Figure 9. The first case - 250 degrees Celsius thermal load**

For this type of research, we received different charts compared to the above. For the transient state we have a set duration and a time step for the progression. The test allows to determine what temperature we receive on individual elements in a given time. By using the "iso clipping" function we are able to show the limits of temperature distribution for elements. For 250 degrees Celsius, the ranch is 140 degrees Celsius (this means that only the temperature above this value will be displayed on the graph) as shown in the chart above. The second case for the transient with 350 degrees Celsius.



**Figure 10. The first case - 350 degrees Celsius thermal load**

For a 350 degrees Celsius load, the temperature distribution is similar to the first case. After five seconds, the brake disc on the outer edge reached a temperature of 258 degrees Celsius. In turn, the brake pads, as we can see in the chart, have not warmed up to half, which may indicate a coefficient of friction.



**Figure 11. The first case - 500 degrees Celsius thermal load**

The last case for the transient is a critical temperature load of 500 degrees Celsius. Here we can already see significant temperature differences on the graph. After 5 seconds of braking, the outer part of the disc (brake pad caliper) reached its maximum value. Other elements after such a short time were not able to take over the high temperature. The average temperature for a brake disc is 269 degrees Celsius. Thanks to the ceramic brake pad, the heat exchange between the elements of the system is slowed down, which in turn protects the components from overheating and allows safe driving.

The study does not take into account many external factors affecting e.g. convection or radiation. In the future, it is recommended to carry out more simulations for a wider temperature range. The temperature distribution for longer braking and the temperature distribution for the transient after the initial steady state should also be considered.

### **Bibliography:**

1. Hazewinkel Michiel, Encyclopaedia of Mathematics, Kluwer Academic Publishers, 1993
2. Jan Szargut, Termodynamika, PWN, Warszawa 2013.
3. Jerzy Walentynowicz, Termodynamika techniczna i jej zastosowania, Wojskowa Akademia Techniczna, 2009.
4. John Edward Akin: Finite Element Analysis Concepts Via SolidWorks, World Scientific Publishing, 2010.
5. Sanford Klein, Gregor Nellis, Thermodynamics, Cambridge University Press, 2011.
6. Skalmierski B., Mechanika - Podstawy mechaniki klasycznej cz. I / II, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 1998.
7. Stefan Wiśniewski, Termodynamika techniczna, WN, Warszawa 2014.
8. Dassault Systems: Introduction to simulation. SolidWorks Simulation.
9. Dassault Systems: SolidWorks Simulation. SolidWorks 2016 Training.
10. Podstawy wymiany ciepła, Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków, 2014.

## 7. COMPRESSOR STATION OPERATION OPTIMIZATION WITH GENETIC ALGORITHM

**Takerhi Matthew Efe**

AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland;

E-mails: efe@student.agh.edu.pl, matthewtakerhi@yahoo.com

**Abstract:** The common Compressors used in gas network are the centrifugal and reciprocating compressors, powered by gas turbine or electric motor, which are grouped together to achieve either a higher flow or compression. Optimization of the compressor station takes the various on and off states and the flows within the compressors, which are the substates, each substate is made up of integer and continuous variables, where the integer variable is the on and off state of the compressor and the flow in each compressor is the continuous variable. The process of turning on a compressor involves more energy, and continuous operations consume gas from the pipeline, where compressor operation are constrained by the surge-line, choke-line and speed of the compressor. Compressor station may consist of different type of compressors, with different efficiencies, the inlet flow must be controlled within the compressors to meet the discharge pressure such that the operation remains within the safe limits and fuel consumption minimization. The goal of optimization of compressor operation is to minimize the fuel consumption and or the power consumed, by switching the compressors on or off and distribution of inlet flow within the compressors, to determine the optimum flow distribution. This paper looks at the compressor station optimization problem and how it can be solved with genetic algorithm, based on python and the deap framework.

**Keywords:** Genetic Algorithm, centrifugal, reciprocating compressor

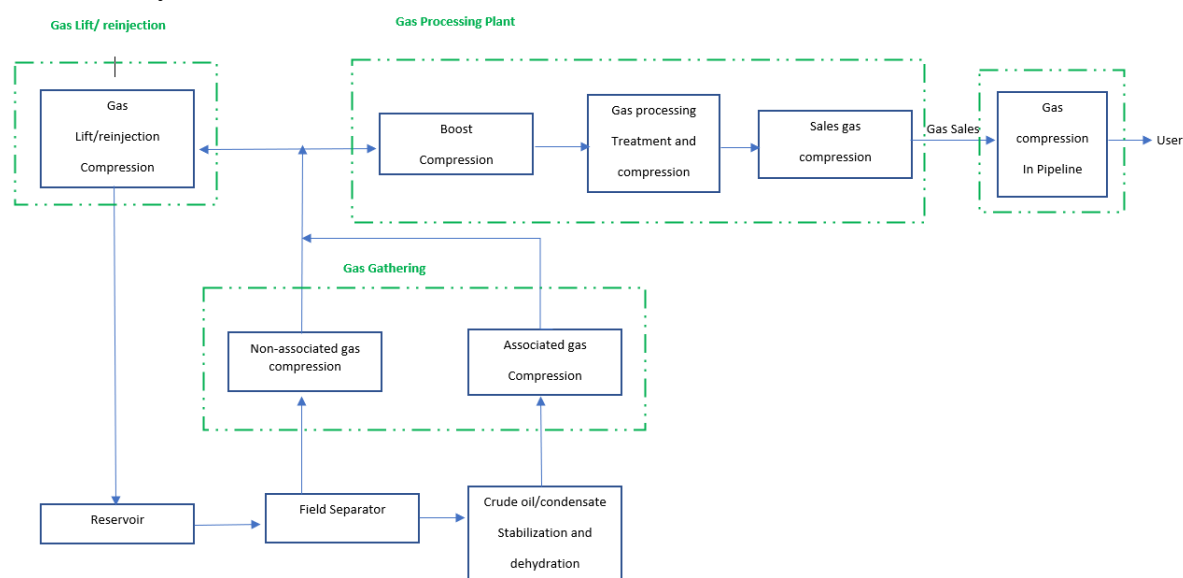
### 1. Introduction

The global energy demand increased about 35 percent and is expected to increase further by 7 percent from 2015 to 2030, (DNV GL, 2017), growth in natural gas demands has contributed mostly in the growth in energy from 2010 to 2018, increased demand is attributed to several areas, the shale revolution in the united states; china, due to economic growth and air quality concerns; and in the middle east due to economic diversification from oil. Although restriction in international travels and lower industrial demand in 2020, has led to fall in prizes in crude oil and natural gas, demand for gas is expected to rise during the winter of 2020 and in the long run, the global gas demand are expected to keep growing until 2035 and flatten around 2040, due to increased energy efficiency and growth in renewable energy, (IEA, 2019).

Natural gas is transported mostly by pipeline reaching thousands of kilometers across international borders, due to the great distance covered, the properties of the natural gas are drastically affected. Significant pressure losses occur, which lead to the inability of the gas to flow to the required destination and with undesirable properties, pressure loss is attributed to viscosity, pipe surface roughness, friction, temperature changes and elevation. To compensate for the pressure loss, compression is applied to gas flow at various locations, after gathering from separator; at reinjection application; boost compression before processing facilities; sale gas compression; and compression in transmission pipelines, (Timothy C. Allison, Avneet Singh, Joseph Thorp, 2019). The areas where compression is applied to gas flows are shown

in figure 3. Compression of gas is carried out by compressors, which are powered by drivers, such as gas turbines or electric motors. Compressors are usually arranged in groups known as compressor station where each compressor is powered by its driver and together are in parallel arrangement to obtain greater flow and in serial arrangement to obtain greater pressure ratio and discharge pressure. The operation of compressor station consumes about 2 to 5 percent of the natural gas in the pipe, and optimization of compressor station operations significantly reduce cost and pollution. Compressors are classified into two main groups, positive displacement compressors and dynamic compressors, positive displacement compressors operate on a trapped volume of gas, while dynamic compressors operate by continuously increasing the momentum of gas flow through them, examples of positive displacement compressors include reciprocating compressors and screw compressors, while dynamic compressors include centrifugal, axial and mixed flow compressors (Kevin Hoopes, Timothy C. Alison, Rainer Kurz, 2019).

In their work (J. Hadad and R.M. Behbahani, 2013), given throughput, Genetic algorithm was used for multi-objective optimization of a compressor station to minimize the fuel consumption which comprises of four similar compressors in parallel, driven by four similar gas turbine and cooled by four similar coolers. T.M Elshiekh, 2015, used genetic algorithm, to minimize the fuel consumption by optimizing the speed of two centrifugal compressors, from the result there was improvement is the speed and it was confirmed with a Ling software, there were also reduction in mass flow rate and fuel consumption. Another approach was to minimize the fuel consumption of the drivers a compressor station with three parallel compressor and one other compressors controlled by a valve and by summing the fuel consumed of each compressor while considering speed and head limitation and using genetic algorithm to determine the minimum fuel consumption of the group of compressors, the control variables employed are: compressor load sharing in mass flow shared among the compressors; compressor performance curve constraints (head verse flow, and efficiency verses flow(m<sup>3</sup>/hr); temperature and pressure drop of aerial coolers, (Golnaz Habibvand and Reza Mossayebi behbahani, 2012) .



**Figure 1. Compression Application in Oil and Gas field (Timothy C. Allison, 2019)**

Zhenwu Zhang and Xiantao Liu, 2017 noted the limitations of genetic algorithm, although Genetic algorithm solves several solutions at a time, it's still limited by lacking an exact way to adjust the fitness values, secondly by early maturity, where it leads to a local optimal solution rather than the global solution and third, as it gets closer to the solution it tends to converge slowly. Due to these limitations they proposed, a new formula for fitness value, a new formula for crossover mutation probability, with improvements in calculation time and higher accuracy. Zhenwu Zhang and Xiantao Liu, 2017 proposed two objective function is to determine the maximum benefit from the natural gas transmission and the maximum flow benefit, the sale price and different user requirements, income were considered for the maximum benefit. from their (Zhenwu Zhang and Xiantao Liu, 2017) proposed improved genetic algorithm and compared to basic genetic algorithm significant improvement in optimized flow were obtained, their approach was to modify the fitness vale to prevent slow convergence as it tends to the optimal solution, the formula for probability of cross over and mutation were also dynamically adjust the probability of crossover and mutation.

Changjun Li, Wenlong Jia, Yi Yang and Xia Wu, 2011, modified the genetic algorithm known as adaptive genetic algorithm, by dynamically generated improved crossover probability and mutation probability and the procedure of the adaptive genetic algorithm in order include: Generation of initial population which were sets of optimization variables; the variables which are also genes in the chromosomes were stored as real value; evaluation of the fitness value, which combines the objective function, equality and inequality constraints; the selection probability is estimated and used by the roulette wheel selection method, the roulette wheel repeated by the number of individual; the crossover probability is estimated and used for the crossover operator; the probability of mutation is also generated and used for the mutation operator; finally termination conditions are checked if they met, the algorithm stops, else its evaluates the fitness value.

## **2. Compressor Operation**

For centrifugal compressors, Gas flows are passed through the inlet and their velocity are increased, and the process of decrease the velocity leads to an increase in pressure and temperature at the discharge outlet. Usually compressors operate safely within the choke and surge limits and at different speeds. The compressor performance curve helps to limit compressor operation and optimize compressor operation by ensuring it operates at below or at its maximum efficiency. The performance curve includes the Head/efficiency performance curve, Discharge pressure/horsepower performance curve, Pressure ratio/efficiency curve. The compressor performance curve is used to determine the operating region of the compressor and the best cost-effective point, which is at the point of maximum are shown in figure 2 and 3.

The energy required to compress a gas in an adiabatic process is referred to as the isentropic head and for a gas at a certain suction pressure and temperature and delivering it at a certain output pressure, the isentropic head is expressed in equation 1, as shown depends on the pressure ration. The pressure ratio of a centrifugal compressor is usually linked with

a specific term named “head” , expressed in meter for compressors, The head developed by the compressor is defined as the amount of energy supplied to the gas per unit mass of gas (F.Tabkhi, L. Pibouleau, C. Azzaro-Pantel, S.Domenech, 2009). The isentropic head represents the energy input required by a reversible adiabatic compression, we can, for an isentropic compression of a perfect gas, relates the isentropic head, temperature and pressure by equation 2.

$$\Delta h_s = c_p T_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (1)$$

Where:  $\Delta h_s$ - Isentropic head;  $c_p$ - heat capacity at constant pressure(J/kmol K);  $T_1$ - temperature at the suction;  $p_1$ - inlet pressure;  $p_2$ - discharge pressure;  $k$  – Isentropic exponent. From [4] the compressor isentropic head is given by equation 3

$$\Delta h_i = \frac{Z_s R T_s}{M} \frac{k}{k-1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (2)$$

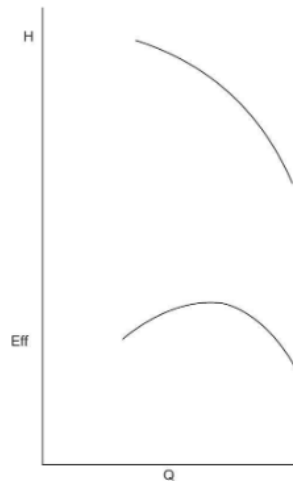
Where:  $h_i$  – Isentropic head;  $Z_s$  – Compressibility at the suction;  $R$  – Gas constant;  $M$  – Molecular Mass;  $k$  – isentropic exponent;  $p_2$ - discharge pressure;  $p_1$  – suction pressure.

To determine the degree of cooling necessary the discharge temperature is determined from the pressure ratio for an isentropic compression, expressed in equation 3.

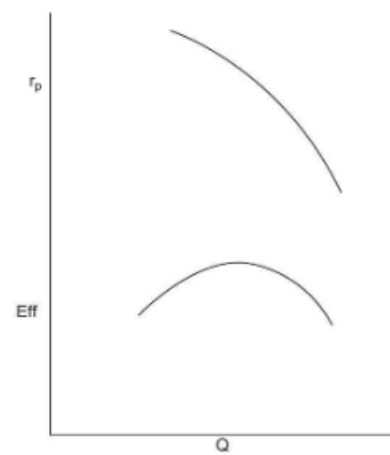
$$\frac{T_2}{T_1} = T_1 * \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} + T_1 \quad (3)$$

Where: $T_2$  – *dischagre temperature*;  $T_1$  – *inlet temperature*;  $P_2$  – *dischagre presssure*;  $P_1$  – *inlet presssure*;  $k$  – Isentropic exponent ( $k = c_p/c_v$ ).

In order to fully define the isentropic compression process for a given gas, suction pressure, suction temperature and discharge pressures must be known .To define the polytropic process, in addition either the polytropic compression efficiency or the discharge temperature must be known (Kevin Hoopes, 2019).



**Figure 2. Head, efficiency performance curve [M. Theodore Gresh, 2001]**



**Figure 3. Pressure ratio, Efficiency Curve, [M. Theodore Gresh, 2001]**

The compression process in a centrifugal compressor can be well formulated using isentropic process aiming for calculating Horsepower for a compressor station, [4]. The mechanical Power  $P$  necessary to drive the compressor is the gas absorbed power increased by all mechanical losses, expressed by a mechanical efficiency  $\eta_m$ , mechanical Power is expressed by equation 4.

$$P = \frac{1}{\eta_m} * \dot{m}\Delta h = \frac{\dot{m}\Delta h_s}{\eta_m\eta_s} \tag{4}$$

Where:  $P$ - mechanical Power;  $\dot{m}$  – mass flow rate of compressed gas (kg/s);  $\Delta h_s$  – Isentropic head(m);  $\eta_m$  - mechanical efficiency;  $\eta_s$  – *Isentropic efficiency*.

The isentropic exponent calculated by the heat capacity of the components in gas and their mole ratio using equation 5.

$$k = \frac{\sum(C_{pi}y_i)}{M\sum(C_{pi}y_i)-R} \tag{5}$$

Where:  $k$  – Isentropic exponent;  $C_{pi}$ - heat capacity of the gas component;  $y_i$ - Mole fraction;  $M$ - Molecular mass of gas;  $R$ - universal gas constant.

### 3. Constraints of Compressor Operation

Compressor operation are limited by the speed of the compressor, are bounded by the surge and choke, and the discharge temperature of the compressor must not exceed certain limits.

[6] explained that the compressor speed, the ration of flow to speed and the head and mass flow rate are constrained as shown by equation 6, 7, 8 and 9.

$$S_{i,min} \leq S_i \leq S_{i,max} \tag{6}$$

$$surge \leq \frac{Q_i}{S_i} \leq stonewal \tag{7}$$

$$H_i^L(Q_i) \leq H_i \leq H_i^U(Q_i) \tag{8}$$

$$Q_i^L \leq Q_i \leq Q_i^U \tag{9}$$



#### 4. Genetic algorithm

The basic two type of optimization algorithm are gradient based and Stochastic, genetic algorithm are under the stochastic optimization. Genetic algorithm is a simplified form of Darwin’s evolution.

Genetic solves a certain problem by first creating a population of initial solution and evolve this fixed populations towards a population with the best solutions, it does this by progressively generating multiple generations, in every generation iterations of estimating the fitness of individuals, selection of individuals to breed to generate the next generation, individuals to be selected are based on random process and the fitness value, then with the selected induvial cross breeding is applied to generate new individual for the new generation.

Generic algorithm has been used to solve the following, oneMax, Rosetta code knapsack, travelling salesman problems, vehicle routing problem, N-queens problem, nurse scheduling problem and for optimizing continuous function, such as the Egg holder function (Eyal Wirsansky, 2020).

To prepare a problem for genetic algorithm, the combination of the parameters is represented by Chromosomes, where the value of each gene is the chromosomes are represented by binary, integer or real numbers. In biology the fittest induvial come together to breed, and in the algorithm, it is represented by Selection Operators, while exchanging genetic material is represented by the crossover operators. Cross over operators facilitate the exchange of genes. Figure 4 shows a binary chromosome for a single individual. Genetic algorithm maintains a population of individual, each with a chromone, thereby multiple individuals creates a pool of chromosomes shown in figure 5.

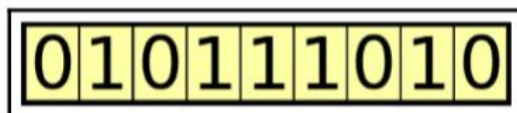


Figure 4: An individual represented by a binary Chromosome, ( Eyal Wirsansky, 2020)

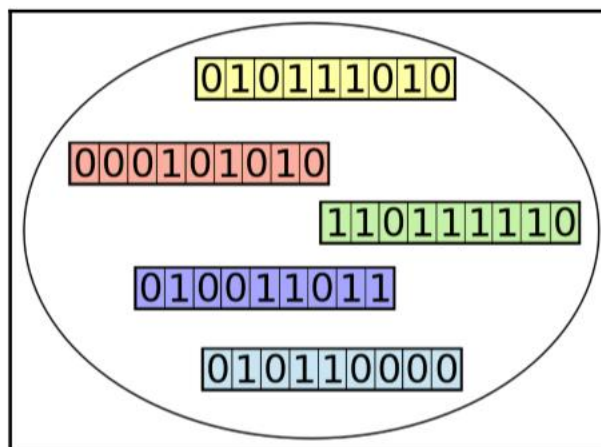
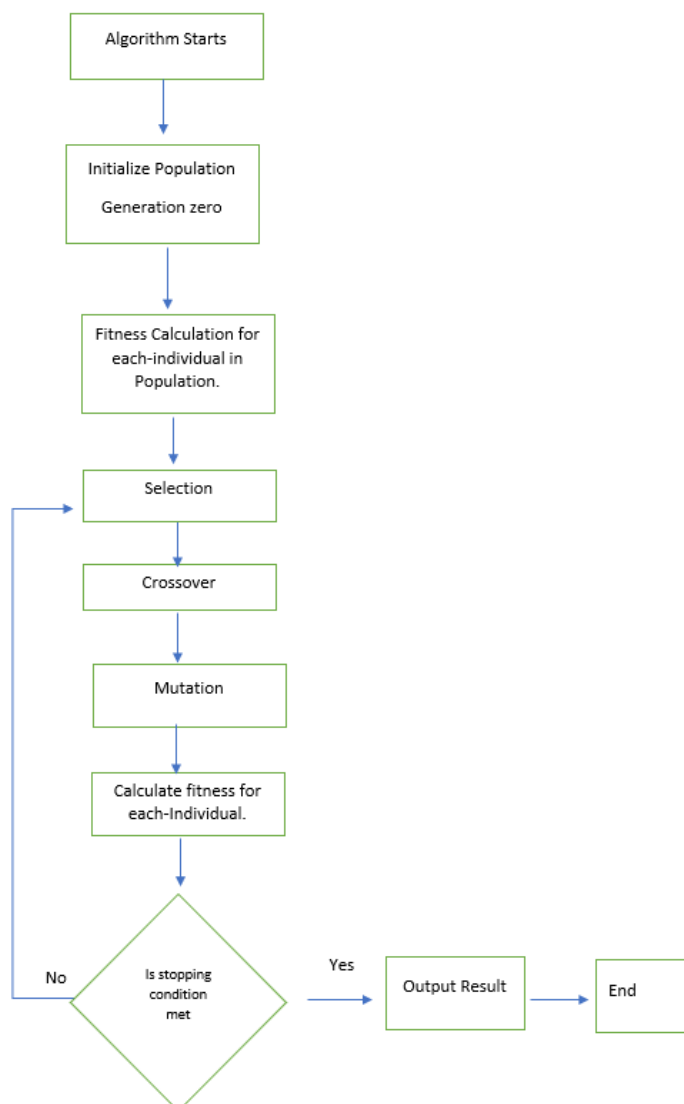


Figure 5: A population of binary coded chromosomes, ( Eyal Wirsansky, 2020)

Frameworks built on pythons have been designed to solve the problems with genetic algorithms, this removes the difficulty in implementing solutions, therefore the design of the fitness function is especially important.

At every iteration, the individuals are assessed by the fitness function, the fitness fiction is used for improving the search process, since individuals with higher fitness function are more likely to be chosen to produce the next generation. With time, the generations produce individuals with better fitness vale and the algorithm may stop once the fitness value of the individuals are satisfactory.

After new individuals are created, there may be some mutation, the mutation operator randomly introduces new patterns into the chromones which leads to searching in uncharted areas of the solution space.



**Figure 6 Genetic Algorithm, ( Eyal Wirsansky, 2020)**

A mutation is a random change in gene and are introduced b changes in one or more genes such as flipping a bit in a binary string.

The final step in the Genetic algorithm is setting the conditions that stops the algorithm, there could be more than one condition, the common conditions are:

- Specified Number of generations.
- No Improvements over the last few generations, which is set, by storing the best fitness value at every generation, and comparing with the best fitness values from recent generations.

From [5] he highlighted the uniqueness of Genetic algorithm are unique optimization method because; it use objective function to find the best solution; its programmed to work on the parameters which evaluate the objective function in determine the best solution; Genetic algorithm work on multiple solutions simultaneously.

## 5. Proposed Methodology

Python and deap are used to program the genetic algorithm, deap is a framework that offers the genetic operators for selection, crossover and mutation. Selection operators include the Roulette wheel operator, Stochastic universal sampling, Tournament selection, and Rank-based selection. Crossover operators include Single-point crossover, Two-point and k-point crossover, Uniform crossover. Mutation operators include, Flip bit mutation, Swap mutation, Inversion mutation, Scramble mutation. For real and continuous problem other the crossover and mutation methods are suitable. The commonly used real-coded operators are or crossover operation are:

- Blend Crossover.
- Simulated Binary Crossover.
- Normally distributed (or Gaussian) mutation.
- `cxSimulatedBinaryBounded()` is a bounded version of the `cxSimulatedBinary()` operator (CrossOver Operator).
- `mutPolynomialBounded()` is a bounded mutation operator (Mutation) that uses a polynomial function for the probability distribution.

And the parameters(hyperparameters) commonly used for the Algorithm include:

- Population size.
- Crossover rate.
- Mutation rate.
- Max number of generations.
- Other stopping condition.
- Elitism.

## 6. Conclusion

Genetic algorithms is suitable for optimization problems with combination of integer, binary and real variables, literature review shows Genetic algorithm has been used to optimize compressor station fuel and power consumption, by encoding the variables into chromones and applying genetic operators to search the solution space to determine the combination of variables that optimize the compressor fuel consumption problem.

Further research would be done to adequately represent the compressor fuel optimization problem and its fitness function.

**Bibliography:**

1. J. Hadad, R.M. Behbahani. Optimization of a natural gas transmission system. International journal of computer applications, 2013.
2. Kevin Hoopes, Timothy C. Alison, Rainer Kurz. Oil and gas compressor basics, compression machinery for oil and gas. Elsevier, 2019.
3. Timothy C. Allison, Avneet Singh, Joseph Thorp. Upstream compression applications, compression machinery for oil and gas. Elsevier, 2019.
4. F.Tabkhi, L. Pibouleau, C. Azzaro-Pantel, S.Domenech. Total cost minimization of a high-pressure natural gas network. ASME, 2009.
5. Eyal Wirsansky. Hands-on genetic algorithms with python. Packt publishing, uk, 2020.
6. T.M Elshiekh. Optimization of fuel consumption in compressor stations. Society of Petroleum Engineers, 2015.
7. Golnaz Habibvand, Reza Mossayebi behbahani. Using genetic algorithm for fuel consumption optimization of a natural gas transmission compressor station. International Journal of Computer Applications, 2012.
8. Zhenwu Zhang, Xiantao Liu. Study on optimal operation of natural gas pipeline network based on improved genetic algorithm, advances in mechanical engineering. Sage, 2017.
9. Changjun Li, Wenlong Jia, Yi Yang, Xia Wu. adaptive genetic algorithm for steady-state operation optimization in natural gas networks. Journal of software, 2011.
10. M. Theodore Gresh. Compressor Performance. aerodynamics for the user. Butterworth-heinemann 2001.
11. DNV GL. Oil and gas forecast to 2050, energy transition outlook 2017.
12. IEA (2019). World energy outlook 2019, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>

## **8. PROBLEMY W SZLIFOWANIU WALCOWYCH POWIERZCHNI WEWNĘTRZNYCH I MOŻLIWOŚĆ MINIMALIZACJI ICH WPŁYWU NA PRZEBIEG PROCESU**

**mgr inż. Wiesław Czapiewski**

Politechnika Koszalińska

Wydział Mechaniczny

Raławicka 15-17, 75-620 Koszalin

E-mail: w.czapiewski@szypryt.pl

### **1. Wprowadzenie**

Szlifowanie jest to obróbka wykończeniowa powierzchni za pomocą narzędzi ściernych w wyniku, której uzyskuje się duże dokładności wymiarowe i kształtowe oraz małą chropowatość obrabianej powierzchni. Szlifowanie jest jednym z podstawowych sposobów wykończającej obróbki otworów, umożliwiającym uzyskanie wymiaru średnicy z dokładnością  $\pm 1-2 \mu\text{m}$  i chropowatości powierzchni w klasach 8-10 [Kosmol, 2000].

W procesie szlifowania około 95% energii dostarczonej do strefy obróbki zostaje zamienione w ciepło. Powstające ciepło w ilości około 75% zostaje odprowadzone przez wióry, 18% energii przetworzone zostaje w miejscu styku narzędzia z wiórem a pozostała jej część, to ciepło odebrane przez przedmiot obrabiany (PO) [Shen i Shih, 2009]. Pozostająca w strefie obróbki ilość ciepła jest na tyle duża, by powodować powstawanie wysokich temperatur, a co za tym idzie, niekorzystnie wpływać na jakość procesu oraz trwałość narzędzia a także ilość energii zużytej podczas szlifowania [Wang i in., 2003]. Zwiększenie temperatury powoduje także zwiększenie adhezji wiórów przedmiotu obrabianego do czynnej powierzchni ściernicy, przez co ściernica traci swoje właściwości ścierne i nie nadaje się do dalszej pracy, powstaje tzw. zalepienie ściernicy [Marinescu i in., 2004].

Rzeczywiste zmniejszenie zużycia czynnej powierzchni ściernicy (CPS) wymaga monitorowania temperatury w strefie szlifowania. Aktualnie w procesach obróbki ubytkowej stosuje się różnego rodzaju płyny chłodziwo-smarujące (PCS) zmniejszające temperaturę obróbki [Dhananchezian i Pradeep Kumar, 2011] i wydłużające żywotność narzędzi ściernych, a także zapobiegające adhezji wiórów do materiału ściernego i powierzchni obrabianej oraz zapobiegające powstawaniu defektów cieplnych w warstwie wierzchniej przedmiotu obrabianego. Podobny cel można również osiągnąć poprzez stosowanie różnego rodzaju impregnatów takich jak: siarka, grafit, żywice, detergenty i inne, wprowadzanych na powierzchnię narzędzia lub w jego strukturę [Marinescu i in., 2004].

### **2. Problemy występujące w procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych**

Szlifowanie stosuje się głównie do obróbki dokładnych otworów w przedmiotach hartowanych lub wykonanych z twardych materiałów (zwykle przy  $\text{HRC} > 30$ ) oraz w tych przypadkach, w których rozwiercanie, bardzo dokładne wytaczanie lub inne metody obróbki okażą się z jakichkolwiek powodów mniej korzystne lub niemożliwe do zastosowania, jak np. obróbka otworów nieprzelotowych lub otworów z kanałami wzdłużnymi itp. Można rozróżnić trzy podstawowe metody konwencjonalnego szlifowania otworów [Kosmol, 2000]:

1. szlifowanie wzdłużne z dosuwem stopniowym w końcu skoku ściernicy, lub z dosuwem ciągłym (szlifowanie otworów przelotowych);
2. szlifowanie poprzeczne lub inaczej wciągające, w którym występuje dosuw wgłębny ciągły ściernicy względem PO (krótkie otwory przelotowe i otwory nieprzelotowe);
3. szlifowanie planetarne (otwory w częściach nieobrotowych).

Procesy wytwarzania charakteryzują się ciągłym dążeniem do wzrostu dokładności wymiarowo-kształtowej i poprawy jakości warstwy wierzchniej przedmiotów obrobionych oraz dążeniem do ograniczenia kosztów poprzez skrócenie czasu obróbki (zwiększenie wydajności). W procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych (otworów), możliwości zwiększenia wydajności procesu poprzez wzrost wartości parametrów obróbki są ograniczone sztywnością dynamiczną wrzecion narzędziowych szlifierek oraz wytrzymałością narzędzi ściernych [Nadolny, 2006].

Innym istotnym ograniczeniem występującym w tym procesie jest ograniczenie średnicy ściernicy. Średnica ściernicy jest ograniczona wartością średnicy szlifowanego otworu, najczęściej wynosi ok. 0,75-0,9 średnicy otworu. W związku, z czym do uzyskania właściwej prędkości szlifowania, szczególnie przy obróbce małych otworów, stosuje się duże prędkości obrotowe rzędu  $n = 30\ 000-100\ 000$  obr./min.

Trudności te występują szczególnie wyraźnie przy szlifowaniu otworów o dużym stosunku długości do średnicy.

W sytuacji, gdy konieczne jest utrzymanie procesu szlifowania w stanie suchym, niezastąpionym okazuje się być schłodzone sprężone powietrze (SSP), które pozwala skutecznie odbierać wióry wraz ze znaczną ilością ciepła, a występująca w powietrzu para wodna może w sposób pozytywny wpływać na chłodzenie strefy szlifowania poprawiając skuteczność chłodzenia przy jednoczesnym zapewnieniu niewielkiego smarowania [Howes, 1990].

Sposób doprowadzenia PCS do strefy szlifowania i jego wydajność mają istotny wpływ na efekt procesu szlifowania. Opracowano wiele metod doprowadzenia PCS do strefy szlifowania:

1. konwencjonalne metody doprowadzania płynów chłodząco-smarujących do strefy szlifowania:
  - **metoda zalewowa** – PCS tłoczony jest za pomocą pompy i kierowany do strefy szlifowania przez dyszę ze szczelinowym otworem; dysza zadanie doprowadzenia PCS do strefy szlifowania realizuje poprzez jego skupienie i skierowanie oraz przez jego przyśpieszenie [Marinescu i in., 2004];
  - **metoda strumieniowo-ciśnieniowa** – różni się od konwencjonalnej metody doprowadzania PCS za pomocą swobodnego strumienia zwiększonym ciśnieniem PCS do wartości przekraczającej 1-1,5 MPa [Oczóś i Porzycki, 1986];
  - **metoda strumieniowo-ciśnieniowego pozastrefowego doprowadzania PCS** – polega na doprowadzeniu PCS pod ciśnieniem na CPS (poza strefą szlifowania) przy użyciu jednej lub większej liczby dysz rozmieszczonych na linii obwodu ściernicy [Oczóś i Porzycki, 1986];
  - **dysze trzewikowe** – dysze tego typu są dokładnie dopasowane kształtem do profilu CPS i otaczają ściernicę z trzech stron; obracająca się poduszka powietrzna jest odchylana od CPS na wlocie dyszy umożliwiając całkowite zwilżenie

- powierzchni ściernicy PCS w wewnętrznej komorze dyszy trzewikowej; metoda ta umożliwia ograniczenie wydatku PCS nawet o 90% w porównaniu do chłodzenia z użyciem metody zalewowej, dzięki mniejszej wartości ciśnienia jego podawania [Bücker i Klocke, 1996];
- **odśrodkowe doprowadzenie PCS** – PCS jest podawany do strefy szlifowania od wewnątrz ściernicy [Nadolny, 2012];
  - **odśrodkowe doprowadzenie PCS poprzez wrzeciono szlifierskie i ściernicę** – PCS tłoczony jest pompą poprzez otwór we wrzecionie, po czym przenika przez otwory promieniowe do porów ściernicy;
  - **odśrodkowe doprowadzenie PCS poprzez kanały w korpusie ściernicy i pory ściernicy** – PCS podawany jest do pierścieniowych rowków usytuowanych w metalowym uchwycie ściernicy, skąd za pośrednictwem specjalnych promieniowych kanałów dostaje się do nasypu ściernego a następnie przy udziale siły odśrodkowej przedostaje się na powierzchnię ściernicy [Klocke i Beck, 1998; Sieniawski, 2013];
  - **odśrodkowe doprowadzenie PCS poprzez kanały w korpusie i przestrzenie pomiędzy segmentami ściernymi** – w metodzie tej PCS podawany jest do rowka w kołnierzu uchwytu ściernicy za pomocą dysz zalewowych pod niewielkim ciśnieniem (rzędu 0,1-0,2 MPa), skąd pod wpływem siły odśrodkowej wytworzonej przez obracającą się ściernicę, wypychany jest przez otwory umieszczone między segmentami ściernymi [Sieniawski, 2013];
  - **odśrodkowe doprowadzenie PCS poprzez kanały w przekładce rozdzielającej ściernice elementarne** – metoda ta może być stosowana w przypadku narzędzi składanych (składających się z kilku ściernic elementarnych) i polega na doprowadzeniu PCS od wewnątrz trzpienia szlifierskiego, poprzez specjalne kanały, w miejsce kontaktu CPS z powierzchnią PO [Nadolny i Plichta, 2011; Nadolny, 2015];
  - **odśrodkowe doprowadzenie PCS z użyciem systemu odśrodkowego strefowego podawania PCS** – metoda ta polega, na podawaniu PCS z układu zasilania do dozownika przez otwór w kątowno ruchomej przesłonie i uchwyt ściernicy do jej otworów, a następnie przez otwory do strefy szlifowania [Sieniawski i Nadolny, 2016];
2. metody minimalizowania wydatku płynów chłodząco-smarujących
- **metoda MQL** (ang. *Minimum Quantity Lubrication*) – smarowanie z minimalnym wydatkiem PCS – w metodzie tej PCS pod wpływem energii sprężonego powietrza natryskiwany jest w postaci aerozolu na CPS [Sadeghi i in., 2010; Tawakoli i in., 2011];
  - **metoda MQC** (ang. *Minimum Quantity Cooling*) – chłodzenie z minimalnym wydatkiem PCS, zamiast oleju stosuje się wodne emulsje olejowe [Klocke i Gerschwiler, 2003; Świerczyński, 2015];
  - **metoda MQCL** (ang. *Minimum Quantity Cooling Lubrication*) – metoda minimalnego wydatku PCS o obniżonej temperaturze – polega na doprowadzeniu

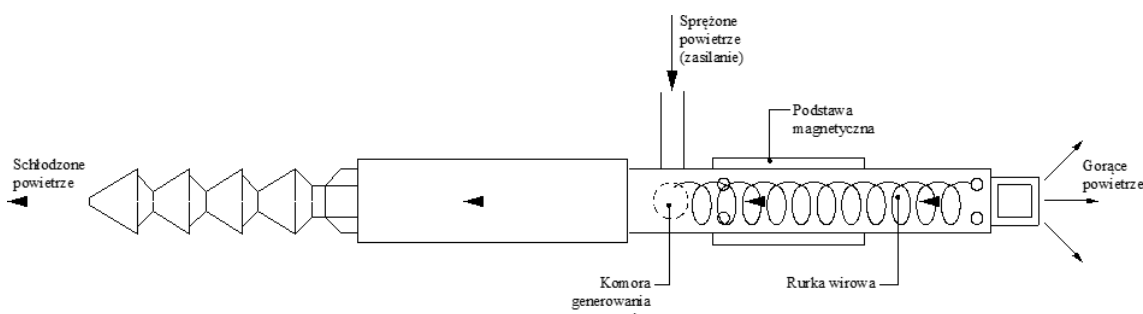
- specjalnego oleju (rzadziej emulsji) w środowisku niskiej temperatury do strefy szlifowania [Świerczyński, 2015];
- **chłodzenie strumieniem SSP z zastosowaniem dysz CAG** – metoda ta zostanie omówiona bardziej szczegółowo w dalszej części artykułu;
  - **metoda CAMQL** (ang. *Cooled Air Minimum Quantity Lubrication*) – metoda polega na doprowadzeniu do strefy szlifowania mieszanki SSP, dostarczonego przez dyszę CAG oraz aerozolu olejowego, dostarczonego przez dyszę MQL za pośrednictwem jednej dyszy CAMQL, w której dochodzi do zmieszania się obydwu czynników [Saber i in., 2016];
  - **metoda MQL+CAG** – metoda ta polega na jednoczesnym zastosowaniu do chłodzenia strefy kontaktu CPS z powierzchnią PO metody MQL oraz SSP dostarczanego za pomocą odrębnej dyszy CAG [Świerczyński, 2015];
  - **metoda chłodzenia kriogenicznego** – metoda ta należy do alternatywnych metod chłodzenia strefy szlifowania, której stosowanie pozwala na zmniejszenie wydatku PCS biorącego udział w procesie szlifowania, podstawowym medium chłodzącym w tej metodzie jest ciekły azot LN<sub>2</sub> (ang. *Liquid Nitrogen*) [Chattopadhyay i in., 1985; Paul i in., 1993];
3. szlifowanie na sucho – metoda najkorzystniejsza pod względem ekologicznym, trudna w realizacji, ze względu na powstawanie dużego strumienia energii cieplnej przekazywanej do PO; w metodzie tej dąży się do ograniczenia powstawania ciepła podczas przeprowadzania procesu obróbki [Tawakoli i in., 2006].

### 3. Charakterystyka dysz wirowych typu CAG stosowanych do chłodzenia strefy obróbki

Ze względu na to, że w przemyśle występują procesy, które wykluczają używanie PCS, ponieważ wymagają utrzymania PO w stanie suchym, metoda chłodzenia strefy obróbki za pomocą SSP stanowi rozwijającą się dziedzinę badań naukowych i zastosowań technicznych. Metoda ta używana jest w procesach obróbki skrawaniem oraz w szlifowaniu.

W badaniach procesu szlifowania, realizowanych w Katedrze Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej, do chłodzenia strefy szlifowania wykorzystana została metoda polegająca na doprowadzeniu SSP z zastosowaniem dysz CAG (ang. *Cold Air Guns*) [Kieraś i Nadolny, 2016a; Kieraś i Nadolny, 2016b]. Odpowiedni strumień powietrza uzyskuje się przy zastosowaniu rurki wirowej (ang. *vortex tubes*). Strumień sprężonego powietrza w rurce wirowej zostaje rozdzielony na dwa mniejsze strumienie, z czego jeden strumień zawiera zimne powietrze a drugi gorące. Proces taki zachodzi bez stosowania elementów ruchomych i zużywalnych, jedynym składnikiem ruchomym jest powietrze wirujące wokół własnej osi z prędkością 1 000 000 obr./min w kierunku zaworu kontrolnego. Pewna ilość gorącego, wirującego powietrza wydostaje się do otoczenia poprzez zawór kontrolny. Pozostała część strumienia powietrza (nieco spowolniona) powraca wewnątrz wirującego strumienia powietrza, oddając energię (ciepło) obniża temperaturę. Produktem ubocznym w tym procesie jest gorące powietrze, które odprowadzone jest do otoczenia, natomiast SSP doprowadzane jest do strefy szlifowania [Kieraś i Nadolny, 2015]. Przykładem zastosowania rurki wirowej jest dysza firmy Vortec (USA), której schemat zaprezentowany został na rysunku 1.





**Rysunek 1. Schemat dyszy CAG produkowanej przez firmę Vortec (USA) [Choi i in., 2001]**

Dysza CAG typu Vortec 610, według danych producenta wykazuje się wydajnością na poziomie 264 W, przy zużyciu powietrza rzędu 57-425 l/min. Ten model dyszy pozwala wytworzyć strumień powietrza o temperaturze niższej od temperatury powietrza zasilającego nawet o 55,6°C. Na ukompletowanie zestawu dyszy Vortec 610 składa się podstawa magnetyczna, umożliwiającą łatwy jej montaż w obszarze roboczym szlifierki, przewód elastyczny dwuwylotowy służący do doprowadzenia schłodzonego powietrza do strefy obróbki (rys. 2) [www.vortec.com].



**Rysunek 2. Elementy funkcjonalne dyszy CAG wykorzystywanej w badaniach procesu szlifowania, prowadzonych w Katedrze Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej: dysza Vortec 610 [Kieraś, 2018]**

W tabeli 1 przedstawiono dane, dostarczone przez producenta, niektórych parametrów dyszy Vortec 610.

**Tabela 1. Dane producenta wybranych parametrów dyszy Vortec 610 [Kieraś i Nadolny, 2015]**

Moc chłodzenia (W)	Wydatek powietrza (l/min)	Najmniejsza osiągnięta wartość temperatury (°C)	Natężenie przepływu powietrza (l/min)	Masa urządzenia (kg)
264	425	-23	57-425	1,4

Badania opisane w pracy [Kieraś, 2018] wykazały, iż:

1. odległość wylotu dyszy (dla badanych dysz CAG), od schładzanej powierzchni nie ma wyraźnego wpływu, na czas początkowego ustalenia temperatury schładzanej powierzchni ściernicy, który w przypadku badanych dysz wynosił około 2,5 min,

2. efektywność chłodzenia powierzchni z użyciem dysz CAG zmniejsza się wraz ze zwiększeniem odległości wylotu dyszy od schładzanej powierzchni,
3. zmiana ustawienia pozycji pokrętła zaworu regulacyjnego dysz CAG wpływa na zmianę temperatury SSP oraz na jego objętościowe natężenie przepływu.

#### 4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy stanu wiedzy i techniki z zakresu określonego tematem pracy sformułowano poniższe wnioski.

1. Proces szlifowania wiąże się ze znacznym zwiększeniem temperatury w strefie szlifowania, dlatego w większości przypadków, w celu zapewnienia stabilnych warunków procesu i powtarzalności jego wyników, stosuje się PCS.
2. Postęp i rozwój techniki, a także coraz większe wymagania w zakresie ekologii i dążenie do jak największej efektywności działalności przedsiębiorstw produkcyjnych wyrażającej się ograniczeniem kosztów produkcji powodują, że dąży się do jak najbardziej precyzyjnego dostarczenia jak najmniejszej ilości PCS bezpośrednio do strefy szlifowania bądź do ich całkowitego wyeliminowania.
3. Metoda chłodzenia strefy szlifowania za pomocą strumienia SSP z użyciem dysz CAG stanowi przyszłościową się dziedzinę badań i zastosowań technicznych. Dysze CAG mogą znaleźć zastosowanie w procesie szlifowania materiałów przy szlifowaniu, których nie można stosować PCS oraz wówczas, gdy konieczne jest zwiększenie skuteczności chłodzenia strefy szlifowania w celu eliminacji powstawania defektów szlifierskich oraz zmian w strukturze warstwy wierzchniej PO.
4. Minimalizacja wydatku PCS biorącego udział w procesie szlifowania z zastosowaniem dysz CAG może powodować zwiększenie temperatury PO oraz powstawanie defektów cieplnych.
5. Wspomaganie innych metod chłodzenia i smarowania strefy obróbki w procesie szlifowania dodatkowym strumieniem SSP dostarczanym z zastosowaniem dysz CAG może wpłynąć na znaczne obniżenie temperatury w strefie szlifowania i pozwolić ograniczyć lub całkowicie wyeliminować powstawanie defektów cieplnych.
6. Urządzenia służące do pozyskiwania i dostarczania SSWP do strefy szlifowania odznaczają się nieskomplikowaną budową, niewielkim kosztem zakupu oraz prostotą obsługi.
7. Podstawową zaletą chłodzenia strefy szlifowania z użyciem dysz CAG jest zastosowanie powietrza, jako medium chłodzącego, co wiąże się z wyeliminowaniem kosztów związanych z pozyskaniem i utylizacją PCS.

#### Bibliografia:

1. [Choi i in., 2001] - Choi H.Z., Lee S.W., Jeong H.D. (2001). A comparison of the cooling effects of compressed cold air and coolant for cylindrical grinding with cBN wheel, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 111, pp. 265-268.
2. [Dhananchezian i Pradeep Kumar, 2011] - Dhananchezian M., Pradeep Kumar M. (2011). Cryogenic turning of the Ti-6Al-4V alloy with modified cutting tool inserts, *Cryogenics*, vol. 51, pp. 34-40.

3. [Howes, 1990] - Howes T. (1990). Assessment of the Cooling and Lubricative Properties of Grinding Fluids, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 39(1), 313-316.
4. [Oczóś i Porzycki, 1986] - Oczóś K., Porzycki J. (1986). *Szlifowanie. Podstawy i technika*. Wydawnictwo Naukowo Techniczne Warszawa.
5. [Bücker i Klocke, 1996] - Bücker C., Klocke F. (1996). Trockenschleifen – Grenzbetrachtung zur Kühlschmierstoffreduzierung. *Ind.Diam.Rdsch.*, t.30, vol. 1, pp. 26-35.
6. [Nadolny, 2012] - Nadolny K. (2012). *Podstawy budowy i eksploatacji modyfikowanych ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego w procesach szlifowania otworów*. Monografia habilitacyjna nr 227, Koszalin.
7. [Klocke i Beck, 1998] - Klocke F., Beck T. (1998). Gut geschmiert statt schlecht gekühlt. Kühlschmierstoffreduzierung beim cBN-Hochgeschwindigkeitsschleifen. *Werkstattstechnik*, t. 88, vol. 9/10, pp. 400-404.
8. [Sieniawski, 2013] - Sieniawski J. (2013). *Badania efektywności chłodzenia w procesie szlifowania płaszczyzn z użyciem ściernic z otworami technologicznymi i strefowym podawaniem płynu*. Rozprawa Doktorska, Politechnika Koszalińska, Koszalin.
9. [Sieniawski i Nadolny, 2016] - Sieniawski J., Nadolny K. (2016). The effect upon grinding fluid demand and workpiece quality when an innovative zonal centrifugal provision method is implemented in the surface grinding of steel CrV12. *Journal of Cleaner Production*, vol. 113, pp. 960-972. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.11.017.
10. [Nadolny i Plichta, 2011] - Nadolny K., Plichta J. (2011). *Narzędzie ściernicze składane z chłodzeniem odśrodkowym i element tego narzędzia*. Patent nr PL 209014 (decyzja UP RP z dnia 23.02.2011 r.).
11. [Nadolny, 2015] - Nadolny K. (2015). Small-dimensional sandwich grinding wheels with a centrifugal coolant provision system for traverse internal cylindrical grinding of steel 100Cr6. *Journal of Cleaner Production*, vol. 93, pp. 354-363.
12. [Sadeghi i in., 2010] - Sadeghi M. H., Hadad M. J., Tawakoli T., Vesali A., Emami M. (2010). An investigation on surface grinding of AISI 4140 hardened steel using minimum quantity lubrication-MQL technique. *Int. J. Mater.* Vol. 3, pp. 241-251.
13. [Tawakoli i in., 2011] - Tawakoli T., Hadad M., Sadeghi M. H., Daneshi A., Sadeghi B. (2011). Minimum quantity lubrication in grinding: effects of abrasive and coolant-lubricant types. *J. Clean. Prod.* vol. 19 (17), pp. 2088-2099.
14. [Klocke i Gerschwiler, 2003] - Klocke F., Gerschwiler K. (2003). Minimalmengenschmierung – Systeme, Medien, Einsatzbeispiele und ökonomische Aspekte der Trockenbearbeitung, *Trockenbearbeitung von Metallen, Proc. of the VDI-Seminar, Stuttgart, Mar. 18: 2.1-2.20, 2003*.
15. [Świerczyński, 2015] - Świerczyński J. (2015) *Wpływ hybrydowego sposobu podawania płynu obróbkowego i sprężonego powietrza na jakość powierzchni uzyskanej w procesie szlifowania*. Rozprawa doktorska, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Łódź.
16. [Saber i in., 2016] - Saber A., Rahimi A. R., Parsa H., Ashrafijou M., Rabei F. (2016). Improvement of grinding process performance by minimum quantity lubrication (MQL) technique –using compressed cold air jet from vortex tube. *Journal of Cleaner Production*, vol. 131, pp. 728-738.

17. [Chattopadhyay i in., 1985] - Chattopadhyay A. B., Bose A., Chattopadhyay A. K. (1985). Improvements in grinding steels by cryogenic cooling, *Precision Eng* 7(2), 93.
18. [Paul i in., 1993] - Paul S., Bandyopadhyah P. P., Chattopadhyay A. B. (1993). Effects of cryo cooling in grinding steels, *J. Mater. Process. Technol.* 37, 791.
19. [Tawakoli i in., 2006] - Tawakoli T., Westkaemper E., Rabiey M. (2006). *Dry gringing by special conditioning*, Springer-Verlag London Limited.
20. [Kieraś i Nadolny, 2015] - Kieraś S., Nadolny K. (2015). Analiza efektywności chłodzenia powierzchni ściernicy z użyciem dysz schłodzonego sprężonego powietrza. *Inżynieria Maszyn*, 20(2015)1, s. 50-64.
21. [Kieraś i Nadolny, 2016a] - Kieraś S., Nadolny K. (2016). Charakterystyka temperaturowa dysz typu WNT 6910.15.3 7 oraz Vortec 610 schładzających sprężone powietrze. *Mechanik*, 89(2016)10, s. 1328-1329.
22. [Kieraś i Nadolny, 2016b] - Kieraś S., Nadolny K. (2016). Dysze sprężonego schłodzonego powietrza – nowa generacja urządzeń do chłodzenia strefy obróbki w procesach szlifowania. *Materiały XIII Konferencji Studentów i Młodych Pracowników Nauki pod redakcją M. Fligla i L. Kukiełki*, Koszalin, s. 125-136.
23. [Kieraś, 2018] - Kieraś S. (2018). *Badania wpływu zintegrowanej metody chłodzenia strefy obróbki zimnym powietrzem i jej odśrodkowego smarowania aerozolem olejowym na przebieg i wyniki procesu szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych*. Rozprawa doktorska, Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Koszalin.
24. [Kosmol, 2000] Kosmol J., (2000), *Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
25. [Marinescu i in., 2004] - Marinescu I., Rowe W.B., Dimitrov B., Inasaki I. (2004). *Tribology of Abrasive Machining Processes*. William Andrew Publishing, Norwich, NY.
26. [Nadolny, 2006] - Nadolny K. (2006). *Badania efektywności procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie*. Rozprawa doktorska, Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Koszalin.
27. [Shen i Shih, 2009] - Shen B., Shih A. J. (2009). Minimum quantity lubrication (MQL) grinding using vitrified cBN wheels. *Transactions of NAMRI/SME*, vol. 37, pp. 129-136.
28. [Wang i in., 2003] - Wang Z. Y., Rajurkar K. P., Fan J., Petrescu G. (2003). Hybrid machining of Inconel 718, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 43, pp. 1391-1396.

#### **Źródła elektroniczne:**

29. [www.vortec.com] - <https://www.vortec.com/cold-air-guns> [dostęp: 10.01.2019].

## 9. CZY W REJONIE STACJI IM. H. ARCTOWSKIEGO (ANTARKTYKA) SKŁAD CHEMICZNY OPADÓW MOŻE BYĆ DETERMINOWANY AKTYWNOŚCIĄ WULKANÓW?

**Joanna Buch**

Opiekun naukowy: dr. hab. Anita Lewandowska, prof. UG

Uniwersytet Gdański

Wydział Oceanografii i Geografii

Zakład Chemii Morza i Ochrony Środowiska Morskiego

ul. Piłsudskiego 46, 81-378 Gdynia

E-mail: jnna.bu@gmail.com

### **Abstrakt:**

Istnieje ścisły związek między aktywnością wulkaniczną, trzęsieniami ziemi i tektoniką płyt. W czasie wybuchów wulkanów do atmosfery uwalniane są ogromne ilości materiałów piroklastycznych, gazów i aerozoli. Para wodna i opary gazowe stanowią od 60 do 90% emitowanych gazów. W atmosferze gazy mogą ulegać konwersji w aerozole i w tej formie być przenoszone na dalekie odległości. Najważniejszym składnikiem aerozoli są związki siarki. Ich wysokie stężenia i długi czas przebywania w atmosferze mogą prowadzić do zmniejszenia ilości promieniowania dochodzącego do powierzchni Ziemi i w konsekwencji do czasowego ochłodzenia klimatu.

Największą strefą aktywności wulkanicznej jest tzw. Pacyficzny Pierścień Ognia, gdzie w pasie aktywnej subdukcji występuje większość wysokich stożków i gór wulkanicznych. Obecne dane wskazują, że na samej Antarktydzie występuje ponad 140 wulkanów ukrytych pod lodem, co czyni ją największym obszarem wulkanicznym na świecie. Wulkany te zlokalizowane są głównie w zachodniej i południowej części kontynentu.

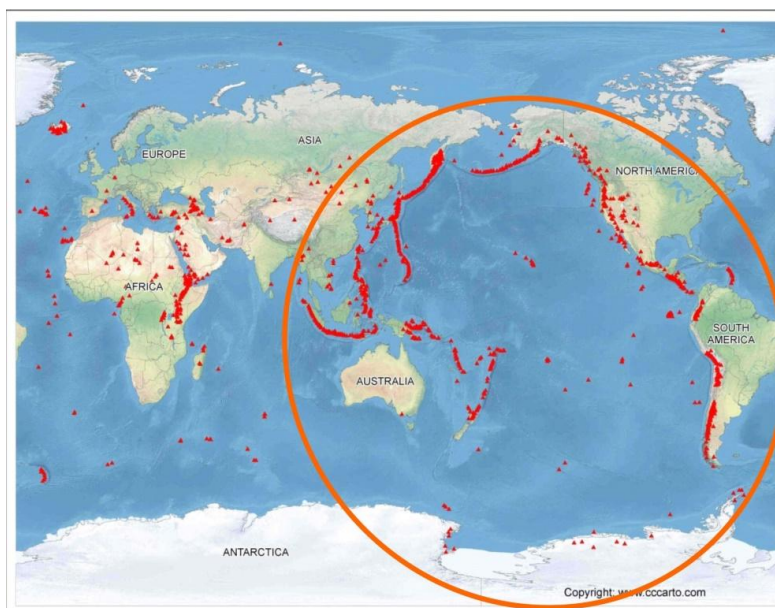
Celem niniejszej pracy było ustalenie wpływu wulkanów na skład chemiczny opadów w rejonie Antarktyki. Próbkę deszczu (n=36) i śniegu (n=12) pobierano w cyklu dobowym w punktach Mszarnik i Morena, na Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego, w okresie wegetacyjnym (1.11.2017 - 30.03.2018). Prowadzono także obserwacje warunków meteorologicznych i wyznaczono trajektorie ruchu mas powietrza. Po odebraniu opadów zmierzono ich objętość, pH i przewodnictwo. Następnie opady przesączono przez sączi kwarcowe (QMA Whatman), które podobnie jak przesącz zamrożono do czasu analizy chemicznej. Próbkę poddano chromatograficznej analizie jonowymiennej na obecność jonów chlorkowych, siarczanowych i fluorkowych.

Spośród analizowanych składników jonowych największymi stężeniami charakteryzowały się chlorki, a najniższymi fluorki. Amplituda stężeń uzyskanych wyników była wysoka. Stwierdzono duże różnice między wartościami median poszczególnych anionów i ich wartościami średnimi. Świadczyć to może o występowaniu pojedynczych wartości ekstremalnych. Wysokie stężenie anionów chlorkowych w opadach związane było prawdopodobnie z sąsiedztwem oceanów i dużym udziałem składników morskich w atmosferze. Najwyższe stężenia analizowanych anionów odnotowano w sytuacji wysokich prędkości wiatru i napływu mas powietrza z Ameryki Południowej oraz z głębi kontynentu Antarktycznego. Analiza kierunku napływu mas powietrza pozwoliła ustalić, że skład chemiczny opadów mógł być determinowany także aktywnymi w XXI wieku wulkanami rozmieszczonymi na półkuli południowej.

**Słowa kluczowe:** opady atmosferyczne, aktywność wulkaniczna, Antarktyda

## 1. Wstęp

Istnieje ścisły związek między aktywnością wulkaniczną, trzęsieniami ziemi i tektoniką płyt. Około 80% aktywności wulkanicznej występuje wzdłuż granic stref subdukcji, gdzie następuje pogrążanie jednej płyty tektonicznej pod drugą. Wulkany znajdujące się w miejscach rozszerzania się dna oceanicznego, zwanych strefami spreadingu oraz szczeliny kontynentalne odpowiadają za około 15% aktywności wulkanicznej. Reszta to wulkanizm wewnątrzpłytkowy. Największą strefą aktywności wulkanicznej jest tzw. Pacyficzny Pierścień Ognia (rys. 1), gdzie w pasie aktywnej subdukcji występuje większość wysokich stożków i gór wulkanicznych ([www.iasplanner.com](http://www.iasplanner.com)).



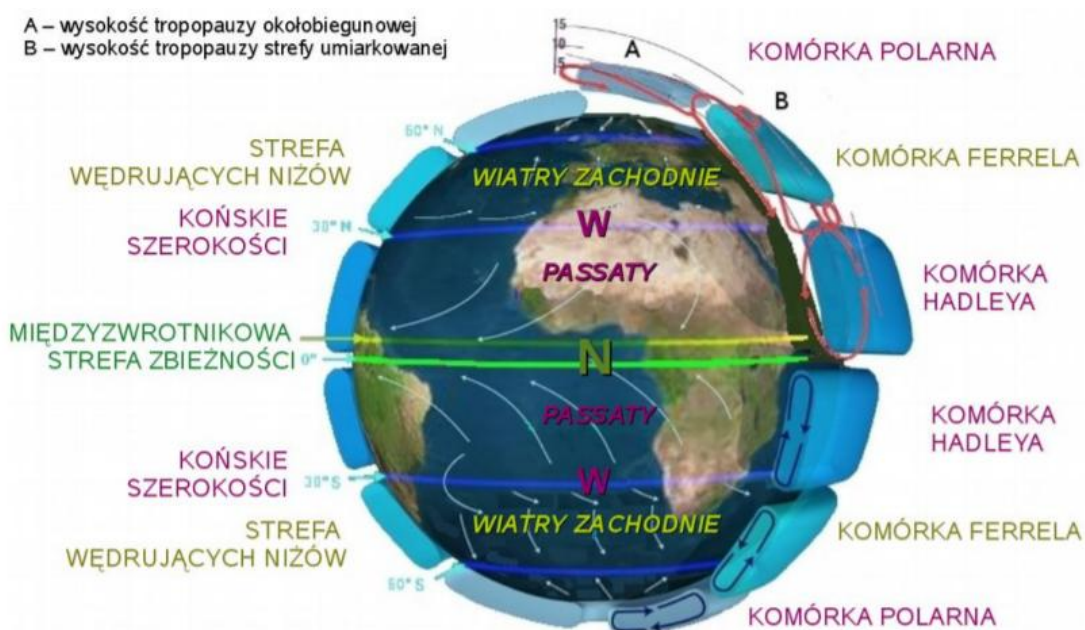
**Rysunek 1. Pacyficzny Pierścień Ognia ([www.wykop.pl](http://www.wykop.pl))**

Najnowsze dane wskazują, że tylko na Antarktydzie występuje ponad 140 wulkanów ukrytych pod lodem, co czyni ją największym obszarem wulkanicznym na świecie. Wulkany te zlokalizowane są głównie w zachodniej i południowej części kontynentu. Choć ich badania w ostatnich dwóch dekadach budzą coraz większe zainteresowanie wśród naukowców, wciąż niewiele wiadomo o ich aktywności. Z uwagi na brak lub znaczne ograniczenie powierzchniowych erupcji (ostatnia erupcja – Erebus, 2014) oraz trudne warunki klimatyczno-geograficzne, w rejonie tym dotychczas nie prowadzi się badań nad aerozolami i gazami emitowanymi w konsekwencji aktywności wulkanów (de Vries, 2018). W niniejszej publikacji starano się ustalić, czy skład chemiczny opadów atmosferycznych pobranych na przełomie 2017 i 2018 roku w rejonie stacji imienia Arctowskiego, na Antarktydzie, mógł być kształtowany emisją z wulkanów.

W czasie wybuchów wulkanów uwalniane są do atmosfery ogromne ilości materiałów piroklastycznych, gazów i aerozoli, które mogą być emitowane – w zależności od siły wybuchu – na wysokość od 100 do 1700 m ponad stożkiem wulkanicznym (do 3000-7000 m n.p.m.). Gazy uwalniane podczas erupcji obejmują CO<sub>2</sub>, NO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO, HCl itp. Składniki gazowe mogą ulegać konwersji w aerozole i w tej formie być przenoszone na duże odległości od źródła ([www.iasplanner.com](http://www.iasplanner.com); Szumińska i in., 2018). Do związków jonowych obecnych

w aerozolach pochodzenia wulkanicznego zaliczają się  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Mg}^{2+}$  (Mather, 2004). Od 60 do 90 % gazów uwalnianych przez erupcje stanowią para wodna i opary gazowe.. Najważniejszym składnikiem aerozoli są związki siarki (głównie  $\text{SO}_4^{2-}$ ), których duża i długotrwała obecność w atmosferze może wpływać na zmniejszenie radiacji słonecznej dochodzącej do powierzchni Ziemi i w konsekwencji czasowo ochładzać klimat (Stenchikov, 2016).

Aerozole wulkaniczne zazwyczaj utrzymują się w troposferze przez kilka dni. Jakkolwiek podczas silnych erupcji ( $\text{VEI} \leq 3$ ) mogą one zostać wyrzucone aż do stratosfery, w której ich czas przebywania wzrasta nawet do 2-3 lat. Ze względu na wielkoskalową cyrkulację stratosferyczną (rys. 2), aerozole dostające się do stratosfery w regionach okółorównikowych mają tendencję do rozprzestrzeniania się wokół globu Ziemskiego. Z kolei aerozole przedostające się do stratosfery w regionach średnich szerokości geograficznych i podbiegunowych pozostają w obrębie danej półkuli. Erupcje zachodzące w rejonach tropikalnych mają zatem większy wpływ na czasowe zmiany globalnego składu chemicznego atmosfery oraz klimat, niż erupcje występujące w obrębie biegunów. Ustalono jednak, że aktywność wulkaniczna w wyższych szerokościach geograficznych może mieć istotne znaczenie dla kształtowania jakości powietrza rejonów polarnych (Young i Telling, 2016).



**Rysunek 2. Wielkoskalowa cyrkulacja stratosferyczna ([www.igf.fuw.edu.pl](http://www.igf.fuw.edu.pl))**

Do aktywnych wulkanicznie rejonów usytuowanych na półkuli południowej zalicza się Amerykę Południową, Antarktydę, Nową Zelandię oraz Wyspy Sandwicha Południowego. W ostatnich latach obserwowano umiarkowaną aktywność wulkaniczną w tych obszarach. Udokumentowano aktywność 60 wulkanów, z czego 41 zlokalizowanych jest w Ameryce Południowej (Szumińska i in., 2018). W latach 2015-2017 aktywnych było 5 wulkanów (Ameryka Płd., Sandwich Płd.). Od 2014 roku rejestrowana jest aktywność wulkanu Saunders, znajdującego się w obrębie wysp Sandwicha Południowego. Z kolei pod koniec 2016 roku

doszło do erupcji stratowulkanu Subancaya w Peru (VEI = 3), którego aktywność jest także wciąż obserwowalna. W obrębie Antarktydy odnotowuje się ponadto obecność fumaroli – gorących wyziewów gazów wulkanicznych z kraterów i szczelin (volcano.si.edu).

## 2. Obszar i metody badań

Próbki opadów deszczu i śniegu pobierane były na Polskiej Stacji Antarktycznej, im. H. Arctowskiego (62°09.833'S, 58°28.226'W), zlokalizowanej na Wyspie Króla Jerzego (Szetlandy Południowe). Pobieranie próbek miało miejsce w okresie wegetacyjnym, od 1.11.2017 do 30.03.2018 roku. Opady zbierano w cyklu dobowym na stacji Mszarnik. Śnieg pobierano do polietylenowej kuwety o wymiarach 52 cm x 49 cm. Próbki deszczu kolekcjonowano przy użyciu deszczomierza Hellmanna. Po zebraniu opadu mierzono jego objętość, a po doprowadzeniu próbki do temperatury pokojowej także pH i przewodnictwo. Pozostałość próbki sączono przez sączek kwarcowy Whatman QMA. Zarówno sączek, jak i przesącz do czasu analizy przechowywano w zamrażalce, w temperaturze -20°C.

Równoległe z pobieraniem próbek odnotowywano parametry meteorologiczne dla każdego dnia pomiarowego. Wykonano także trajektorie ruchu mas powietrza z wykorzystaniem modelu NOAA HYSPLIT, dla 72 godzin wstecz, dla wysokości 500 m, 1500 m i 3000 m (Stein i in., 2015; Rolph i in., 2017).

## 3. Chromatograficzna analiza anionów

Przesączone próbki deszczu i śniegu poddano analizie celem wyznaczenia stężeń podstawowych anionów ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ ), do której zastosowano chromatograf jonowy firmy Metrohm 850 Professional IC z kolumną ASupp7 (zaopatrzoną w przedkolumnę ochronną). Jako eluentu użyto 3,6M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Próbki umieszczano w podajniku próbek 858 Professional IC, wyposażonym w system filtracji on-line. Temperatura oznaczenia wynosiła 45°C, a prędkość przepływu eluentu 0,8  $\text{cm}^3/\text{min}$ . Limit detekcji i błąd metody ustalono na:

- $\text{Cl}^- = 0,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , błąd 0,5-2 %
- $\text{SO}_4^{2-} = 0,01 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , błąd – 4,7%
- $\text{F}^- = 0,2 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ , błąd 2,7%

Analizę jonowych składników aerozoli wykonano metodą chromatografii jonowej zgodnej z Polską Normą PrPN-EN ISO 10304-1 (PN, 1995).

## 4. Wyniki i dyskusja

W okresie od 1.11.2017 do 30.03.2018 roku na Polskiej Stacji Antarktycznej, im. H. Arctowskiego analizowano stężenia jonów chlorkowych, siarczanowych i fluorkowych w opadach, z uwzględnieniem podziału na śnieg i deszcz. Łącznie analizie poddano 36 próbek deszczu i 12 próbek śniegu. Ustalono, że największym średnim stężeniem zarówno w deszczu, jak i w śniegu charakteryzowały się chlorki. Najniższe średnie stężenie w deszczu przypadło na fluorki, a w śniegu na siarczany (Tab. 1).

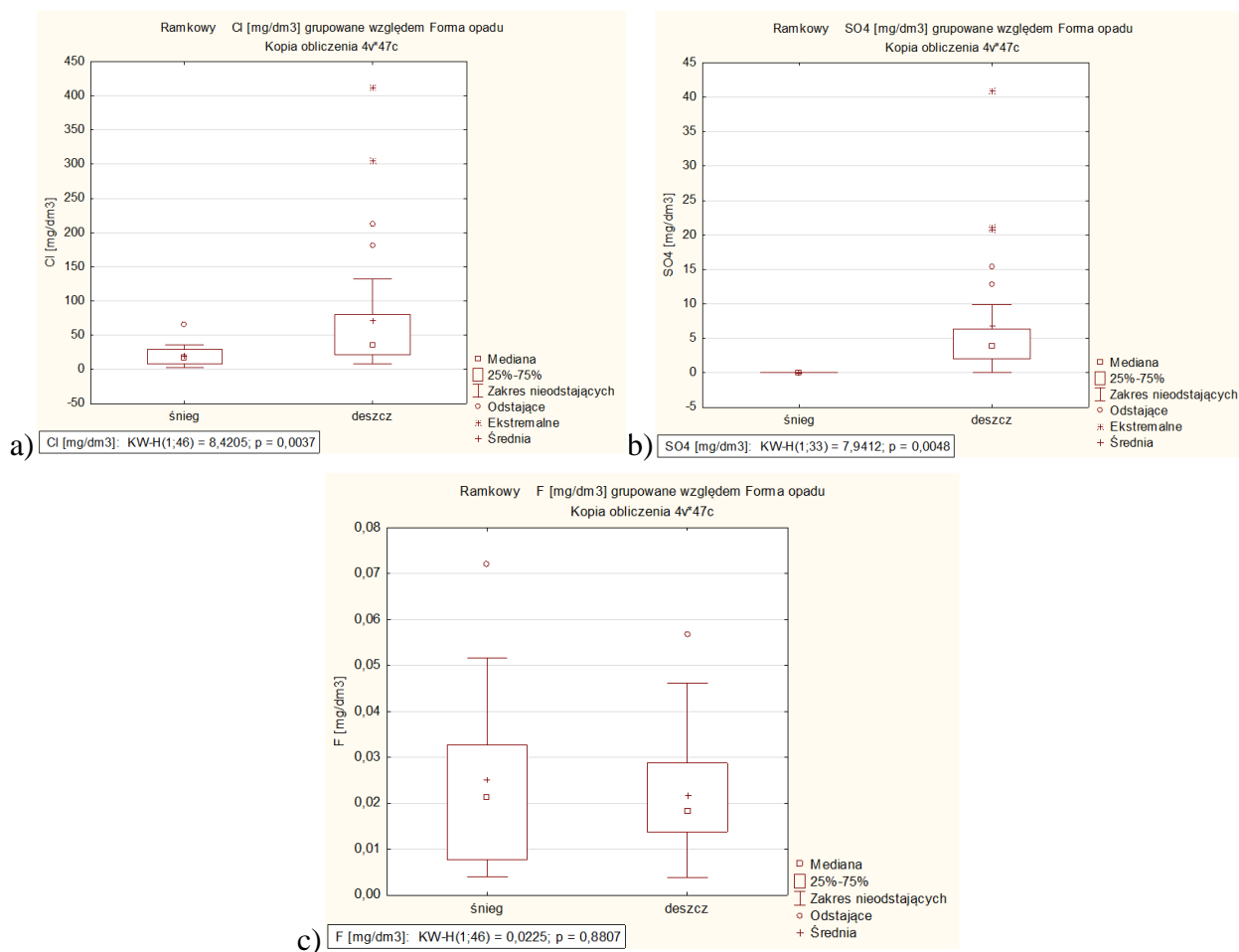


**Tablica 1. Charakterystyka statystyczna anionów w opadach deszczu i śniegu [mg/dm<sup>3</sup>] pobranych w okresie od 1.11.2017 do 30.03.2018 roku na Polskiej Stacji Antarktycznej, im. H. Arctowskiego**

Deszcz	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	Śnieg	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>
Średnia:	71,73	6,76	0,02	Średnia:	20,14	0,01	0,03
Mediana	0,56	0,09	0,54·10 <sup>-3</sup>	Mediana	1,06	<LD	0,01
Min:	8,48	0,04	0,01	Min:	2,65	0,01	0,01
Max:	411,79	40,94	0,06	Max:	66,09	0,01	0,07

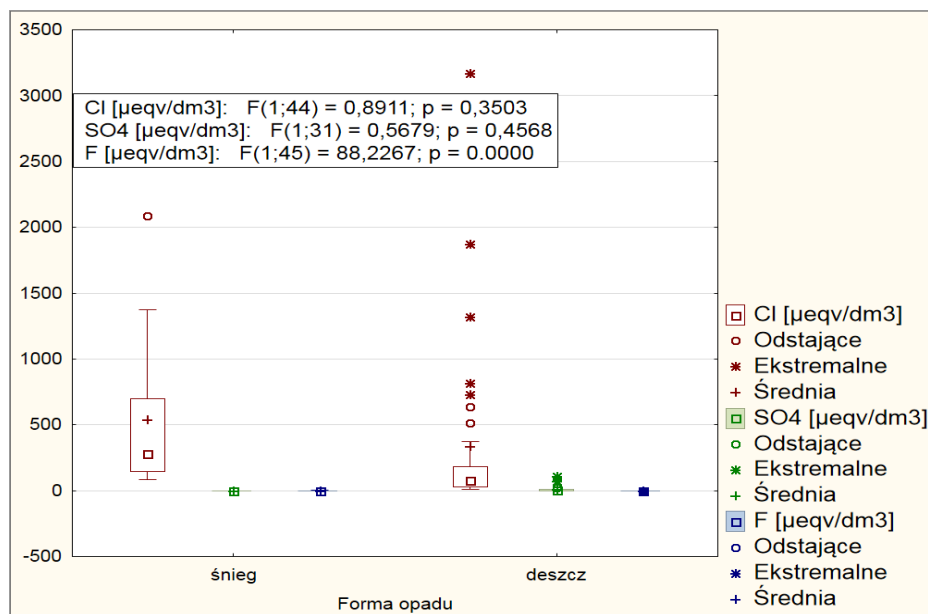
Wysoka była amplituda stężeń analizowanych składników, zwłaszcza dla jonów chlorkowych. Wartości median poszczególnych anionów były nawet dwa rzędy wielkości niższe od wartości średnich, co świadczy o występowaniu ekstremalnych i odstających wartości stężeń analizowanych składników opadów.

W przypadku jonów chlorkowych i siarczanowych odnotowano istotną statystycznie różnicę stężeń w zależności od formy opadu, potwierdzoną testem ANOVA. Wyższe stężenia obydwu anionów wystąpiły w deszczu niż w śniegu. Mediana stężeń jonów chlorkowych była na podobnym poziomie w próbkach deszczu i śniegu (0,56 i 1,06, odpowiednio). Z kolei mediana stężeń jonów siarczanowych była wyższa w deszczu (0,09, podczas gdy w śniegu była ona poniżej limitu detekcji metody (0,01 mg·dm<sup>-3</sup>). W przypadku fluorków nie ustalono statystycznie istotnej różnicy mediany stężeń, jakkolwiek jej wartość była nieznacznie wyższa w śniegu niż w deszczu (0,01 i 0,54·10<sup>-3</sup>, odpowiednio). W opadach deszczu odnotowano także wartości ekstremalne i odstające stężeń jonów chlorkowych i siarczanowych (rys. 3).

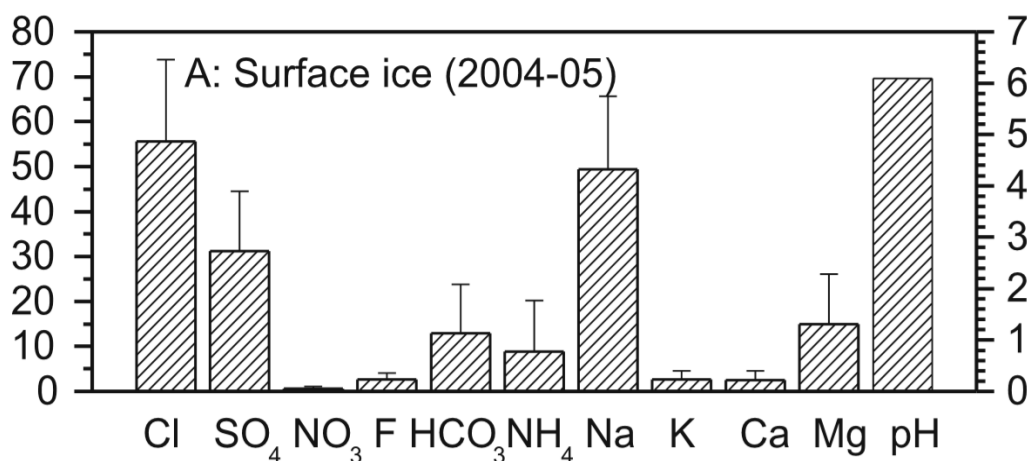


**Rysunek 3. Charakterystyka statystyczna stężeń jonów a) Cl<sup>-</sup>, b) SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, c) F<sup>-</sup> w opadach deszczu i śniegu pobranych w okresie od 1.11.2017 do 30.03.2018 roku na Polskiej Stacji Antarktycznej, im. H. Arctowskiego**

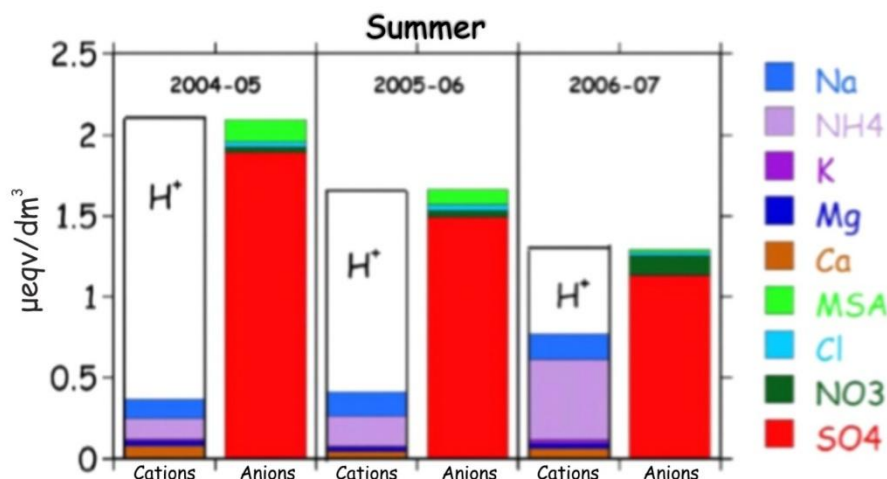
Wyniki stężeń anionów w opadach zebranych w okresie od 1.11.2017 do 30.03.2018 roku na Polskiej Stacji Antarktycznej, im. H. Arctowskiego przeliczono na  $\mu\text{eqv}/\text{dm}^3$  (rys. 4) celem ich porównania z danymi literaturowymi (rys. 5 i 6). Ze względu na brak danych dotyczących tych rejonów świata analizę składu jonowego opadów przeprowadzono w odniesieniu tylko do jednej stacji pomiarowej, Maitri zlokalizowanej na Ziemi Królowej Maud, 100 km od wybrzeża (Ali i in., 2010). Dane omawiane w niniejszym opracowaniu porównano także względem składu chemicznego aerozoli pobranych na stacji Concordia, położonej w głębi lądu, na płaskowyżu Polarnym, około 1100 km od wybrzeża (Nudisti i in., 2012). Analizę porównawczą ze względu na ograniczoną ilość publikacji na ten temat należy traktować bardzo ostrożnie, zwłaszcza, że wyniki nie odnoszą się do tych samych form opadu, okresów pomiarowych i lokalizacji stacji pomiarowych.



Rysunek 4. Stężenie analizowanych jonów [ $\mu\text{eq}/\text{dm}^3$ ] w opadach deszczu i śniegu pobranych w okresie od 1.11.2017 do 30.03.2018 roku na Polskiej Stacji Antarktycznej, im. H. Arctowskiego



Rysunek 5. Stężenia jonów w śniegu powierzchniowym pobranych na stacji Maitri, Queen Maud Land (Ali i in., 2010)



**Rysunek 6. Stężenia jonów w aerozolu pobranych w centralnej Antarktydzie, stacja Concordia (Nudisti i in., 2012)**

Porównanie wyników pozwoliło ustalić, że w próbkach opadów pobieranych na stacji H. Arctowskiego i na stacji Maitri najwyższe były stężenia anionów chlorkowych, a najniższe fluorków. W przypadku stacji Concordia stężenia jonów chlorkowych w aerozolu były bardzo niskie, a najwyższe wartości stężeń przypadły na jony siarczanowe. Zdecydowana dominacja anionów chlorkowych uzyskana na dwóch pierwszych stacjach mogła być związana z nanoszeniem aerozoli morskich i ich wymywaniem z opadami nad stacjami pomiarowymi (Ali i in., 2010). Różnice uzyskane względem trzeciej stacji mogły wynikać z jej umiejscowienia w głębi lądu, w największej odległości od oceanu oraz z faktu, że w tym przypadku oznaczano skład chemiczny aerozoli, a nie opadów (Nudisti i in., 2012).

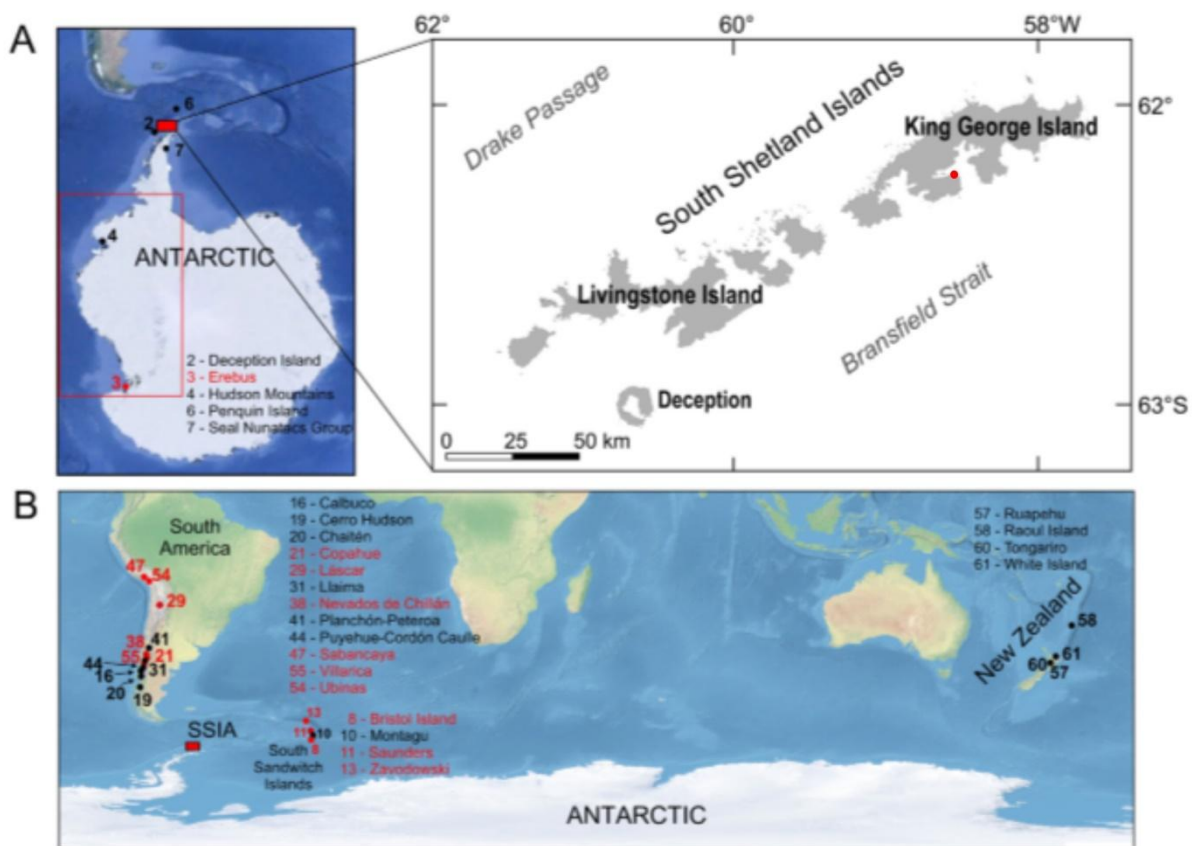
Skład chemiczny opadów i stopień ich zanieczyszczenia zależy od wielu czynników. Nad czystymi rejonami polarnymi należy się spodziewać, że zanieczyszczenia nanoszone są z odległych kontynentów, gdzie do powietrza dostają się one na skutek aktywności antropogenicznej (Burkow i Kallenborn, 2000; Kallenborn i in., 2015; <http://www.educapoles.org>). W bezpośredniej bliskości oceanu, jak to miało miejsce w przypadku stacji im. H. Arctowskiego, wzrost stężenia anionów chlorkowych, fluorkowych czy siarczanowych w opadach mógł być konsekwencją emisji aerozoli morskich do atmosfery (Pociask-Karteczka, 1987; Lewandowska i in.). Stężenie aerozoli morskich wzrasta bowiem z kwadratem prędkości wiatru (Macdonald, 2003). Wzrost stężenia jonów w opadach do wartości ekstremalnych czy odstających mógł być wywołany sztormem, związanym z bardzo wysokimi prędkościami wiatru, dochodzącymi do 30 m/s, a nawet 60 m/s podczas huraganów w dniach je poprzedzających. Znad oceanu mogły wówczas napływać nad stację pomiarową masy powietrza bogate w składniki soli morskiej. W konsekwencji procesu oczyszczania atmosfery z opadami, nad stacją wzrastało stężenie analizowanych składników w pobranych próbkach opadów. Takie sytuacje odnotowano w dniu/dniach 10.11.2017, 29.11.2017, 24.02. 2018 i 24-26.03.2018. Wówczas stężenie chlorków wyniosło 114,98 mg/dm<sup>3</sup>, 111,56 mg/dm<sup>3</sup>, 411,79 mg/dm<sup>3</sup> i 132,56 mg/dm<sup>3</sup>.

Biorąc pod uwagę, że proporcje w jakich występują jony w wodzie morskiej w stosunku do jonów sodu są stałe można określić morskie pochodzenie tych jonów

w opadach (Sievering i in., 2004). W przypadku jonów chlorków stosunek ten został ustalony na 1,18, w przypadku siarczanów na 0,06, a w przypadku fluorków na 0,00012. Spośród analizowanych próbek deszczu w 16 stwierdzono wyższe wartości stosunku  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  od wartości charakterystycznej dla wody morskiej (średnio 1,64). Jednocześnie w 21 próbkach deszczu spośród 36 poddanych analizie stwierdzono występowanie siarczanów niezwiązanych z solą morską. Stosunek  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$  w tych próbkach wynosił średnio 0,15. W śniegu, podobnie jak w deszczu, odnotowano podwyższoną zawartość jonów chlorkowych, a stosunki jonowe wynosiły średnio 1,62. W przypadku jonów siarczanowych w opadach śniegu nie odnotowano wyższych stosunków jonowych od wartości charakterystycznych dla wody morskiej. W przypadku fluorków, stosunek ich stężeń do stężeń sodu był wyższy we wszystkich próbkach opadów, zarówno deszczu jak i śniegu względem wartości charakterystycznej dla wody morskiej (średnio 0,0007 w deszczu i 0,003 w śniegu). Można zatem stwierdzić, że fluorki nie pochodziły z wody morskiej (Lewandowska i in., 2013).

Celem określenia potencjalnego źródła pochodzenia jonów w opadach na przełomie 2017 i 2018 roku nad stacją im. H. Arctowskiego prześledzono dane meteorologiczne i trajektorie ruchu mas powietrza. Pozwoliło to wyszczególnić prawdopodobne przyczyny ekstremalnie wysokich stężeń jonowych składników opadów. Zawartość anionów wzrastała po parodniowej przerwie w opadach. Wszystkie wartości ekstremalne wystąpiły, gdy masy powietrza napływały z Ameryki Południowej. Z kolei trwające przez kilka następujących po sobie dni wysokie wartości stężeń siarczanów odnotowano, gdy masy powietrza napływały z Antarktydy.

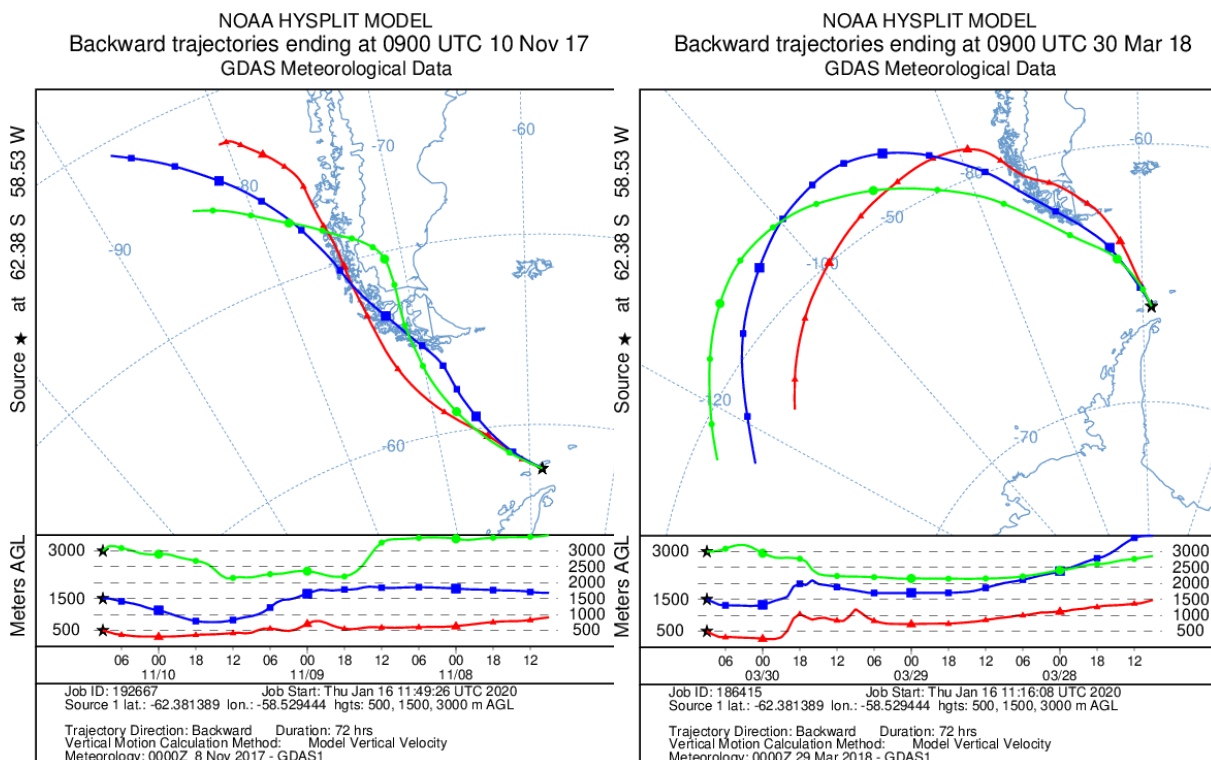
Celem ustalenia, czy wulkany zlokalizowane na półkuli południowej mogły odegrać znaczenie w kształtowaniu wysokich stężeń analizowanych składników opadów przeanalizowano trajektorie ruchu mas powietrza w celu skorelowania kierunków ich napływu z rozmieszczeniem wulkanów na kontynentach południowej półkuli (rys. 7). Skupiono się przede wszystkim na masach napływających z Ameryki Południowej (rys. 8 i 9) oraz potencjalnie aktywnego wulkanicznie z kontynentu Antarktydy (rys. 10 i 11). Analizie poddano dni, gdy odnotowano najwyższe stężenia anionów w opadach (10.11.2017, 19.03.2018 i 30.03.2018). Dane zestawiono z mapami rozmieszczenia wulkanów na tych kontynentach.



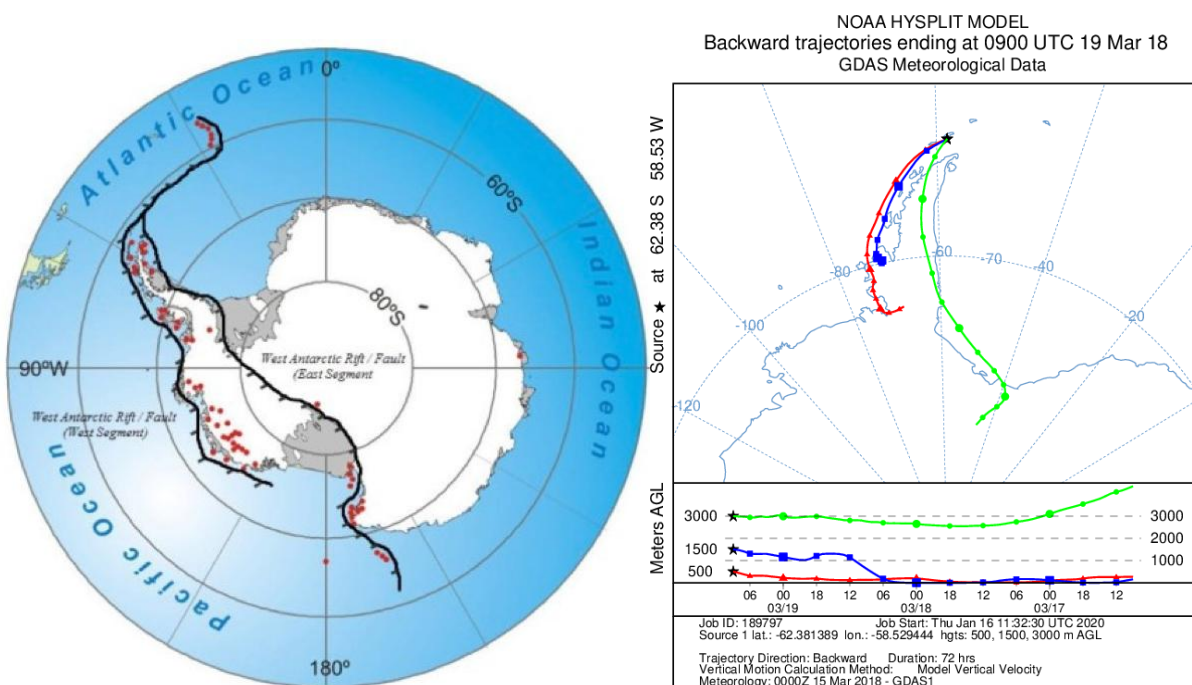
Rysunek 7. Rozmieszczenie na półkuli południowej wulkanów aktywnych w XXI w. Na czerwono zaznaczono wulkany aktywne w latach 2015-2017 (Szumińska i in., 2018)



Rysunek 8. Rozmieszczenie wulkanów w Ameryce Południowej (www.researchgate.net)



Rysunek 9. Trajektorie mas powietrza znad Ameryki Południowej dla wybranych dni, w których odnotowano najwyższe zawartości anionów w próbkach (www.ready.noaa.gov)



Rysunek 10. Rozmieszczenie wulkanów na Antarktydzie (www.plateclimatology.com)  
Rysunek 11. Trajektorie mas powietrza znad Antarktydy dla dnia, w którym odnotowano podwyższone zawartości anionów w próbkach (www.ready.noaa.gov)

Biorąc pod uwagę trajektorie ruchu mas powietrza dla 10 listopada 2017 roku i 30 marca 2018 roku (rys. 9) można stwierdzić, że w tych dniach istniało prawdopodobieństwo nanoszenia zanieczyszczeń znad Ameryki Południowej, gdzie zlokalizowane są liczne wulkany. Stąd w tych dniach, bądź kilku następnym w rejonie stacji H. Arctowskiego mógł być odnotowywany nadmiar chlorków czy fluorków w opadach. Stosunki jonowe były wówczas ekstremalnie wysokie i wynosiły: 14,30 dla  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$ , 0,31 dla  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$  i 0,007 dla  $\text{F}^-/\text{Na}^+$  w dniu 10.11.2017 oraz 7895,42 dla  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  1060 dla  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$  i 0,88 dla  $\text{F}^-/\text{Na}^+$  w dniu 30.03.2018 roku. Z kolei 19 marca 2018 roku masy powietrza napływały znad Antarktydy (rys. 11), wzdłuż Półwyspu Antarktycznego. Odnotowano wówczas wysokie wartości stosunków jonowych, szczególnie zauważalne w siarczanach. Wynosiły one 0,24 dla  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$ , 1,69 dla  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  i 0,004 dla  $\text{F}^-/\text{Na}^+$ . Wartości jonów na tym poziomie utrzymywały się w czasie przez kilka dni, podczas których dominował kierunek wiatru i napływ mas powietrza znad zachodniej Antarktydy. Możliwe jest, iż z pasa wulkanicznego Zachodniej Antarktydy wydostają się związki pochodzenia wulkanicznego, które wraz z powietrzem są transportowane nad inne rejony, w tym obszar badań na stacji H. Arctowskiego.

## 5. Wnioski

Na zachodnim wybrzeżu Ameryki Południowej oraz w zachodniej części Antarktydy znajdują się obszary wulkaniczne, które były aktywne w okresie bezpośrednio poprzedzającym badania prowadzone na stacji im. H. Arctowskiego na przełomie 2017 i 2018 roku. Stąd istniało prawdopodobieństwo, że gazy i aerozole pochodzenia wulkanicznego, które mogą rozprzestrzeniać się na znacznych wysokościach docierały z opadami nad stację badawczą.

Spośród analizowanych w opadach składników jonowych, mogących mieć pochodzenie wulkaniczne, największymi stężeniami charakteryzowały się chlorki, a najniższymi fluorki.

Wysokie stężenie jonów chlorkowych w opadach determinowane było prawdopodobnie aktywnością oceanów, przejawiającą się emisją soli morskiej do atmosfery. Jakkolwiek najwyższe stężenia analizowanych jonów odnotowano w sytuacjach, gdy nad stację badawczą napływały masy powietrza znad rejonów aktywnych wulkanicznie (Ameryka Południowa i głębia kontynentu Antarktycznego). Sprzyjały temu wysokie prędkości wiatru.

Badania prowadzone na stacji H. Arctowskiego na przełomie 2017/2018 roku miały charakter pilotażowy. Uzyskane wyniki wskazują na potrzebę kontynuacji pomiarów celem określenia roli, jaką pełnią naturalne składniki aerozoli, w tym pochodzenia wulkanicznego, w kształtowaniu zmian klimatu rejonów polarnych.

## Podziękowania:

Badania prowadzone były w ramach projektu pt. „Monitoring Chemizmu Opadów Atmosferycznych na polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego”, przy współpracy z Instytutem Biochemii i Biofizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie.



*The author gratefully acknowledge the NOAA Air Resources Laboratory (ARL) for the provision of the HYSPLIT transport and dispersion model and READY website (<https://www.ready.noaa.gov>) used in this publication.*

### **Bibliografia:**

1. Ali K., Sonbawane S., Chate D. M., Singh D., Rao P. S. P., Safai P. D., Budhavant K. B., (2010). Chemistry of snow land lake water in Antarctic region. *Journal of Earth System Science* 119, 753 – 762.
2. Burkow, I. C., & Kallenborn, R. (2000). Sources and transport of persistent pollutants to the Arctic. *Toxicology letters*, 112, 87-92.
3. de Vries, M. V. W., Bingham, R. G., & Hein, A. S. (2018). A new volcanic province: an inventory of subglacial volcanoes in West Antarctica. Geological Society, London, Special Publications, 461(1), 231-248.
4. Gierak, A. (1997). Analiza jonów nieorganicznych w wodzie metody chromatografii jonowej. *Ochrona Środowiska*, 19, 19-27.
5. Kallenborn, R., Hung, H., & Brorström-Lundén, E. (2015). Atmospheric long-range transport of persistent organic pollutants (POPs) into polar regions. In *Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 67, pp. 411-432). Elsevier.
6. Kluk, D. (2014). Zastosowanie chromatografii jonowej do analizowania próbek środowiskowych. *Nafta-Gaz*, 70(1), 46-56.
7. Lewandowska, A., Falkowska, L., Witkowska, A., & Bełdowska, M. Fluoride in aerosols of the coastal zone.
8. Lewandowska A., L. Falkowska. (2009). Gazy i aerozole w atmosferze ziemskiej - przewodnik metodyczny do ćwiczeń, 1-258.
9. Lewandowska, A., Falkowska, L., & Józwiak, J. (2013). Factors determining the fluctuation of fluoride concentrations in PM10 aerosols in the urbanized coastal area of the Baltic Sea (Gdynia, Poland). *Environmental Science and Pollution Research*, 20(9), 6109-6118.
10. Mather, T. A., Pyle, D. M., & Oppenheimer, C. (2003). Tropospheric volcanic aerosol. Geophysical Monograph-American Geophysical Union, 139, 189-212.
11. Mather, T. A., Oppenheimer, C., Allen, A. G., & McGonigle, A. J. S. (2004). Aerosol chemistry of emissions from three contrasting volcanoes in Italy. *Atmospheric Environment*, 38(33), 5637-5649.
12. Macdonald, R. (2003). Theory and Objectives of Air Dispersion Modelling, Department of Mechanical Engineering, University of Waterloo, Canada
13. Pociask-Karteczka, J. (1987). Wpływ areozoli morskich na zawartość chlorków w wodach opadowych w rejonie Palffyodden (SW Sorkapland, Spitsbergen). (Marine aerosols influence on the chlorides content in the rainwater in the Palfyoden (SW Sorkapland, Spitsbergen). *Materiały XIV Sympozjum Polarnego, Lublin*, 161-165.
14. Rolph, G., Stein, A., and Stunder, B., (2017). *Real-time Environmental Applications and Display sYstem: READY. Environmental Modelling & Software*, 95, 210-228.
15. Sievering, H., Caine, J., Harvey, M., McGregor, J., Nichol, S., & Quinn, P. (2004). Aerosol non-sea-salt sulfate in the remote marine boundary layer under clear-sky and normal cloudiness conditions: Ocean-derived biogenic alkalinity enhances sea-salt sulfate

- production by ozone oxidation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D19).
16. Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., and Ngan, F., (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **96**, 2059-2077.
  - Stenchikov, G. (2016). The role of volcanic activity in climate and global change. In *Climate change* (pp. 419-447). Elsevier.
  17. Szumińska, D., Czapiewski, S., Szopińska, M., & Polkowska, Ż. (2018). Analysis of air mass back trajectories with present and historical volcanic activity and anthropogenic compounds to infer pollution sources in the South Shetland Islands (Antarctica). *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, 15(1), 111-137.

#### **Źródła internetowe:**

18. [http://www.educapoles.org/assets/uploads/teaching\\_dossiers\\_files/edd\\_20\\_en.pdf](http://www.educapoles.org/assets/uploads/teaching_dossiers_files/edd_20_en.pdf), (10.06.2020).
19. <https://www.intechopen.com/books/updates-in-volcanology-from-volcano-modelling-to-volcano-geology/radiative-impacts-of-volcanic-aerosol-in-the-arctic> (20.05.2020).
20. <http://www.iasplanner.com/civilservices/ias-pre/gs-geography/volcanoes-landforms-distribution-of-volcanoes-types-of-lava> (20.05.2020).
21. <https://ocean.ug.edu.pl/media/zaklady/zchmiosm/Metoda%20chromatograficznego%20oznaczenia%20%20%20%20%20%20%20anionow%20i%20kationow.pdf>, (12.01.2020)
22. <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/traj1.pl>, (16.01.2020).
23. [https://volcano.si.edu/reports\\_weekly.cfm](https://volcano.si.edu/reports_weekly.cfm), (16.01.2020).

## 10. BADANIA SYMULACYJNE WPLYWU KĄTA PODAWANIA STRUMIENIA SSP NA SKUTECZNOŚĆ CHŁODZENIA W STREFIE SZLIFOWANIA OTWORÓW

**mgr inż. Wiesław Czapiewski**

Politechnika Koszalińska

Wydział Mechaniczny

Raławicka 15-17, 75-620 Koszalin

E-mail: w.czapiewski@szypryt.pl

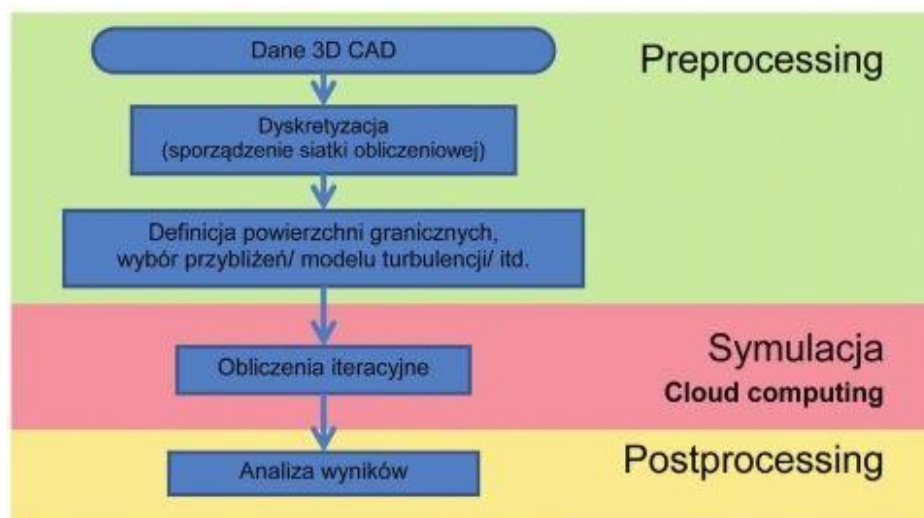
### 1. Wstęp

W procesie szlifowania powstaje ciepło, które jest wynikiem tarcia pomiędzy narzędziem a przedmiotem obrabianym a także pomiędzy narzędziem a wiórem. Znaczna część ciepła zostaje zmagazynowana w wiórze i wraz z nim zostaje usunięta ze strefy obróbki, pozostała część ciepła przechodzi do przedmiotu obrabianego oraz narzędzia. Pozostająca w strefie obróbki ilość ciepła jest na tyle duża, by powodować powstawanie wysokich temperatur, a co za tym idzie, niekorzystnie wpływać na jakość procesu oraz trwałość narzędzia a także ilość energii zużytej podczas szlifowania [Wang i in., 2003].

Obliczeniowa mechanika płynów CFD to dział mechaniki płynów wykorzystujący metody numeryczne do rozwiązywania zagadnień przepływu płynów [Tannehill i in., 1994]. Podczas przepływu płynów występuje szereg zjawisk. Zjawiska te związane są z wzajemnym oddziaływaniem: płyn-płyn lub płyn-ciało stałe. Zjawiska takie jak rozpraszanie, dyfuzja, konwekcja, fale uderzeniowe, turbulencje oraz występowanie powierzchni poślizgowych i warstw granicznych opisuje się równaniami Naviera-Stokesa i ich modyfikacjami. Przy pomocy tych cząstkowych równań różniczkowych można rozwiązać w sposób analityczny tylko nieliczne wspomniane ww. zagadnienia. Wiele z najistotniejszych aspektów tych zjawisk ma charakter nieliniowy, konsekwencją tego jest brak ich analitycznego rozwiązania. W związku z tym w zakresie rzeczywistych problemów, z którymi zwykle spotykamy się w praktyce życia codziennego, należy stosować metody numeryczne (iteracyjne). Metody te dostarczają rozwiązań przybliżonych.

Proces numerycznego rozwiązywania zadanego problemu z dziedziny mechaniki płynów można podzielić na trzy etapy (rys. 1) [Tarnowski, 2011]:

1. sformułowanie problemu w języku pojęć fizycznych (przyjęcie założeń dotyczących modelowanego procesu, rodzaju płynu i charakteru przepływu);
2. matematyczne sformułowanie problemu (w formie równań różniczkowych cząstkowych, definicji obszaru obliczeniowego, warunków brzegowych i początkowych);
3. rozwiązanie numeryczne (metody dyskretyzacji obszaru, równań, algorytmy rozwiązywania równań różniczkowych cząstkowych oraz inne algorytmy numeryczne).



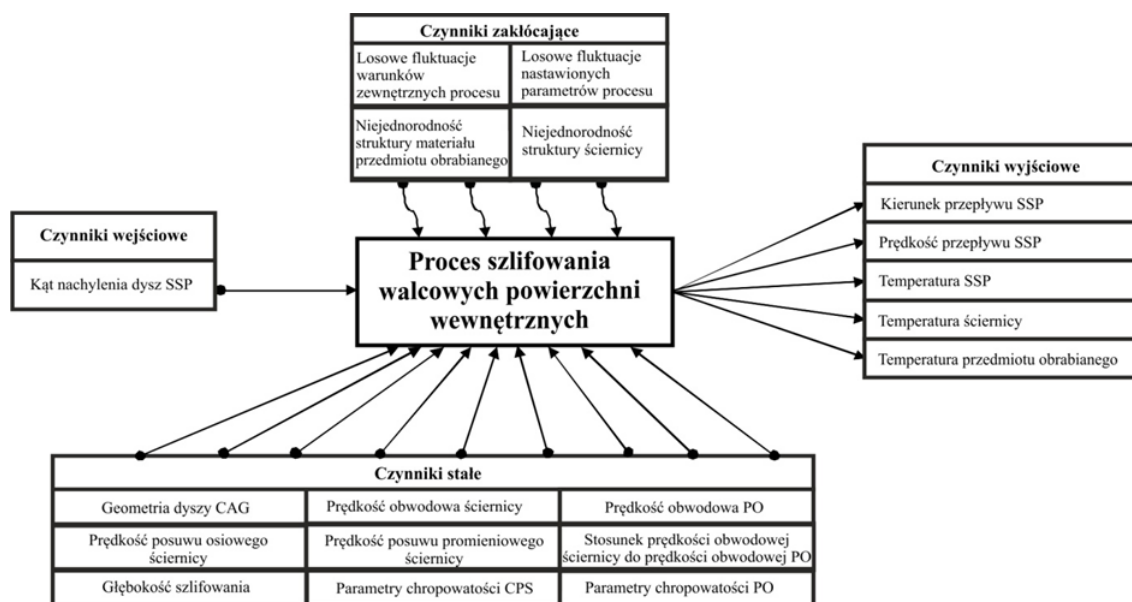
**Rysunek 1. Etapy numerycznego rozwiązywania problemów z dziedziny CFD [www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl]**

## 2. Materiały i metody

Celem przeprowadzenia badań symulacyjnych było uzyskanie informacji, które umożliwiłyby wybór możliwie najkorzystniejszego, pod względem możliwości chłodzenia strefy szlifowania, kąta podawania strumienia SSP. Symulację przeprowadzono dla różnych wariantów kąta nachylenia końcówek dyszy CAG doprowadzających strumień SSP do strefy szlifowania.

Zestawienie wyników różnych wariantów symulacji miało pozwolić na wybór najkorzystniejszej konfiguracji badanego układu (optymalizację), bez konieczności przeprowadzania rzeczywistych badań porównawczych.

Na rysunku 2 przedstawiono schematycznie czynniki wejściowe, wyjściowe, stałe oraz zakłócające w odniesieniu do obiektu badań, który stanowi proces szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych z zastosowaniem dysz CAG.



**Rysunek 2. Schemat obiektu badań w postaci czarnej skrzynki dla badań symulacyjnych wpływu kąta podawania strumienia SSP na kierunek przepływu, prędkość oraz temperaturę czynnika chłodzącego w strefie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych [Czapiewski, 2019]**

Głównym problemem badawczym było znalezienie odpowiedzi na pytanie: Jaki jest wpływ zmian kąta podawania strumienia SSP, dostarczanego do strefy szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych, z zastosowaniem dysz CAG, na przebieg i wyniki procesu szlifowania?

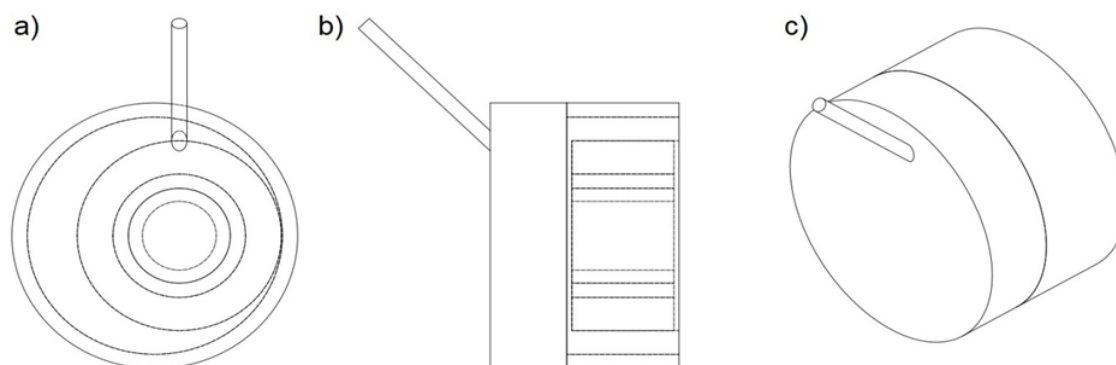
Do znalezienia odpowiedzi na tak postawione pytanie wykorzystano moduł CFX programu ANSYS. Oprogramowanie to jest jednym z narzędzi CAE (ang. *Computer Aided Engineering*) dostępnych w środowisku ANSYS Workbench. Program ANSYS CFX wykorzystuje najnowsze rozwiązania z zakresu obliczeń numerycznych w tym możliwość przeprowadzenia obliczeń w trybie równoległym [www.mesco.com.pl, 2019]. Pozwala on na przeprowadzenie symulacji zjawisk i optymalizację. Zaczynając od powiązania modelu w systemie CAD ze środowiskiem Workbench poprzez przygotowanie siatki MES (ang. *Finite Element Method*), odpowiedniej do symulowanego zjawiska. Po zdefiniowaniu modelu, zaawansowany postprocesor pozwala uzyskać konkretne dane liczbowe jak i przedstawić wyniki w sposób graficzny. Zaczynając od obrazów, animacji, raportów do generacji interaktywnych modeli 3D.

W tabeli 1 przedstawione zostały założenia i uproszczenia przyjęte dla celów realizacji symulacji.

**Tabela 1. Założenia i uproszczenia przyjęte w symulacji [Czapiewski, 2019]**

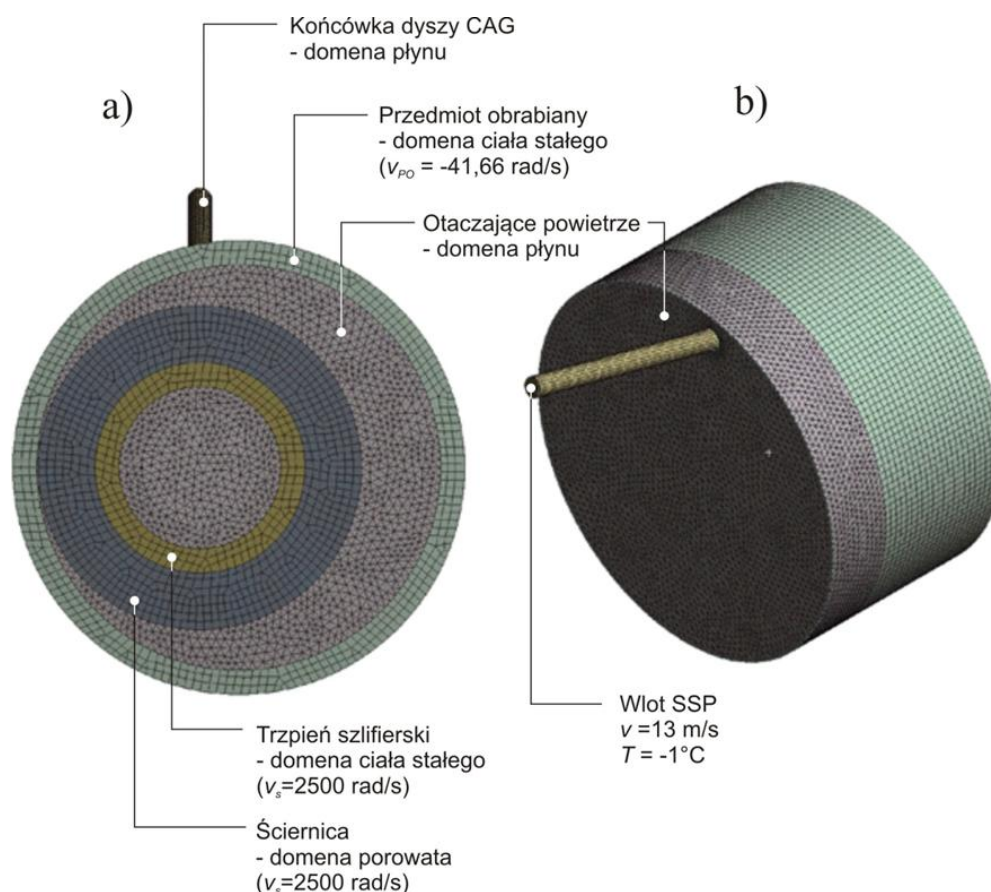
Założenia	Uproszczenia
Ściernica odsunięta jest od powierzchni PO o 0,2 mm;	Pominięto występowanie zagadnień kontaktowych pomiędzy CPS a powierzchnią przedmiotu obrabianego;
Uwzględniono tylko ruch główny obrotowy ściernicy i przeciwbieżny obrót PO;	Pominięto posuw osiowy ściernicy $v_{fo}$ oraz posuw promieniowy ściernicy $v_{fr}$ w celu uproszczenia kinematyki układu i skrócenia czasu obliczeń symulacyjnych;
Powietrze odznacza się właściwościami gazu doskonałego;	Oddziaływania międzycząsteczkowe sprowadzają się tylko do odpychania w momencie doskonale sprężystych zderzeń; Cząsteczki znajdują się w ciągłym chaotycznym ruchu a ich objętość jest znikoma w odniesieniu do objętości gazu;
Masa powietrza oraz aerozolu olejowego jest relatywnie niewielka;	Pomija się wpływ przyśpieszenia ziemskiego na przepływ czynników w rozpatrywanym układzie;
Wymiana ciepła odbywa się za pośrednictwem konwekcji wymuszonej i przewodzenia ciepła;	Pomija się udział zjawiska promieniowania w rozpatrywanym przypadku wymiany ciepła;
Zakłada się, że źródłem ciepła jest zewnętrzna powierzchnia ściernicy ( $T_{CPS} = 85^{\circ}\text{C}$ ) oraz wewnętrzna powierzchnia PO ( $T_{PO} = 215^{\circ}\text{C}$ );	Pomija się wpływ innych ewentualnych źródeł ciepła, takich jak elementy obrabiarki lub źródła światła w pomieszczeniu;
Zakłada się, że ściany końcówek dysz CAG są izolowane;	Pomija się wymianę ciepła pomiędzy otoczeniem a ścianami końcówek dyszy CAG oraz ścianami otworów dyszy doprowadzającej aerosol olejowy;
Jako materiał ściernicy przyjęto $\text{Al}_2\text{O}_3$ o strukturze porowatej.	Pomija się udział materiału spoiwa w symulacji.

Trójwymiarowy model geometryczny układu zastosowanego w symulacji został przygotowany w programie AUTODESK® Inventor Professional 2016, Na rysunku 3 przedstawiono widoki zamodelowanego układu. Model geometryczny przygotowany w programie AUTODESK® Inventor został następnie wyeksportowany do programu ANSYS® Design wraz z uwzględnieniem parametru zmiennego (kąta nachylenia dyszy CAG) [Czapiewski, 2019].



**Rysunek 3. Model symulowanego układu: a) widok części przedniej; b) widok od strony bocznej; c) ogólny widok trójwymiarowego modelu [Czapiewski, 2019]**

Podczas dyskretyzacji, bryły modelu zostały podzielone na elementy skończone, sposób podziału uwzględniał kształt brył co wpływało na rodzaj, porządek oraz sposób tworzenia siatki, a także powodowało miejscowe zagęszczenia siatki tak by w sposób precyzyjny odzwierciedlać geometrię rozpatrywanego układu (rys. 4).



**Rysunek 4. Opis modelu układu rozpatrywanego w symulacji po dyskretyzacji: a) widok części tylnej modelu; b) izometryczny widok modelu [Czapiewski, 2019]**

Bryły regularnych ciał stałych i porowatych (geometria przedmiotu obrabianego, geometria ściernicy oraz trzpienia) oraz płynów ograniczonych ścianą cylindryczną

(geometria końcówek dyszy SSP) zostały podzielone na sześciennie elementy skończone (ang. *hexahedrons*). Pozostałe bryły o bardziej złożonej geometrii, strukturze i przewidywanej charakterystyce przepływu (geometria powietrza otoczenia) zostały podzielone na elementy czworosieczne (ang. *tetrahedrons*), które odznaczają się większą możliwością dopasowania do geometrii o skomplikowanych kształtach, co jednak może wpłynąć na większe zapotrzebowanie na moc obliczeniową stacji roboczej [Czapiewski, 2019].

Struktura siatki poszczególnych wariantów geometrycznych układu była nieco zróżnicowana, co wynikało z różnych wartości kąta nachylenia brył odzwierciedlających końcówki dysz doprowadzających SSP. W konsekwencji zmianie uległy objętości brył modelu. Zestawienie parametrów złożoności siatki wszystkich wariantów geometrycznych przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2. Zestawienie właściwości siatki dla poszczególnego wariantu geometrii modelu [Czapiewski, 2019]**

Kąt nachylenia dysz SSP	Liczba elementów	Liczba węzłów
15	432253	118981
30	432738	119892
45	429315	117796

W tabeli 3 przedstawiono wybrane parametry siatki zastosowanej w badaniach symulacyjnych.

**Tabela 3. Zestawienie parametrów siatki elementów skończonych modelu [Czapiewski, 2019]**

Nazwa cechy opisującej siatkę	Wartość
Sposób tworzenia siatki w oparciu o fizykę określonego typu analizy (ang. <i>physics preference</i> )	CFD
Porządek elementów (ang. <i>element order</i> )	Liniowy (ang. <i>linear</i> )
Funkcja rozmiaru (ang. <i>size function</i> )	Krzywa (ang. <i>curvature</i> )
Przejście (ang. <i>transition</i> )	Powolne (ang. <i>slow</i> )
Środek kąta rozpiętości (ang. <i>span angle center</i> )	Precyzyjny (ang. <i>fine</i> )
Wartość kąta normalnego krzywizny (ang. <i>curvature normal angle</i> )	18°
Minimalna wielkość elementu (ang. <i>minimal size</i> )	2,6639e-2 mm
Maksymalna wielkość płaszczyzny elementu (ang. <i>maximum face size</i> )	1,40 mm
Maksymalna wielkość elementu czworosiecznego (ang. <i>maximum tetra size</i> )	1,40 mm

Utworzony w programie ANSYS® Meshing model dyskretny został zaimportowany do programu ANSYS® CFX 18.1 w celu przypisania domen do każdej z jego brył oraz ustalenia typów granic. Ponadto w programie ANSYS® CFX 18.1 wprowadzone zostały warunki ogólne symulacji a także warunki początkowe poszczególnych domen.



W symulacji uwzględniono zarówno ruch główny obrotowy domeny ściernicy jak i ruch podstawowy posuwowy (przeciwbieżny obrót) domeny PO.

Właściwości płynów i ciał stałych zastosowanych w symulacji przedstawione zostały w tabeli 4.

**Tabela 4. Właściwości płynów i ciał stałych użytych w symulacji [Czapiewski, 2019]**

Ciało stałe / płyn	Model	Morfologia
Powietrze	Gaz idealny z biblioteki ANSYS®	Płyn w fazie ciągłej
Stal	Domyślny model stali z biblioteki ANSYS®	Ciało stałe w fazie ciągłej
Tritlenek diglinu (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Zdefiniowany model: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ciało stałe w fazie ciągłej

Ogólne ustawienia dotyczące charakterystyki i właściwości symulacji zostały przedstawione w tabeli 5.

**Tabela 5. Ogólne ustawienia właściwości symulacji [Czapiewski, 2019]**

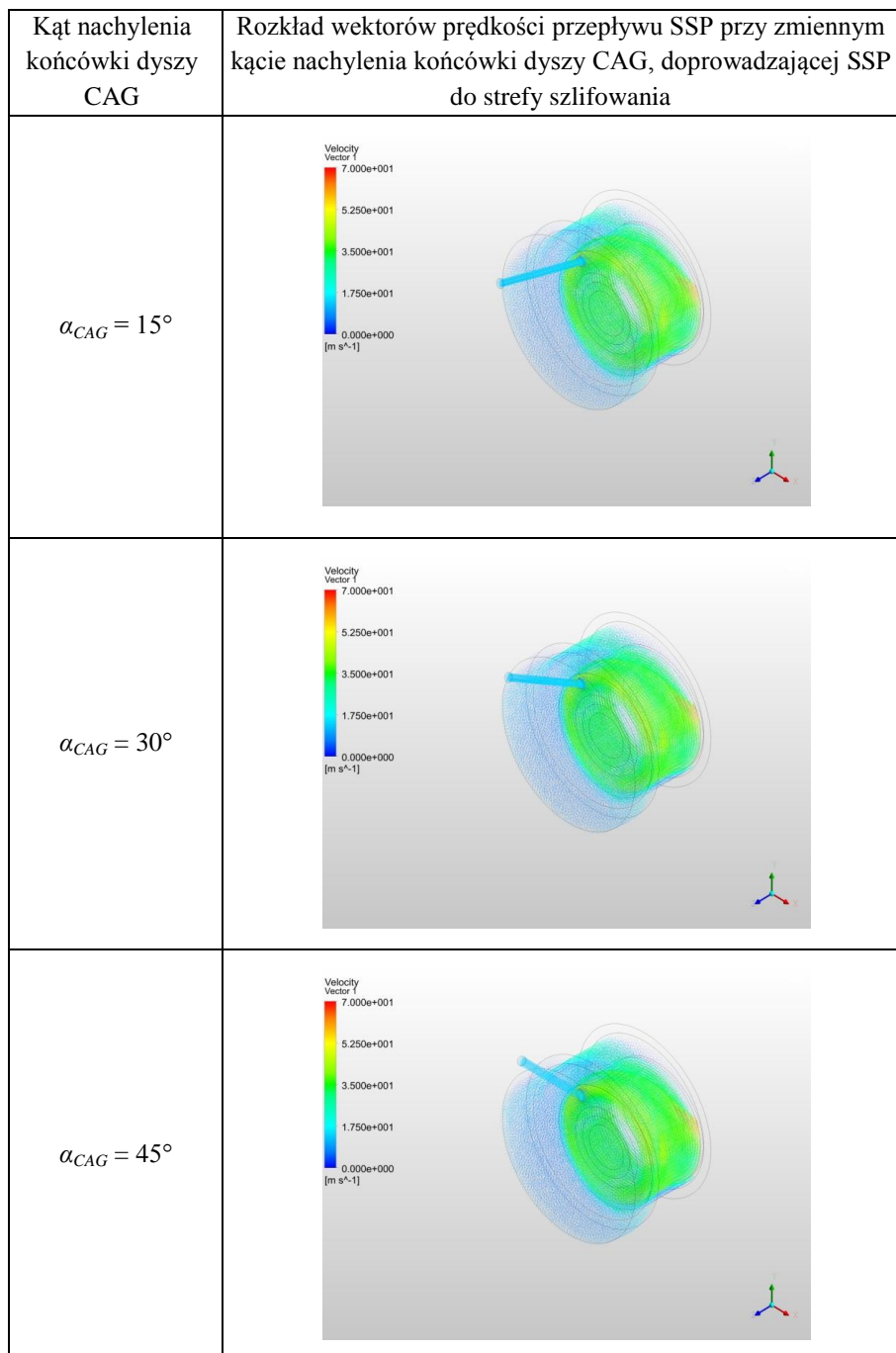
Właściwość	Ustawienie
Typ analizy	Analiza w stanie ustalonym (ang. <i>steady state</i> )
Krok czasowy dla płynów	Fizyczny krok czasowy: 0,004, s
Krok czasowy dla ciał stałych	Automatyczny
Model wymiany ciepła	Thermal Energy
Model turbulencji fazy ciągłej	Model transportu naprężeń ścinających – SST (ang. <i>shear stress transport</i> )
Wartość ciśnienia odniesienia	101325 Pa
Model wpływu grawitacji	Brak wpływu grawitacji
Stopień intensywności turbulencji	Średni (intensywność 5%)
Warunek przepływu	Poddźwiękowy

W celu przeprowadzenia badań symulacyjnych, zastosowane zostały modele matematyczne opisujące wymianę ciepła i turbulencję przepływu płynu w fazie ciągłej. Jako model turbulencji przepływu przyjęto dwurównaniowy model lepkości turbulentnej SST (ang. *Shear-Stress Transport model*), który został opracowany w 1994 roku przez F. R. Mentera i opiera się na modelu  $k-\omega$ .

### 3. Wyniki i dyskusja

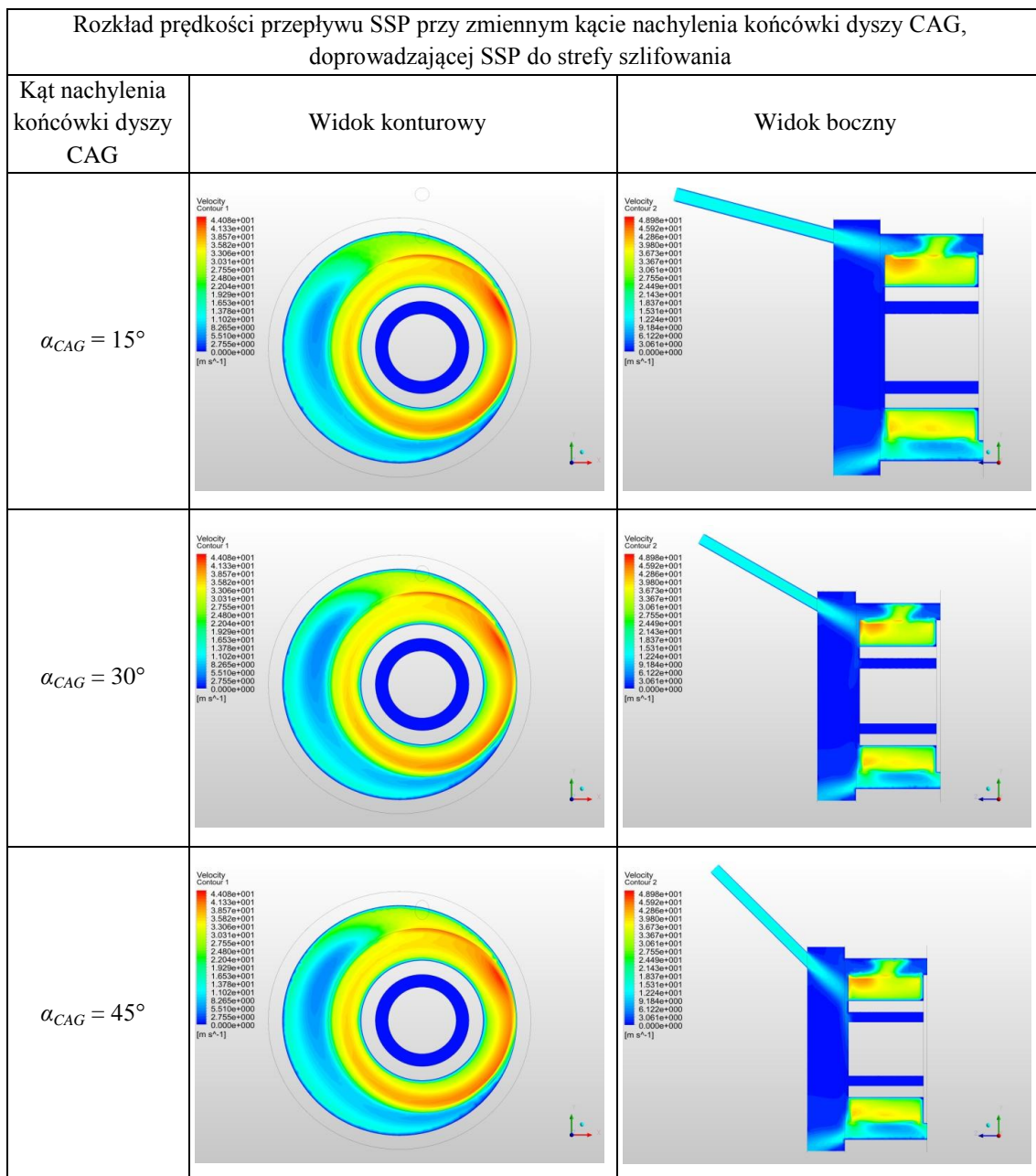
#### 3.1. Prędkość przepływu czynnika chłodząco-smarującego

Wyniki przedstawiające rozkład wektorów prędkości przepływu SSP w rozpatrywanym układzie, przy zmiennym kącie nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania, w zakresie  $\alpha_{CAG} = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$  zostały przedstawione na rysunku 5.



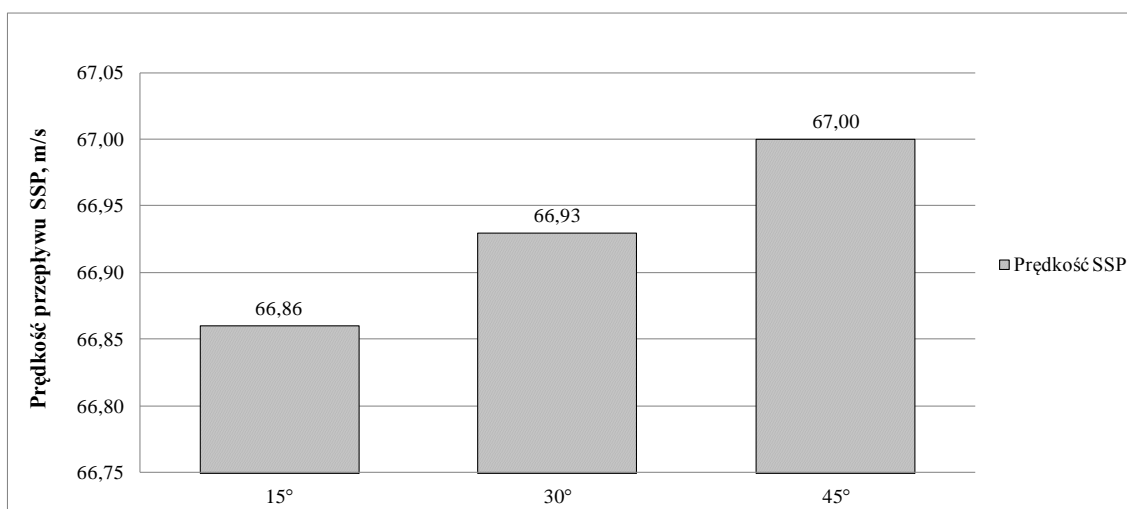
Rysunek 5. Wyniki badań symulacyjnych w zakresie rozkładu wektorów prędkości przepływu SSP w strefie szlifowania dla trzech różnych wariantów nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania

Wyniki przedstawiające rozkład prędkości przepływu SSP w rozpatrywanym układzie, przy zmiennym kącie nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania, w zakresie  $\alpha_{CAG} = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$  zostały przedstawione na rysunku 6.



Rysunek 6. Wyniki badań symulacyjnych w zakresie rozkładu prędkości przepływu SSP w strefie szlifowania dla trzech różnych wariantów nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania

Na rysunku 7 przedstawiono zestawienie wyników maksymalnej prędkości przepływu SSP w rozpatrywanym układzie, przy zmiennym kącie nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania, w zakresie  $\alpha_{CAG} = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$ .



**Rysunek 7. Zestawienie wyników badań symulacyjnych w zakresie maksymalnej prędkości przepływu SSP w strefie szlifowania dla trzech różnych wariantów nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania [Czapiewski, 2019]**

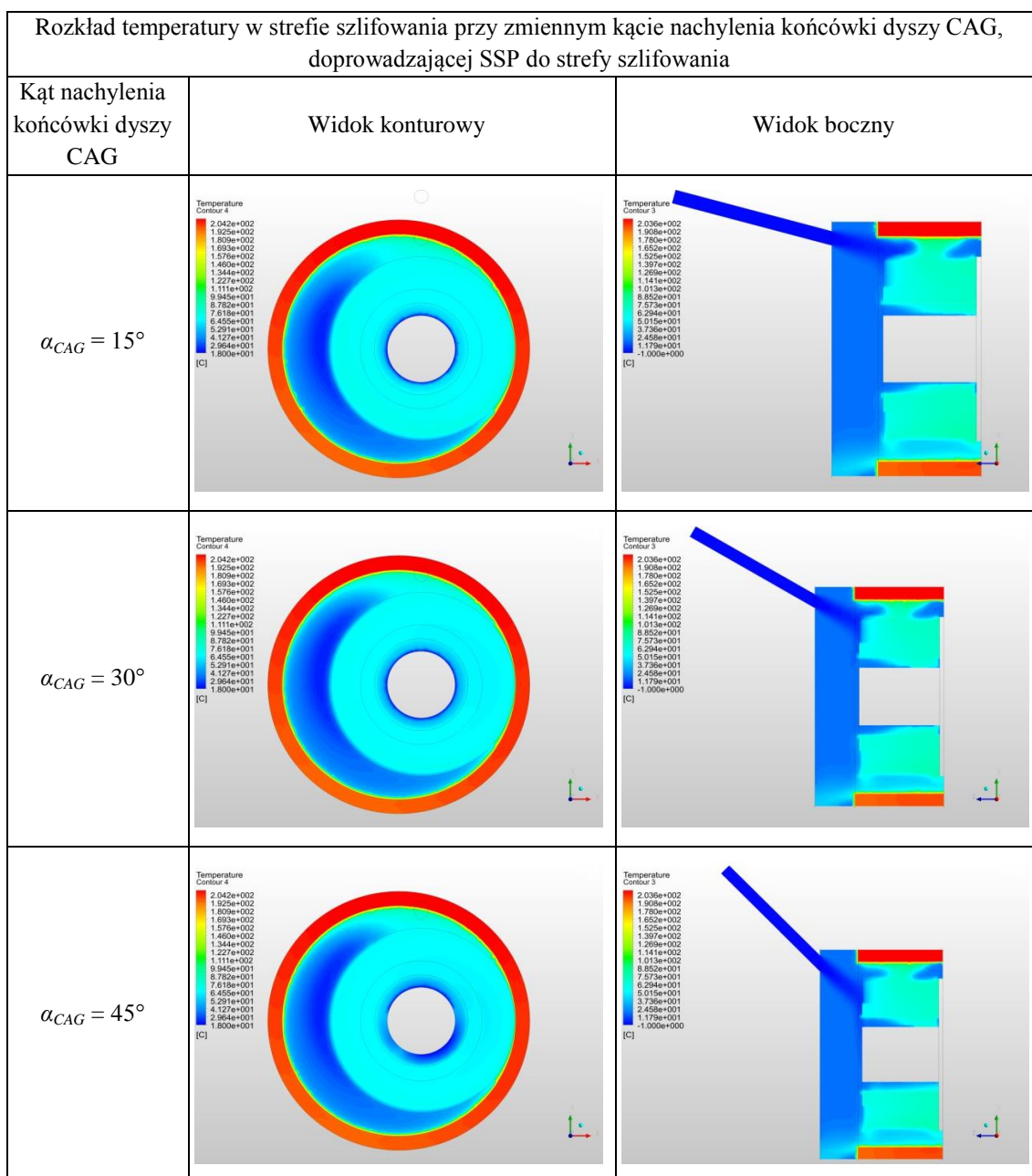
Wyniki badań symulacyjnych wykazały, że zmiana kąta nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania, w zakresie  $\alpha_{CAG} = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$  ma bezpośredni wpływ na warunki przepływu cząstek powietrza w strefie szlifowania. Największą maksymalną prędkość przepływu powietrza dla wszystkich wariantów symulacyjnych odnotowano w przypadku wariantu geometrycznego o nachyleniu końcówki dyszy CAG pod kątem  $45^\circ$  (67 m/s).

Wzrost prędkości przepływu powietrza, postępujący wraz ze wzrostem wartości kąta nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania jest spowodowany tym, że większa wartość kąta nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania powoduje, że strumień SSP jest skierowany w znacznej części na szybko obracającą się chropowatą powierzchnię czołową ściernicy, co może powodować bardziej intensywne rozpędzanie cząstek powietrza niż w przypadku mniejszego kąta nachylenia.

### 3.2. Temperatura ściernicy i przedmiotu obrabianego

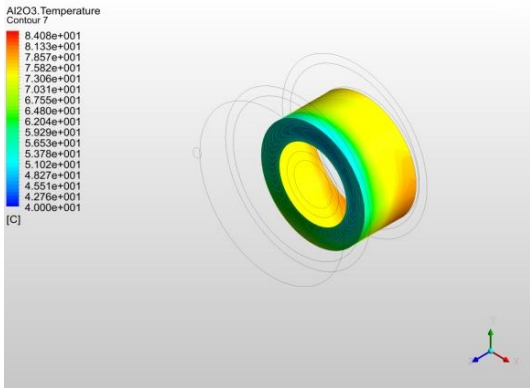
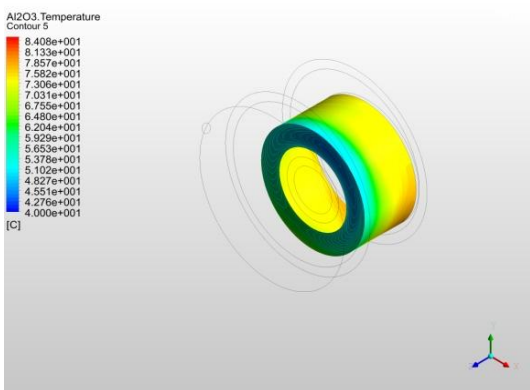
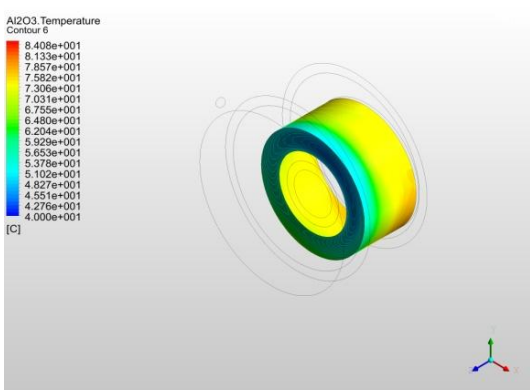
Przeprowadzone badania symulacyjne rozpatrywanego układu, umożliwiły również uzyskanie wyników dotyczących warunków termicznych panujących w strefie szlifowania, pozwoliły na dokonanie analizy temperatury na powierzchni domeny ściernicy i domeny PO.

Wyniki przedstawiające rozkład temperatury w strefie szlifowania w rozpatrywanym układzie, przy zmiennym kącie nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania, w zakresie  $\alpha_{CAG} = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$  zostały przedstawione na rysunku 8.



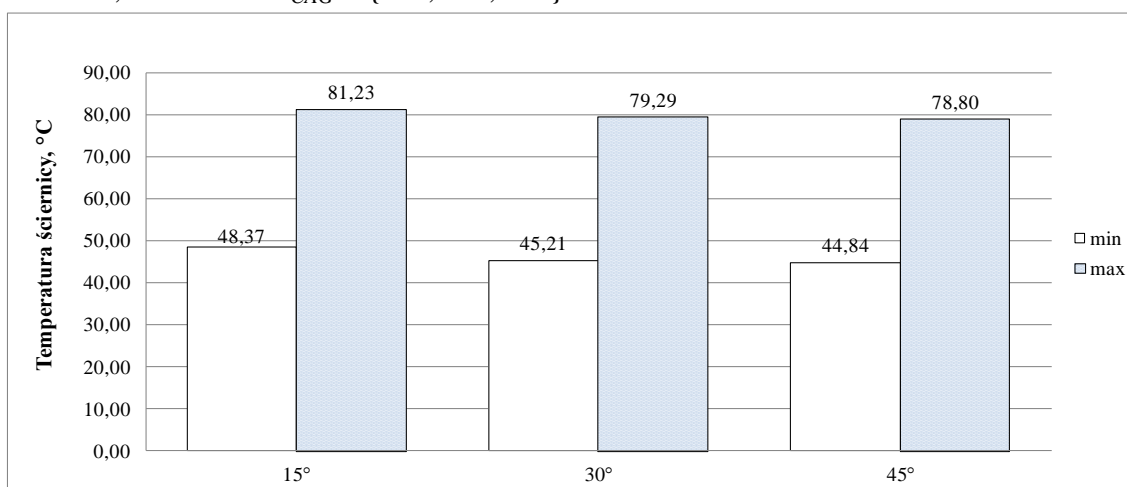
Rysunek 8. Wyniki badań symulacyjnych w zakresie rozkładu temperatury w strefie szlifowania dla trzech różnych wariantów nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania

Wyniki przedstawiające rozkład temperatury na powierzchni domeny ściernicy w rozpatrywanym układzie, przy zmiennym kącie nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania, w zakresie  $\alpha_{CAG} = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$  zostały przedstawione na rysunku 9.

Kąt nachylenia końcówki dyszy CAG	Rozkład temperatury na powierzchni domeny ściernicy przy zmiennym kącie nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania
$\alpha_{CAG} = 15^\circ$	
$\alpha_{CAG} = 30^\circ$	
$\alpha_{CAG} = 45^\circ$	

Rysunek 9. Wyniki badań symulacyjnych w zakresie rozkładu temperatury na powierzchni domeny ściernicy dla trzech różnych wariantów nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania

Na rysunku 10 przedstawiono zestawienie wyników minimalnych i maksymalnych wartości temperatury powierzchni domeny ściernicy w rozpatrywanym układzie, przy zmiennym kącie nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania, w zakresie  $\alpha_{CAG} = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$ .

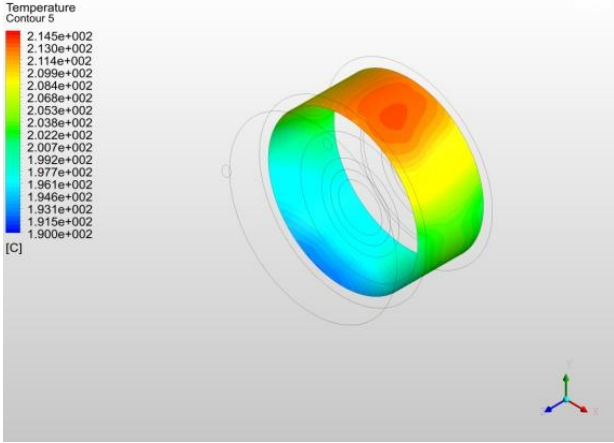
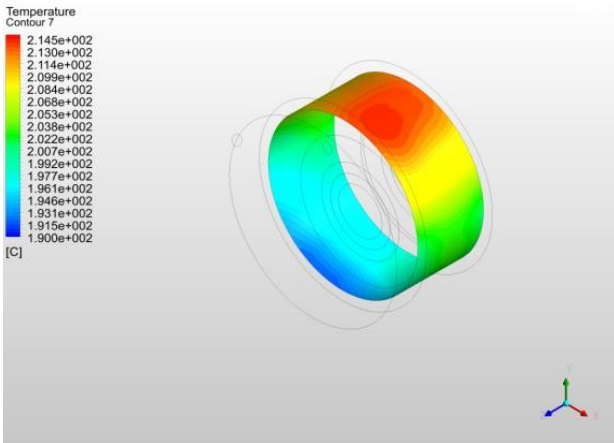
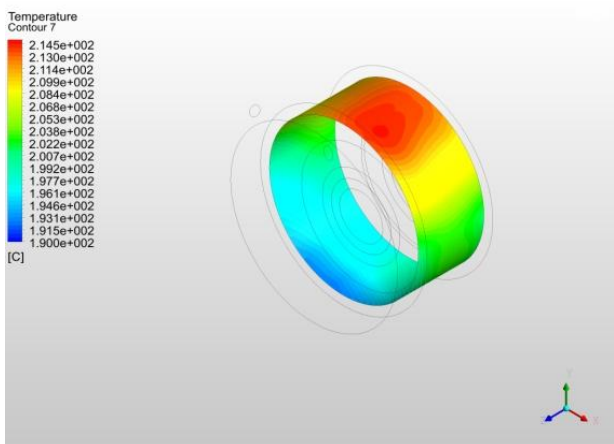


**Rysunek 10. Zestawienie wyników minimalnych i maksymalnych wartości temperatury powierzchni domeny ściernicy w rozpatrywanym układzie dla trzech różnych wariantów nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania [Czapiewski, 2019]**

Podobnie jak w przypadku prędkości przepływu cząstek powietrza w strefie szlifowania zmiana kąta nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania, w zakresie  $\alpha_{CAG} = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$  ma bezpośredni wpływ na warunki termiczne w strefie szlifowania. Największą maksymalną i minimalną wartość temperatury domeny ściernicy ( $T_{ds\ max} = 81,23^\circ\text{C}$ ,  $T_{ds\ min} = 48,37^\circ\text{C}$ ) dla wszystkich wariantów symulacyjnych odnotowano w przypadku wariantu geometrycznego o nachyleniu końcówki dyszy CAG pod kątem  $15^\circ$ , natomiast najmniejszą maksymalną i minimalną wartość temperatury domeny ściernicy ( $T_{ds\ max} = 78,80^\circ\text{C}$ ,  $T_{ds\ min} = 44,84^\circ\text{C}$ ) dla wszystkich wariantów symulacyjnych odnotowano w przypadku wariantu geometrycznego o nachyleniu końcówki dyszy CAG pod kątem  $45^\circ$ .

Badania symulacyjne wykazały tendencję do zmniejszania wartości temperatury domeny ściernicy  $T_{ds}$  wraz ze zwiększaniem wartości kąta nachylenia końcówki dyszy CAG  $\alpha_{CAG}$ . Skuteczność chłodzenia domeny ściernicy wzrasta wraz ze wzrostem kąta nachylenia końcówki dyszy CAG powodującej koncentrację większej części strumienia SSP o dużej prędkości na powierzchni ściernicy.

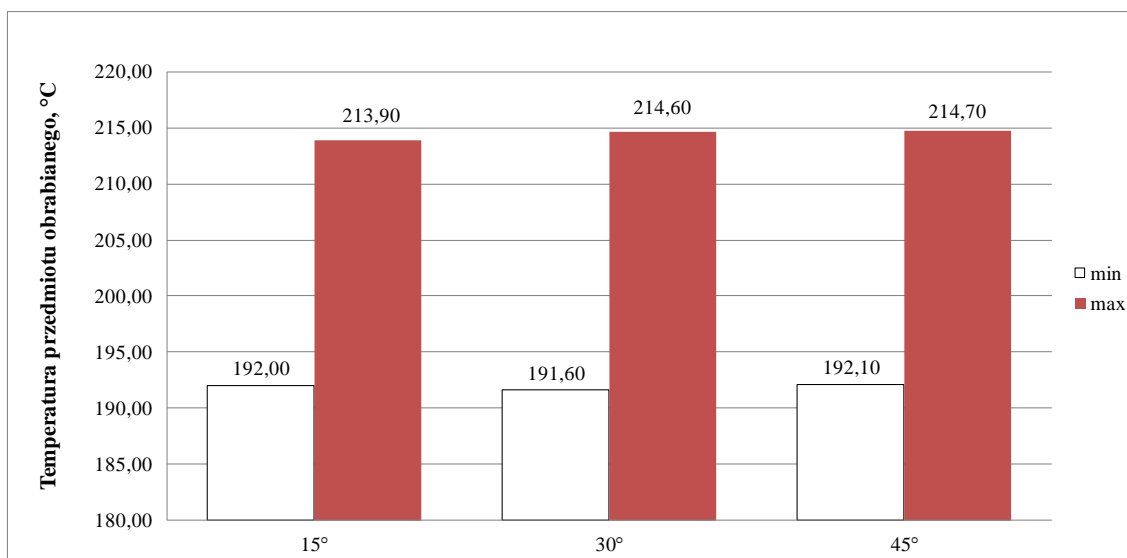
Wyniki przedstawiające rozkład temperatury na powierzchni domeny PO w rozpatrywanym układzie, przy zmiennym kącie nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania, w zakresie  $\alpha_{CAG} = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$  zostały przedstawione na rysunku 11.

Kąt nachylenia końcówki dyszy CAG	Rozkład temperatury na powierzchni domeny PO przy zmiennym kącie nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania
$\alpha_{CAG} = 15^\circ$	
$\alpha_{CAG} = 30^\circ$	
$\alpha_{CAG} = 45^\circ$	

Rysunek 11. Wyniki badań symulacyjnych w zakresie rozkładu temperatury na powierzchni domeny PO dla trzech różnych wariantów nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania



Na rysunku 12 przedstawiono zestawienie wyników minimalnych i maksymalnych wartości temperatury powierzchni domeny PO w rozpatrywanym układzie, przy zmiennym kącie nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania, w zakresie  $\alpha_{CAG} = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$ .



**Rysunek 12. Zestawienie wyników minimalnych i maksymalnych wartości temperatury powierzchni domeny przedmiotu obrabianego w rozpatrywanym układzie dla trzech różnych wariantów nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania [Czapiewski, 2019]**

Największą maksymalną wartość temperatury domeny PO ( $T_{dPO\ max} = 214,70^\circ\text{C}$ ) dla wszystkich wariantów symulacyjnych odnotowano w przypadku wariantu geometrycznego o nachyleniu końcówki dyszy CAG pod kątem  $45^\circ$ , natomiast najmniejszą minimalną wartość temperatury domeny PO ( $T_{dPO\ min} = 191,60^\circ\text{C}$ ) dla wszystkich wariantów symulacyjnych odnotowano w przypadku wariantu geometrycznego o nachyleniu końcówki dyszy CAG pod kątem  $30^\circ$ .

Badania symulacyjne wykazały związek zmniejszania się wartości temperatury domeny PO  $T_{dPO}$  ze wzrostem prędkości przepływu powietrza, postępującym ze wzrostem wartości kąta nachylenia końcówki dyszy CAG  $\alpha_{CAG}$ , doprowadzającej SSP do strefy szlifowania. Duża prędkość przepływu powietrza powoduje szybsze i bardziej skuteczne odbieranie ciepła od wewnętrznej powierzchni domeny PO.

Wartości temperatury minimalnej domeny PO  $T_{dPO\ min}$  dla wszystkich wariantów symulacyjnych zmiany kąta nachylenia końcówki dyszy CAG, w zakresie  $\alpha_{CAG} = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$  nie zachowują tendencji wartości temperatury maksymalnej domeny PO  $T_{dPO\ max}$  tzn. wartość temperatury minimalnej nie zmniejsza się wraz ze wzrostem prędkości przepływu powietrza, postępującym ze wzrostem wartości kąta nachylenia końcówki dyszy CAG  $\alpha_{CAG}$ , doprowadzającej SSP do strefy szlifowania. Może to wynikać z niedokładności opracowanego modelu matematycznego wykorzystanego w symulacji jak i ewentualnych,

niewielkich różnic pomiędzy rzeczywistym przebiegiem zjawiska wymiany ciepła a modelem symulacyjnym.

#### 4. Wnioski

Przeprowadzenie badań symulacyjnych pozwoliło uzyskać informacje, które umożliwiły wybór najkorzystniejszych, pod względem przepływu SSP oraz wymiany ciepła, parametrów rozpatrywanego układu, bez konieczności przeprowadzania analogicznych, doświadczalnych badań porównawczych oraz pozwoliło na uzyskanie wizualizacji przepływu SSP z użyciem dyszy zewnętrznej w skomplikowanym układzie bardzo szybko obracającej się domeny porowatej (ściernicy) w ograniczonej przestrzeni walcowej powierzchni wewnętrznej. Z przeprowadzonych badań symulacyjnych wynikają poniższe wnioski:

1. Badania symulacyjne wykazały, że kąt nachylenia końcówek dyszy CAG  $\alpha_{CAG}$ , ma istotny wpływ na prędkość przepływu SSP oraz warunki termiczne w strefie szlifowania.
2. Wyniki badań symulacyjnych wskazują na to, że wzrost wartości kąta nachylenia końcówki dyszy CAG, doprowadzającej SSP do strefy szlifowania (z badanego zakresu) ma wpływ na zwiększenie maksymalnej prędkości przepływu SSP w strefie szlifowania z powodu lokalnego zwiększenia prędkości przepływu cząstek powietrza.
3. Nachylenie końcówki dyszy CAG pod kątem  $45^\circ$  wpływa na koncentrację większej części strumienia SSP o dużej prędkości na powierzchni ściernicy, co umożliwia zwiększenie skuteczności jej chłodzenia.
4. Nachylenie końcówek dyszy CAG pod kątem  $15^\circ$  wpływa na koncentrację większej części strumienia SSP na powierzchni PO, co umożliwia zwiększenie skuteczności jego chłodzenia.
5. Wraz ze zwiększaniem prędkości obwodowej domeny ściernicy  $v_{ds}$  (w badanym zakresie) zwiększeniu ulegała maksymalna prędkość przepływu SSP w strefie szlifowania oraz skuteczność chłodzenia zarówno domeny ściernicy, jak i PO.
6. Mniejsza prędkość przepływu SSP przez przestrzenie międzyziarnowe przekłada się na mniej skuteczne odbieranie ciepła z bryły ściernicy.

#### Bibliografia:

1. [Czapiewski, 2019] - Czapiewski W. (2019). Badania symulacyjne wpływu kąta podawania strumienia schłodzonego sprężonego powietrza na kierunek przepływu, prędkość oraz temperaturę czynnika chłodzącego w strefie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych. Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Koszalin. Praca magisterska pisana pod kierunkiem prof. ndzw. dr hab. inż. Krzysztofa Nadolnego.
2. [Tannehill i in., 1994] - Tannehill J. C., Anderson D. A., Pletcher H. R. (1994). Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, Second Edition, Taylor & Francis, Washington DC, pp. 3-4.
3. [Tarnowski, 2011] - Tarnowski W. (2011). Optymalizacja i polioptymalizacja w technice, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin.
4. [Wang i in., 2003] - Wang Z. Y., Rajurkar K. P., Fan J., Petrescu G. (2003). Hybrid machining of Inconel 718, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 43, pp. 1391-1396.

**Źródła elektroniczne:**

5. [ [www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl](http://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl)] -  
<https://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl/artykuly/272-wydanie-07-2017/4215-numeryczna-mechanika-plynow-cfd-zastosowanie-numerycznych-symulacji-przeplywu-plynow-do-optimalizacji-wymiennikow-ciepla.html> [dostęp: 20.01.2019].

## 11. ENERGIE CAŁKOWITE I STAŁE SPEKTROSKOPOWE NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH MOLEKUŁ DWUATOMOWYCH

### Filip Prątnicki

Uniwersytet Szczeciński  
Wydział Nauk Ścisłych i Przyrodniczych  
Instytut Fizyki  
ul. Wielkopolska 15, 70 -451 Szczecin  
Email: filip.pratnicki@gmail.com

### 1. Wstęp

Kwantowy opis świata pozwala na dokładne wyznaczanie różnych wielkości fizycznych dla tak małych obiektów jak pojedyncze atomy czy molekuly. Szczególną uwagę w przypadku cząsteczek poświęca się między innymi wartościom energii wiązań, długościom wiązań oraz częstotliwościom drgań podstawowych.

W pierwszej części tego artykułu zaprezentowane zostaną teoretyczne podstawy obliczeń tych wielkości w ujęciu relatywistycznym oraz nierelatywistycznym z uwzględnieniem potencjalnych problemów, które mogą wystąpić podczas wykonywania takich obliczeń. Pierwsze podejście, czyli to, w którym uwzględniamy relatywistyczną naturę świata, oparte będzie o równanie Diraca [Dirac, 1928], z kolei drugie podejście, w którym zakłada się, że prędkość światła jest nieskończona, wiąże się z koniecznością rozwiązania równania Schrödingera [Schrödinger, 1926]. Oba te podejścia w zastosowaniu do układu jednoelektronowego zostały szerzej omówione w innym artykule [Prątnicki, 2020] i opisane tam wnioski będą punktem wyjścia w tej pracy.

W drugiej części zaprezentowane zostaną wyniki obliczeń otrzymane przy wykorzystaniu programu DIRAC13 [Visscher, Jensen, Bast, Saue, 2013] dla dwuatomowych cząsteczek fluorków miedziowców. Podobnie, jak w przypadku obliczeń opisywanych w [Prątnicki, 2020], do obliczeń molekularnych wykorzystano bazy funkcyjne. Każdej molekuły przypisano dwa zestawy funkcji bazowych dużej składowej funkcji falowej. Każdy z tych zestawów odpowiadał jednemu z atomów, które tworzą analizowaną cząsteczkę. W przypadku atomów miedziowców, bromu oraz jodu wykorzystano bazę typu valence triple zeta (dyall.v3z), z kolei w przypadku atomów fluoru oraz chloru skorzystano z nierelatywistycznej bazy typu augmented polarized valence triple zeta (aug-cc-pVTZ). Wszystkie molekuly, dla których przeprowadzono obliczenia, to cząsteczki heterojądrowe, dwuatomowe oraz zamkniętopowłokowe, powstałe z połączenia atomu należącego do jedenastej grupy układu okresowego z atomem z grupy siedemnastej. Obliczenia zostały wykonane dla dwunastu układów molekularnych, a konkretnie CuF, CuCl, CuBr, CuI, AgF, AgCl, AgBr, AgI, AuF, AuCl, AuBr oraz AuI.

## 2. Metody obliczeniowe

Opis metodologii obliczeń dla cząsteczek najlepiej rozpocząć od zdefiniowania Hamiltonianu. Jest on sumą paru operatorów

$$\hat{H} = \hat{T}_n + \hat{T}_e + \hat{U}_{nn} + \hat{U}_{en} + \hat{U}_{ee}, \quad 1)$$

przy czym  $\hat{T}_n$  oraz  $\hat{T}_e$  to operatory energii kinetycznych odpowiednio jąder i elektronów, zaś  $\hat{U}_{nn}$ ,  $\hat{U}_{en}$  oraz  $\hat{U}_{ee}$  to w tej kolejności operatory energii potencjalnej kulombowskiego oddziaływania pomiędzy jądrami, jądrami i elektronami oraz pomiędzy elektronami. W chemii kwantowej stosuje się różne przybliżenia, które różnią się stopniem uproszczenia Hamiltonianu. Do najczęściej stosowanych należą przybliżenie Borna-Oppenheimera oraz przybliżenie adiabatyczne.

Wspólnym uproszczeniem, w przypadku obu wspomnianych przybliżeń, jest założenie, że jądra są nieruchome – wówczas  $\hat{T}_n = 0$  oraz  $\hat{U}_{nn} = const.$  W przybliżeniu Borna-Oppenheimera przyjmuje się, że funkcja falowa  $\Psi = \Psi_e(q_1, \dots, q_n; P_A, \dots, P_N) \Psi_n(P_A, \dots, P_N)$  dana jest iloczynem funkcji elektronowej  $\Psi_e$  oraz jądrowej  $\Psi_n$ . Wówczas zagadnienie własne funkcji jądrowej przyjmuje postać

$$[\hat{T}_n + E_e(P_A, \dots, P_N)] \Psi_n = E_{tot} \Psi_n, \quad 2)$$

gdzie  $E_e$  to energia elektronowa, którą (podobnie jak funkcję elektronową) otrzymuje się w wyniku rozwiązania równania  $\hat{H}_e \Psi_e = E_e \Psi_e$ , z kolei  $E_{tot}$  to całkowita energia cząsteczki. Przybliżenie adiabatyczne, które jest dokładniejsze od przybliżenia Borna-Oppenheimera, uwzględnia również fakt, iż na funkcję elektronową działa operator energii kinetycznej jąder poprzez poprawkę do równania (2)

$$\left( \hat{T}_n + E_e + \int \Psi_e^* \hat{T}_n \Psi_e d\tau_q \right) \Psi_n \approx E_{tot} \Psi_n \quad 3)$$

w postaci całki.

Energie całkowitą  $E_{tot}$  możemy w pewnym przybliżeniu potraktować jako sumę energii elektronowej oraz energii związanych z różnymi rodzajami ruchów cząsteczki. Przyjmuje ona wówczas postać

$$E_{tot} = E_e^0 + E_{osc} + E_{rot} + E_{tr}, \quad 4)$$

przy czym  $E_{tr}$  to energia związana z ruchem translacyjnym cząsteczki,  $E_{rot}$  to energia jej ruchu obrotowego,  $E_{osc}$  to energia oscylacji jąder wokół położenia równowagi, zaś  $E_e^0$  to energia elektronowa dla równowagowej długości wiązania, czyli takiej odległości pomiędzy jądrami, dla której  $E_e$  przyjmuje wartość minimalną.

Z punktu widzenia przeprowadzonych obliczeń warto więcej uwagi poświęcić energii oscylacyjnej i związanemu z nią zagadnieniu własnemu  $(\hat{T}_{osc} + \Delta E_e) \Psi_{osc} = E_{osc} \Psi_{osc}$ , w którym  $\Delta E_e$  to energia związana z wychyleniem cząsteczki z położenia równowagi. Dla cząsteczki dwuatomowej wartość tej energii zależy tylko od odległości pomiędzy jądrami atomowymi R. Rozwijając wyrażenie na tą energię wokół równowagowej długości wiązania  $R_0$  otrzymujemy wyrażenie

$$\Delta E_e = \frac{1}{2} k (R - R_0)^2 + \dots, \quad 5)$$

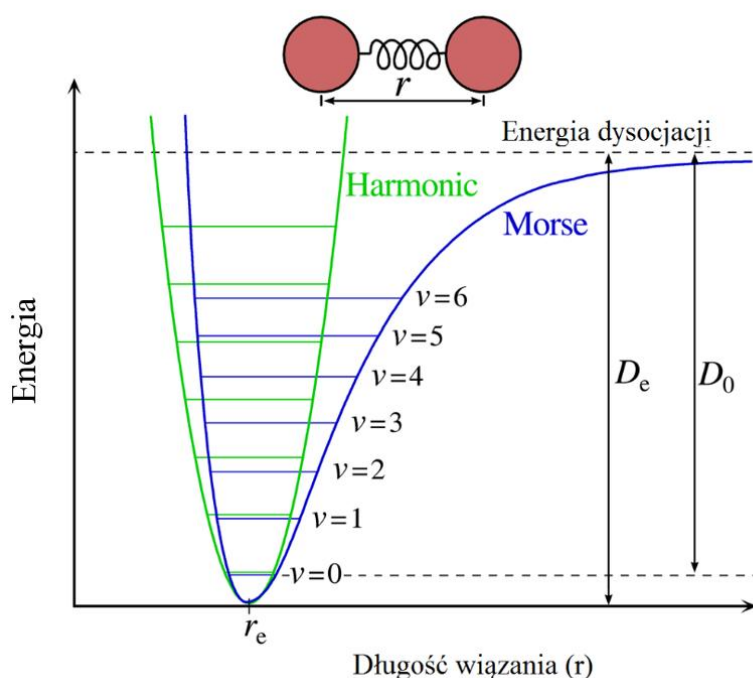
w którym  $k = \left(\frac{d^2 E_e}{dR^2}\right)_{R_0}$  to stała siłowa. Widać, że dla małych wychyleń potencjał opisujący oscylacje jest w przybliżeniu harmoniczny. W przypadku takiego potencjału wyrażenie na energię łatwo wyprowadzić i ma ono postać

$$E_{osc} = \hbar \sqrt{\frac{k}{\mu}} \left( \nu + \frac{1}{2} \right), \quad (6)$$

gdzie  $\nu = 0, 1, 2, 3, \dots$  to oscylacyjna liczba kwantowa, zaś  $\mu$  oznacza masę zredukowaną. Ta postać wyrażenia na energię ma pewne konsekwencje dla energii wiązania, a mianowicie energia wiązania  $D_e$ , będąca wartością energii w minimum na krzywej energii potencjału, nie pokrywa się z energią stanu podstawowego  $D_0$ , czyli energią dla  $\nu = 0$  zwaną energią dysocjacji. Zostało to zobrazowane na rysunku 1 i wiąże się z faktem, że nawet w stanie podstawowym energia oscylacji ma niezerową wartość. Relację pomiędzy energią wiązania a energią dysocjacji przedstawia wzór

$$D_0 = D_e - \frac{1}{2} \hbar \sqrt{\frac{k}{\mu}}. \quad (7)$$

Oczywiście w obliczeniach z reguły wykorzystuje się potencjały dużo lepiej oddające strukturę energetyczną cząsteczki niż potencjał harmoniczny, takie jak potencjał Morse'a, czy też potencjał Wei-Hua [Hua, 1990].



**Rysunek 1. Energia dysocjacji  $D_0$  oraz energia wiązania  $D_e$ .**

Źródło: [https://pl.wikipedia.org/wiki/Oscylator\\_anharmoniczny#/media/File:Morse-potential.png](https://pl.wikipedia.org/wiki/Oscylator_anharmoniczny#/media/File:Morse-potential.png).

Dla układów takich jak cząsteczki nie da się ściśle rozwiązać równania Schrödingera (lub, zależnie od podejścia, równania Diraca). Korzysta się wówczas z metod przybliżonych, takich jak metoda wariacyjna. W metodzie tej wybiera się pewną funkcję próbną  $\phi$ , a następnie buduje funkcjonal

$$K[\phi] = \frac{\langle \phi | \hat{H} | \phi \rangle}{\langle \phi | \phi \rangle}. \quad (8)$$

Na bazie twierdzenia wariacyjnego wiadomo, że  $K[\phi] \geq E_0$ , przy czym  $E_0$  to wartość energii w stanie podstawowym. Metoda ta polega zatem na minimalizowaniu funkcjonału (8) poprzez przyrównanie jego wariancji do zera ( $\delta K[\phi] = 0$ ) i w ten sposób schodzeniu coraz niżej do dokładnej wartości energii  $E_0$ . Chcąc znaleźć przybliżone wyrażenie na funkcję falową można zastosować przybliżenie jednoelektronowe, w którym każdemu elektronowi w analizowanym układzie przyporządkowywana jest jednoelektronowa funkcja falowa zwana spinorbitem [Gołębiowski, 1984]. Należy przy tym pamiętać, że funkcja falowa musi spełniać szereg warunków, takich jak zakaz Pauliego oraz warunek antysymetryczności funkcji względem permutacji elektronów. Takie ograniczenia spełnia między innymi wyznacznik Slatera

$$\Psi_e = \frac{1}{\sqrt{n!}} \begin{vmatrix} \varphi_1(q_1) & \varphi_1(q_2) & \cdots & \varphi_1(q_n) \\ \varphi_2(q_1) & \varphi_2(q_2) & \cdots & \varphi_2(q_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_n(q_1) & \varphi_n(q_2) & \cdots & \varphi_n(q_n) \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Hamiltonian (1) dla cząsteczki można jawnie zapisać jako

$$\hat{H} = \sum_{i=1}^N \hat{h}_i + \sum_{i<j} \frac{e^2}{r_{ij}} + \sum_{\mu<\nu} \frac{Z_\mu Z_\nu e^2}{R_{\mu\nu}}, \quad (10)$$

gdzie  $\hat{h}_i$  to hamiltonian rdzenia, który w zależności od podejścia może być wyrażony jako  $\hat{h}_i = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 - \sum_{\mu=1}^M \frac{Z_\mu e^2}{r_{\mu i}}$  (ujęcie nierelatywistyczne) lub  $\hat{h}_i^D = c \vec{\alpha}_i \cdot \hat{p}_i + mc^2 (\beta_i - I_4) + \sum_{\mu} V(r_{\mu i})$  (podejście relatywistyczne). W powyższych wyrażeniach  $i$  oraz  $j$  numerują elektrony, zaś  $\mu$  oraz  $\nu$  jądra,  $\alpha$  oraz  $\beta$  to z kolei macierze Diraca [Styszyński, 2007]. W pierwszej kolejności zajmijmy się podejściem nierelatywistycznym.

W ujęciu tym rozwiązywany jest układ równań Hartree-Focka, w których minimalizuje się wartość energii poprzez wariowanie orbitali  $\varphi_p(i)$  wykorzystanych w przybliżeniu jednoelektronowym (9). Orbitale, które minimalizują energię muszą zatem spełniać układ równań całkowo-różniczkowych (Hartree-Focka), który w przypadku układów zamkniętopowłokowych przyjmuje postać

$$\hat{F}(i) \varphi_p(i) = \varepsilon_i \varphi_p(i), \quad p = 1, 2, \dots, \frac{n}{2}, \quad (11)$$

przy czym  $\hat{F}(i)$  to operator Foka

$$\hat{F}(i) = \hat{h}(i) + \sum_{q=1}^{n/2} [2\hat{J}_q(i) - \hat{K}_q(i)], \quad (12)$$

w którego skład wchodzi operator kulombowski

$$\hat{J}_q(i) \varphi_q(i) = \left[ \int \varphi_p^*(j) \frac{e^2}{r_{ij}} \varphi_p(j) d\tau_j \right] \varphi_q(i), \quad (13)$$

oraz operator wymiany

$$\hat{K}_q(i) \varphi_q(i) = \left[ \int \varphi_p^*(j) \frac{e^2}{r_{ij}} \varphi_q(j) d\tau_j \right] \varphi_p(i). \quad (14)$$

Operatory te definiuje się za pomocą powyższych równań, które opisują ich działanie na orbital  $\varphi_q(i)$ . Energia  $\varepsilon_i$  otrzymana w wyniku rozwiązania równania (11) to energia orbitalna.

Wydajną metodę rozwiązywania równań Hartree-Foka, pozwalającą na otrzymanie optymalnych orbitali molekularnych, zaproponował Roothaan. W metodzie tej orbitale Hartree-Foka wyraża się za pomocą kombinacji liniowej odpowiednio dobranych funkcji bazowych  $\chi_i$

$$\varphi_p = \sum_{i=1}^m c_{pi} \chi_i. \quad (15)$$

W efekcie równania Hartree-Focka przechodzą w równania na współczynniki kombinacji liniowej  $c_{pi}$  i zamiast cząstkowych równań różniczkowych do rozwiązania pozostają równania algebraiczne. W postaci macierzowej równania Hartree-Focka-Roothana mają postać

$$\mathbf{F}\mathbf{c} = \mathbf{S}\mathbf{c}\boldsymbol{\varepsilon}, \quad (16)$$

przy czym  $\mathbf{S}$  to macierz nakrywania funkcji bazowych  $\chi_i$ ,  $\boldsymbol{\varepsilon}$  to macierz diagonalna, w której na diagonalu leżą wartości energii orbitalnych  $\varepsilon_i$ ,  $\mathbf{c}$  to macierz złożona ze współczynników kombinacji liniowej  $c_{pi}$ , z kolei  $\mathbf{F}$  to macierz złożona z operatorów Focka. Wszystkie macierze w równaniu (16) są macierzami kwadratowymi. Metoda Hartree-Focka-Roothana to metoda iteracyjna, w której z każdą iteracją otrzymujemy coraz dokładniejsze wartości energii orbitalnych i powtarzamy cały proces, aż do momentu, w którym różnica otrzymana pomiędzy wartościami pochodzącymi z obecnej i poprzedniej iteracji nie spadnie poniżej oczekiwanego progu. Metoda ta bywa w związku z tym nazywana metodą pola samouzgodnionego lub też metodą SCF (ang. *self consistent field*).

W podobny sposób postępuje się w przypadku ujęcia relatywistycznego, z tym, że zamiast równań Hartree-Focka rozwiązywane są równania Diraca-Focka. W przypadku obliczeń relatywistycznych wykorzystuje się dwa zestawy funkcji bazowych, przy czym bazę funkcji wybiera się dla dużych składowych (L) funkcji falowej, zaś funkcje bazowe małej składowej (S) wyznacza się w oparciu o warunek balansu kinetycznego

$$\chi^S = \frac{1}{2mc} \vec{\sigma} \cdot \hat{p} \chi^L. \quad (17)$$

Hamiltonian (10), w którym przyjęto relatywistyczny hamiltonian rdzenia  $\hat{h}_i^D$ , nazywany jest hamiltonianem Diraca-Coulomba (DC). Jednakowoż w tej definicji relatywistyczną naturę uwzględnia się jedynie w części jednoelektronowej, podczas gdy oddziaływanie pomiędzy elektronami w dalszym ciągu pozostaje nierelatywistyczne. Aby hamiltonian miał postać relatywistycznie niezmienniczą należy odpowiednio zmodyfikować wyrażenie na oddziaływanie pomiędzy elektronami. Robi się to w oparciu o równania elektrodynamiki kwantowej, gdzie oddziaływanie to rozpisywane jest w szereg potęgowy  $Z\alpha$ , przy czym oddziaływanie kulombowskie zawarte w (10) to pierwszy człon tego rozwinięcia, zaś kolejny człon wyraża się w postaci tak zwanej poprawki Breita [Styszyński, 2007]

$$\hat{B}(i,j) = -\frac{e^2}{2} \left( \frac{\vec{\alpha}_i \cdot \vec{\alpha}_j}{r_{ij}} + \frac{(\vec{\alpha}_i \cdot \vec{r}_{ij})(\vec{\alpha}_j \cdot \vec{r}_{ij})}{r_{ij}^3} \right). \quad (18)$$



Dodając (18) do relatywistycznego ujęcia (10) otrzymujemy hamiltonian Diraca-Coulomba-Breita (DCB)

$$\hat{H}^{DCB} = \sum_{i=1}^n \hat{h}_i^D + \sum_{i<j}^n \left( \frac{e^2}{r_{ij}} + \hat{B}(i,j) + \dots \right), \quad (19)$$

który możemy uważać za relatywistycznie niezmienniczy.

Analogiem równań Hartree-Focka-Roothana w ujęciu relatywistycznym, w którym wykorzystany został hamiltonian DC, są równania Diraca-Focka w przybliżeniu algebraicznym

$$\begin{pmatrix} \mathbf{F}^{LL} - \varepsilon \mathbf{S}^{LL} & \mathbf{F}^{LS} \\ \mathbf{F}^{SL} & \mathbf{F}^{SS} - \varepsilon \mathbf{S}^{SS} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{c}^L \\ \mathbf{c}^S \end{pmatrix} = 0, \quad (20)$$

gdzie

$$F^{LL} = \langle \mu^L | \hat{F} | \mu^L \rangle, \quad (21)$$

$$S^{LL} = \langle \mu^L | \mu^L \rangle, \quad (22)$$

przy czym  $\mu^L$  oraz  $\mu^S$  to funkcje bazy

$$|j^L\rangle = \sum_{\mu=1}^{N_L} c_{\mu j}^L |\mu^L\rangle \text{ oraz } |j^S\rangle = \sum_{\mu=1}^{N_S} c_{\mu j}^S |\mu^S\rangle, \quad (23)$$

w których rozwijamy spinory jednoelektronowe  $|j\rangle$  dla dużej i małej składowej. We wzorze (20) oraz (21)  $\hat{F}$  to operator Focka, zaś  $\varepsilon$  to zdiagonalizowana macierz nieoznaczonych mnożników Lagrange'a.

Widać, że w ujęciu relatywistycznym koszty obliczeniowe znacząco rosną w związku z koniecznością policzenia znacznie większej ilości całek. Dodatkowo uwzględnienie poprawki Breita znacząco skomplikowałoby kwestie obliczeniowe. W związku z tym opracowano liczne, znacznie mniej kosztowne, metody przybliżone, które często stosuje się w przypadku bardziej skomplikowanych układów. Spośród tych metod warto wyróżnić *dwuskładnikową metodę nieskończonego rzędu* oznaczoną skrótem X2C [Saue, 2011] lub IOTC [Barysz, 2001]. W metodzie tej można uwzględnić poprawki proporcjonalne do dowolnych potęg  $\alpha$  w rozwinięciu (18) poprzez wykorzystanie transformacji unitarnych hamiltonianu Diraca. Metoda X2C pozwala na otrzymanie dokładnych wyników dla molekuł zawierających ciężkie atomy, przy stosunkowo niewysokich kosztach obliczeniowych.

Przed przystąpieniem do analizy otrzymanych wyników pozostaje jeszcze omówić kwestię rozkładu ładunku w jądrze atomowym, zależną od przyjętego modelu jądra. Od postaci rozkładu zależy formuła jaką dany jest potencjał  $[V(r_{\mu i})]$  oddziaływania pomiędzy jądrem a elektronem, który zawiera się w wyrażeniu na jednoelektronowy hamiltonian rdzenia. Do podstawowych modeli zaliczamy punktowy model jądra (dotychczas przyjmowany w równaniach), model Fermiego, model jednorodnie naładowanej kuli oraz gaussowski model ładunku jądra.

### 3. Wyniki

W obliczeniach stałych spektroskopowych molekuł CuX, AgX, AuX (X = F, Cl, Br, I) wykonanych metodą SCF, wykorzystano różne definicje hamiltonianów. Był to, w przypadku

obliczeń nierelatywistycznych, hamiltonian Levy-Leblonda (LL), zaś w przypadku obliczeń relatywistycznych hamiltonian Diraca-Coulomba (DC) oraz hamiltonian X2C (*exact two-component*). Wpierw znaleziono równowagową długość wiązania danej cząsteczki zmieniając długość wiązania i poszukując minimum energetycznego. Oprócz długości wiązania i wartości energii otrzymano również częstotliwości drgań wokół położenia równowagi  $\omega_0$  oraz energię wiązania badanej molekuly. Do wyznaczenia tej ostatniej wartości wykorzystano całkowite energie atomów tworzących cząsteczkę otrzymane w programie DIRAC13 i skorzystano z wyrażenia

$$D_e = E(A) + E(B) - E_0(AB), \quad (4.7)$$

gdzie  $E(A)$ ,  $E(B)$  to energie odpowiednio atomu A i atomu B, zaś  $E_0(AB)$  to energia cząsteczki otrzymana dla równowagowej długości wiązania  $R_0$ . Wartości  $R_0$ ,  $\omega_0$ ,  $E_0(AB)$ ,  $D_e$  oraz poprawek relatywistycznych dla wszystkich badanych układów przedstawiono w tabeli 1. Widać, że wszystkie wartości energii wiązań badanych fluorków miedziowców są dodatnie. Oznacza to, że tworzenie cząsteczki jest korzystne energetycznie, a co za tym idzie, że badana molekula jest stabilna.

**Tabela 2. Wyniki obliczeń wykonanych w programie DIRAC13 dla cząsteczek fluorków miedziowców przy zastosowaniu różnych metod, wyniki doświadczalne oraz poprawki relatywistyczne. Dane eksperymentalne zaczerpnięte z <http://physics.nist.gov/cgi-bin/MolSpec/diperiodic.pl>, [Huber i Herzberg, 1979] oraz [Nakamoto, 2009]**

	Metoda	$R_0$ [Å]	$\omega_0$ [cm <sup>-1</sup> ]	$E_0(AB)$ [hartree]	$D_e$ [kcal/mol]
CuF	LL-SCF	1,824	559,7	-1738,45	59,4
	DC-SCF	1,805	569,7	-1753,46	316,6
	X2C-SCF	1,806	567,9	-1752,80	59,8
	eksperyment	1,745	622,7		
	$\Delta_{rel}$ (DC-LL)	-0,019	9,981	-15,005	257,2
CuCl	LL-SCF	2,180	352,8	-2098,54	66,3
	DC-SCF	2,158	359,2	-2114,48	51,4
	X2C-SCF	2,160	358,3	-2114,25	89,8
	eksperyment	2,051	416,9		
	$\Delta_{rel}$ (DC-LL)	-0,022	6,426	-15,936	-14,9
CuBr	LL-SCF	2,307	265,1	-4211,48	60,9
	DC-SCF	2,281	270,9	-4258,60	59,2
	X2C-SCF	2,281	270,8	-4257,90	59,2
	eksperyment	2,173	314,1		
	$\Delta_{rel}$ (DC-LL)	-0,026	5,842	-47,116	-1,7
CuI	LL-SCF	2,495	221,4	-8556,93	54,6
	DC-SCF	2,463	226,1	-8769,56	52,7
	X2C-SCF	2,464	226,2	-8767,39	52,8
	eksperyment	2,338	264,8		
	$\Delta_{rel}$ (DC-LL)	-0,032	4,738	-212,626	-1,9
AgF	LL-SCF	2,070	469,0	-5297,13	51,1
	DC-SCF	2,030	487,2	-5414,31	45,9

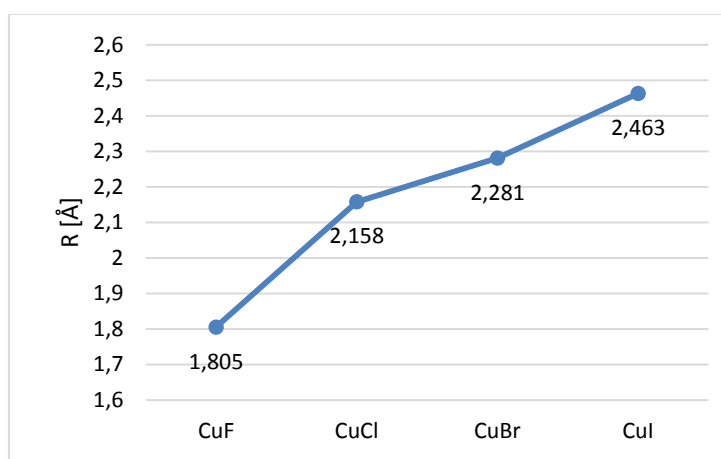
	X2C-SCF	2,031	485,7	-5413,05	47,7
	eksperyment	1,983	513,4		83,0
	$\Delta$ rel (DC-LL)	-0,040	18,220	-117,181	-5,2
AgCl	LL-SCF	2,439	291,3	-5657,22	60,7
	DC-SCF	2,385	304,9	-5775,74	42,6
	X2C-SCF	2,387	304,3	-5774,51	81,0
	eksperyment	2,281	343,6		74,3
	$\Delta$ rel (DC-LL)	-0,054	13,585	-118,524	-18,1
AgBr	LL-SCF	2,562	209,9	-7770,16	56,3
	DC-SCF	2,500	220,7	-7919,87	51,7
	X2C-SCF	2,501	220,6	-7918,16	51,8
	eksperyment	2,393	247,7		71,5
	$\Delta$ rel (DC-LL)	-0,062	10,791	-149,705	-4,5
AgI	LL-SCF	2,743	170,4	-12115,61	51,1
	DC-SCF	2,671	180,8	-12430,83	46,9
	X2C-SCF	2,672	180,6	-12427,65	46,9
	eksperyment	2,545	206,2		60,0
	$\Delta$ rel (DC-LL)	-0,072	10,454	-315,216	-4,3
AuF	LL-SCF	2,147	441,0	-17964,27	47,1
	DC-SCF	1,963	526,3	-19137,41	31,4
	X2C-SCF	1,964	525,4	-19128,59	33,4
	$\Delta$ rel (DC-LL)	-0,184	85,306	-1173,146	-15,7
	AuCl	LL-SCF	2,518	269,8	-18324,36
DC-SCF		2,292	336,8	-19498,85	31,5
X2C-SCF		2,294	336,2	-19490,05	70,0
eksperyment			382,8		
$\Delta$ rel (DC-LL)		-0,225	66,986	-1174,494	-26,0
AuBr	LL-SCF	2,640	186,3	-20437,30	53,4
	DC-SCF	2,409	233,7	-21642,98	41,9
	X2C-SCF	2,410	233,7	-21633,70	42,1
	$\Delta$ rel (DC-LL)	-0,230	47,386	-1205,677	-11,4
	AuI	LL-SCF	2,817	146,9	-24782,75
DC-SCF		2,574	187,7	-26153,94	39,4
X2C-SCF		2,575	188,2	-26143,20	39,5
$\Delta$ rel (DC-LL)		-0,244	40,816	-1371,190	-9,4

Źródło: opracowanie własne.

Tam, gdzie to było możliwe, wyniki obliczeń zestawione zostały z wynikami eksperymentalnymi. Przyrównując wartości doświadczalne z obliczonymi można zauważyć, że w przypadku długości wiązań różnice są rzędu 0,1 Å, dla częstotliwości drgań różnice te oscylują w granicach kilkudziesięciu  $\text{cm}^{-1}$ , zaś obliczone wartości energii wiązań mają niewielką zgodność z wynikami doświadczalnymi. Wyjaśnienie tych rozbieżności jest dość oczywiste i wiąże się z tym, że w obliczeniach nie została uwzględniona korelacja elektronowa. Poprawki do energii związane z korelacją są wprawdzie niewielkie w stosunku

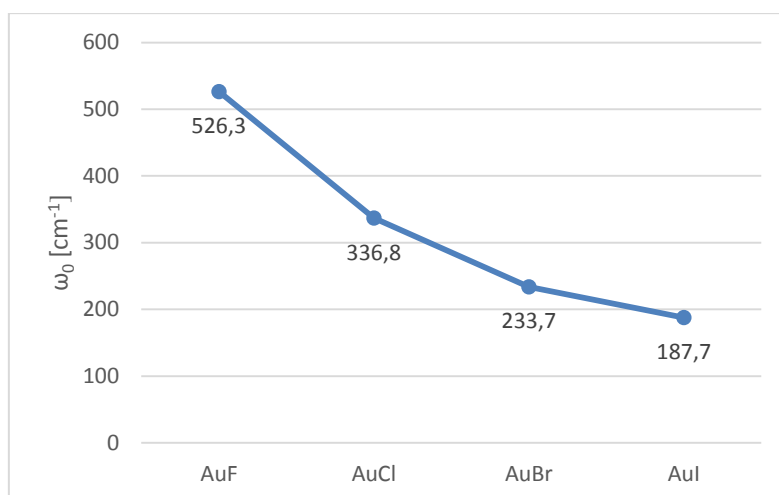
do wartości samych energii, niemniej w przypadku, gdy odejmujemy od siebie te duże wartości, aby otrzymać niewielką wartość energii wiązania, to, chcąc zachować wysoką dokładność, należy energię korelacji uwzględnić. Mimo wszystko, jak już wspomniano, wszystkie otrzymane wartości  $D_e$  są dodatnie, a to świadczy o stabilności badanych układów. Wartości długości wiązania wyznaczone doświadczalnie są nieco mniejsze niż otrzymane w wyniku przeprowadzonych obliczeń, zaś częstotliwości drgań oraz energie wiązania cząsteczek mają nieznacznie wyższe wartości.

Analiza pozostałych wartości pozwala na wyciągnięcie licznych wniosków związanych z zachowaniem stałych spektroskopowych wraz ze zmianą rozmiarów atomów tworzących cząsteczki oraz w przypadku, gdy uwzględniamy relatywistyczną naturę światła i jej nie uwzględniamy. Równowagowa długość wiązania rośnie wraz ze wzrostem rozmiarów cząsteczki, zaś częstotliwość oscylacji oraz energia wiązania maleją, a co za tym idzie wiązanie staje się coraz słabsze. By ułatwić interpretację wyników zawartych w tabeli 1, opisane tendencje dla  $R_0$  przedstawiono na rysunku 2 dla serii  $\text{CuX}$  ( $X = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$ ), zachowanie  $\omega_0$  na rysunku 3 dla serii  $\text{AuX}$  ( $X = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$ ), zaś zmiany  $D_e$  na rysunku 3 dla serii  $\text{MI}$  ( $\text{I} = \text{Cu}, \text{Ag}, \text{Au}$ ). Na wykresach przedstawiono wyniki relatywistycznego hamiltonianu DC, gdyż są one najbardziej dokładne i najbliższe wynikom eksperymentalnym.



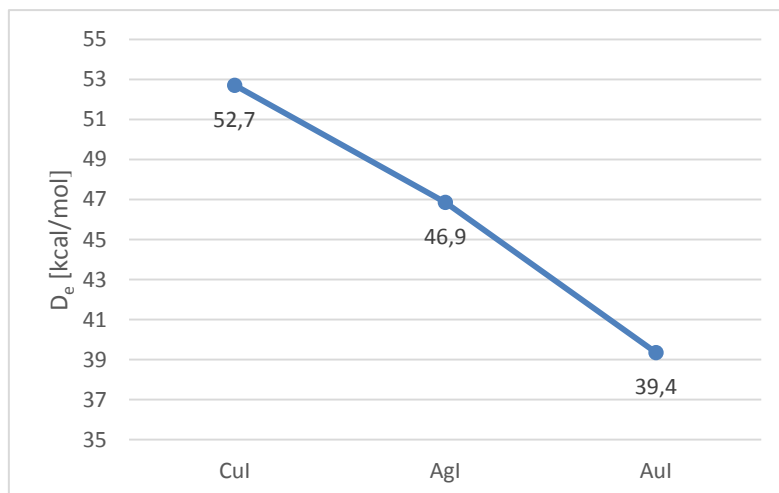
**Rysunek 2. Zmiana równowagowej długości wiązania w serii  $\text{CuX}$  ( $X = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$ )**

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 3. Zmiana częstotliwości drgań wokół położenia równowagi w serii AuX (X = F, Cl, Br, I)**

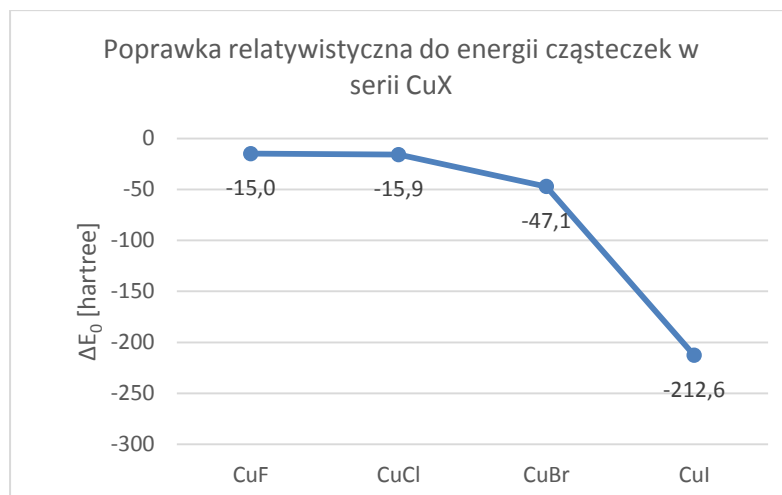
Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 4. Zmiana wartości energii wiązania w serii MI (I = Cu, Ag, Au)**

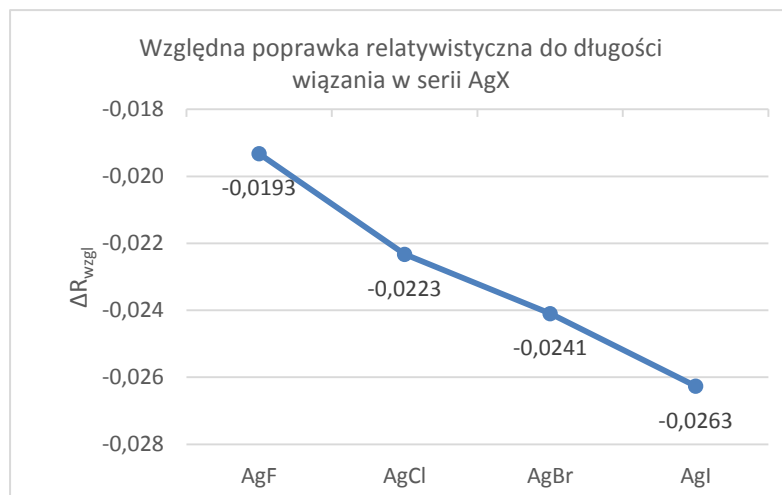
Źródło: opracowanie własne.

Jeżeli chodzi o podstawowy wniosek wynikający z porównania wyników relatywistycznych i nierelatywistycznych, to widać wyraźnie, że uwzględnienie skończonej prędkości światła przybliżyła nas do wyników eksperymentalnych, a zatem obniża długość wiązania (następuje kontrakcja) i energię cząsteczek oraz zwiększa częstotliwość oscylacji. Poprawki relatywistyczne do wartości energii cząsteczek przedstawiono na rysunku 5 w serii CuX (X = F, Cl, Br, I). Ich wartość, a zatem również znaczenie efektów relatywistycznych, rośnie wraz ze wzrostem masy cząsteczki. Wpływ na dwie pozostałe wielkości lepiej obrazują wykresy względnych poprawek relatywistycznych, a zatem wartości tych poprawek podzielone przez wartość samej analizowanej wielkości. Względne poprawki relatywistyczne do długości wiązania oraz częstotliwości drgań zostały przedstawione na rysunkach odpowiednio 6 oraz 7 dla serii AgX (X = F, Cl, Br, I). Widać wyraźnie, że wraz ze wzrostem masy cząsteczki rośnie znaczenie poprawek wynikających z uwzględnienia relatywistycznej natury świata.



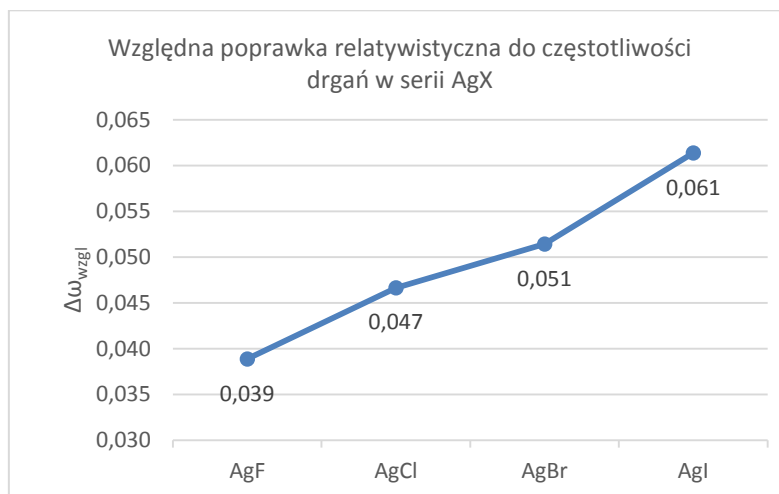
**Rysunek 5. Zmiana wartości poprawki relatywistycznej do energii cząsteczek w serii CuX (X = F, Cl, Br, I)**

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 6. Względna poprawka relatywistyczna do długości wiązania w serii AgX (X = F, Cl, Br, I)**

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 7. Względna poprawka relatywistyczna do częstotliwości drgań w serii AgX (X = F, Cl, Br, I)**

Źródło: opracowanie własne.

#### 4. Podsumowanie

Wykonane zostały obliczenia dla cząsteczek fluorków miedziowców, a konkretnie CuF, CuCl, CuBr, CuI, AgF, AgCl, AgBr, AgI, AuF, AuCl, AuBr, AuI. Obliczenia te wykonano na poziomie SCF wykorzystując program DIRAC13 na komputerze SUN Fire X4600 z 16 procesorami, z 128 GB RAM oraz 4 dyskami 146 GB, będącym własnością Uniwersytetu Szczecińskiego. Wyniki obliczeń otrzymane dla hamiltonianów Diraca-Coulomba (DC), X2C (*exact two-component*) oraz Levy-Leblonda (LL) zestawiono z wynikami eksperymentalnymi. Wyznaczone zostały wartości równowagowych długości wiązań, częstotliwości drgań wokół położenia równowagi, energii wiązań, energii całkowitych badanych cząsteczek oraz poprawek relatywistycznych i względnych poprawek relatywistycznych do wszystkich wymienionych wielkości. Otrzymane wyniki zestawiono w tabeli 1 i przeanalizowano na przykładzie wybranych serii CuX, AgX, AuX (gdzie X = F, Cl, Br, I) oraz MI (gdzie M = Cu, Ag, Au).

Analiza otrzymanych wartości  $R_0$ ,  $\omega_0$  oraz  $E_0(AB)$  ujawniła, że energia całkowita maleje, długość wiązania wydłuża się, zaś częstotliwość oscylacji spada wraz ze wzrostem masy cząsteczki. Energia wiązania również maleje wraz ze wzrostem liczby atomowej Z atomów tworzących badaną molekułę, jednak interpretując te wartości należy pamiętać, że policzone zostały bez uwzględnienia energii korelacji, która ma ogromny wpływ na dokładność i wiarygodność otrzymywanych wyników. Mimo to otrzymane wartości pozwalają na wyciągnięcie przynajmniej dwóch wniosków. Po pierwsze wszystkie wartości  $D_e$  są dodatnie, co oznacza, że badane cząsteczki fluorków miedziowców są układami stabilnymi (tworzenie cząsteczek jest energetycznie korzystne). Po drugie otrzymane tendencje spadkowe wartości energii wiązania wraz ze wzrostem masy badanego układu pokazują, że wraz ze wzrostem liczby Z słabnie wiązanie cząsteczki.

Otrzymane w wyniku obliczeń numerycznych wartości bliskie są wartościom doświadczalnym i wykazują te same trendy spadkowe lub wzrostowe co wartości eksperymentalne. Uwzględnienie efektów relatywistycznych (wyniki dla hamiltonianów DC oraz X2C) pozwala na otrzymanie wartości bliższych tym rzeczywistym. Zastosowanie w obliczeniach hamiltonianu przybliżonego X2C pozwala odtworzyć geometrię cząsteczki, a otrzymane wartości stałych spektroskopowych niewiele różnią się od wartości otrzymanych dla hamiltonianu DC. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że wykorzystanie hamiltonianu X2C znacząco zmniejsza koszty obliczeniowe, co czyni tą metodę obliczeniową bardzo wydajną.

Porównanie wyników relatywistycznych (DC) i nierelatywistycznych (LL) pozwala zauważyć, że znaczenie efektów relatywistycznych, takich jak spadek wartości energii całkowitej, kontrakcja długości wiązania, czy też wzrost częstotliwości drgań wokół położenia równowagi, rośnie wraz ze wzrostem masy analizowanego układu. Wartości otrzymanych poprawek oraz względnych poprawek relatywistycznych jasno pokazują, że chcąc otrzymać dokładne wartości, zwłaszcza w przypadku masywniejszych układów, konieczne staje się uwzględnienie efektów relatywistycznych w opisie kwantowym.

**Bibliografia:**

1. Dirac, P. A. M. (1928). The quantum theory of the electron. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 117, 610–624.  
Dirac, P. A. M. (1928). The quantum theory of the electron. Part II. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 118, 351–361.
2. Schrödinger E. (1926). An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules. *Physical Review*, 28, 1049-1070.
3. Visscher, L., Jensen, H. J. Aa., Bast, R., Saue, T. (2013). DIRAC, a relativistic ab initio electronic structure program, Release DIRAC13.
4. Prątnicki, F. (2020). Efekty relatywistyczne na przykładzie atomów miedziowców oraz fluorowców. *Poszerzamy Horyzonty Tom XIX*.
5. Hua, W. (1990) Four-parameter exactly solvable potential for diatomic molecules. *Physical Review A*, 42, 2524-2529.
6. Gołębiewski, A. (1984). *Elementy mechaniki i chemii kwantowej*. Warszawa, PWN
7. Styszyński J. (2007). *Badanie efektów relatywistycznych w molekułach. Metody czteroskładnikowe*. Szczecin, Wydawnictwo Naukowe US.
8. Saue T. (2011). Relativistic Hamiltonians for Chemistry: A Primer. *ChemPhysChem* 12, 3077-3094.
9. Barysz, M., Sadlej, A. J. (2001). Two-component methods of relativistic quantum chemistry: from the Douglas–Kroll approximation to the exact two-component formalism. *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM* 573, 181-200.
10. Huber, K., Herzberg, G. (1979). *Constants of Diatomic Molecules*. New York, van Nostrand Reinhold Co.
11. Nakamoto K. (2009). *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds. Part A: Theory and Applications in Inorganic Chemistry*. New York, John Wiley & Sons.



## 12. EFEKTY RELATYWISTYCZNE NA PRZYKŁADZIE ATOMÓW MIEDZIOWCÓW ORAZ FLUOROWCÓW

Filip Prątnicki  
 Uniwersytet Szczeciński  
 Wydział Nauk Ścisłych i Przyrodniczych  
 Instytut Fizyki  
 ul. Wielkopolska 15, 70 -451 Szczecin  
 Email: filip.pratnicki@gmail.com

### 1. Wstęp

Choć prawa mechaniki klasycznej wystarczają do opisu zjawisk fizycznych zachodzących w makroskali, to jednak nie pozwalają na dokładny opis mikroświata, gdyż nie są one w stanie wyjaśnić wielu efektów występujących w świecie kwantowym. Powstanie mechaniki kwantowej umożliwiło wkroczenie w świat wielkości atomowych i subatomowych dostarczając badaczom niezbędnych narzędzi i wyjaśniając, w jaki sposób działają prawa fizyki w tej skali. Dzięki prawom mechaniki kwantowej jesteśmy w stanie wyznaczać teoretyczne wartości różnych wielkości atomowych oraz molekularnych.

Chcąc wyjaśnić podstawowe zagadnienia związane z wykonywaniem obliczeń dla atomów wieloelektronowych, jakimi są atomy miedziowców oraz fluorowców, w pierwszej kolejności należy omówić je dla najprostszego układu jednoelektronowego, czyli atomu wodoru. Istnieją dwa zasadnicze podejścia do takiego układu, a mianowicie podejście nierelatywistyczne, w przypadku którego rozwiązuje się równanie Schrödingera oraz podejście relatywistyczne, polegające na rozwiązaniu równania Diraca. W przypadku podejścia relatywistycznego lepiej opisujemy rzeczywistość, w której jak wiadomo prędkość światła ma ograniczoną wartość. W efekcie otrzymujemy między innymi dokładniejsze wartości energii. Często jednak wykonując obliczenia ograniczamy się do obrazu nierelatywistycznego. Dzieje się tak z dwóch zasadniczych powodów. Po pierwsze dla wielu układów rozwiązanie równania Schrödingera daje niemalże te same wyniki, co podejście relatywistyczne, a jednocześnie znacząco zmniejsza koszty obliczeniowe. Przypadki te jednak ograniczają się do układów lekkich, czyli na przykład atomów o małej liczbie atomowej  $Z$ , gdzie efekty relatywistyczne można uznać za zanedbywalne. Drugim powodem jest fakt, że w przypadku skomplikowanych układów rozwiązanie równań relatywistycznych jest po prostu często niemożliwe. [Piel, 2003; Styszyński, 2007]

Podążając śladami Styszyńskiego [2007] efekty relatywistyczne, o których będzie mowa w tej pracy, rozumiane będą jako różnica wartości otrzymanych w wyniku rozwiązania równań relatywistycznych i równań nierelatywistycznych. Zatem efektem relatywistycznym  $\Delta X$ , dla jakiegokolwiek wielkości  $X$ , będzie wartość:

$$\Delta X = X_{rel} - X_{nrel}, \quad (1)$$

gdzie  $X_{rel}$  to wielkość  $X$  wyznaczona w ujęciu relatywistycznym, zaś  $X_{nrel}$  to wartość otrzymana za pomocą wyrażeń nierelatywistycznych.

## 2. Metody obliczeniowe

Równanie Schrödingera [Schrödinger, 1926], leżące u podstaw nierelatywistycznej mechaniki kwantowej, ma postać

$$\hat{H}\Psi(\vec{r}, t) = i\hbar \frac{\partial \Psi(\vec{r}, t)}{\partial t}, \quad (2)$$

przy czym  $\hat{H}$  jest operatorem Hamiltona,  $\Psi(\vec{r}, t)$  to funkcja falowa, która zależy od położenia  $\vec{r}$  i czasu  $t$ , zaś  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  to stała Plancka podzielona przez  $2\pi$ . Przy zastosowaniu metody separacji zmiennych oraz założeniu, że  $\Psi(\vec{r}, t) = \psi(\vec{r})\Phi(t)$  otrzymujemy równanie Schrödingera niezależne od czasu w postaci

$$\hat{H}\psi = E\psi, \quad (3)$$

które jest zagadnieniem własnym operatora  $\hat{H}$ , wykorzystywanym do wyznaczania energii układu  $E$ . Dla atomu jednoelektronowego przyjmuje ono postać

$$\left[ -\frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla_{r,\vartheta,\varphi}^2 - \frac{Ze^2}{r} \right] \Psi_{nlm}(r, \vartheta, \varphi) = E_n \Psi_{nlm}(r, \vartheta, \varphi), \quad (4)$$

gdzie  $\mu = \frac{m_1 m_2}{m_2 + m_1}$  jest masą zredukowaną,  $\nabla_{r,\vartheta,\varphi}^2 = \frac{1}{r^2} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin^2 \vartheta} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left( \sin^2 \vartheta \frac{\partial}{\partial \vartheta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \vartheta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right]$  to operator Laplace'a wyrażony we współrzędnych sferycznych,  $e$  to wartość ładunku elektronu,  $Z$  to liczba atomowa, zaś  $n$ ,  $l$  oraz  $m$  to liczby kwantowe. Funkcja falowa dana jest iloczynem funkcji radialnej  $R_{nl}(r)$  i harmoniki sferycznej  $Y_l^m(\vartheta, \varphi)$

$$\Psi_{nlm}(r, \vartheta, \varphi) = R_{nl}(r) Y_l^m(\vartheta, \varphi), \quad (5)$$

których postać jest powszechnie znana [Supriadi i in., 2019].

W rozwiązaniu równania Schrödingera pojawiają się 3 liczby kwantowe: główna liczba kwantowa  $n$  kwantująca wartość energii, orbitalna liczba kwantowa  $l$  od której zależy wartość orbitalnego momentu pędu oraz magnetyczna liczba kwantowa  $m$ , która z kolei kwantuje wartości rzutu orbitalnego momentu pędu na oś kwantyzacji. Od czasów doświadczenia Sterna-Gerlacha [Gerlach i Stern, 1922] wiadomym było, że elektron w atomie posiada spin i związane z nim dwie liczby kwantowe, to jest spinową liczbę kwantową  $s$  (jej wartość dla elektronu zawsze wynosi  $\frac{1}{2}$ ) oraz magnetyczną spinową liczbę kwantową  $m_s$ . W ujęciu nierelatywistycznym istnienie tego dodatkowego stopnia swobody elektronu nie wynika wprost z równań i spin uwzględniany jest poprzez wymnożenie funkcji falowej, otrzymanej jako rozwiązanie równania Schrödingera, przez dodatkową funkcję spinową. Iloczyn tych dwóch funkcji nazywany jest spinorbitem, a na każdym spinorbitalu może znajdować się co najwyżej jeden elektron.

Każda funkcja falowa  $\Psi_{nlm}$  odpowiada jednemu orbitalowi, na którym znajdować się mogą maksymalnie dwa elektrony (w związku ze spinem). Konwencja oznaczania orbitali wykorzystuje liczby kwantowe  $n$ ,  $l$  oraz  $m$

$$\Psi_{nlm} = n l m, \quad (6)$$

przy czym liczby  $n$  i  $m$  podawane są jako cyfry, zaś liczbie  $l$  przypisywana jest litera (odpowiednio s, p, d, f, g, ...). Zatem np. stan elektronu (orbital okupowany przez ten

elektron), któremu odpowiadają liczby kwantowe  $n=2$ ,  $l=1$  oraz  $m=-1$  zapisuje się jako  $2p_{-1}$ . W wyniku rozwiązania równania (4) otrzymuje się wartości energii odwrotnie proporcjonalne do kwadratu głównej liczby kwantowej  $n$

$$E_n = -\frac{\mu e^4 Z^2}{\hbar^2 2n^2} = -\frac{\mu c^2 (Z\alpha)^2}{2n^2}, \quad (7)$$

przy czym  $\alpha$  to stała struktury subtelnej.

Chcąc uwzględnić relatywistyczną naturę świata należy odwołać się do równania wyprowadzonego w 1928 roku przez Paula Diraca [Dirac, 1928]. Opisuje ono ruch elektronu z uwzględnieniem szczególnej teorii względności i zgodny z zasadami mechaniki kwantowej. Równanie to ma postać:

$$[c\vec{\alpha} \cdot \hat{p} + mc^2(\beta - I_4) + V(r)I_4]\Psi(\vec{r}) = \varepsilon\Psi(\vec{r}), \quad (8)$$

gdzie  $c$  to prędkość światła,  $\hat{p}$  jest operatorem pędu elektronu,  $m$  to jego masa spoczynkowa,  $\vec{\alpha}$  oraz  $\beta$  to z kolei macierze Diraca [Styszyński, 2007],  $I_4$  to macierz jednostkowa o wymiarze  $4 \times 4$ , zaś  $V(r)$  to energia potencjalna oddziaływania jądra z elektronem. Obecność macierzy  $I_4$  w drugim członie lewej strony równania (8) bierze się stąd, że chcąc porównywać wartości otrzymane przy wykorzystaniu równań relatywistycznych oraz nierelatywistycznych energię  $E$  otrzymaną z równania Diraca należy przeskalować o  $mc^2$ .

Funkcja falowa w równaniu (8) jest czterospinorem (funkcją czteroskładnikową). Można ją również zapisać w postaci dwuspinora

$$\Psi(\vec{r}) = \begin{bmatrix} \Psi_1(\vec{r}) \\ \Psi_2(\vec{r}) \\ \Psi_3(\vec{r}) \\ \Psi_4(\vec{r}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Psi^L \\ \Psi^S \end{bmatrix}, \quad (9)$$

gdzie  $\Psi^S$  to tak zwana mała składowa, zaś  $\Psi^L$  to duża składowa funkcji falowej. Wówczas, po podstawieniu (9) do równania (8) i prostych przekształceniach, otrzymać można wyrażenia

$$\Psi^S = \frac{1}{2mc \left(1 + \frac{\varepsilon - V}{2mc^2}\right)} \vec{\sigma} \cdot \hat{p} \Psi^L, \quad V\Psi^L + c\vec{\sigma} \cdot \hat{p} \frac{1}{2mc} \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon - V}{2mc^2}} \vec{\sigma} \cdot \hat{p} \Psi^L = \varepsilon \Psi^L. \quad (10)$$

Następnie stosując przejście graniczne  $c \rightarrow \infty$  do pierwszego z równań (10) otrzymać można następujący związek pomiędzy dużą i małą składową funkcji falowej

$$\Psi^S = \frac{1}{2mc} \vec{\sigma} \cdot \hat{p} \Psi^L \quad (11)$$

zwany warunkiem balansu kinetycznego. Warunek ten pełni istotną rolę przy wyborze funkcji bazowych, które wykorzystywane są przy rozwiązywaniu równania Diraca-Focka.

W wyniku rozwiązania równania Diraca otrzymywana jest funkcja falowa w postaci

$$\Psi_{nljm_j}(r, \vartheta, \varphi) = \Psi_{n\kappa m_j}(r, \vartheta, \varphi) = \frac{1}{r} \begin{pmatrix} P_{n\kappa}(r)\chi_{\kappa m_j}(\vartheta, \varphi) \\ iQ_{n\kappa}(r)\chi_{-\kappa m_j}(\vartheta, \varphi) \end{pmatrix} \quad (12)$$

opisywana dwoma zestawami liczb kwantowych. Pierwszy, to jest  $n$ ,  $l$ ,  $j$ ,  $m_j$ , ułatwia porównywanie tych rozwiązań z wynikami otrzymanymi z równania Schrödingera. Drugi zaś ( $n$ ,  $\kappa$ ,  $m_j$ ) otrzymywany jest bezpośrednio w efekcie rozwiązywania równania (8). Funkcje  $P$  oraz  $Q$  to odpowiednio radialne duża oraz mała składowa. Funkcja  $\chi$  to z kolei funkcja własna operatora wypadkowego momentu pędu, dana kombinacją liniową iloczynów funkcji

spinowych z funkcjami kulistymi [Styszyński, 2007]. Liczby kwantowe, podobnie jak w przypadku równania nierelatywistycznego, wykorzystywane są do oznaczania orbitali. Sposób, w jaki się to robi przedstawiono w tabeli 1. Energię otrzymaną w wyniku rozwiązania równania (8), po odpowiednich przekształceniach i rozwinięciu w szereg, można wyrazić jako

$$\varepsilon_{nj} = mc^2 \left[ -\frac{(Z\alpha)^2}{2n^2} - \frac{(Z\alpha)^4}{2n^4} \left( \frac{n}{j + \frac{1}{2}} - \frac{3}{4} \right) + \dots \right]. \tag{13}$$

**Tabela 3. Sposób oznaczania orbitali w relatywistycznym sformułowaniu Diraca**

O					
rbital	1/2	1/2	3/2	3/2	5/2
l					
κ	1		2		3
j	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2

Źródło: opracowanie własne.

Rozwiązania równania Diraca ujawniają to, jak istotnym jest uwzględnienie relatywistycznej natury zjawisk kwantowych. Widać to szczególnie wyraźnie w postaci dwóch efektów. Po pierwsze spin, który w ujęciu nierelatywistycznym należało sztucznie dodać, zawarty jest w równaniu Diraca. Po drugie energia, która w rozwiązaniu równania Schrödingera zależała jedynie od liczby kwantowej n, teraz zależy również od liczby kwantowej j. Jest to tak zwane oddziaływanie spin-orbita, które powoduje, że orbitale o liczbie kwantowej l (od której zależy wartość orbitalnego momentu pędu) większej od 0 rozszczepiają się na dwa orbitale o odmiennych poziomach energii zależnych od liczby kwantowej j (która z kolei determinuje wartość własną wypadkowego momentu pędu). Jedna z powstających podpowłok posiada energię wyższą (ta o j = l + 1/2), zaś druga energię niższą (opisana liczbą kwantową j = l - 1/2). Efekt ten, podobnie jak istnienie spinu, był już wcześniej znany naukowcom, ponieważ można go było zaobserwować w wynikach eksperymentów, ale nie były znane jego teoretyczne podstawy.

Omówione zostały przypadki rozwiązań otrzymanych dla układu jednoelektronowego, czyli atomu wodoru. W artykule prezentowane będą wyniki dla atomów N-elektronowych, których hamiltonian przyjmuje nieco inną postać niż ten w równaniu (4), a konkretnie

$$\hat{H} = \sum_{i=1}^N \hat{h}_i + \sum_{i<j} \frac{e^2}{r_{ij}}, \tag{14}$$

przy czym indeksy i oraz j numerują nam elektrony, r<sub>ij</sub> to odległość między i-tym a j-tym elektronem, zaś  $\hat{h}_i$  to hamiltonian rdzenia, czyli jednoelektronowy hamiltonian dany, w zależności od podejścia, wyrażeniem takim jak w równaniu (4) lub (8). Oczywiście przy rozwiązywaniu równań z takimi hamiltonianami stosuje się szereg przybliżeń, które szerzej omówione zostały w innym artykule [Prątnicki, 2020]. W ujęciu nierelatywistycznym wykorzystywana jest wariacyjna metoda Hartree-Focka i finalne wartości otrzymywane są

jako rozwiązania równań Hartree-Focka-Roothana. Z kolei wyniki w ujęciu relatywistycznym uzyskiwane są w efekcie rozwiązania równań Diraca-Focka. Oba podejścia również szerzej omówiono w innym artykule [Prątnicki, 2020].

Pozostaje jeszcze kwestia rozkładu ładunku w jądrze, która dotychczas była pomijana, a od której zależy postać potencjału oddziaływania pomiędzy elektronem a jądrem atomowym. Rozkład ten determinuje przyjęty model jądra atomowego. Można wyróżnić cztery modele, tj. punktowy model jądra, w którym zakłada się, że jądro jest punktem skupiającym cały ładunek (taki model zakładany był w dotychczas przedstawionych równaniach); model jednorodnie naładowanej kuli, model Fermiego oraz gaussowski model ładunku jądra.

### 3. Wyniki

W tym artykule przedstawiane są obliczenia wykonywane dla atomów miedziowców i fluorowców. Spośród miedziowców, to jest pierwiastków przynależących do jedenastej grupy układu okresowego, wyniki otrzymano dla miedzi (Cu), srebra (Ag) oraz złota (Au). Wszystkie wymienione pierwiastki zaliczają się do metali i mają pojedynczy elektron na powłoce walencyjnej. Spośród fluorowców, czyli pierwiastków należących do siedemnastej grupy, obliczenia wykonano dla fluoru (F), chloru (Cl), bromu (Br) oraz jodu (I). Te pierwiastki to niemetale, które na ostatniej powłoce posiadają siedem elektronów walencyjnych, czyli charakteryzują się konfiguracją  $ns^2 np^5$ .

Otrzymane wartości energii wyrażone zostały w jednostkach hartree, przy czym

$$\begin{aligned} 1 \text{ hartree} = E_H &= \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 a_0} = 2R_\infty hc = \alpha^2 m_e c^2 = 4,359\,743\,81(34) \times 10^{-18} \text{ J} \\ &= 27,211\,3834(11) \text{ eV}, \end{aligned} \quad (15)$$

z kolei wartości promieni orbitalnych wyrażone zostały jako wielokrotności promieni Bohra, to jest:

$$1 \text{ Bohr} = a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} = 0,529\,177\,2083(19) \times 10^{-10} \text{ m}. \quad (16)$$

Wszystkie prezentowane wyniki otrzymane zostały przy użyciu dwóch programów: GRASP2 [Dyall, Grant, Johnson, Parpia, Plummer, 1989] oraz DIRAC13 [Visscher, Jensen, Bast, Saue, 2013]. Obliczenia z kolei przeprowadzone zostały na komputerze SUN Fire X4600 z 16 procesorami, 128 GB RAM oraz 4 dyskami 146 GB. W pierwszej kolejności omówione zostaną wyniki otrzymane za pomocą programu GRASP2, w których przyjęty został model Fermiego rozkładu ładunku w jądrze. W tabeli 2 przedstawione zostały wartości energii dla obliczeń relatywistycznych i nierelatywistycznych oraz różnica pomiędzy tymi wynikami.

**Tabela 4. Relatywistyczne i nierelatywistyczne wartości energii atomów miedziowców oraz fluorowców otrzymane dla modelu Fermiego rozkładu ładunku w jądrze. W ostatniej kolumnie zaprezentowano wartości poprawek relatywistycznych do energii.**

S ymbol	Liczba atomowa Z	$E_{\text{tot}}$ (DF) [hartree]	$E_{\text{tot}}$ (HF) [hartree]	$\Delta E_{\text{rel}}$ [hartree]
u	29	1653,455032	1638,958263	14,496769
g	47	5314,633484	5197,645857	116,987627
F	9	-99,501285	99,409326	-0,091959
l	17	460,937675	459,481623	-1,456052
r	35	2605,020470	2572,427928	32,592542
I	53	7115,787486	6917,886845	197,900641

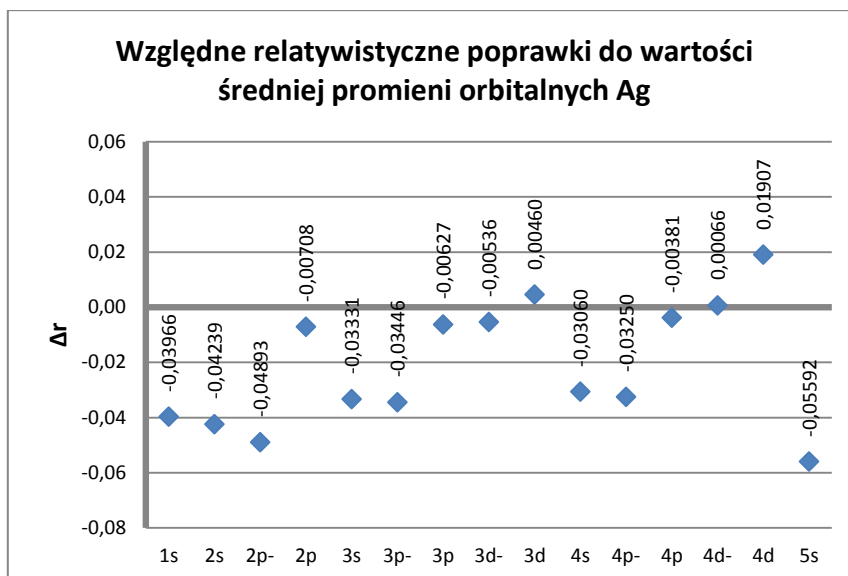
Źródło: opracowanie własne.

Powyzsze wyniki pokazują, że dla cięższych atomów wpływ efektów relatywistycznych jest większy. Widać, iż ze wzrostem liczby atomowej Z, a co za tym idzie rozmiarów atomu, rośnie również wartość poprawki relatywistycznej do energii  $\Delta E_{\text{rel}}$ . Wartość tych poprawek do energii całkowitej wyliczona została jako różnica energii całkowitych wyznaczonych przy użyciu równań relatywistycznych (wartości oznaczone jako DF) i nierelatywistycznych (HF). Widać wyraźnie, że dla każdego badanego atomu uwzględnienie zjawisk relatywistycznych w opisie powoduje obniżenie wartości energii całkowitych. Efekt ten wyraźnie się nasila wraz ze wzrostem liczby atomowej Z.

Poza energiami interesujący jest również wpływ efektów relatywistycznych na inne wielkości charakteryzujące dane atomy, takie jak chociażby średnie promienie różnych orbit, czyli średnie odległości poszczególnych elektronów od jądra atomu. Względna poprawkę relatywistyczną do wartości średniej r wyznaczono za pomocą wyrażenia:

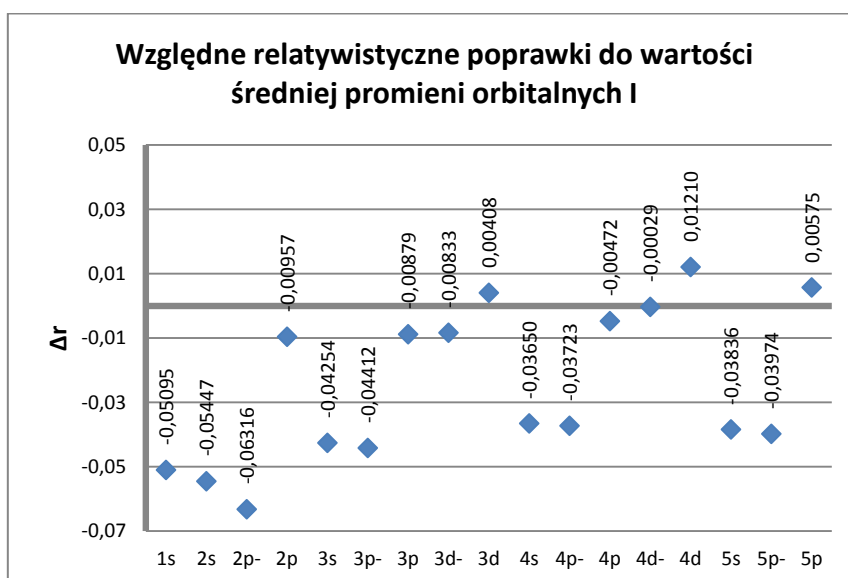
$$\Delta r = \frac{\langle r \rangle_{\text{rel}} - \langle r \rangle_{\text{nrel}}}{\langle r \rangle_{\text{nrel}}}. \quad (17)$$

Choć jej wartości obliczone zostały dla wszystkich rozważanych w tym artykule atomów miedziowców oraz fluorowców, to na poniższych wykresach przedstawiono jedynie wybrane wyniki otrzymane dla atomu srebra (rysunek 1) oraz dla atomu jodu (rysunek 2).



**Rysunek 8. Względne relatywistyczne poprawki do wartości średniej odległości elektronu od jądra  $\Delta r$  dla różnych orbitali atomu srebra**

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 9. Względne relatywistyczne poprawki do wartości średniej odległości elektronu od jądra  $\Delta r$  dla różnych orbitali atomu jodu**

Źródło: opracowanie własne.

Otrzymane wartości względnych poprawek relatywistycznych do wartości średnich promieni różnych orbitali bardzo wyraźnie obrazują efekty powstające na skutek uwzględnienia relatywistycznej natury świata. W efekcie wykorzystania do obliczeń równań relatywistycznych następuje bardzo wyraźna kontrakcja orbitali s. Na powyższych wykresach widać również, że wartości średniej odległości elektronu od jądra dla podpowłok  $p_{1/2}$  maleją, z kolei dla orbitali  $p_{3/2}$  efekt kontrakcji radialnej oraz efekt oddziaływania spin-orbita, o którym mowa była w poprzednim rozdziale, w dużej mierze znoszą się wzajemnie i w wyniku otrzymane wartości średniej odległości elektronu od jądra w ujęciu relatywistycznym i nierelatywistycznym są niemalże takie same. Podobny rezultat nakładania

się tych dwóch efektów relatywistycznych można zaobserwować również w przypadku podpowłoki  $d_{3/2}$ , choć wartości  $\Delta r$  dla orbitalu  $d_{5/2}$  ukazują już radialną ekspansję. Efekt wydłużania się promieni orbit jest znacznie mniej wyraźny niż ich kontrakcja. Wyniki otrzymane dla obliczeń nierelatywistycznych nie ukazują rozszczepienia podpowłok ze względu na liczbę kwantową  $j$ , w związku z czym wartości energii orbitali  $p$  oraz  $d$  dla danej powłoki są takie same.

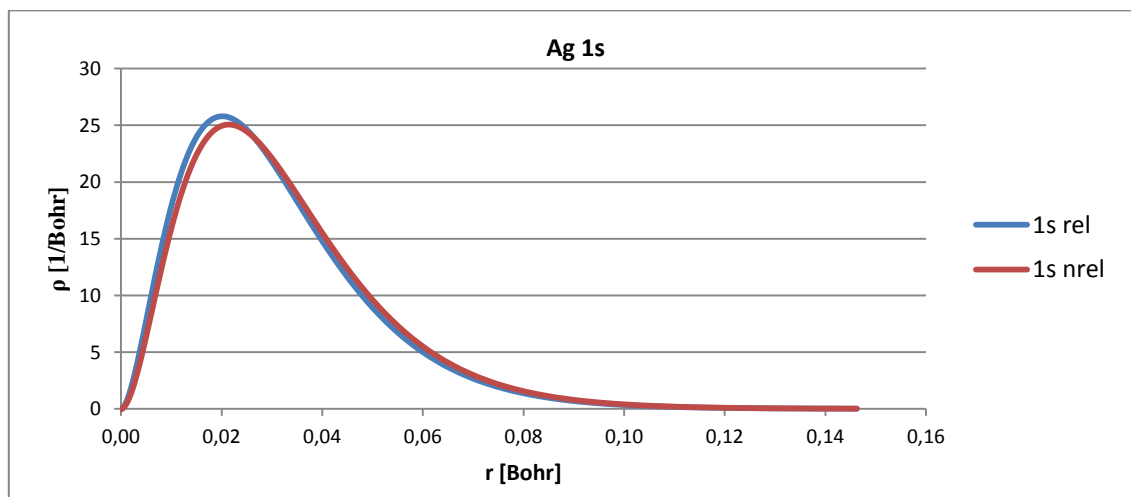
Wykorzystując równania mechaniki kwantowej można wyznaczyć funkcję radialnej gęstości prawdopodobieństwa znalezienia elektronu. Gęstość prawdopodobieństwa  $\rho$  wyraża się jako:

$$\rho = \Psi^\dagger \Psi = (P^* \quad Q^*) \begin{pmatrix} P \\ Q \end{pmatrix} = P^2 + Q^2, \quad (18)$$

gdzie  $\Psi$  jest funkcją falową, z kolei  $P$  i  $Q$  to radialne składowe funkcji falowej. W wyniku obliczeń wykonanych w programie GRASP2 otrzymana została radialna gęstość prawdopodobieństwa  $\rho_r$ , która dana jest wzorem:

$$\rho_r = r^2 \rho = r^2 (P^2 + Q^2), \quad (19)$$

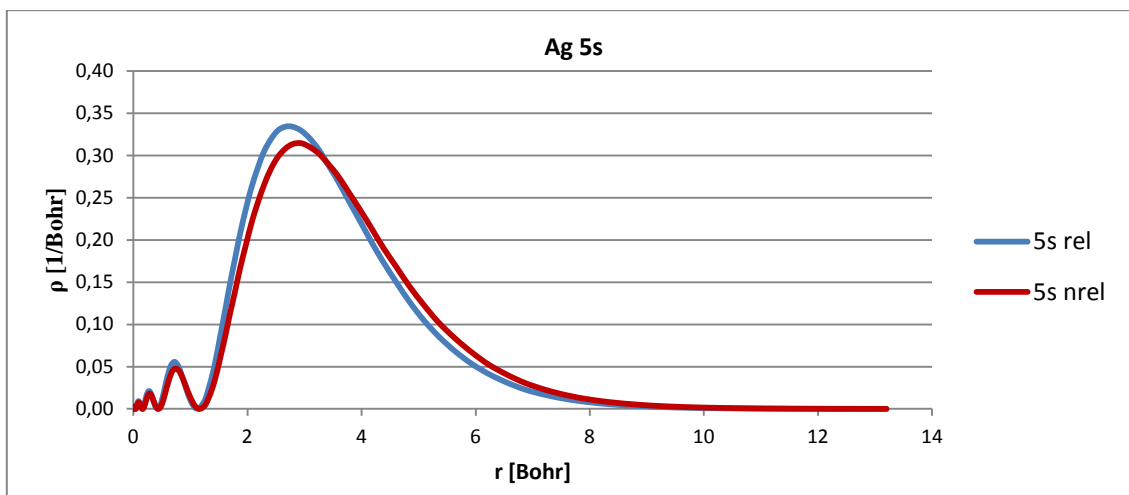
czyli jest to przeskalowana gęstość prawdopodobieństwa. Tak jak wcześniej w artykule zaprezentowane zostały tylko wyniki dla wybranych orbitali atomów srebra oraz jodu. Dla srebra wybrane zostały orbitale  $1s$ ,  $2p$ ,  $4d$  oraz  $5s$ , zaś dla jodu orbitale  $1s$ ,  $2p$ ,  $4d$ ,  $5s$  oraz  $5p$ . Otrzymane wartości radialnej gęstości prawdopodobieństwa dla tych orbitali przedstawione zostały na rysunkach 3-11.



**Rysunek 10. Funkcja radialnej gęstości prawdopodobieństwa w zależności od odległości elektronu od jądra dla orbitalu  $1s$  atomu srebra**

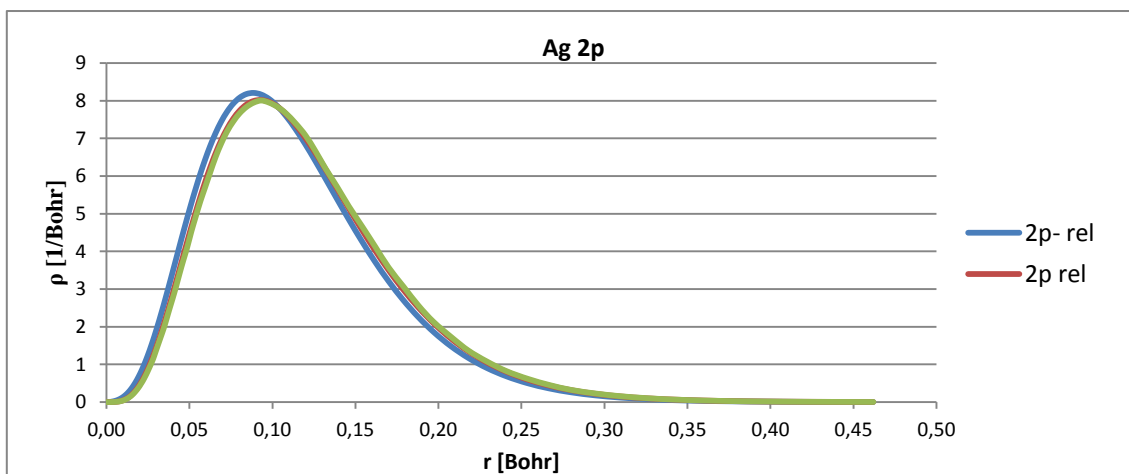
Źródło: opracowanie własne.





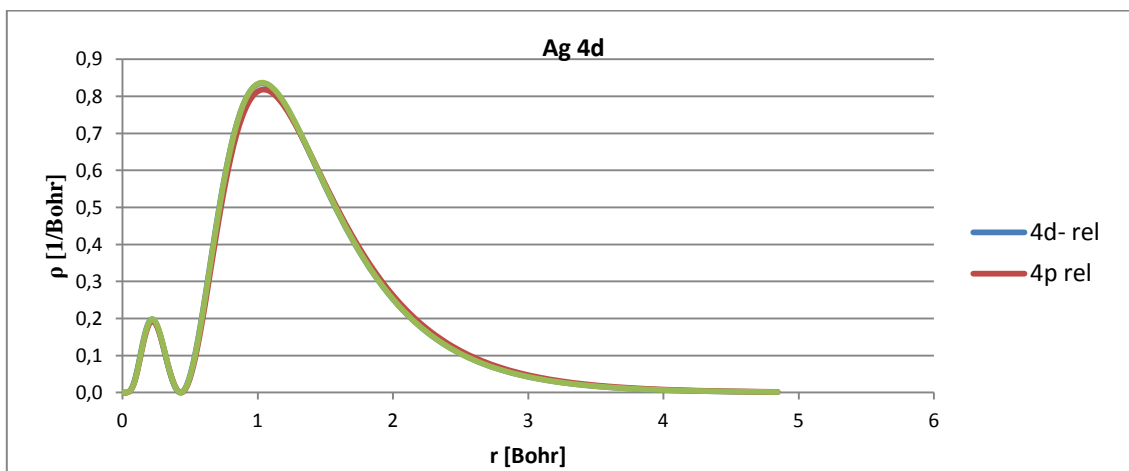
**Rysunek 11. Funkcja radialnej gęstości prawdopodobieństwa w zależności od odległości elektronu od jądra dla orbitalu 5s atomu srebra**

Źródło: opracowanie własne.



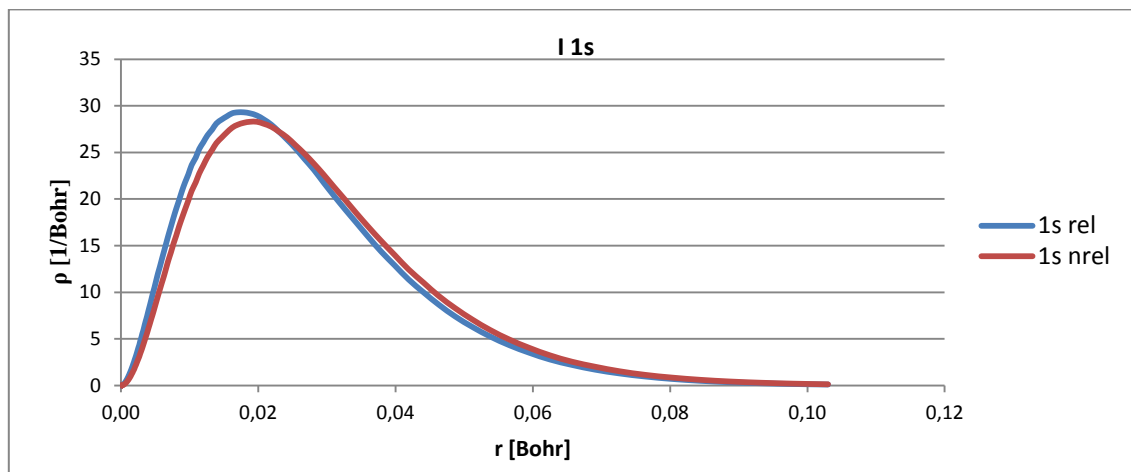
**Rysunek 12. Funkcja radialnej gęstości prawdopodobieństwa w zależności od odległości elektronu od jądra dla orbitalu 2p atomu srebra**

Źródło: opracowanie własne.



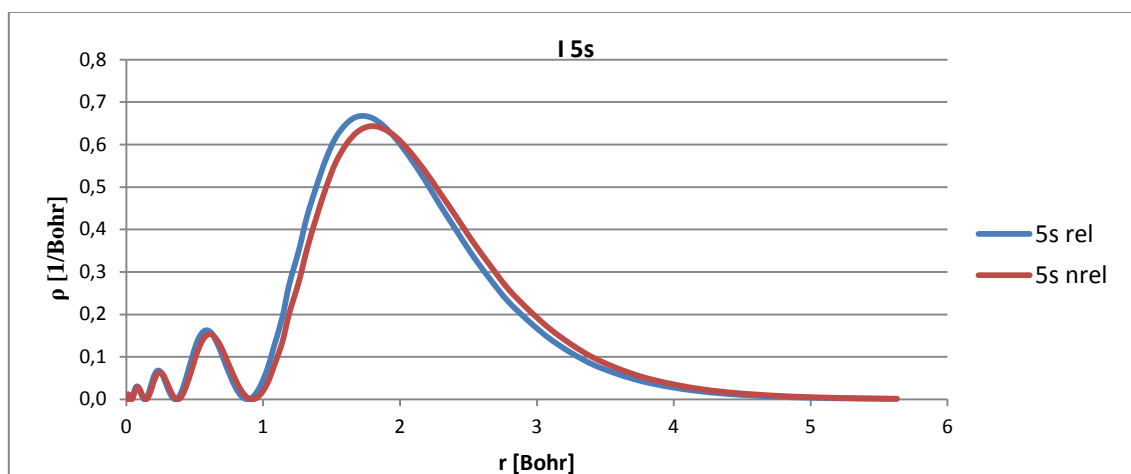
**Rysunek 13. Funkcja radialnej gęstości prawdopodobieństwa w zależności od odległości elektronu od jądra dla orbitalu 4d atomu srebra**

Źródło: opracowanie własne.



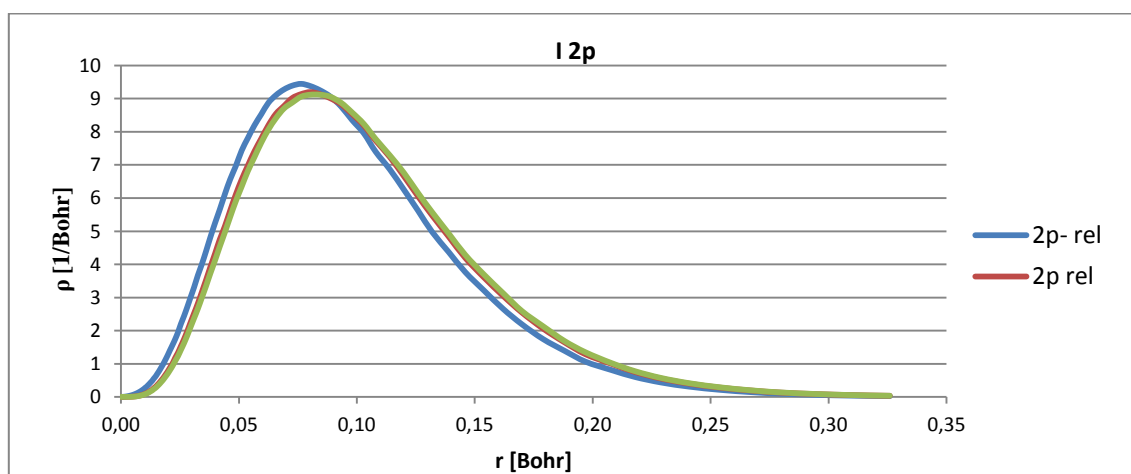
**Rysunek 14. Funkcja radialnej gęstości prawdopodobieństwa w zależności od odległości elektronu od jądra dla orbitalu 1s atomu jodu.**

Źródło: opracowanie własne.



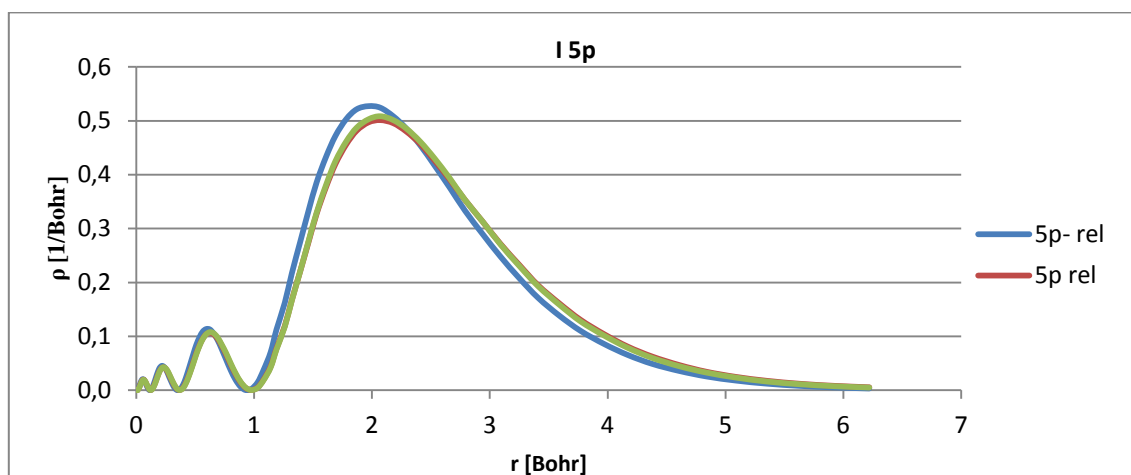
**Rysunek 15. Funkcja radialnej gęstości prawdopodobieństwa w zależności od odległości elektronu od jądra dla orbitalu 5s atomu jodu**

Źródło: opracowanie własne.



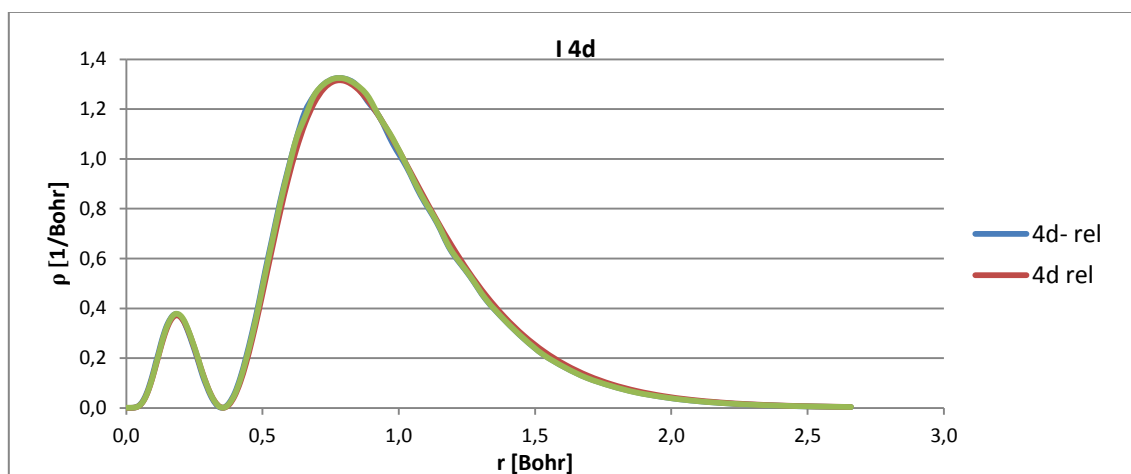
**Rysunek 16. Funkcja radialnej gęstości prawdopodobieństwa w zależności od odległości elektronu od jądra dla orbitalu 2p atomu jodu**

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 17. Funkcja radialnej gęstości prawdopodobieństwa w zależności od odległości elektronu od jądra dla orbitalu 5p atomu jodu**

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 18. Funkcja radialnej gęstości prawdopodobieństwa w zależności od odległości elektronu od jądra dla orbitalu 4d atomu jodu**

Źródło: opracowanie własne.

Wykresy te potwierdzają efekty, które można było zauważyć analizując otrzymane wartości względnej poprawki relatywistycznej do średnich promieni orbitalnych. W przypadku orbitali s oraz p widać wyraźny efekt radialnej kontrakcji. Wartości radialnej gęstości prawdopodobieństwa pokazują również, że w przypadku orbitali  $p_{3/2}$  efekt zmniejszenia promienia orbitali na skutek uwzględnienia efektów relatywistycznych niemalże znika. Jest to skutek nakładania się nań efektu oddziaływania spin-orbita. Na wykresach widać również radialną ekspansję orbitali d, choć efekt ten jest zdecydowanie mniej wyraźny od radialnej kontrakcji. W przypadku orbitali  $d_{3/2}$  efekt ten jest znacznie mniej wyraźny, niż w przypadku podpowłok  $d_{5/2}$ , gdyż dochodzi do obniżenia wartości energetycznej tego poziomu w związku z rozszczepieniem poziomów energetycznych, które w ujęciu relatywistycznym pojawia się ze względu na liczbę kwantową j.

Prezentowane dotychczas wyniki otrzymane zostały przy pomocy programu GRASP2. Następną część tej sekcji artykułu poświęconą zostanie wynikom otrzymanym za pomocą programu DIRAC13. W tych obliczeniach wykorzystany został model gaussowskiego

rozkładu ładunku w jądrze atomowym. W pierwszej kolejności dla dużych składowych funkcji falowych wybrane zostały bazy funkcji. W przypadku atomów bromu, jodu oraz wszystkich miedziowców w obliczeniach wykorzystano bazę typu valence triple zeta opracowaną przez Dyalla (dyall.v3z), zaś w przypadku atomów fluoru oraz chloru wykorzystano nierelatywistyczną bazę Dunninga, a konkretnie augmented polarized valence triple zeta (aug-cc-pVTZ). Wszystkie obliczenia dla atomów wykonano w grupie symetrii  $D_{2h}$  (zdefiniowaną zgodnie klasyfikacją Schoenfliesa [Gołębiowski, 1984]).

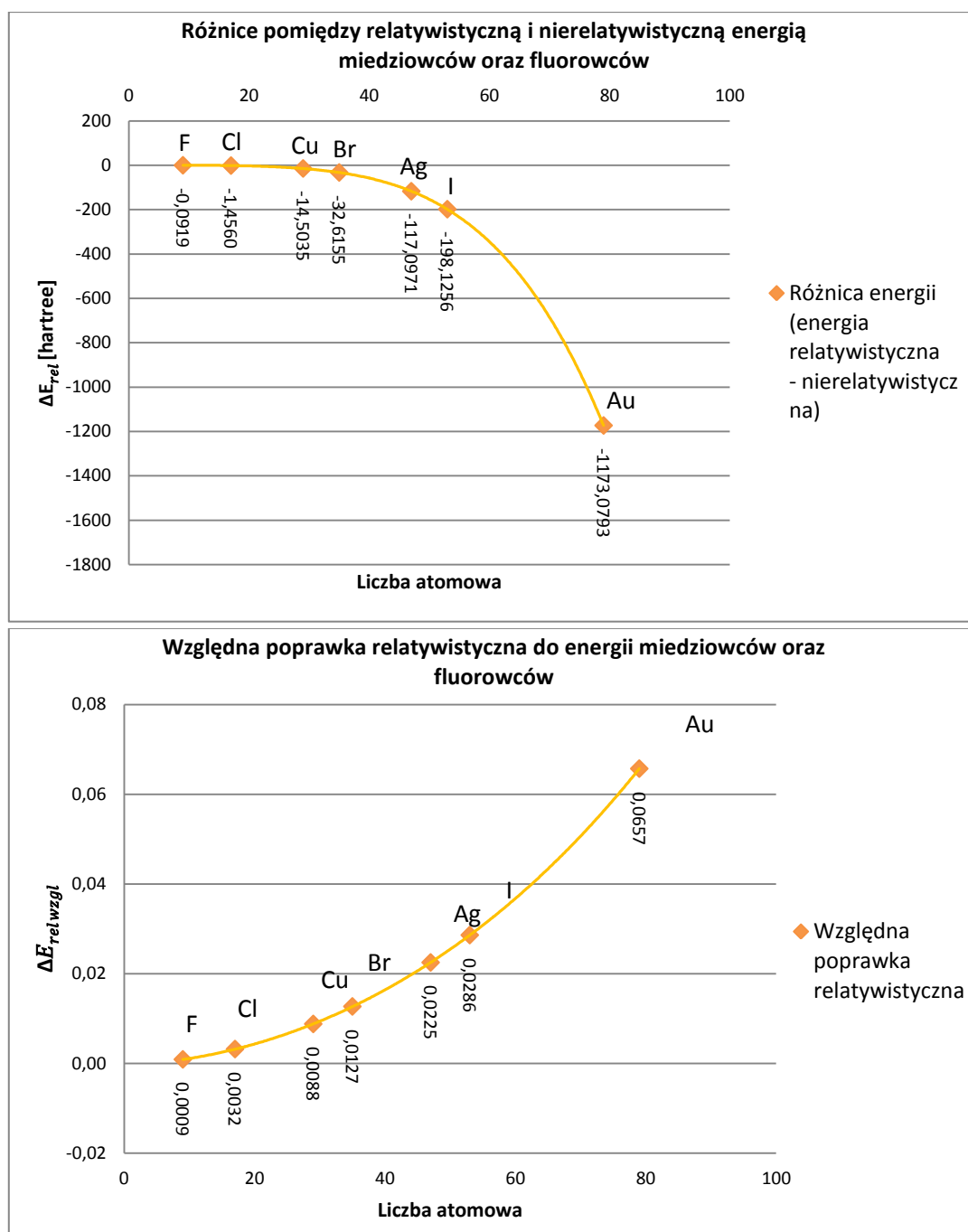
W pierwszej kolejności, w tabeli 3, przedstawione zostały otrzymane wartości energii całkowitych dla wspomnianych atomów.

**Tabela 5. Relatywistyczne i nierelatywistyczne wartości całkowitych energii atomów otrzymanych w programie DIRAC13 dla modelu Gaussa rozkładu ładunku w jądrze**

Symbol	Z	$E_{\text{tot}}$ (SCF) [hartree]	$E_{\text{tot}}$ (nrSCF) [hartree]	$\Delta E_{\text{rel}}$ (SCF - nrSCF) [hartree]
Cu	29	-1653,454158	-1638,957640	-14,503505
Ag	47	-5314,633558	-5197,645773	-117,097067
Au	79	-19035,592562	-17864,790046	-1173,079312
F	9	-99,492029	-99,400091	-0,091948
Cl	17	-460,933684	-459,477990	-1,456035
Br	35	-2605,022748	-2572,427531	-32,615526
I	53	-7115,793802	-6917,886657	-198,125599

Źródło: opracowanie własne.

Ponownie można zaobserwować, iż energia rośnie wraz ze wzrostem liczby atomowej  $Z$ , czyli również masą atomu. Kolumna, której w szczególności warto się przyjrzeć, to wartości poprawek do energii  $\Delta E_{\text{rel}}$ . Na dwóch wykresach zamieszczonych na rysunku 12 zestawione zostały wartości owych poprawek (górny wykres) oraz wartości względnych poprawek relatywistycznych, czyli  $\Delta E_{\text{rel}} \text{ wzgl} = \frac{\Delta E_{\text{rel}}}{E_{\text{tot}}(\text{nrSCF})}$  (dolny wykres).



**Rysunek 19. Wartości poprawek relatywistycznych (górną) oraz względnych poprawek relatywistycznych (dół) do wartości energii całkowitych atomów**

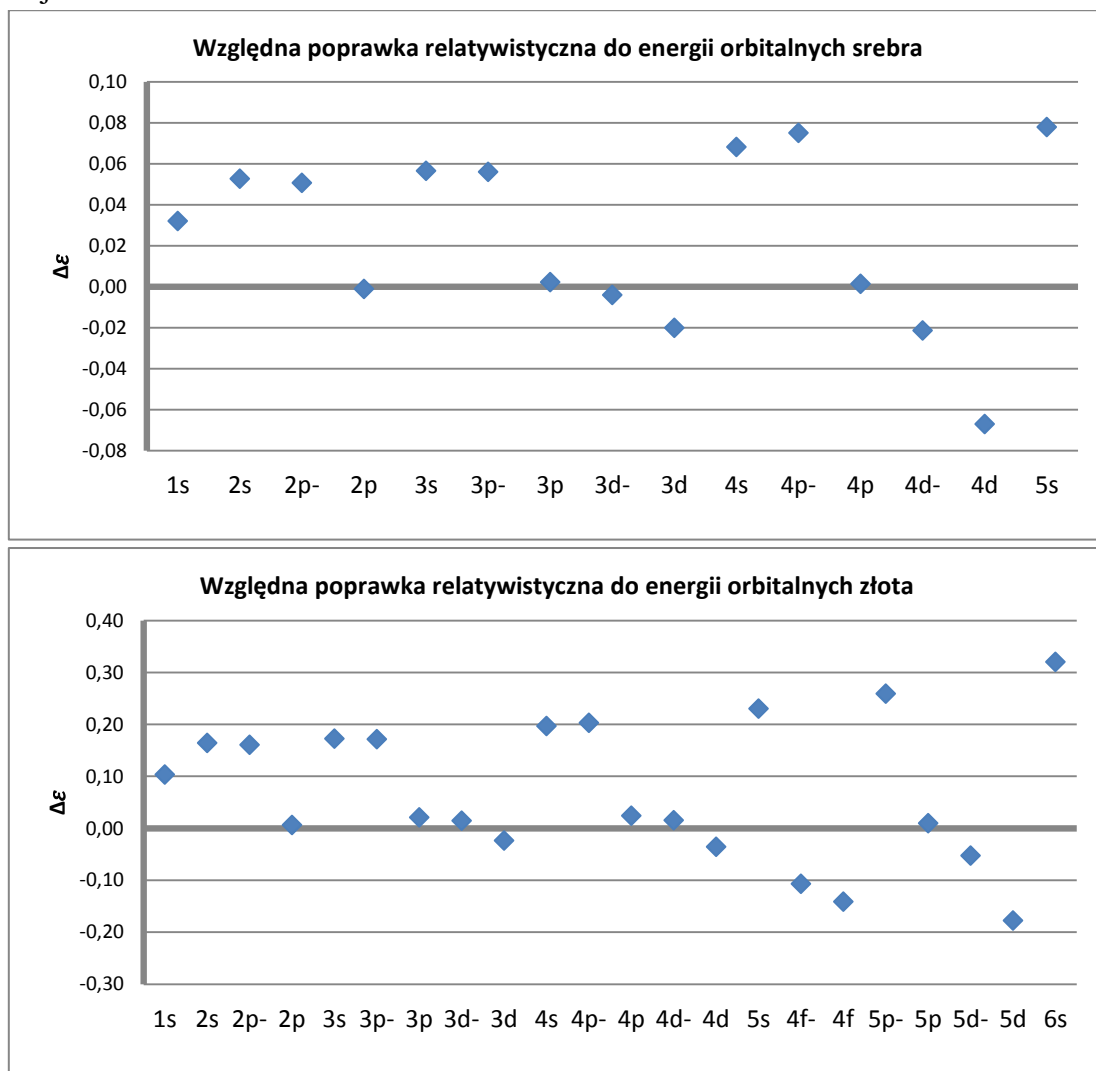
Źródło: opracowanie własne.

Analizując powyższe wykresy można zauważyć wyraźny wzrost znaczenia efektów relatywistycznych wraz ze wzrostem liczby atomowej  $Z$  poszczególnych atomów. Oznacza to, że im cięższe atomy są rozważane, tym większe znaczenie zaczynają odgrywać efekty relatywistyczne i tym mniej precyzyjnie równania nierelatywistyczne opisują rzeczywistość.

Program DIRAC13 umożliwił również otrzymanie wartości energii orbitalnych. Wartości te wykorzystane zostały w celu wyliczenia względnych poprawek relatywistycznych do wartości energii orbitalnych, które wyznaczono przy pomocy wyrażenia:

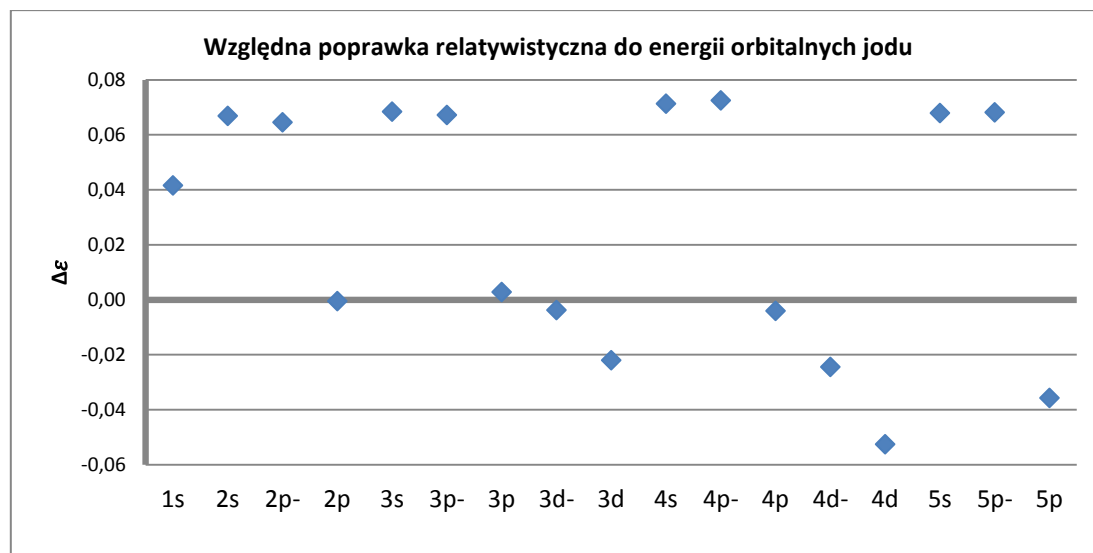
$$\Delta\varepsilon_{nl} = \frac{\varepsilon_{nl}^{\text{rel}} - \varepsilon_{nl}^{\text{n rel}}}{\varepsilon_{nl}^{\text{n rel}}}, \quad 19)$$

przy czym  $\varepsilon_{nl}$  to wartość energii orbitalnej dla podpowłoki o liczbach kwantowych  $n$  i  $l$ . Na rysunku 13 przedstawione zostały wyniki dla atomów srebra oraz złota, zaś na rysunku 14 zaprezentowano wartości względnych poprawek relatywistycznych do energii orbitalnych dla atomu jodu.



**Rysunek 20. Względne poprawki relatywistyczne do energii orbitalnych atomów srebra oraz złota.**

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 21. Względne poprawki relatywistyczne do energii orbitalnych atomu jodu**

Źródło: opracowanie własne.

Przy analizie danych zamieszczonych na powyższych wykresach należy pamiętać, że dodatnie wartości względnych poprawek relatywistycznych do energii orbitalnych oznaczają energetyczną stabilizację podpowłoki (obniżenie jej wartości energii), z kolei ujemne - energetyczną destabilizację (czyli wzrost wartości energii danej podpowłoki). Z wykresów tych wynika, że potwierdzają się wnioski wyciągnięte w oparciu o wyniki otrzymane w programie GRASP2. Można zatem zauważyć energetyczną stabilizację w przypadku orbitali s i p oraz energetyczną destabilizację podpowłok d i f. Warto przy tym zauważyć, że zjawisko energetycznej destabilizacji jest znacznie bardziej wyraźne w przypadku orbitalu f, niż dla podpowłoki d (dla tej samej wartości liczby kwantowej n, czyli na poziomie tej samej powłoki).

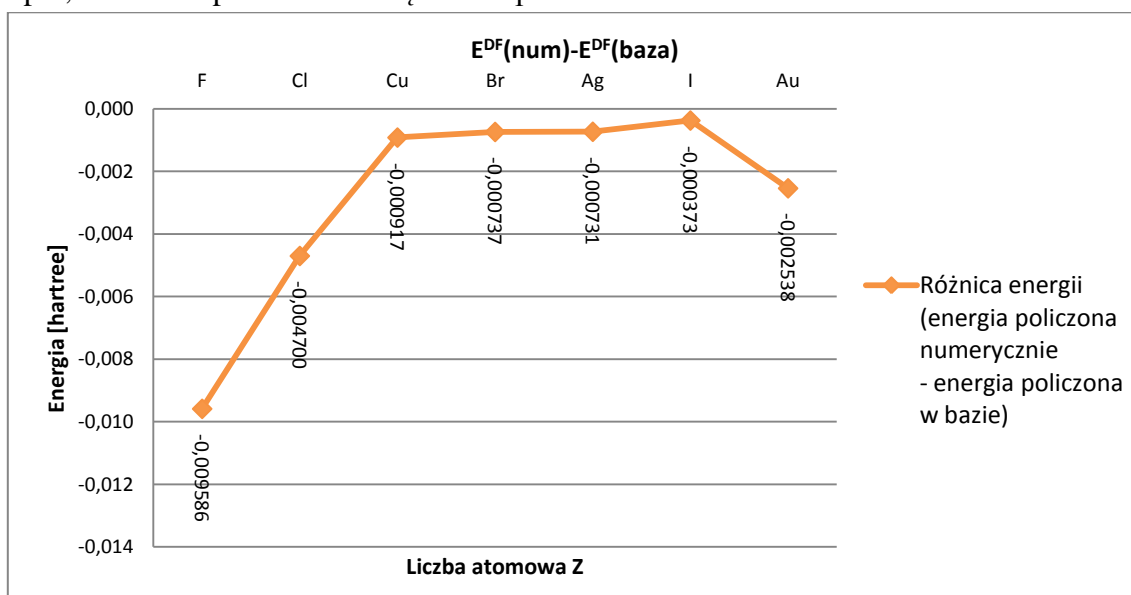
Na koniec warto jeszcze zweryfikować jakość baz funkcji, które zostały wykorzystane w obliczeniach. Wiadomo, że obliczenia wykorzystujące rozwinięcia w bazie funkcji, takie jak te przeprowadzone przy użyciu programu DIRAC13, są generalnie mniej dokładne od wartości otrzymanych za pomocą obliczeń numerycznych wykonanych metodą SCF, czyli wyników otrzymanych w programie GRASP2. Jednak należy w tym miejscu przypomnieć, że obliczenia wykonane w obu programach bazowały na innych modelach rozkładu ładunku w jądrach, w związku z czym porównywanie tych wyników nie byłoby zasadne. Zatem, chcąc zweryfikować jakość wybranych baz, wykorzystano wyniki obliczeń otrzymanych przy użyciu programu GRASP dla gaussowskiego modelu rozkładu ładunku w jądrze, opublikowane przez L. Visschera na stronie internetowej (<http://www.few.vu.nl/~visscher/FiniteNuclei/Table2.html>). Wartości otrzymane za pomocą tych dwóch różnych programów przedstawiono w tabeli 4 poniżej. Z kolei na wykresach zamieszczonych na rysunku 15 zestawione zostały różnice pomiędzy energiami otrzymanymi przy wykorzystaniu owych programów, czyli wartości z ostatniej kolumny tabeli 4.

**Tabela 6. Porównanie wartości energii całkowitych atomów otrzymanych w programie DIRAC13 oraz GRASP**

Symbol	Z	Visscher $E_{\text{tot}}$ (DF) [hartree]	$E_{\text{tot}}$ (SCF) [hartree]	$\Delta E$ (DF-SCF) [hartree]
Cu	29	-1653,455075	-1653,454158	-0,00091672
Ag	47	-5314,634289	-5314,633558	-0,00073089
Au	79	-19035,595100	-19035,592562	-0,00253816
F	9	-99,501615	-99,492029	-0,00958586
Cl	17	-460,938384	-460,933684	-0,00470039
Br	35	-2605,023485	-2605,022748	-0,00073718
I	53	-7115,794175	-7115,793802	-0,00037284

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie powyższych wyników można stwierdzić, że wybrane funkcje bazowe dla dużych składowych funkcji falowych, pozwalają na przeprowadzenie obliczeń, których dokładność jest bardziej niż satysfakcjonująca i w zupełności wystarczająca do osiągnięcia celów badań. Różnice między energiami wyznaczonymi przy wykorzystaniu metod numerycznych, a tymi otrzymanymi za pomocą obliczeń używających rozwinięcia w bazie funkcji, nie przekroczyły wartości 0,01 hartree dla żadnego rozważanego atomu, a w przypadku atomów miedzi, srebra, bromu oraz jodu są nawet mniejsze niż 0,001 hartree. Świadczy to jasno o tym, że wykorzystane funkcje bazowe są bardzo dobrej jakości i umożliwiają zejście z wartościami energii niemalże do poziomu otrzymanego za pomocą programu GRASP. Pomimo bardzo małych różnic, energie otrzymane przy wykorzystaniu obliczeń numerycznych w programie GRASP są niższe od wartości otrzymanych z użyciem programu DIRAC13. Innymi słowy obliczenia przeprowadzane w bazie są mniej dokładne. To wszystko oznacza, że funkcje bazowe są dobrze skonstruowane i zachowują przybliżenie bez par, co z kolei pozwala uniknąć wielu problemów.

**Rysunek 22. Różnice pomiędzy energią policzoną numerycznie a energią policzoną przez rozwinięcie w bazie**

Źródło: opracowanie własne.



#### 4. Podsumowanie

Celem artykułu było zbadanie efektów powstających na skutek uwzględnienia relatywistycznej natury w równaniach mechaniki kwantowej na przykładzie różnych wielkości wyznaczonych dla wieloelektronowych atomów miedziowców oraz fluorowców. Obliczenia wykonane zostały za pomocą relatywistycznej metody Diraca-Focka w programach GRASP2 oraz DIRAC13 dla atomów Cu, Ag, Au, F, Cl, Br oraz I. Aby móc zbadać wpływ efektów relatywistycznych na strukturę energetyczną i inne własności analizowanych układów wykonano również odpowiednie obliczenia nierelatywistyczne dla badanych atomów (w tym celu zwiększono prędkość światła do bardzo dużych wartości).

Za pomocą programu GRASP2 wyznaczono relatywistyczne i nierelatywistyczne wartości energii całkowitych oraz średnie wartości promieni poszczególnych orbitali. Obliczone zostały również poprawki relatywistyczne do wartości energii całkowitych, względne poprawki relatywistyczne do średnich wartości promieni orbitalnych oraz funkcje radialnej gęstości prawdopodobieństwa w zależności od odległości elektronu od jądra atomowego. Analiza otrzymanych wyników jasno pokazała, iż wartości poprawek relatywistycznych do energii całkowitych rosną wraz z rozmiarem badanego atomu, czyli wzrostem liczby atomowej  $Z$ . Zarówno względne poprawki relatywistyczne do średnich wartości promieni orbitalnych, jak i wykresy zależności radialnej gęstości prawdopodobieństwa znalezienia elektronu w zależności od jego odległości od jądra pokazały wyraźne efekty radialnej kontrakcji (zmniejszenia) orbitali  $s$  i  $p$  oraz radialnej ekspansji (rozszerzenia) orbitali  $d$  i  $f$  jako skutek uwzględnienia zjawisk relatywistycznych. Zastosowanie ujęcia relatywistycznego spowodowało również, że orbitale określone liczbą kwantową  $l$  większą od zera rozdzieliły się na dwie podpowłoki, każda o innej energii zależnej od liczby kwantowej  $j$  (oddziaływanie spin-orbita).

Za pomocą programu DIRAC13, poza relatywistycznymi i nierelatywistycznymi wartościami energii całkowitych oraz poprawek i względnych poprawek relatywistycznych do tych energii, wyznaczono również wartości energii orbitalnych oraz względne poprawki relatywistyczne do energii orbitalnych. Analiza otrzymanych wyników potwierdziła już wcześniej otrzymane efekty relatywistyczne ujawniając dodatkowo zjawiska energetycznej stabilizacji (zmniejszenia się wartości energii) orbitali  $s$  i  $p$  oraz energetycznej destabilizacji (wzrostu wartości energii) orbitali  $d$  i  $f$ .

Na koniec wykonana została weryfikacja jakości baz funkcyjnych wykorzystanych w obliczeniach. W efekcie porównania wyników uzyskanych z wykorzystaniem metod numerycznych do tych, które wykonane zostały w oparciu o odpowiednio dobrane funkcje bazowe, otrzymano różnice nieprzekraczające wartości  $0,01$  hartree dla żadnego z badanych układów, przy czym dla większości z nich były one mniejsze niż  $10^{-3}$  hartree. Wyniki te pozwalają wyciągnąć wniosek, iż zastosowane bazy były dobrej jakości i umożliwiły pozyskanie wartości obliczonych za pomocą programu DIRAC13 niemalże na tym samym poziomie dokładności, co wyniki otrzymane przy zastosowaniu metod numerycznych w programie GRASP2.

**Bibliografia:**

1. Piela, L. (2003). Idee chemii kwantowej. Warszawa, PWN.
2. Styszyński J. (2007). Badanie efektów relatywistycznych w molekułach. Metody czteroskładnikowe. Szczecin, Wydawnictwo Naukowe US.
3. Schrödinger E. (1926). An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules. *Physical Review*, 28, 1049-1070.
4. Supriadi, B., Ridlo, Z. R., Fuadah, F., Halim, M. A., Maulana, M. i Santoso, Y. R. (2019). Solution of spherical equation in 3 dimensions for hydrogen atom with quantum numbers  $4 \leq n \leq 5$ . *Journal of Physics: Conference Series*, 1211, 012054.
5. Gerlach, W., Stern, O. (1922). Der experimentelle Nachweis der Richtungsquantelung im Magnetfeld. *Zeitschrift für Physik*, 9, 349–352.
6. Dirac, P. A. M. (1928). The quantum theory of the electron. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 117, 610–624.  
Dirac, P. A. M. (1928). The quantum theory of the electron. Part II. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 118, 351–361.
7. Prątnicki, F. (2020). Energie całkowite i stałe spektroskopowe na przykładzie wybranych molekuł dwuatomowych. *Poszerzamy Horyzonty Tom XIX*.
8. Dylla, K.G., Grant, I.P., Johnson, C.T., Parpia, F.A., Plummer, E.P. (1989). GRASP: A general-purpose relativistic atomic structure program. *Computer Physics Communications* 55, 425-456;
9. Visscher, L., Jensen, H. J. Aa., Bast, R., Saue, T. (2013). DIRAC, a relativistic ab initio electronic structure program, Release DIRAC13.
10. Gołębiewski, A. (1984). Elementy mechaniki i chemii kwantowej. Warszawa, PWN

### 13. ROZSZERZENIE KOMPONENTÓW PLATFORMY PROGRAMISTYCZNEJ LARAVEL O ZAPYTANIA NIEPRECYZYJNE Z WYKORZYSTANIEM ZMIENNYCH LINGWISTYCZNYCH

**Łukasz Szymula**

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Wydział Matematyki i Informatyki

ul. Uniwersytetu Poznańskiego 4, 61-614 Poznań

E-mail: lukaszszy@icloud.com

**Streszczenie:** Celem pracy jest opis sposobu tworzenia pakietów rozszerzających komponenty platformy programistycznej Laravel o zapytania nieprecyzyjne z wykorzystaniem zmiennych lingwistycznych. W pracy omówiono ogólną charakterystykę zbiorów rozmytych, relacji zachodzących na zbiorach rozmytych, typów najczęściej wykorzystywanych funkcji przynależności oraz zmiennych lingwistycznych. Kolejną część stanowi opis tworzonego pakietu wraz z opisem dostępnych metod i instrukcją użycia. Następny rozdział opisuje materiał i metody realizacji projektu. Opisano w nim wykorzystywane narzędzia. Wskazano platformę programistyczną Laravel i bibliotekę Eloquent ORM, dla której dostępny jest tworzony pakiet oraz oprogramowanie testujące do wykonania odpowiedniego żądania zwracającego kolekcję z zaaplikowanymi metodami. W dalszej części pracy opisano proces tworzenia biblioteki z uwzględnieniem sposobu generowania usługodawcy, definiowania makr i publikowania pakietu w repozytorium Packagist oraz stworzone przypadki testowe. Ostatnia część pracy prezentuje przykłady wykorzystania utworzonego pakietu.

**Słowa kluczowe:** zapytania nieprecyzyjne, zbiory rozmyte, zmienne lingwistyczne, Laravel, PHP, pakiety, makra

#### 1. Wstęp

Fundamentalną rolą platform programistycznych jest dostarczanie odpowiednich narzędzi przyspieszających i ułatwiających pracę zespołów programistycznych. Ze względu na powtarzalność oraz uniwersalność rozwiązywanych problemów pomocne może się okazać tworzenie i udostępnianie przetestowanych rozwiązań jako modułów, bibliotek lub pakietów.

Pakiet to jednostka dystrybucji, która może zawierać plik wykonywalny i/lub bibliotekę stanowiącą zestaw modułów, które mogą być używane w programie lub innej bibliotece. Najważniejszą częścią pakietu jest jego usługodawca (ang. Service Provider). Pakiet może wykorzystywać pliki konfiguracyjne, widoki, trasy, kontrolery, migracje baz danych, fabryki modeli, niestandardowe polecenia itp. Rolą usługodawcy jest ich rejestracja. Każda własna klasa Service Provider rozszerza Illuminate\Support\ServiceProvider i wdraża metodę register() i boot(). Metoda register() służy do wiązania wybranych elementów w kontenerze usług. W przypadku konieczności odwołania się do większej liczby klas wykorzystuje się metodę boot() [Stauffer, 2019].

Platformy programistyczne w dużej części dostarczają rozwiązań dla webowych systemów informatycznych. W tym celu często posiadają zaimplementowane odpowiednie rozwiązania dla tworzenia warstwy dostępu do danych. W przypadku platformy programistycznej Laravel najpopularniejszym rozwiązaniem jest technika mapowania

obiekto-relacyjnego przy użyciu Eloquent ORM. Narzędzie te pozwala na tworzenie odpowiednich zapytań znanych z języka SQL do kolekcji. Odpowiednie rezultaty są wynikiem filtrowania zbiorów danych w oparciu o dokładne preferencje klientów. Niestety niektóre pożądane rezultaty użytkowników mogą być określone w sposób nieprecyzyjny. Z pomocą przychodzi zaproponowana przez Lotfiego Zadeha teoria zbiorów rozmytych.

## 2. Zbiory rozmyte

Pojęcie zbioru rozmytego, będącego rozszerzeniem klasycznej definicji zbioru, przedstawił Lotfi Zadeh w 1965 roku. Teoria zbiorów rozmytych dopuszcza sytuacje, w których element  $x$  może należeć do zbioru rozmytego tylko w pewnym stopniu. Według definicji zbiorem rozmytym  $A$  w przestrzeni  $X$  nazywamy zbiór

$$A = \{(x, \mu_A(x)); x \in X, \mu_A(x) \in [0,1]\}$$

gdzie  $\mu_A(x)$  oznacza funkcję przynależności elementu  $x$  do zbioru  $A$  [Zadeh, 1965].

Możemy wyróżnić pięć podstawowych i najczęściej wykorzystywanych funkcji przynależności. Pierwszą grupę stanowią dwa typy funkcji złożonych z odcinków prostych. Funkcje te są bardzo często stosowane w praktyce ze względu na ich prostotę (Rys. 1.).

1. Funkcja trójkątna

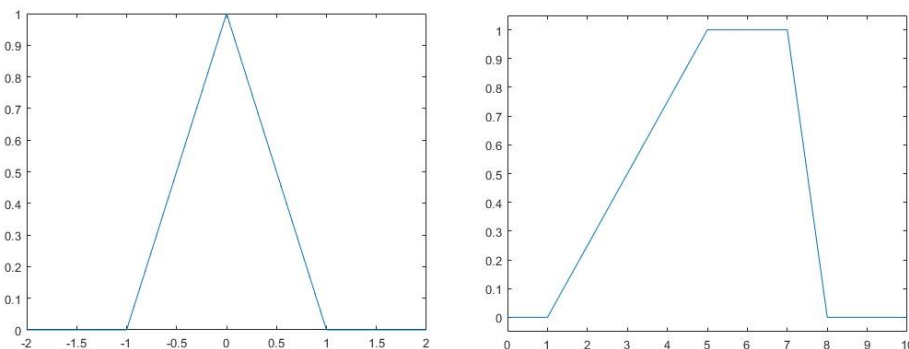
$$\text{triangle}(x; a, b, c) = 0 \vee \left( \frac{x-a}{b-a} \wedge \frac{c-x}{c-b} \right), \quad a < b < c, \quad x \in X$$

gdzie  $a, b, c$  określają punkty załamania funkcji.

2. Funkcja trapezoidalna

$$\text{trapezoid}(x; a, b, c, d) = 0 \vee \left( 1 \wedge \frac{x-a}{b-a} \wedge \frac{d-x}{d-c} \right), \quad a < b \leq c < d, \quad x \in X$$

gdzie  $a, b, c, d$  określają punkty załamania funkcji.



**Rysunek 1. Przykładowy wykres funkcji trójkątnej i trapezoidalnej (od lewej)**

Drugą grupę stanowią intuicyjne funkcje przynależności. Funkcje te są ciągłe w całym zakresie numerycznej przestrzeni rozważań  $X$ . Najczęściej wykorzystuje się trzy typy funkcji do matematycznej reprezentacji intuicyjnych funkcji przynależności (Rys. 2.).

1. Funkcja Gaussa

$$\text{gaussian}(x; a, b) = \exp \left[ - \left( \frac{x-b}{a} \right)^2 \right]$$

gdzie  $b$  jest wartością modalną funkcji, a parametr  $a$  określa jej szerokość.

## 2. Funkcja dzwonowa

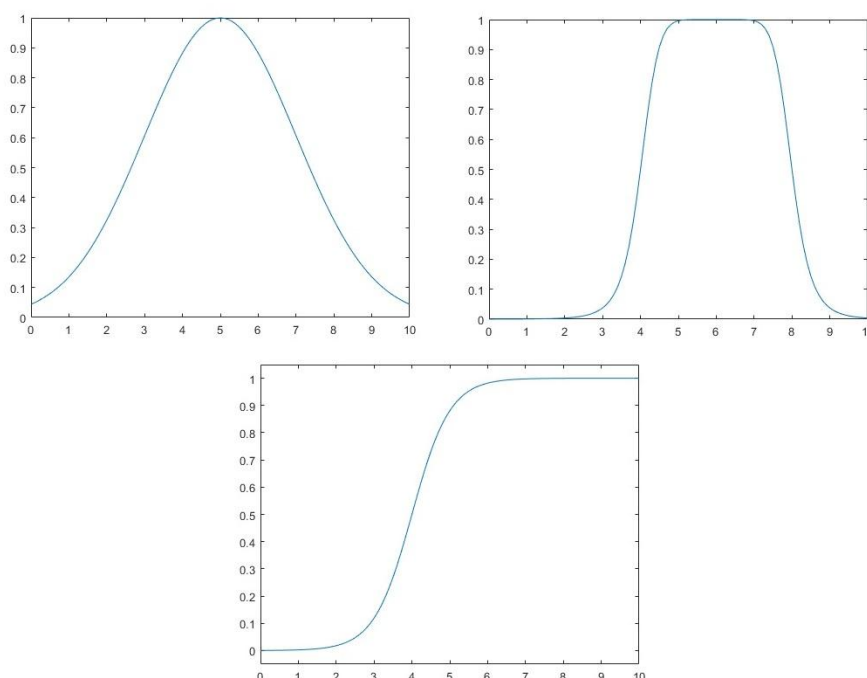
$$bell(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}}$$

gdzie parametr  $c$  reprezentuje środek funkcji,  $a$  decyduje o jej szerokości, natomiast  $b$  pozwala zmieniać jej nachylenie

## 3. Funkcja sigmoidalna

$$sigmoid(x; a, b) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x - b)]}$$

gdzie współczynnik  $b$  określa współrzędną charakterystycznego punktu  $k$ , w którym stopień przynależności do zbioru rozmytego wynosi 0.5, a współczynnik  $a$  determinuje nachylenie funkcji w punkcie przegięcia  $k$  [Piegat, 1996].



**Rysunek 2. Przykładowy wykres funkcji Gaussa, dzwonowej oraz sigmoidalnej (od lewej)**

Podobnie jak dla zbiorów w zwykłym sensie dla zbiorów rozmytych można zdefiniować standardowe operacje. Do najczęściej stosowanych operacji zalicza się operacje sumy, różnicy oraz dopełnienia [Piegat, 1996], które w najprostszy sposób można zdefiniować w sposób następujący:

- sumą dwóch zbiorów rozmytych  $A$  i  $B$  jest zbiór rozmyty  $A \cup B$  z funkcją przynależności

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \quad x \in X$$

- iloczynem dwóch zbiorów rozmytych  $A$  i  $B$  jest zbiór rozmyty  $A \cap B$  z funkcją przynależności

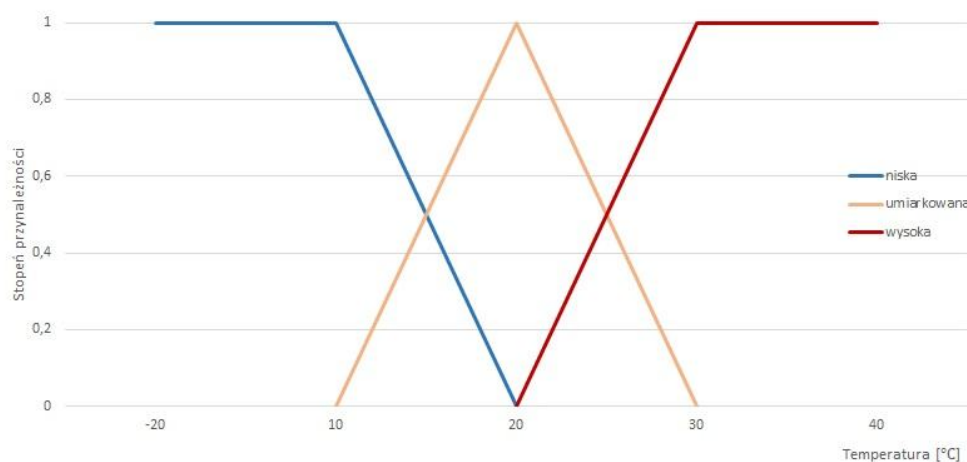
$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \quad x \in X$$

- dopełnieniem zbioru rozmytego  $A$  jest zbiór rozmyty  $\bar{A}$  z funkcją przynależności

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), \quad x \in X$$

Dla zapewnienia związku pomiędzy zbiorami rozmytymi, a terminami językowymi zaproponowane zostało w 1975 przez L. Zadeha pojęcie zmiennej lingwistycznej i opisane w artykule pt. „The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning - I” czasopisma Information Sciences [Zadeh, 1975].

Zmienna lingwistyczna to zmienna, której wartościami są słowa lub zdania w języku naturalnym lub sztucznym. Definiowana jest przy użyciu piątki postaci  $(X, T(X), U, G, M)$  gdzie:  $X$  to nazwa zmiennej lingwistycznej (np. temperatura) (Rys. 3.),  $T(X)$  jest zbiorem określeń lingwistycznych np. {„niska”, „umiarkowana”, „wysoka”},  $U$  stanowi przestrzeń rozważań (np. przedział temperatury  $[-20;40]$ ),  $G$  to gramatyka tworząca wartości lingwistyczne  $T(X)$ ,  $M$  jest znaczeniem, przy czym  $M(X)$  jest podzbiorem rozmytym w przestrzeni  $U$  [Zadeh, 1975].



**Rysunek 3. Funkcje przynależności dla zmiennej lingwistycznej „temperatura”**

### 3. Opis tworzonego pakietu

Celem tworzonego pakietu jest umożliwienie definiowania zapytań nieprecyzyjnych z wykorzystaniem zmiennych lingwistycznych na obiektach klasy Eloquent Builder w platformie programistycznej Laravel. Rozszerzenie pozwoli na użycie następujących metod:

1. Realizacja pojedynczego zapytania:

whereFuzzy(name, term, minDegree = null, sort = null, negation = false)

gdzie:

- name - nazwa zmiennej lingwistycznej,
- term - wartość lingwistyczna przyjmowana przez zmienną,
- minDegree - minimalna wartość stopnia przynależności (domyślnie null),
- sort - porządek sortowania elementów według nazwy zmiennej w przypadku uzyskania takiej samej wartości stopnia przynależności (domyślnie null).
- negation - negacja przekazanego termu (domyślnie false).

## 2. Realizacja pojedynczego zapytania (negacja):

whereFuzzyNot(name, term, minDegree = null, sort = null)

gdzie:

- name - nazwa zmiennej lingwistycznej,
- term - wartość lingwistyczna przyjmowana przez zmienną,
- minDegree - minimalna wartość stopnia przynależności (domyślnie null),
- sort - porządek sortowania elementów według nazwy zmiennej w przypadku uzyskania takiej samej wartości stopnia przynależności (domyślnie null).

## 3. Realizacja zapytań z operatorami

whereFuzzyMany(colNameTerm, operator, minDegree = null, collsNot = null)

gdzie:

- colNameTerm - kolekcja składająca się z par (klucz, wartość) definiująca dostępne nazwy zmiennych lingwistycznych i termów,
- operator - operator dwuargumentowy ('or', 'and'),
- minDegree - minimalna wartość stopnia przynależności (domyślnie null),
- collsNot- kolekcja (z zachowaniem porządku wprowadzania nazw zmiennych lingwistycznych) określająca czy dokonać negacji dla wybranego warunku (domyślnie null).

Pakiet wymaga zdefiniowania wszystkich dostępnych zmiennych lingwistycznych w pliku z rozszerzeniem .json (Rys. 4.)

```
[
  {
    "name": "attribute_name",
    "definition": [
      {
        "term": "term_name",
        "function": "function_def"
      },
      ...
    ]
  }
]
```

**Rysunek 4. Struktura pliku json z definicją zmiennych lingwistycznych**

gdzie:

- name - nazwa zmiennej lingwistycznej,
- definition - atrybut zawierający wszystkie pary (term, zbiór definiujący) dla zmiennej,
- term - wartość lingwistyczna przyjmowana przez zmienną,
- function - funkcja przynależności.

Następnie w zmiennych środowiskowych należy określić zmienne umożliwiające wskazanie ścieżki oraz nazwy pliku dla stworzonego dokumentu json (Rys. 5.).

```
FUZZY_LINGVAR_PATH=pathname  
FUZZY_LINGVAR_FILENAME=filename
```

### **Rysunek 5. Określenie zmiennych wskazujących ścieżkę do pliku json z definicją zmiennych lingwistycznych w pliku .env**

Po poprawnej instalacji, zdefiniowaniu zmiennych lingwistycznych oraz określeniu zmiennych środowiskowych rozszerzenie pozwoli na wykorzystywanie zapytań nieprecyzyjnych.

## **3. Materiał i metody**

### **Charakterystyka wykorzystanych narzędzi:**

- Laravel

Jest to platforma programistyczna służąca do tworzenia aplikacji webowych oparta na licencji MIT. Pierwsze wydanie miało miejsce na początku czerwca 2011 roku. Według zapewnień producenta Laravel ma za zadanie uczynić proces tworzenia aplikacji jak najwygodniejszym dla programisty, bez konieczności poświęcania funkcjonalności samej aplikacji. Wykorzystuje wzorce projektów znanych z języka PHP oraz Ruby on Rails, ASP.NET MVC i Sinatra [Laravel].

- Eloquent ORM

Narzędzie służące do implementacji techniki mapowania obiektowo-relacyjnego platformy programistycznej Laravel. Wykorzystuje wzorec rekordu aktywnego (ang. ActiveRecord). Eloquent ORM reprezentuje tabele bazy danych jako klasy, a ich instancje obiektów

są powiązane z pojedynczymi rekordami [Malatesta, 2015].

- Packagist

Domyślne repozytorium z którego pobierane są wymagane pakiety dla narzędzia zarządzającego zależnościami Composer w projektach opartych o język PHP. Pozwala na wyszukiwanie wybranych rozszerzeń [Packagist].

- Codeception

Platforma programistyczna służąca do tworzenia oraz przeprowadzania testów aplikacji napisanych w języku PHP. Pozwala między innymi na wykonywanie testów jednostkowych, automatycznych, elementów wewnętrznych w projektach tworzonych przy użyciu platform programistycznych oraz serwisów REST API [Codeception].

### **Tworzenie szablonu usługodawcy**

W celu utworzenia własnego pakietu na samym początku stworzono nowy projekt oraz dodano do niego nowe katalogi. Dla uzyskania dobrej organizacji projektu w katalogu głównym utworzono katalogi o następującej strukturze: packages/fuzzybuilde/lingvar/, gdzie packages to katalog główny zawierający nowotworzone pakiety, fuzzybuilder to katalog dostawcy paczki, a lingvar to nazwa pakietu.



W kolejnym kroku zdefiniowano głównego usługodawcę dla tworzonego pakietu. W katalogu `lingvar/src/Providers` utworzono klasę `LingvarServiceProvider`. Stworzona klasa stanowiła główną przestrzeń do definiowania własnych makr (Rys. 6.).

```
<?php
namespace Fuzzybuilder\Lingvar\Providers;
use Illuminate\Support\ServiceProvider;

Class LingvarServiceProvider extends ServiceProvider
{
    public function register() {

    }
}
```

**Rysunek 6. Struktura klasy `LingvarServiceProvider`**

Następnie w katalogu `lingvar` stworzono plik `composer.json` dla późniejszego opublikowania pakietu w repozytorium Packagist oraz możliwości jej wykorzystywania w projektach zarządzanych przez narzędzie Composer. W pliku wskazano informacje ogólne o bibliotece, licencję, wymagane pakiety oraz ścieżkę usługodawcy (Rys. 7.).

```
{
    "name": "fuzzybuilder/lingvar",
    "description": "Fuzzy logic library for linguistic variables",
    "type": "library",
    "require": {
        "illuminate/support": "6.x-dev",
        "php": "^7.2"
    },
    "require-dev": {
        "phpunit/phpunit": "8.5.x-dev"
    },
    "autoload": {
        "psr-4": {
            "Fuzzybuilder\\Lingvar\\": "src"
        }
    },
    "license": "MIT",
    "minimum-stability": "dev"
}
```

**Rysunek 7. Struktura pliku `composer.json`**

### Definiowanie makr

W celu stworzenia własnych metod w klasie `LingvarMacroServiceProvider` zadeklarowano trzy makra dla instancji pochodzącej z klasy `Eloquent Builder` (Rys. 8.).

```

use Illuminate\Database\Eloquent\Builder;

Builder::macro('whereFuzzy', function ($name, $term, $minDegree = null,
    $sort = null, $negation = false) {

});

Builder::macro('whereFuzzyNot', function ($name, $term, $minDegree = null,
    $sort = null) {

});

Builder::macro('whereFuzzyMany', function ($colNameTerm, $operator,
    $minDegree = null, $colIsNot = null) {

});

```

### Rysunek 8. Deklaracje makr

Definiowanie metody `whereFuzy()` polega na pobraniu przekazanego modelu istniejącej kolekcji w klasie Eloquent Builder oraz utworzeniu nowego obiektu modelu Lingvar, który przechowuje informacje o wybranej zmiennej lingwistycznej. Następnie dla istniejącej kolekcji tworzona jest nowe pole, w którym obliczana jest wartość na podstawie określonej funkcji przynależności z pliku `.json` z definicjami zmiennych lingwistycznych (Rys. 9.).

```

$collection = $collection->map(function($state) use ($result) {
    try {
        if(!$this->negation) {
            $state['fuzzyLingVarDegree'] = $result;
        }
        else {
            $state['fuzzyLingVarDegree'] = 1-$result;
        }
    } catch (Exception $e) {
        throw new Exception("Can't execute the instruction
            with given function definition.");
    }
    return $state;
});
return $collection;

```

### Rysunek 9. Mapowanie kolekcji w celu utworzenia nowej kolekcji z dodatkowym polem

Następnie kolekcja zostaje odpowiednio przefiltrowana w zależności od przekazanej wartości `minDegree` przy użyciu metody `where()`. Implementacja metody `whereFuzzyNot()` odbywa się analogicznie do metody `whereFuzzy()` z uwzględnieniem kilku modyfikacji. Jako

argument \$negation posiada wartość true, co powoduje po określeniu stopnia przynależności zmodyfikowania wartości zgodnie z instrukcją (1 - \$result).

W celu uzyskania metody pozwalającej na wykonywanie zapytań nieprecyzyjnych dla wielu zmiennych z użyciem spójników logicznych zamiast obiektu klasy Lingvar tworzona jest kolekcja obiektów modelu Lingvar wraz z listą obliczonych stopni przynależności dla każdego przekazanego termu. Następnie pobierana jest informacja o wykorzystywanym spójniku logicznym. W przypadku przekazania jako argument wartości wskazującej na operację „lub” zwracana jest maksymalna wartość z dostępnych stopni przynależności, a w przypadku wykorzystania operacji „and” zwracana jest minimalna wartość.

### Publikacja pakietu

Stworzony projekt został udostępniony w internetowym systemie kontroli wersji git. Następnie repozytorium zostało udostępnione poprzez wskazanie odpowiedniego adresu w panelu publikowania rozszerzeń Packigist. Pakiet został udostępniony dla narzędzia Composer wraz z wygenerowanym odpowiednim poleceniem (Rys. 10.).

```
composer require fuzzybuilder/lingvar
```

**Rysunek 10. Polecenie composer do instalacji pakietu**

## 4. Wyniki

### Budowa środowiska testującego

Przetestowanie rozszerzenia odbyło się na przykładzie bazy danych z hotelami. W tym Przykładowe dane pochodziły ze zbioru danych Madrid Airbnb Data na licencji Creative Commons *Public Domain Dedication* dostępnej na stronie [w:] <http://insideairbnb.com/get-the-data.html>. Zawarta jest w nim lista dostępnych obiektów Airbnb w Madrycie w sezonie wiosennym. Zbiór posiada 7 kolumn: identyfikator obiektu, datę przyjazdu, dostępność, cenę, skorygowaną cenę, minimalny czas pobytu oraz maksymalny czas pobytu [Inside Airbnb, 2020] (Tab. 1.).

**Tabela 1: Fragment danych ze zbioru Madrid Airbnb Data**

listing_id	date	Available	price	adjusted_price	minimum nights	maximum nights
429942	2020-05-22	t	\$90.00	\$90.00	5	365
429942	2020-05-23	t	\$90.00	\$90.00	5	365
431806	2020-05-29	t	\$25.00	\$25.00	20	365
431806	2020-05-30	t	\$25.00	\$25.00	20	365
431806	2020-07-09	t	\$35.00	\$35.00	20	365
431806	2020-07-10	t	\$42.00	\$42.00	20	365
6369	2020-06-01	t	\$70.00	\$70.00	1	365
6369	2020-06-02	t	\$70.00	\$70.00	1	365
21853	2020-06-06	t	\$35.00	\$35.00	4	40
21853	2020-06-08	t	\$30.00	\$30.00	4	40

W projekcie dodano model Hotel będący obiekową reprezentacją tabeli z bazy. Przy użyciu polecenia composer zaimportowano pakiet fuzzybuilder/lingvar oraz zdefiniowano

zmienną lingwistyczną „cena” wraz z termami „tania” i „droga” oraz zmienną określającą minimalną liczbę nocy z termami „kilka” oraz „dużo” (Rys. 11.).

```
[
  {
    "name": "price",
    "definition": [
      {
        "term": "cheap",
        "function": "trapezoid(x; -inf, -inf, 40, 80)"
      },
      {
        "term": "expensive",
        "function": "trapezoid(x; 40, 80, inf, inf)"
      }
    ]
  },
  {
    "name": "minimum_nights",
    "definition": [
      {
        "term": "few",
        "function": "trapezoid(x; -inf, -inf, 5, 20)"
      },
      {
        "term": "many",
        "function": "trapezoid(x; 5, 20, inf, inf)"
      }
    ]
  }
]
```

**Rysunek 11. Struktura pliku json z definicją zmiennych lingwistycznych dla hoteli Airbnb**

W pliku web.php utworzono odpowiednie metody GET zwracające kolekcję hoteli z wykorzystanymi wybranymi metodami pochodzącymi z rozwiązania fuzzybuilder/lingvar (Rys. 12.).

```
Route::get('/getExpensiveHotels', function () {
    $hotel = New App\Hotel();
    return $hotel::whereFuzzy('price', 'expensive')->get();
});

Route::get('/getNotExpensiveHotels', function () {
    $hotel = New App\Hotel();
    return $hotel::whereFuzzyNot('price', 'expensive')->get();
});
```

```
Route::get('/getCheapOrForFewDaysHotels', function () {
    $hotel = New App\Hotel();
    return $hotel::whereFuzzyMany(['price'=>'cheap',
        'minimum_nights'=>'few'], 'or')->get();
});
```

### Rysunek 12. Struktura pliku web.php

Następnie do przeprowadzenia testów wybranych serwisów webowych wykorzystano platformę do testowania Codeception. Za pomocą pliku codeception.phar ([w:] <https://codeception.com/install>) zainstalowano wymagane środowisko. Kolejnym krokiem było stworzenie odpowiednich katalogów i pliku api.suite.yml, w którym skonfigurowano moduł REST dla aktora „Api Tester”. Wprowadzono adres url żądania GET, wskazano na moduł PhpBrowser w celu dostępu do serwisu przy użyciu klienta HTTP oraz określono typ zwracanego formatu danych jako JSON [Szymula, 2020].

Następnie przystąpiono do stworzenia odpowiedniego pakietu testowego. Każdy pakiet składał się z odpowiednich przypadków testowych. Na potrzeby badania testom podlegały wybrane metody GET. W celu wysłania odpowiednich żądań HTTP skorzystano z metody sendGET() w kodzie źródłowym odpowiednich klas. Aby sprawdzić status wysłanego żądania oraz zwrócony format danych i zawartość użyto metod seeResponseCodeIs({kod}) oraz seeResponseIsJson() i grabDataFromJsonResponse().

Pakiety testowe zostały uruchomione wraz z opcją --json, która pozwoliła na wygenerowanie pliku .json zawierającego szczegółowe wyniki testu. Stworzone testy obejmowały przegląd i porównanie uzyskanych wyników zgodnie z oczekiwanym rezultatem. Stworzone testy zwracały:

- żądanie GET zwracające kolekcję hoteli, które są drogie,
- żądanie GET zwracające kolekcję hoteli, które nie są drogie,
- żądanie GET zwracające kolekcję hoteli, które są tanie lub których minimalny czas rezerwacji wynosi kilka dni. (Rys. 13.).

```
<?php
class HotelCest
{
    public function getExpensiveHotels(ApiTester $I) {
        $I->sendGET('/getExpensiveHotels');
        $I->seeResponseCodeIs(200);
        $I->seeResponseIsJson();
        $I->grabDataFromJsonResponse();
    }

    public function getNotExpensiveHotels(ApiTester $I) {
        $I->sendGET('/getNotExpensiveHotels');
        $I->seeResponseCodeIs(200);
        $I->seeResponseIsJson();
        $I->grabDataFromJsonResponse();
    }
}
```

```

public function getCheapOrForFewDaysHotels(ApiTester $I) {
    $I->sendGET('/getCheapOrForFewDaysHotels');
    $I->seeResponseCodeIs(200);
    $I->seeResponseIsJson();
    $I->grabDataFromJsonResponse();
}
}

```

**Rysunek 13. Struktura klasy zawierającej przypadki testowe****Wyniki przypadków testowych**

Przypadek testowy 1: Rezultat żądania zwracającego hotele, które są drogie (Tab. 2.)

**Tabela 2. Fragment wyniku pierwszego przypadku testowego (opracowanie własne)**

listing_id	date	available	price	adjusted price	minimum nights	maximum nights	degree
429942	2020-05-22	t	\$90.00	\$90.00	5	365	1.0
429942	2020-05-23	t	\$90.00	\$90.00	5	365	1.0
431806	2020-07-10	t	\$42.00	\$42.00	20	365	0.05
6369	2020-06-01	t	\$70.00	\$70.00	1	365	0.75
6369	2020-06-02	t	\$70.00	\$70.00	1	365	0.75

Wynikiem wysłania żądania z pierwszego przypadku testowego była lista obiektów, które są drogie. W rezultacie uwzględniono rekordy, które posiadały niezerowy stopień przynależności na podstawie wartości funkcji przynależności bazując na atrybucie określającym cenę obiektu. W rezultacie nie zostały uwzględnione hotele, dla których wartość stopnia przynależności wynosiła 0 czyli cena osiągnęła wartość poniżej \$40. Zwrócone zostały rekordy, dla których cena wynosiła więcej niż \$80 ze stopniem 1 oraz rekordy z wartościami cen z zakresu (\$40,\$80) osiągając stopień degree z przedziału (0,1).

Przypadek testowy 2: Rezultat żądania zwracającego hotele, które nie są drogie (Tab. 3.)

**Tabela 3. Fragment wyniku drugiego przypadku testowego (opracowanie własne)**

listing_id	date	available	price	adjusted price	minimum nights	maximum nights	degree
431806	2020-05-29	t	\$25.00	\$25.00	20	365	1.0
431806	2020-05-30	t	\$25.00	\$25.00	20	365	1.0
431806	2020-07-09	t	\$35.00	\$35.00	20	365	1.0
431806	2020-07-10	t	\$42.00	\$42.00	20	365	0.95
21853	2020-06-06	t	\$35.00	\$35.00	4	40	1.0
21853	2020-06-08	t	\$30.00	\$30.00	4	40	1.0

Wynikiem wysłania żądania z pierwszego przypadku testowego była lista obiektów, które nie są drogie. Rekordy, które uzyskały wartość stopnia przynależności równą 0 w poprzednim przypadku testowym, dla metody whereFuzzyNot() uzyskały wartość 1 i zostały zwrócone do kolekcji. Rekordy, które uzyskały wartość stopnia przynależności równą 1 w poprzednim przypadku testowym, dla metody whereFuzzyNot() uzyskały wartość

0 i zostały uwzględnione w wyniku. W przypadku rekordów, które uzyskały wartość stopnia przynależności z przedziału (0,1) ponownie zostały zwrócone do kolekcji jednak z inną wartością będącą wartością bezwzględną z wartości stopnia przynależności metody `whereFuzzy()` pomniejszoną o 1.

Przypadek testowy 3: Rezultat żądania zwracającego hotele, które są tanie lub minimalna liczba dni wynajęcia wynosi „kilka” (Tab. 4.)

**Tabela 4. Fragment wyniku trzeciego przypadku testowego (opracowanie własne)**

listing_id	date	Available	price	adjusted price	minimum nights	maximum nights	degree
429942	2020-05-22	t	\$90.00	\$90.00	5	365	1.0
429942	2020-05-23	t	\$90.00	\$90.00	5	365	1.0
431806	2020-05-29	t	\$25.00	\$25.00	20	365	1.0
431806	2020-05-30	t	\$25.00	\$25.00	20	365	1.0
431806	2020-07-09	t	\$35.00	\$35.00	20	365	1.0
431806	2020-07-10	t	\$42.00	\$42.00	20	365	0.95
6369	2020-06-01	t	\$70.00	\$70.00	1	365	1.0
6369	2020-06-02	t	\$70.00	\$70.00	1	365	1.0
21853	2020-06-06	t	\$35.00	\$35.00	4	40	1.0
21853	2020-06-08	t	\$30.00	\$30.00	4	40	1.0

Wynikiem trzeciego przypadku testowego było zwrócenie listy obiektów, które są tanie lub liczba dni wynajęcia wynosiła „kilka”. Metoda `whereFuzzyMany()` zwróciła kolekcję z rekordami, dla których t-norma maksimum zwróciła wartość z przedziału (0,1) na podstawie stopnia przynależności dla zapytania nieprecyzyjnego „cena jest niska” i „minimalna liczba dni na wynajem to kilka”. Ze względu na użycie operatora „or” zostały zwrócone obiekty tanie i dostępne od kilku dni oraz również rekordy dla których cena była wysoka, ze względu na uzyskanie dodatniej wartości dla „minimalna liczba dni na wynajem to kilka”.

## 5. Podsumowanie

Wykorzystywanie ogólnodostępnych pakietów we własnych projektach zdecydowanie ułatwia proces tworzenia kodu. Za sprawą znaczącej roli usługodawców praktycznie każdy programista może tworzyć i udostępniać własne rozwiązania, które mogą znaleźć zainteresowanie w innych projektach. Dzięki rozszerzalności klas i bibliotek producentów platform programistycznych można generować metody, które dostarczają odpowiednich narzędzi w przypadku, gdy istniejące rozwiązania nie są wystarczające lub wymagają modyfikacji. Należy jednak wziąć pod uwagę, że pakiety, podobnie jak platformy programistyczne i inne dostępne moduły, biblioteki i pakiety, powinny spełniać wymagania wydajnościowe oraz być tworzone z przestrzeganiem zasad tworzenia oprogramowania.

**Bibliografia:**

1. Malatesta F. (2015). Learning Laravel's Eloquent. Packt Publishing.
2. Piegat A. (1996). Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT.
3. Rutkowski L. (2005). Metody i techniki sztucznej inteligencji. PWN.
4. Stauffer M. (2019). Laravel: Up & Running. O'Reilly Media
5. Szymula Ł. (2020). Wpływ wykorzystania mikroplatform programistycznych na wydajność tworzonych serwisów REST API. Nauka, badania i doniesienia naukowe 2020. Nauki techniczne i ścisłe Część 1. Idea Knowledge Future.
6. Zadeh L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and control. Information sciences 8. American Elsevier Publishing Company, Inc.
7. Zadeh L. A. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I. Information Sciences 8. American Elsevier Publishing Company Inc.

**Wykaz stron internetowych:**

8. Codeception. [codeception.com/docs/01-Introduction](http://codeception.com/docs/01-Introduction) (dostęp 06.2020 r.).
9. Inside Airbnb, <http://insideairbnb.com/get-the-data.html> (dostęp 06.2020 r.).
10. Laravel. [laravel.com/docs/4.2/introduction#laravel-philosophy](http://laravel.com/docs/4.2/introduction#laravel-philosophy) (dostęp 06.2020 r.).
11. Packagist. [packagist.org/about](http://packagist.org/about) (dostęp 06.2020 r.).



## 14. WPLYW OCZYSZCZONYCH ŚCIEKÓW NA ZAWARTOŚĆ NI W OSADACH DENNYCH RZEKI NURZEC (2018)

**mgr inż. Urszula Tarasiuk**

Politechnika Białostocka

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Katedra Technologii w Środowiska

ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

E-mail: u.tarasiuk@doktoranci.pb.edu.pl

**Streszczenie:** Intensywność działalności człowieka w ciągu ostatnich stuleci powoduje znaczące naruszenie istniejącej równowagi środowiska. Spośród poważnych problemów środowiskowych szczególnie ważne jest badanie rosnącego zanieczyszczenia hydrosfery. Ponadto zapewnianie ludności czystej wody stała się faktycznym problemem dla całej planety. Wraz z postępem naukowym i technologicznym, rośnie skala oddziaływania na środowisko, która prowadzi do niepożądanych zmian w powietrzu, wodzie i glebie, właściwości chemiczne i biologiczne, które mogą mieć niekorzystny wpływ na ludzi, zwierzęta i życie roślin. Osady mają wysoka zdolność do akumulacji bardzo niskich i niewykrywalnych stężeń metali ciężkich z wód nadległych; dlatego wskaźnik wzbogacenia metali ciężkich w osadach rzecznych jest często preferowanym wskaźnikiem stanu zanieczyszczenia rzeki. Co więcej, kilku badaczy wykazało, że metale ciężkie może być uwalniane do zbiorników wodnych z osadów w okresie suchych pór roku, które zwiększyłyby potencjalne ryzyko ekologiczne i toksyczność dla organizmów wodnych. Dlatego konieczne jest zbadanie potencjalnych zagrożeń metali ciężkich w osadach w porze suchej w porównaniu do mokrej pory roku. Rzeką Nurzec (obszar badań) przepływa przez 3 powiaty tj.: bielski, hajnowski i wysokomazowiecki. Zlewnia tej rzeki jest nieznacznie przekształcona, pod wpływem presji antropogenicznych. Miejscowościami, które w największym stopniu zanieczyszczają rzekę Nurzec to przede wszystkim: Brańsk, Ciechanowiec Czeremcha. Dodatkowo ciek ten kwalifikuje się do rzek nizinnych i stanowi prawostronny dopływ rzeki Bug, IV rzędu. W miejscowości Stawiszczce rzeka ta ma swoje źródło. Całkowita długość Nurca jest równa 100,2 km, a powierzchnia jej zlewni osiąga wartość 2082,6 km<sup>2</sup>. W tej pracy analizowano wpływ oczyszczonych ścieków na odbiornik, tj. rzekę Nurzec. W tym celu oznaczono zawartość niklu w pobranych próbkach osadów dennych, przed i za zrzutem ścieków oczyszczonych. Na badanej rzece Nurzec wyznaczono 11 punktów pomiarowo – kontrolnych, z czego 5 z nich zlokalizowane są przed miejscem zrzutu ścieków i 5 za zrzutem ścieków oczyszczonych, a jeden u źródła badanego ciek. Punkty pomiarowo - kontrolne zlokalizowane były w następujących miejscowościach: 1 – Stawiszczce (źródło), 2,3 – Czeremcha, 4,5 – Kleszczele, 6,7 – Brańsk, 8,9 – Ciechanowiec, 10,11 – Kozarze, a próbki pobrano w okresie intensywnej wegetacji tj. w okresie letnim, w 2018 roku. Oznaczenia zostały zrealizowane w trzech powtórzeniach. Zawartość badanego pierwiastka (niklu) w badanych osadach dennych wykonano przy pomocy spektrometru absorpcji atomowej AAS ICE 3500 ThermoScientific. Średnia zawartość niklu w próbkach osadów dennych pobranych przed miejscem zrzutu ścieków oczyszczonych do analizowanej rzeki Nurzec wynosiła 6,30±0,66 mg·kg<sup>-1</sup>. Z kolei zawartość tego pierwiastka w próbkach osadów dennych pobranych za zrzutem ścieków oczyszczonych, były wyższe i osiągnęły wartość 8,52±2,56 mg·kg<sup>-1</sup>. W osadach dennych rzeki Nurzec zaobserwowano zwiększoną zawartość niklu w próbkach osadów dennych pobranych za zrzutem ścieków oczyszczonych w stosunku do ich zawartości w próbkach pobranych przed zrzutem.

**Słowa kluczowe:** nikiel, oczyszczalnia, rzeka nizinna, osady denne

## 1. Wstęp

Rzeki stanowią ważne naturalne ścieżki transportu skażonych osadów na obszarach zaludnionych. Substancje toksyczne, takie jak metale ciężkie i trwałe związki organiczne zwykle wiążą się z drobnoziarnistymi stałymi nośnikami, w szczególności z minerałami ilastymi i materią organiczną, które mogą być przechowywane w zanieczyszczonych osadach wzdłuż cieków wodnych [Förstner 2004]. Dobrze zostały zbadane przykłady zanieczyszczonych drobnoziarnistych osadów fluwialnych występujących na terenach zalewowych [Walling 1983], glin [Hoffmann i in., 2009; Grygar i in. 2010; Matys Grygar i in. 2012], tamy, jeziora [Farmer i in. 1997; Wildi i in. 2004; Grygar i in. 2009; Loizeau i in. 2010; Matys Grygar i in. 2012] i meandry [Bábek i in. 2008]. Charakteryzują się one mniej więcej nieciągłą, pionową akrecją obciążenia zawieszoności osadu, a zatem względnie prostą stratygrafią. Powodzie stanowią najważniejsze mechanizmy transportowe dostarczające osady do tych miejsc [Bábek i in. 2011; Ridgway i in. 1995; Herr i Gray 1996; MacKenzie i in. 1999; Tobin i in., 2000, Reneau i in., 2004, Nguyen i in., 2009, Famera i in., 2013].

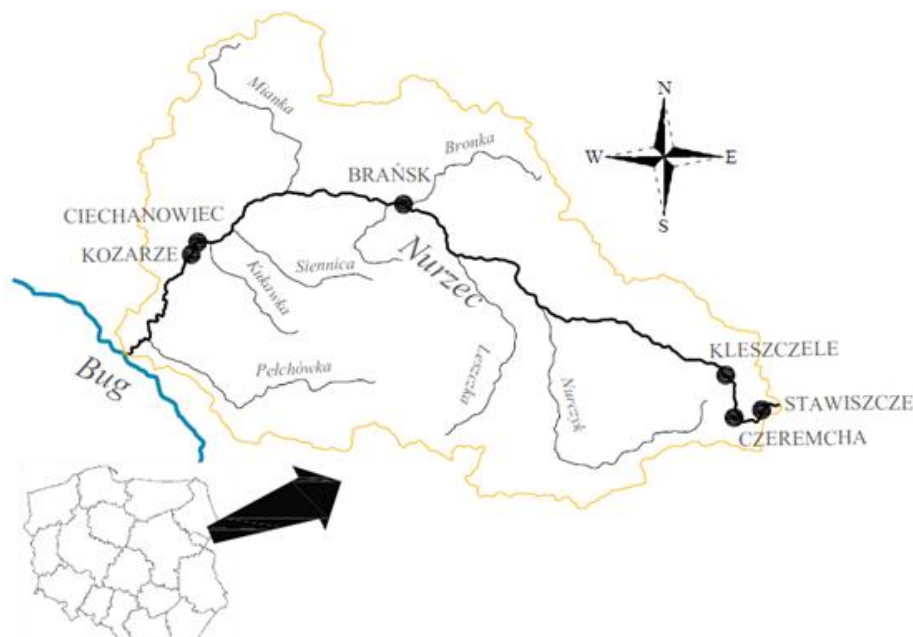
Intensywność działalności człowieka w ciągu ostatnich stuleci powoduje znaczące naruszenie istniejącej równowagi środowiska. Spośród poważnych problemów środowiskowych szczególnie ważne jest badanie rosnącego zanieczyszczenia hydrosfery. Ponadto zapewnianie ludności czystej wody stała się faktycznym problemem dla całej planety [Albering i in. 2016, Petrosyan i in., 2018]. Wraz z postępem naukowym i technologicznym, rośnie skala oddziaływania na środowisko, która prowadzi do niepożądanych zmian w powietrzu, wodzie, glebie i ich właściwościach chemicznych i biologicznych, które mogą mieć niekorzystny wpływ na ludzi, zwierzęta i życie rośliny [Tchounwou i in. 2012, Petrosyan i in., 2018]. Jako ekosystemy rzeki wyraźnie odzwierciedlają obecny stan zanieczyszczenia środowiska w ich górnej części w celu obniżenia zasięgu w regionach wysoko uprzemysłowionych [Forstner i Muller 1973; Xu i in. 2011]. Stężenia metali ciężkich w górnym biegu rzek były zwykle niższe niż te wynikające z efektów akumulacji w niższych zasięgach [Roline 1988; Bai i in. 2009]. Jednak te stężenia nie zawsze są jednolite w całym obszarze zlewni i może różnić się w zależności od miejsca ze względu na różne źródła wkładów antropogenicznych [Zheng i in. 2008; Liu i in. 2009; Lai i in. 2010]. Zbiorniki wodne, zwłaszcza rzeki, są jednym z najważniejszych zasobów naturalnych na ziemi. Zapewniają siedlisko dla licznych organizmów wodnych i stanowią pomoc w ochronie różnorodności biologicznej. Rzeki są głównym źródłem irygacji, energii wodnej i ładowania zwierciadła wód gruntowych, magazynowania wody, oczyszczania, transportu stanowią fragment krajobrazu [Dong 2003]. Rzeki przewożą około 37 000 km<sup>3</sup> wody [Meybeck 1976] i 13,5 9 109 ton cząstek osadu [Milliman i Meade 1983] każdego roku do oceanów. Oprócz noszenia różnego rodzaju odpadów, rzeki również niosą wiele cząstek stałych, składników odżywczych i mineralnych, które odgrywają znaczącą rolę w utrzymywaniu produktywności jednolitych części wód. Ponad 99% metali ciężkich wchodzących do rzeki są przechowywane w osadach rzecznych na różne sposoby [Salomons i Stigliani 1995]. Metale ciężkie mogą okresowo osadzać się w osadach dennych. Właściwości fizykochemiczne warunków wodnych różnią się w zależności od sezonu. Osady do rzek dostają się z różnych punktów i rozproszonych źródeł, które ostatecznie zdeponowane są na dnie rzeki i pełnią funkcję

zarówno, jako nośniki, jak i potencjalne źródło akumulacji metali w wodnych łańcuchach pokarmowych przez proces biomagnifikacji [Theofanis i in. 2001]. Metale ciężkie były szeroko stosowane, jako środowiskowe czynniki monitorujące, a ich toksyczność u ludzi i zwierząt i rośliny zyskują coraz większą uwagę [Grossman i Krueger 1995]. Osady mają wysoką zdolność do akumulacji bardzo niskich i niewykrywalnych stężeń metali ciężkich z wód, dlatego wskaźnik wzbogacenia metali ciężkich w osadach rzecznych jest często preferowanym wskaźnikiem stanu zanieczyszczenia rzeki [Soares i in. 1999]. Co więcej, kilku badaczy wykazało, że metale ciężkie może być uwalniane do zbiorników wodnych z osadów w okresie suchych pór roku, które zwiększyłyby potencjalne ryzyko ekologiczne i ich toksyczność dla organizmów wodnych [Kumar i in. 2013]. Dlatego konieczne jest zbadanie potencjalnych zagrożeń metali ciężkich w osadach w porze suchej w porównaniu do mokrej pory roku. Osad rzeczny staje się głównym pochłaniaczem metali ciężkich ze źródeł zewnętrznych stąd znaczący wpływ osadów na dystrybucję metali ciężkich w środowisku wodnym. Weng i in. (2001) i Frouz i in. (2007) stwierdzili, że w materii organicznej najważniejszym sorbentem była gleba / osad (SOM), która kontroluje aktywność metali ciężkich. Zhao i Li (2013) poinformowali, że wielkość ziarna była kluczowym czynnikiem wpływającym na poziom zanieczyszczenia metalami ciężkimi. Z kolei Zhao i in. (2013) stwierdzili, że zasolenie zwiększa mobilność niektórych metali w osadach ujścia Jangcy. W związku z tym, materia organiczna, wielkość ziarna i zasolenie w osadzie powinny zostać uwzględnione przy rozważaniu pełniejszej analizy rozkładów przestrzennych oraz poziomu ryzyka zanieczyszczenia metalami ciężkimi osadów dennych w rzekach miejsko-wiejskich [Xiao i in., 2013].

## 2. Materiały i metody

Rzeka Nurzec (obszar badań) przepływa przez 3 powiaty tj.: bielski, hajnowski i wysokomazowiecki. Zlewnia tej rzeki jest nieznacznie przekształcona, pod wpływem presji antropogenicznych. Miejscowościami, które w największym stopniu zanieczyszczają rzekę Nurzec to przede wszystkim: Brańsk, Ciechanowiec Czeremcha. Dodatkowo ciek ten kwalifikuje się do rzek nizinnych i stanowi prawostronny dopływ rzeki Bug, IV rzędu. W miejscowości Stawiszce rzeka ta ma swoje źródło. Całkowita długość Nurca jest równa 100,2 km, a powierzchnia jej zlewni osiąga wartość 2082,6 km<sup>2</sup> [WIOŚ, 2008; Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Białymstoku, 2012].

W tej pracy analizowano wpływ oczyszczonych ścieków na odbiornik, tj. rzekę Nurzec. W tym celu oznaczono zawartość niklu w pobranych próbkach osadów dennych, przed i za zrzutem ścieków oczyszczonych. Na badanej rzece Nurzec wyznaczono 11 punktów pomiarowo – kontrolnych, z czego 5 z nich zlokalizowane są przed miejscem zrzutu ścieków i 5 za zrzutem ścieków oczyszczonych, a jeden u źródła badanego ciek. Punkty pomiarowo - kontrolne zlokalizowane były w następujących miejscowościach: 1 – Stawiszce (źródło), 2,3 – Czeremcha, 4,5 – Kleszczele, 6,7 – Brańsk, 8,9 – Ciechanowiec, 10,11 – Kozarze, a próbki pobrano w okresie intensywnej wegetacji tj. w okresie letnim, w 2018 roku. Wszystkie punkty zobrazowano na Rys. 1, zamieszczonym poniżej.



**Rysunek 1. Punkty poboru próbek osadów dennych na rzece Nurzec**

Pierwsza oczyszczalnia ścieków zlokalizowana jest na terenie gminy Kleszczele, która umiejscowiona jest w niedalekiej odległości od rzeki Nurzec, torów PKP i ul. Świerczewskiego. Jest to kontenerowa oczyszczalnia ścieków typu BOS 100, a jej średnia dobowa przepustowość wynosi  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , jednakże w praktyce ilość dopływających ścieków do oczyszczalni wynosi ok.  $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Odbiornikiem oczyszczonych ścieków stanowi analizowana rzeka Nurzec.

Kolejną badaną oczyszczalnią ścieków znajdują się najbliżej źródła rzeki Nurzec (tj. miejscowości Stawiszcze), w Czeremsze, na działce o numerze ewidencyjnym 1632/5. Natomiast kolektor odprowadzających ścieki zakończony jest wylotem do rzeki Nurzec w km 88+00 jej biegu, a współrzędne wylotu to: N:  $52^{\circ}31'37''$ ; E:  $23^{\circ}21'26''$ . Średni dobowy przepływ oczyszczalni w tej miejscowości ma wartość ok.  $12,25 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ .

Następnym analizowanym źródłem zanieczyszczenia rzeki Nurzec jest oczyszczalnia ścieków w miejscowości Ciechanowiec. Oczyszcza ścieki dopływające ze skanalizowanej części miasta, z zakładu przetwórstwa mięsnego „Stół Polski” oraz bezpośrednio dowożone z indywidualnych zbiorników bezodpływowych. Ilość generowanych ścieków oczyszczonych osiąga wartość około  $350 \text{ m}^3$  na dobę w okresach bezdeszczowych. Oczyszczalnia ta oczyszcza w sposób mechaniczno – biologiczna oparta na metodzie osadu czynnego. Ścieki oczyszczone odprowadzane są rowem otwartym, który ma długość 100 m, bezpośrednio do rzeki Nurzec [Urząd Miejski w Ciechanowcu, 2006].

Z kolei przepustowość miejskiej mechaniczno-biologiczno-chemicznej oczyszczalni ścieków zlokalizowanej w miejscowości Brańsk ma wartość  $400 \text{ m}^3/\text{d}$ , ale w praktyce ilość dopływających ścieków do oczyszczalni waha się w zakresie od  $350 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  do  $400 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Zrzut ścieków oczyszczonych do rzeki Nurzec następuje w 46+430 km jej długości [Podlaski Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, 2013; Zarząd Miejski w Brańsku, 2003].

Ostatnia analizowana oczyszczalnia ścieków zlokalizowana jest w Domu Pomocy Społecznej w miejscowości Kozarze. Ilość oczyszczanych ścieków wynosi ok.  $10 - 15 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ .

Ścieki oczyszczone podobnie jak w przypadku pozostałych wspomnianych powyżej oczyszczalni odprowadzane są do rzeki Nurzec.

Wszystkie próbki osadów zostały pobrane w odległości ok. 40 m od miejsca, w którym następuje zrzut ścieków oczyszczonych (tj. zarówno przed jak i za zrzutem ścieków oczyszczonych) na badanej rzece Nurzec, w strefie brzegowej, tj. w miejscu gdzie zachodzą procesy osadzania oraz akumulacji materiału zawieszonego [Bojakowska, 2001]. W celu uzyskania rzeczywistych próbek osadów dennych zmieszano kilka pojedynczych próbek, które zostały pobrane od 5 do 10 cm poniżej zwierciadła wody. Po ich wymieszaniu uzyskano próbkę reprezentatywną o całkowitej masie równej 1000 g. Następnie otrzymane próbki osadów dennych wysuszono do stanu „powietrznie suchego” w temperaturze 40°C [Lis i Pasieczna, 1995]. W laboratorium osady przesiano przez nylonowe sita, jednakże do analizy wykorzystano jedynie frakcje o średnicy 200 µm, co pozwoliło na porównanie otrzymanych wyników zawartości niklu z wartościami otrzymanymi w ramach monitoringu geochemicznego osadów wodnych Polski. Próbki osadów dennych zostały zmineralizowane kwasem azotowym i solnym w stosunku objętościowym 3:1 w zamkniętym mikrofalowym systemie CEM [Tarasiuk, 2018]. Oznaczenia zostały zrealizowane w trzech powtórzeniach. Zawartość badanego pierwiastka (niklu) w badanych osadach dennych wykonano przy pomocy spektrometru absorpcji atomowej AAS ICE 3500 ThermoScientific. W kolejnym etapie uzyskane wyniki zawartości niklu zweryfikowano przy pomocy certyfikowanego materiału odniesienia NCS DC 73317a, a następnie przedstawiono je w odniesieniu do powietrznie suchych osadów dennych oraz porównano z danymi literaturowymi [Skorbiowicz i in., 2018].

Zawartości niklu przedstawiono w odniesieniu do powietrznie suchych próbek osadów dennych, a w kolejnym etapie porównano uzyskane wyniki z danymi literaturowymi. Na koniec wykonano obliczenia indeksu geoakumulacji (Tab. 1), [Müller 1979].

Wartość  $I_{geo}$  została obliczona przy wykorzystaniu następującego równania (1):

$$I_{geo} = \log_2\left(\frac{C_m}{1,5Bn}\right) \quad (1)$$

gdzie:

$C_n$  - jest zawartością pierwiastka we frakcji <2 µm osadów,

$B_n$  - geochemiczną tłową zawartością pierwiastka w skałach ilastych,

zaś 1, 5 – współczynnik uwzględniający zmienność litologiczną zlewni.

**Tabela 1. Klasy wartości indeksu geoakumulacyjnego ( $I_{geo}$ )**

Klasa	$I_{geo}$	Szacowany poziom zanieczyszczenia
0	$I_{geo} \leq 0$	osad nieskażony
1	$0 < I_{geo} \leq 1$	osad słabo zanieczyszczony
2	$1 < I_{geo} \leq 2$	osad umiarkowanie zanieczyszczony
3	$2 < I_{geo} \leq 3$	osad średnio zanieczyszczony
4	$3 < I_{geo} \leq 4$	osad silnie zanieczyszczony
5	$4 < I_{geo} \leq 5$	osad bardzo silnie zanieczyszczony
6	$5 < I_{geo} \leq 6$	osad ekstremalnie zanieczyszczony

### 3. Wyniki i dyskusja

W celu przeanalizowania stopnia zanieczyszczenia rzeki Nurzec niklem, wzięto pod uwagę punktowe źródła zanieczyszczeń, tj. oczyszczalnie ścieków, zlokalizowane w obrębie zlewni badanej rzeki (Nurzec). Zawartość analizowanego pierwiastka w osadach dennych rzeki Nurzec przedstawiono w tabeli (Tab. 2). Koncentracja Ni były wyższe w punktach zlokalizowanych za miejscem zrzutu ścieków oczyszczonych. Najwyższą zawartość niklu zaobserwowano w próbkach osadów dennych w punkcie za oczyszczalnią w miejscowości Brańsk gdzie, wyniosła  $14,25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ .

**Tabela 2. Średnie zawartości  $\pm$  odchylenie standardowe Ni [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.] w osadach dennych rzeki Nurzec**

Punkty pomiarowe		Zawartość niklu [ $\text{mg Ni} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]	
			Ni
<b>Stawiszcze</b>		1	6,11
<b>Czeremcha</b>	przed	2	6,09
	za	3	7,89
<b>Kleszczele</b>	przed	4	7,01
	za	5	9,23
<b>Brańsk</b>	przed	6	6,98
	za	7	14,25
<b>Ciechanowiec</b>	przed	8	7,84
	za	9	8,67
<b>Kozarze</b>	przed	10	6,51
	za	11	7,43
Podstawowe dane statystyczne			
<b>Średnia <math>\pm</math> odchylenie standardowe (przed)</b>		6,30 $\pm$ 0,66	
<b>Średnia <math>\pm</math> odchylenie standardowe (za)</b>		8,52 $\pm$ 2,56	
<b>Mediana</b>		6,80	
<b>Min</b>		5,63	
<b>Max</b>		12,85	
<b>Tło geochemiczne</b>		<b>68<sup>1</sup>, 5<sup>2</sup></b>	

<sup>1</sup> wg Turekiana, Wedepholą [1961]

<sup>2</sup> wg Bojakowska, Sokołowska [1998]

Obliczone wartości współczynnika Igeo przedstawiono poniżej w tabeli (Tab. 3). Indeks geoakumulacyjny (Igeo) dla dla badanego metalu tj. niklu, w każdym badanym punkcie osiągnął wartość poniżej 0, a więc analizowane próbki osadów dennych zakwalifikowano do klasy 0 (osadów nieskażonych), pod względem zawartości Ni. Otrzymane wartości współczynnika Igeo dla badanego pierwiastka są mniejsze od wartości przedstawionych przez Liao [2017], gdzie współczynnik geoakumulacyjny (Igeo) wahał się w zakresie od -0,61 do 2,55.

**Tabela 3. Wartość współczynnika Igeo**

Punkty pomiarowe			I geo
			Ni
1	Stawiszcze		-3,84
2	Czeremcha	przed	-4,18
3		za	-3,61
4	Kleszczele	przed	-4,02
5		za	-3,65
6	Brańsk	przed	-3,81
7		za	-2,99
8	Ciechanowiec	przed	-3,96
9		za	-3,91
10	Kozarze	przed	-4,14
11		za	-3,98

W Tab. 4 zestawiono kilka wyników uzyskanych przez innych autorów wraz ze średnią zawartością badanego pierwiastka w rzece Nurzec (obecne badanie). Najbardziej zbliżone do uzyskanych zawartości Pb stanowiły wyniki przedstawione przez Harguinteguyin i in., [2014], dla rzeki Suquia (Argentyna) w badaniach zrealizowanych w 2009 roku. Zawartości Ni uzyskane m. in. przez Lis i Piaseczna, [1995], Skorbiłowicz i in., [2018], Guan i in., [2018], Harguinteguyin i in., [2014], Samecka-Cymerman, Kempers, [2007], Łojko i in. [2015] są wyższe od średniej zawartości Ni w próbkach osadów dennych, pobranych z rzeki Nurzec.

**Tabela 4. Wyniki średnich zawartości Ni (średnia arytmetyczna ± odchylenie standardowe) w próbkach osadów dennych uzyskanych przez innych autorów**

Obiekt badawczy	Średnia zawartość ± odchyl. standardowe (mg×kg <sup>-1</sup> )	Literatura
	Ni	
<b>RZĘKA NURZEC, POLSKA</b>	7,38±1,91	Obecne badanie
<b>RZĘKI POLSKI</b>	11,00	Lis i Piaseczna, 1995
<b>RZĘKA MERIDIONALE, ITALY</b>	29,14±0,68	Bonanno, Guidice, 2010
<b>RZĘKA BUG</b>	4,50±1,76	Skorbiłowicz, 2014
	15,30±3,45	Skorbiłowicz i in., 2018
<b>RZĘKA YINMA,</b>	25,06	Guan i in., 2018
<b>RZĘKA SUQUIA, ARGENTYNA (2006)</b>	14,53±4,23	Harguinteguyin i in., 2014
<b>RZĘKA SUQUIA, ARGENTYNA (2009)</b>	9,03±2,25	
<b>RZĘKA OŁAWA</b>	19,80±14,70	Łojko i in., 2015
	13,00±2,00	Samecka-Cymerman, Kempers, 2007
<b>RZĘKA PIŁAWA</b>	29,00±9,30	

#### 4. Wnioski

1. W osadach dennych rzeki Nurzec stwierdzono wyższą zawartość Ni w miejscach zlokalizowanych za zrzutem ścieków oczyszczonych w porównaniu do ich zawartości przed miejscem zrzutu ścieków. Zaobserwowano także przekroczenie wartości tła geochemicznego w każdym w punktów, biorąc pod uwagę wartości przedstawione przez Bojakowska, Sokołowska [1998]
2. Przeprowadzone badania dotyczące wpływu punktowych źródeł zanieczyszczeń na obszarze o niewielkim wpływie antropopresji wykazały, że najwyższe zawartości badanego pierwiastka (Ni) jest generowana przez oczyszczalnie ścieków w miejscowości Brańsk, a w każdym z punktów, za ujściem ścieków odnotowano wzrost zawartości niklu.
3. Wykazano również, że na podstawie klasyfikacji Müllera [1981] analizowane próbki osadów dennych dla badanego pierwiastka (Ni) zostały zakwalifikowane do 0 klasy, tj. osadów nieskażonych.
4. Dodatkowo zdołano udowodnić, że praca badanych oczyszczalni ścieków ma duży wpływ na zawartość Ni w osadach dennych rzeki Nurzec.

#### Bibliografia:

1. Albering HJ, Rila JP, Moonen EJ, Hoogewerff JA, Kleinjans JC (2016) Human health risk assessment in relation to environmental pollution of two artificial freshwater lakes in the Netherlands. *J Res Med Sci* 107(1):27–35.
2. Bábek, O., Hilscherová, K., Nehyba, S., Zeman, J., Faměra, M., Franců, J., et al. (2008). Contamination history of river sediments accumulated in an oxbow lake over the last 25 years; Morava River (Danube Catchment Area), Czech Republic. *Journal of Soils and Sediments*, 8, 165–176.
3. Bábek, O., Faměra, M., Hilscherová, K., Kalvoda, J., Dobrovolný, P., Sedláček, J., et al. (2011). Geochemical traces of flood layers in the fluvial sedimentary archive; implications for contamination history analyses. *Catena*, 87, 281–290
4. Bai JH, Cui BS, Xu XF, Ding QY, Gao HF (2009) Heavy metal contamination in riverine soils upstream and downstream of a hydroelectric dam on the Lancang River China. *Environ Eng Sci* 26:941–946
5. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej w Białymstoku, 2012. Plan zadań ochronnych obszaru Natura 2000. Dolina Górnego Nurca PLB200004
6. Bojakowska I., Sokołowska G., 1998. Charakterystyka geochemiczna aluwiów głównych rzek Polski, *Przegląd Geologiczny*, 1, p. 16-20
7. Bojakowska I., (2001). Kryteria oceny zanieczyszczenia osadów wodnych. *Przegląd Geologiczny*, 49, 3, p. 213-218.
8. Dong ZR (2003) Diversity of river morphology and diversity of biocommunities. *J Hydraul Eng* 48(11):1e6 (in Chinese).
9. Famera M., Babek O., Grygar T. M., Novakova T., 2013. Distribution of Heavy-Metal Contamination in Regulated River-Channel Deposits: a Magnetic Susceptibility and Grain-Size Approach; River Morava, Czech Republic. *Water Air Soil Pollut* (2013) 224:1525.
10. Förstner, U. (2004). Sediment dynamics and pollutant mobility in rivers—an interdisciplinary approach. *Lakes and Reservoirs, Research and Management*, 9, 25–40.



11. Forstner, W., & Muller, G. (1975). Factors controlling the distribution of minor and trace elements (heavy metals V, Li, Sr) in recent lacustrine sediments, Resumes des Publications IX Congress Intl. De Sedimentologie, Nice, Theme II, p.6.
12. Frouz J, Elhottova D, Pizl V, Tajousky K, Sourkova M, Picek T, Maly S (2007) The effect of litter quality and soil faunal composition on organic matter dynamics in post-mining soil: a laboratory study. *Appl Soil Ecol* 37:72–80.
13. Grossman GM, Krueger AB (1995) Economic growth and the environment. *Quart J Econ* 110:353–377.
14. Grygar, T., Kadlec, J., Žigová, A., Mihaljevič, M., Nekutová, T., Lojka, R., et al. (2009). Chemostratigraphic correlation of sediments containing expandable clay minerals based on ion exchange with Cu(II) triethylenetetramine. *Clays and Clay Minerals*, 57, 168–182.
15. Grygar, T., Světlík, I., Lisá, L., Koptíková, L., Bajer, A., Wray, D. S., et al. (2010). Geochemical tools for the stratigraphic correlation of floodplain deposits of the Morava River in Strážnické Pomoraví, Czech Republic from the last millennium. *Catena*, 80, 106–121.
16. Guan J., Wang J., Pan H., Yang C., Qu J., Lu N., Yuan X., 2018. Heavy metals in Yinma River sediment in a major Phaeozoms zone, Northeast China: Distribution, chemical fraction, contamination assessment and source apportionment. *Scientific Reports*. 8:12231. DOI:10.1038/s41598-018-30197-z
17. Harguinteguy C.A., Schreiber R., Pignata M.L., 2013. *Myriophyllum aquaticum* as a biomonitor of water heavy metal input related to agricultural activities in the Xanaes River (Cordoba, Argentina). *Ecological Indicators* 27, 8–16.
18. Herr, C., & Gray, N. F. (1996). Seasonal variation of metal contamination of riverine sediments below a copper and sulphur mine in south-east Ireland. *Water Science and Technology*, 33, 255–261.
19. Hoffmann, T., Erkens, G., Gerlach, R., Klostermann, J., & Lang, A. (2009). Trends and controls of Holocene floodplain sedimentation in the Rhine catchment. *Catena*, 77, 96–106.
20. Kumar N, Singh SK, Srivastava PK, Narsimlu B (2017) SWAT model calibration and uncertainty analysis for streamflow prediction of the tons river basin, India, using sequential uncertainty fitting (SUFI-2) algorithm. *Model Earth Syst Environ* 3:1–13
21. Lai DS, Lin JB, Liu WS, Pan LK, Chu KH, Chen CY, Lin DB (2010) Metal concentrations in sediments of the Tamsui River, flows through central metropolitan Taipei. *Bull Environ Contamination Toxicol* 84:628–634.
22. Lis J., Pasieczna A., (1995). Atlas geochemiczny Polski w skali 1: 2 500 000, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
23. Liu JL, Li YL, Zhang B, Cao JL, Cao ZG, Domagalski J (2009) Ecological risk of heavy metals in sediments of the Luan River source water. *Ecotoxicol* 18:748–758.
24. Loizeau, J. L., Jüstrich, S., & Wildi, W. (2010). Swiss examples of the impacts of dams on natural environments and management strategies for sediment control. *NEAR Curriculum in Natural Environmental Science. Terre et Environnement*, 88, 199–204.
25. Liu X, Wu J, Xu J. Characterizing the risk assessment of heavy metals and sampling uncertainty analysis in paddy field by geostatistics and GIS. *Environmental Pollution* 2006; 141: 257-264.

26. Łojko, Polechońska, Klink, Kosiba, (2015). Trace metal concentrations and their transfer from sediment to leaves of four common aquatic macrophytes. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22:15123–15131.
27. MacKenzie, A. B., Cook, G. T., & McDonald, P. (1999). Radionuclide distributions and particle size associations in Irish Sea surface sediments: implications for actinide dispersion. *Journal of Environmental Radioactivity*, 44, 275–296.
28. Matys Grygar, T., Sedláček, J., Bábek, O., Nováková, T., Strnad, T., & Mihaljevič, M. (2012). Regional contamination of Moravia (South-Eastern Czech Republic): Temporal shift of Pb and Zn loading in fluvial sediments. *Water, Air, and Soil Pollution*. doi:10.1007/s11270-011-0898-2.
29. Meybeck M (1976) Total annual dissolved transport by world major rivers. *Hydrol Sci Bull* 30:265–289.
30. Milliman JD, Meade RH (1983) World wide delivery of river sediments to the Ocean. *J Geol* 91:1–21.
31. Müller, G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins, Veränderungen Seit 1971 *Umschau*, 79 (24), 778-783.
32. Nguyen, H. L., Braun, M., Szaloki, I., Baeyens, W., Van Grieken, R., & Leermakers, M. (2009). Tracing the metal pollution history of the Tisza River through the analysis of a sediment depth profile. *Water, Air, and Soil Pollution*, 200, 119–132.
33. Petrosyan V., Pirumyan G., Perikhanyan Y., 2018. Determination of heavy metal background concentration in bottom sediment and risk assessment of sediment pollution by heavy metals in the Hrazdan River (Armenia). *Applied Water Science* (2019) 9:102
34. Podlaski Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, 2013. Protokół Kontroli Nr WIOŚ – BL 235/2013.
35. Reneau, S. L., Drakos, P. G., Katzman, D., Malmon, D. V., McDonald, E. V., & Rytí, R. T. (2004). Geomorphic controls on contaminant distribution along an ephemeral stream. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 1209–1223.
36. Ridgway, J., Flight, D. M. A., Martiny, B., Gomezcaballero, A., Maciasromo, C., & Grealley, K. (1995). Overbank sediments from central Mexico—an evaluation of their use in regional geochemical mapping and in studies of contamination from modern and historical mining. *Applied Geochemistry*, 10, 97–109.
37. Roline RA (1988) The effects of heavy metal pollution of the upper Arkansas River on the distribution of aquatic macroinvertebrates. *Hydrobiologia* 160:3–8.
38. Salomons W, Stigliani WM (1995) Biogeochemistry of pollutants in soils and sediments: risk assessment of delayed and non-linear responses. Springer, New York, pp 331–343
39. Samecka – Cymerman A., Kempers A.J., 2007. Heavy Metals in Aquatic Macrophytes from Two Small Rivers Polluted by Urban, Agricultural and Textile Industry Sewages SW Poland *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 53, 198–206 (2007) DOI: 10.1007/s00244-006-0059-6
40. Skorbiłowicz E. i in., 2014. Macrophytes as indicators of heavy metals bio-accumulation in upper Narew River. *ECOL CHEM ENG A*. 21(1):p. 87-98, DOI: 10.2428/ecea.2014.21(1)9.
41. Skorbiłowicz M., Skorbiłowicz E., Tarasiuk U., Falkowska M., 2018. Studies of heavy metal content in bottom sediments and aquatic plants near treated wastewater discharge.

- Geology, Geophysics & Environment ISSN 2299-8004 e-ISSN 2353-0790. Vol. 43, nr 4, s. 311-325.
42. Soares HMVM, Boaventura RAR, Machado AASC, da Esteves Silva JGG (1999) Sediments as monitors of heavy metal contamination in the Ave river basin (Portugal): multivariate analysis of data. *Environ Pollut* 105:311–323.
  43. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ (2012) Heavy metal toxicity and the environment. *Mol Clin Environ Toxicol* 101:133–164.
  44. Theofanis ZU, Astrid S, Lidia G, Calmano WG (2001) Contaminants in sediments: remobilisation and demobilization. *Sci Total Environ* 266:195–202.
  45. Tobin, G. A., Brinkmann, R., & Montz, B. E. (2000). Flooding and the distribution of selected metals in floodplain sediments in St. Maries, Idaho. *Environmental Geochemistry and Health*, 22, 219–232.
  46. Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H., 1961. Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust. *Geological Society of America, Bulletin* 72: 175-192.
  47. Urząd Gminy Kleszczele, Kleszczele (2008). Plan Rozwoju Lokalnego Gminy Kleszczele na lata 2008-2013, s. 13- 14.
  48. Urząd Miejski w Ciechanowcu, 2006. Plan Rozwoju Lokalnego Gminy Ciechanowiec
  49. Walling, D. E. (1983). The sediment delivery problem. *Journal of Hydrology*, 65, 209–237.
  50. Weng LP, Temminghoff JM, Riemsdijk HV (2001) Contribution of individual sorbents to the control of heavy metal activity in sandy soil. *Environ Sci Technol* 35(22):4436–4443
  51. Wildi, W., Dominik, J., Loizeau, J. L., Thomas, R. L., Favarger, P. Y., Haller, L., et al. (2004). River, reservoir and lake sediment contamination by heavy metals downstream from urban areas of Switzerland. *Lakes and Reservoirs, Research and Management*, 9, 75–87.
  52. WIOŚ Białystok, Białystok (2010). Informacja Podlaskiego Wojewódzkiego Inspektora Ochrony Środowiska w Białymstoku o stanie środowiska na terenie powiatu siemiatyckiego, s. 14- 15.
  53. Xiao R., Bai J., Huang L., Zhang H., Cui B., Liu X., 2013. Distribution and pollution, toxicity and risk assessment of heavy metals in sediments from urban and rural rivers of the Pearl River delta in southern China. *Ecotoxicology* (2013) 22:1564–1575.
  54. Xu G, Sun JN, Xu RF, Lv YC, Shao HB, Yan K, Zhang LH, Blackwell MSA (2011) Effects of air-drying and freezing on phosphorus fractions in soils with different organic matter contents. *Plant, Soil Environ* 57(5):228–234.
  55. Zhao HT, Li XY (2013) Risk assessment of metals in road-deposited sediment along an urban–rural gradient. *Environ Pollut* 174:297–304.
  56. Zheng N, Wang Q, Zhang X, Zheng D, Zhang Z, Zhang S (2008) Population health risk due to dietary intake of heavy metals in the industrial area of Huludao city, China. *Sci Total Environ* 387:96– 104.

## 15. WPLYW OCZYSZCZONYCH ŚCIEKÓW NA ZAWARTOŚĆ ZN W OSADACH DENNYCH RZEKI NURZEC (2018)

**mgr inż. Urszula Tarasiuk**

Politechnika Białostocka

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Katedra Technologii w Środowiska

ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

E-mail: u.tarasiuk@doktoranci.pb.edu.pl

**Streszczenie:** Metale ciężkie, które pochodzą z chemicznego wymywania podłoża skalnego, odprowadzania wody i zrzutów ścieków z terenów miejskich i wsi są szeroko obecne w rzekach i służą, jako ważny wskaźnik, jakości środowiska wodnego. Duże ilości niebezpiecznych chemikaliów, w tym metale ciężkie zostały uwolnione do rzek na całym świecie z powodu globalnego wzrostu populacji i intensywnego rozwoju produkcji przemysłowej i rolniczej. Ponadto pestycydy i herbicydy szeroko stosowane w rolnictwie w krajach rozwijających się mogą zawierać arsen (As) i inne metale ciężkie, które są łatwo przenoszone do rzek poprzez spływ rolniczy. Po uwolnieniu do systemów rzecznych metali ciężkich z wcześniej wspomnianych źródeł w tych ciekach i zbiornikach wodnych mogą następnie łatwo gromadzić się w osadach. Dlatego do oceny zawartości metali ciężkich w rzece na całym świecie zastosowano zarówno wodę i osady denne i analizowano antropogeniczne i przemysłowe źródła, ponieważ zanieczyszczenie metalami ciężkimi jest głównym problemem w wielu krajach rozwijających się. Obszar badany to rzeka Nurzec. Rzeka ta przepływa przez 3 powiaty tj.: bielski, hajnowski oraz wysokomazowiecki. Ponadto zlewnie tego cieku jest zaledwie nieznacznie przekształcony, na skutek presji antropogenicznych. Miejscowościami, które w największym stopniu zanieczyszczają badany ciek to: Ciechanowiec, Brańsk, Czeremcha. Badana rzeka Nurzec kwalifikuje się do rzek nizinnych. Ponadto stanowi ona prawostronny dopływ rzeki Bug, IV rzędu. Nurzec swoje źródło ma w miejscowości Stawiszczce i jego całkowita długość ma wartość ok. 100,2 km, a powierzchnia zlewni rzeki Nurzec wynosi ok. 2082,6 km<sup>2</sup>. W pracy tej analizowano wpływ oczyszczonych ścieków na odbiornik, w tym przypadku rzekę Nurzec. W tym celu badano zawartość niklu w próbkach osadów dennych, które zostały pobrane przed i za zrzutem ścieków oczyszczonych. Na badanej rzece wyznaczono 11 punktów pomiarowo – kontrolnych, z czego 5 punktów zlokalizowane były przed miejscem zrzutu ścieków i 5 za zrzutem ścieków oczyszczonych, a 1 u źródła analizowanego cieku. Punkty pomiarowo - kontrolne umiejscowione były kolejno w miejscowościach: 1 – Stawiszczce (źródło), 2,3 – Czeremcha, 4,5 – Kleszczce, 6,7 – Brańsk, 8,9 – Ciechanowiec, 10,11 – Kozarze. Próbkę osadów dennych pobierano w okresie letnim, w 2018 roku. Średnia zawartość cynku w badanych próbkach osadów dennych z punktów badawczych zlokalizowanych przed badanymi oczyszczalniami wynosiła 11,48±5,64 mg·kg<sup>-1</sup>. Natomiast zawartość tego pierwiastka w próbkach osadów, które zostały pobrane za zrzutem ścieków oczyszczonych, były znacznie wyższe i wyniosła 25,71±15,08 mg·kg<sup>-1</sup>. W osadach dennych rzeki Nurzec stwierdzono większą zawartość Zn w próbkach pobranych za zrzutem ścieków oczyszczonych w stosunku do ich stężenia w próbkach pobranych przed zrzutem.

**Słowa kluczowe:** cynk, oczyszczalnia, ciek, osady denne

## 1. Wstęp

Globalne zanieczyszczenie środowiska stanowi aktualny problem naszych czasów. Obszary dużych miast, gdzie duża liczba antropogenicznych źródeł emisji jest często skoncentrowana, są przedmiotem szczególnego zainteresowania naukowców [Urban Ecology, 2008]. Zbiorniki wodne środowiska miejskiego są jednymi z najbardziej wrażliwych obiektów w zakresie stopnia zanieczyszczenia, wśród których szczególne znaczenie mają metale ciężkie [Dauval'ter i Kashulin, 2015]. Niebezpieczeństwo wynika z faktu, że metale nie ulegają rozkładowi, mają działanie toksyczne i mogą wchodzić w troficzne łańcuchy żywych organizmów i gromadzić się w wielu z nich [Förstner, 1987]. Poza osadami dennymi wszelkiego rodzaju organizmy żywe są podstawowymi abiotycznymi akumulatorami metali ciężkich w środowisku wodnym [Dauval'ter i in., 2015, Hosono i in., 2016], organizmy denne, dla których osady denne służą, jako bezpośrednie siedlisko, grają rolę pierwszych receptorów zanieczyszczeń pochodzących bezpośrednio z osadów [Klishko i in., 2005, Arslan i in., 2010, Woelfl i in., 2006], zapewniając w ten sposób ich dalszą migrację do ciał bardziej zorganizowanych w ekosystemach wodnych [Golovanova i in., 2014, Slukovskii i Polyakova, 2015]. Metale ciężkie, które pochodzą z chemicznego wymywania podłoża skalnego, odprowadzania wody i zrzutów ścieków z terenów miejskich i wsi są szeroko obecne w rzekach i służą, jako ważny wskaźnik, jakości środowiska wodnego [Gupta i in. 1996; Bai i in. 2012]. Duże ilości niebezpiecznych chemikaliów, w tym metale ciężkie zostały uwolnione do rzek na całym świecie z powodu globalnego wzrostu populacji i intensywnego rozwoju produkcji przemysłowej i rolniczej [Islam i in., 2015]. Ponadto pestycydy i herbicydy szeroko stosowane w rolnictwie w krajach rozwijających się mogą zawierać arsen (As) i inne metale ciężkie, które są łatwo przenoszone do rzek poprzez spływ rolniczy. Po uwolnieniu do systemów rzecznych metali ciężkich z wcześniej wspomnianych źródeł w tych ciekach i zbiornikach wodnych mogą następnie łatwo gromadzić się w osadach [Alves i in., 2014]. Do oceny zawartości metali ciężkich w rzece na całym świecie zastosowano zarówno wodę jak i osady denne oraz analizowano antropogeniczne i przemysłowe źródła, ponieważ zanieczyszczenie metalami ciężkimi jest głównym problemem w wielu krajach rozwijających się [Ali i in., 2016, Alves i in., 2014, Islam i in., 2015, Paul, 2017, Hua i in., 2016]. Przydatne okazało się wykorzystanie do oceny osadów dennych narzędzi do określania poziomu zanieczyszczenia ekosystemów wodnych, ze względu na zawartość w nich pierwiastków metalowych i śladowych, a także innych zanieczyszczeń (geoakumulacja) [Salomonos i in., 1987]. Zanieczyszczenia dodatkowo w akwenu mogą wchodzić w interakcje z gliną, mułem, przylegać do żywych organizmów, wiązać się z organicznym materiałem i osadzać się w osadach na obszarach o niskim natężeniu prądu wody [Favaro i in., 2018, Chapman i in., 1999].

Metale ciężkie dostające się do systemu wodnego w sposób naturalny i wytworzone przez człowieka podczas transportu zostają rozmieszczone w różnych przedziałach wodnych ekosystemu, takie jak woda, osad, fauna i flora [Moore i Ramamoorthy 1984]. Zatem ładunek metali ciężkich ulega różnym zmianom chemicznym, w związku, z czym występuje wysoki stopień zmienności stężeń metalu [Forstner and Wittman 1979; Moore and Ramamoorthy, 1984]. Metale, które są najmniej rozpuszczalne w wodzie adsorbowane i gromadzone w osadach dennych działają, jako zlew [Hakanson 1980]. Na dole w osadach na rozkład metali ciężkich wpływa mineralogiczny i chemiczny skład zawieszoności materiału, wpływy

antropogeniczne i procesy zachodzące in situ takie jak osadzanie, sorpcja, wzbogacanie w organizmach itp. [Forstner i Muller 1975; Jain i in. 2005]. Tak więc w naturalnych warunkach wodnych osady systemowe, zawieszane i osadowe odgrywają istotną rolę w buforowaniu wyższych stężeń metali w wodzie, szczególnie przez adsorpcję i / lub opady [Jain i Ali 2000a, b; Jain 2001; Jain i Sharma 2002; Jain i in. 2004].

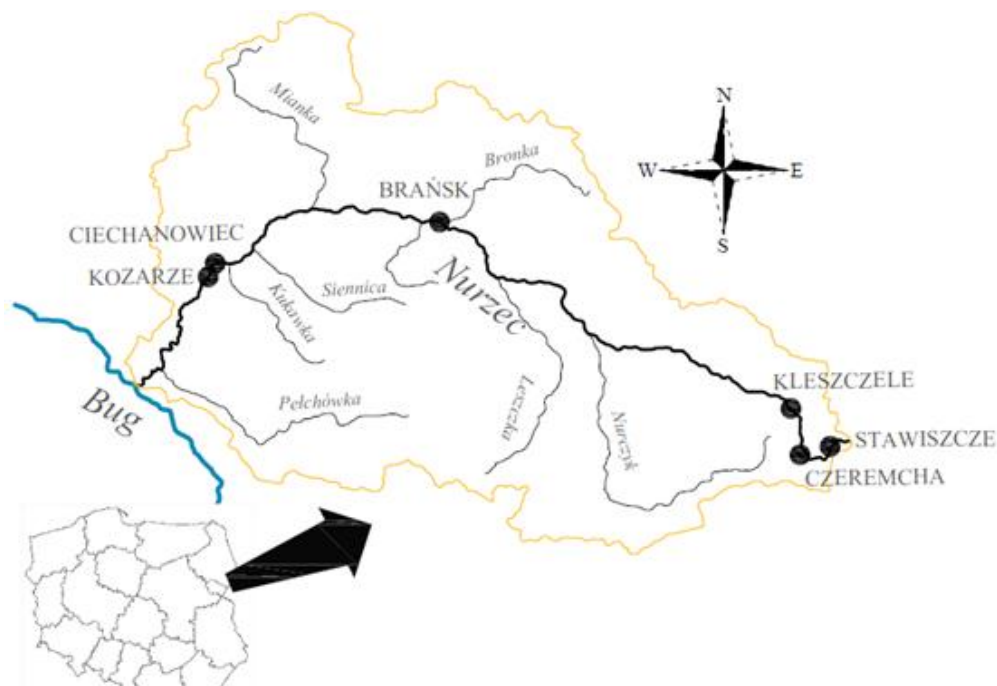
Toksyczność metali ciężkich w wodzie zależy od jego formy, a zatem kwantyfikacja formy metali ma większe znaczenie niż oszacowanie ich całkowitego stężenia [Davidson i in. 1994; Quevauviller i in. 1994; Jain i Ali 2001b; Lima i in., 2001; Jain 2004]. Metale ciężkie pochodzenia antropogenicznego na ogół wprowadzane są do środowiska, jako kompleksy nieorganiczne lub uwodnione jony, które łatwo adsorbują się na powierzchni cząstek osadu poprzez stosunkowo słabe wiązania fizyczne i chemiczne [Jain i in., 2008].

Metale ciężkie wpływające do rzek z różnych źródeł są adsorbowane na zawieszonych cząstkach i w formie wolnych jonów metali i rozpuszczalnych kompleksów chemicznych, które są dostępne do pobrania przez organizmy wodne [Salomony i Forstner 1984]. Wiele toksycznych metali, takich jak arsen, ołów, nikiel, kadm, miedź, rtęć, cynk i chrom obecne w nieoczyszczonych lub rzekomo oczyszczonych ściekach przemysłowych są przenoszone przez rzeki w różnych ilościach [Singare i in. 2011].

## 2. Materiały i metody

Obszar badany to rzeka Nurzec. Rzeka ta przepływa przez 3 powiaty tj.: bielski, hajnowski oraz wysokomazowiecki. Ponadto zlewnie tego ciek jest zaledwie nieznacznie przekształcony, na skutek presji antropogenicznych. Miejscowościami, które w największym stopniu zanieczyszczają badany ciek to: Ciechanowiec, Brańsk, Czeremcha. Badana rzeka Nurzec kwalifikuje się do rzek nizinnych. Ponadto stanowi ona prawostronny dopływ rzeki Bug, IV rzędu. Nurzec swoje źródło ma w miejscowości Stawiszcze i jego całkowita długość ma wartość ok. 100,2 km, a powierzchnia zlewni rzeki Nurzec wynosi ok. 2082,6 km<sup>2</sup> [WIOŚ, 2008; Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Białymstoku, 2012].

W pracy tej analizowano wpływ oczyszczonych ścieków na odbiornik, w tym przypadku rzekę Nurzec. W tym celu badano zawartość niklu w próbkach osadów dennych, które zostały pobrane przed i za zrzutem ścieków oczyszczonych. Na badanej rzece wyznaczono 11 punktów pomiarowo – kontrolnych, z czego 5 punktów zlokalizowane były przed miejscem zrzutu ścieków i 5 za zrzutem ścieków oczyszczonych, a 1 u źródła analizowanego ciek. Punkty pomiarowo - kontrolne umiejscowione były kolejno w miejscowościach: 1 – Stawiszcze (źródło), 2,3 – Czeremcha, 4,5 – Kleszczele, 6,7 – Brańsk, 8,9 – Ciechanowiec, 10,11 – Kozarze. Próbkę osadów dennych pobierano w okresie letnim, w 2018 roku. Punkty pomiarowe zobrazowano na Rys. 1, który został zamieszczony poniżej.



**Rysunek 1. Punkty poboru próbek osadów dennych na rzece Nurzec**

Pierwsza z analizowanych oczyszczalni ścieków zlokalizowana jest najbliżej źródła rzeki Nurzec, tj. w miejscowości Czeremcha, na działce o numerze ewidencyjnym 1632/5. Natomiast kolektor odprowadzających ścieki oczyszczone zakończony jest wylotem do badanej rzeki Nurzec w km 88+00 jej biegu (N: 52°31'37"; E: 23°21'26"). Średni dobowy przepływ oczyszczalni ścieków w Czeremsku wynosi 12,25 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>.

Natomiast na terenie miejscowości Kleszczele funkcjonuje Miejska Oczyszczalnia ścieków, która znajduje się w niedalekiej odległości od rzeki Nurzec, torów PKP oraz ul. Świerczewskiego. Omawiana oczyszczalnia ścieków to kontenerowa oczyszczalnia ścieków typu BOS 100. Średnia dobowa przepustowość oczyszczalni w Kleszczelach osiąga wartość 100 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup> ale w praktyce ilość dopływających ścieków do oczyszczalni wynosi zaledwie ok. 80 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>. Ścieki oczyszczone odprowadzane są do rzeki Nurzec.

Z kolei przepustowość miejskiej mechaniczno-biologiczno-chemicznej oczyszczalni ścieków w Brańsku osiąga wartość 400 m<sup>3</sup>/d. W praktyce jednak ilość dopływających ścieków do oczyszczalni waha się od 350 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup> do 400 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>. Ścieki oczyszczone odprowadzane są do rzeki Nurzec w 46+430 km [Podlaski Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, 2013; Zarząd Miejski w Brańsku, 2003].

Kolejną analizowaną oczyszczalnią ścieków stanowi oczyszczalnia zlokalizowana w miejscowości Ciechanowiec. Przyjmuje ona ścieki ze skanalizowanej części miasta, ścieki przemysłowe z zakładu przetwórstwa mięsnego „Stół Polski” oraz ścieki dowożone z indywidualnych zbiorników bezodpływowych. Ponadto jest to oczyszczalnia mechaniczno – biologiczna oparta na metodzie osadu czynnego. Do oczyszczalni dopływa około 350 m<sup>3</sup> ścieków komunalnych na dobę w okresach suchych tj. bezdeszczowych. Zrzut ścieków oczyszczonych następuje rowem otwartym, który osiąga długość około 100m i kończy się w rzece Nurzec [Urząd Miejski w Ciechanowcu, 2006].

Ostatnia analizowana oczyszczalnia ścieków zlokalizowana jest w Domu Pomocy Społecznej w miejscowości Kozarze. Ilość dopływających ścieków do oczyszczalni wynosi

jedynie ok. 10 - 15 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>. Ścieki oczyszczone podobnie jak w przypadku pozostałych badanych oczyszczalni są odprowadzane do rzeki Nurzec.

Wszystkie próbki osadów dennych zostały pobrane w odległości ok. 40 m od miejsca zrzutu ścieków oczyszczonych (tj. przed i za zrzutem ścieków oczyszczonych) w strefie brzegowej rzeki Nurzec, gdzie zachodzą procesy osadzania oraz akumulacji materiału zawieszono [Bojakowska, 2001]. W celu uzyskania rzeczywistych próbek osadów dennych zmieszano kilka pojedynczych próbek, które zostały pobrane od 5 do 10 cm poniżej zwierciadła wody. Każda z próbek po wymieszaniu osiągnęły masę około 1000 g. Wszystkie takie reprezentatywne próbki osadów zostały wysuszone do stanu „powietrznie suchego” w temperaturze 40°C [Lis i Pasieczna, 1995]. W kolejnym etapie próbki osadów dennych w laboratorium przesiano przez nylonowe sita o różnej średnicy. Jednakże do badań zawartości cynku w osadach rzecznych wykorzystano frakcje o średnicy 200 μm, co w kolejnym etapie pozwoliło na porównanie otrzymanych wyników z wartościami otrzymanymi w ramach monitoringu geochemicznego osadów wodnych Polski. Następnie osady denne zmineralizowano kwasem azotowym i solnym w stosunku objętościowym 3:1 w zamkniętym mikrofalowym systemie CEM [Tarasiuk, 2018], a wszystkie oznaczenia przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Zawartość cynku w osadach dennych oznaczano spektrometrem absorpcji atomowej AAS ICE 3500 ThermoScientific, a otrzymane zawartości Zn zweryfikowano przy pomocy certyfikowanego materiału odniesienia NCS DC 73317a. Następnie przedstawiono je w odniesieniu do powietrznie suchych osadów dennych oraz porównano z danymi literaturowymi [Skorbiowicz i in., 2018].

Zawartości cynku przedstawiono w odniesieniu do powietrznie suchych próbek osadów dennych, a następnie porównano je z danymi literaturowymi. Ponadto przeprowadzono obliczenia indeksu geoakumulacji (Tab. 1), [Müller 1979].

Wartość I<sub>geo</sub> obliczono przy wykorzystaniu następującego równanie (1):

$$I_{geo} = \log_2\left(\frac{C_m}{1,5Bn}\right) \quad (1)$$

gdzie:

C<sub>n</sub> - jest zawartością pierwiastka we frakcji <2 μm osadów,

B<sub>n</sub> - geochemiczną tłową zawartością pierwiastka w skałach ilastych,

zaś 1, 5 – współczynnik uwzględniający zmienność litologiczną zlewni.

**Tabela 1. Klasy wartości indeksu geoakumulacyjnego (I<sub>geo</sub>)**

Klasa	I <sub>geo</sub>	Szacowany poziom zanieczyszczenia
0	I <sub>geo</sub> ≤ 0	osad nieskażony
1	0 < I <sub>geo</sub> ≤ 1	osad słabo zanieczyszczony
2	1 < I <sub>geo</sub> ≤ 2	osad umiarkowanie zanieczyszczony
3	2 < I <sub>geo</sub> ≤ 3	osad średnio zanieczyszczony
4	3 < I <sub>geo</sub> ≤ 4	osad silnie zanieczyszczony
5	4 < I <sub>geo</sub> ≤ 5	osad bardzo silnie zanieczyszczony
6	5 < I <sub>geo</sub> ≤ 6	osad ekstremalnie zanieczyszczony



## 2. Wyniki i dyskusja

Stopień zanieczyszczenia rzeki Nurzec cynkiem zbadano przy wykorzystaniu punktowych źródeł zanieczyszczeń, do których zaliczamy oczyszczalnie ścieków, zlokalizowane w granicach zlewni wspomnianej rzeki Nurzec. Stężenie analizowanego pierwiastka w osadach dennych tego cieką przedstawiono w tabeli (Tab. 2). Zaobserwowano, zależność, że w punktach zlokalizowanych za miejscem zrzutu ścieków oczyszczonych zawartości badanego pierwiastka były wyższe. Jednakże najwyższą koncentrację cynku zaobserwowano w osadach dennych pobranych w punkcie za oczyszczalnią w miejscowości Brańsk gdzie, wyniosła  $49,08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ .

**Tabela 2. Średnie zawartości  $\pm$  odchylenie standardowe Zn [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.] w osadach dennych rzeki Nurzec**

Punkty pomiarowe	Zawartość cynku [ $\text{mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]	
		Zn
<b>Stawiszcze</b>	1	5,01
<b>Czeremcha</b>	przed	2
	za	3
<b>Kleszczele</b>	przed	4
	za	5
<b>Brańsk</b>	przed	6
	za	7
<b>Ciechanowiec</b>	przed	8
	za	9
<b>Kozarze</b>	przed	10
	za	11
Podstawowe dane statystyczne		
<b>Średnia <math>\pm</math> odchylenie standardowe (przed)</b>		11,48 $\pm$ 5,64
<b>Średnia <math>\pm</math> odchylenie standardowe (za)</b>		25,71 $\pm$ 15,08
<b>Mediana</b>		13,11
<b>Min</b>		5,01
<b>Max</b>		49,08
<b>Tło geochemiczne</b>		<b>95<sup>1</sup>, 48<sup>2</sup></b>

<sup>1</sup> wg Turekiana, Wedephol [1961]

<sup>2</sup> wg Bojakowska, Sokołowska [1998]

Wyliczone wartości współczynnika Igeo przedstawiono w tabeli (Tab. 3). Współczynnik Igeo dla cynku w każdym badanym punkcie osiągnął wartość poniżej 0, a więc analizowane próbki osadów dennych, pod względem zawartości w nich cynku zakwalifikowano do klasy 0 (osadów nieskażonych). Uzyskane wartości indeksu Igeo dla badanego pierwiastka (Zn) są niższe od wartości przedstawionych przez Liao [2017], gdzie współczynnik geoakumulacyjny (Igeo) mieścił się w zakresie od -0,61 do 2,55.

**Tabela 3. Wartość współczynnika Igeo**

Punkty pomiarowe			I geo
			Pb
1	Stawiszcze		-4,83
2	Czeremcha	przed	-3,98
3		za	-3,44
4	Kleszczęle	przed	-4,32
5		za	-2,16
6	Brańsk	przed	-2,75
7		za	-1,54
8	Ciechanowiec	przed	-3,62
9		za	-2,77
10	Kozarze	przed	-4,07
11		za	-3,38

Zawartości Zn uzyskane m. in. przez Lis i Piaseczna, [1995], Skorbiłowicz, [2014], Skorbiłowicz i in., [2018], Harguinteguyin i in., [2014], Liu i in., [2009], Samecka-Cymerman, Kempers, [2007], Łojko i in., [2015] są znacznie wyższe od ich zawartości w próbkach osadów dennych, które zostały pobrane z rzeki Nurzec w pobliżu oczyszczalni ścieków. W Tab. 2 przedstawiono zestawienie kilku wyników zawartości cynku w osadach dennych uzyskanych przez innych autorów wraz ze stężeniem Zn otrzymanym w tym badaniu. Najbardziej zbliżone do uzyskanych zawartości Zn stanowiły wyniki przedstawione przez Skorbiłowicz i in., [2018], dla rzeki Bug, dla której rzeka Nurzec stanowi jeden z dopływów.

**Tabela 4. Wyniki średnich zawartości Zn (średnia arytmetyczna ± odchylenie standardowe) w próbkach osadów dennych uzyskanych przez innych autorów**

Obiekt badawczy	Średnia zawartość ± odchyl. standardowe (mg×kg-1)	Literatura
	Zn	
<b>RZEKA NURZEC, POLSKA</b>	17,36±12,47	This study
<b>RZEKI POLSKI</b>	247,00	Lis i Piaseczna, 1995
<b>RZEKA MERIDIONALE, ITALY</b>	9,69±0,38	Bonanno, Guidice, 2010
<b>RZEKA BUG</b>	28,05±10,85	Skorbiłowicz i in., 2018
<b>RZEKA SUQUIA, ARGENTYNA (2006)</b>	171,60±183,10	Harguinteguyin i in., 2014
<b>RZEKA SUQUIA, ARGENTYNA (2009)</b>	82,50±86,80	
<b>RZEKA LUAN, CHINY</b>	75,52±46,21	Liu i in., 2009
<b>RZEKA OŁAWA</b>	41,00±78,90	Łojko i in., 2015
	150,00±172,00	Samecka-Cymerman, Kempers, 2007
<b>RZEKA PIŁAWA</b>	133,00±42,00	

### 3. Wnioski

1. W osadach dennych rzeki Nurzec stwierdzono wyższą zawartość Zn w miejscach zlokalizowanych za zrzutem ścieków oczyszczonych w porównaniu do ich koncentracji przed ich zrzutem. Ponadto w jednym z punktów zlokalizowanych za zrzutem ścieków oczyszczonych w miejscowości Brańsk zaobserwowano przekroczenia wartości tła geochemicznego.
2. Przeprowadzone badania laboratoryjne dotyczące wpływu punktowych źródeł zanieczyszczeń na terenach o niewielkim wpływie antropopresji wykazały, że najwyższe zawartości Zn jest generowana przez oczyszczalnie ścieków w miejscowości Brańsk, a w każdym z punktów, za ujściem ścieków odnotowano zwiększone zawartości analizowanego pierwiastka (Zn).
3. Wykazano również na podstawie klasyfikacji Müllera [1981] zbadane osady denne zostały zakwalifikowane do 0 klasy, czyli osadów nieskażonych.
4. Udowodniono także, że działalność analizowanych oczyszczalni ścieków ma niezaprzeczalny wpływ na zawartość Zn w osadach dennych rzeki Nurzec.

### Bibliografia:

1. Ali MM, Ali ML, Islam MS, Rahman MZ (2016) Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environ Nanotechnol Monit Manag* 5:27–35.
2. Alves RIS, Sampaio CF, Nadal M, Schuhmaker M, Domingo JL, Segura-Munoz SI (2014) Metal concentrations in surface water and sediments from Pardo River, Brazil: human health risks. *Environ Res* 133:149–155
3. Arslan, N., Koç, B., i Çiçek, A., Metal contents in water, sediment, and Oligochaeta-chironomidae of lake Uluabat, a Ramsar Site of Turkey, *Sci. World J.*, 2010, no. 10, pp. 1269–1281.
4. Bai JH, Xiao R, Zhang KJ, Gao HF (2012) Arsenic and heavy metal pollution in wetland soils from tidal freshwater and salt marshes before and after the flow-sediment regulation regime in the Yellow River Delta China. *J Hydrol* 450–451:244–253.
5. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej w Białymstoku, 2012. Plan zadań ochronnych obszaru Natura 2000. Dolina Górnego Nurca PLB200004
6. Bojakowska I., Sokołowska G., 1998. Charakterystyka geochemiczna aluwii głównych rzek Polski, *Przegląd Geologiczny*, 1, p. 16-20.
7. Bojakowska I., (2001). Kryteria oceny zanieczyszczenia osadów wodnych. *Przegląd Geologiczny*, 49, 3, p. 213-218.
8. Chapman PM, Wang F, Adams WJ, Green A (1999) Appropriate applications of Sediment Quality Values for metals and metalloids. *Environ Sci Technol* 33(22):3937–3941
9. Davidson, C. M., Thomas, R. P., McVey, S. E., Perala, R., Littlejohn, D., & Ure, A. M. (1994). Evaluation of sequential extraction procedure for the speciation of heavy metals in sediments. *Analytica Chimica Acta*, 291, 186–277.
10. Dauval'ter, V.A. i Kashulin, N.A., Impact of mining and metallurgical enterprises of the chemical composition of bottom sediments of Lake Imandra, Murmansk oblast, *Biosfera*, 2015, vol. 7, no. 3, pp. 295–314.

11. Dauval'ter, V.A., Kashulin, N.A., and Denisov, D.B., Trends in the changes in the content of heavy metals in the sediments of lakes in the north of Fennoscandia in the last centuries, *Tr. KarNTs RAN*, 2015, no. 9, pp. 62–75.
12. Favaro D.I.T., Rocha F. R., Angelini M., Henriques H. R. A., Soares J. S., Silva P. S. C., Oliveira S. M. B., Metal and trace element assessments of bottom sediments from medium Tiete River basin, Sao Paulo State, Brazil: part II. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* (2018) 316:805–818.
13. Förstner, U., Sediment-associated contaminants—an overview of scientific bases for developing remedial options, *Hydrobiologia*, 1987, vol. 149, pp. 221–246.
14. Forstner, W., & Muller, G. (1975). Factors controlling the distribution of minor and trace elements (heavy metals V, Li, Sr) in recent lacustrine sediments, *Resumes des Publications IX Congress Intl. De Sedimentologie, Nice, Theme II*, p.6.
15. Förstner, U., & Wittman, G. T. W. (1983). *Metal pollution in aquatic environment* (484 pp). Berlin, Heidelberg New York: Springer.
16. Golovanova, I.L., Filippov, A.A., and Chuiko, G.M., Effects of heavy metals (Cu and Zn) on digestive glycosidases in benthivorous fish of areas of Rybinsk Reservoir differing in anthropogenic loads, *Inland Water Biol.*, 2014, vol. 7, no. 3, pp. 286–293.
17. Gupta SK, Vollmer MK, Krebs R (1996) The importance of mobile, mobilisable and pseudo total heavy metal fractions in soil for three-level risk assessment and risk management. *Sci Total Environ* 178:11–20.
18. Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975–1001.
19. Harguinteguy C.A., Schreiber R., Pignata M.L., 2013. *Myriophyllum aquaticum* as a biomonitor of water heavy metal input related to agricultural activities in the Xanaes River (Cordoba, Argentina). *Ecological Indicators* 27, 8–16.
20. Hosono, T., Alvarez, K., i Kuwae, M., Lead isotope ratios in six lake sediment cores from Japan Archipelago: historical record of trans-boundary pollution sources, *Sci. Total Environ.*, 2016, vol. 559, pp. 24–37.
21. Hua Z, Yinghui J, Tao Y, Min W, Guangxun S, Mingjun D (2016) Heavy metal concentrations and risk assessment of sediments and surface water of the Gan river, China. *Pol J Environ Stud* 25(4):1529–1540.
22. Islam MS, Ahmed MK, Raznuzzaman M, Habibullah-Al-Mamun Islam MK (2015) Heavy metal pollution n surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecol Ind* 48:282–291.
23. Jain, C. K., & Ali, I. (2000a). Adsorption of cadmium on riverine sediments: Quantitative treatment of the large particles. *Hydrological Processes*, 14, 261–270. Jain, C. K., & Ali, I. (2000b). Arsenic: Occurrence, toxicity and speciation techniques. *Water Research*, 34(17), 4304–4312.
24. Jain, C. K., & Sharma, M. K. (2002). Adsorption of cadmium on bed sediments of river Hindon: Adsorption models and kinetics. *Water, Air and Soil Pollution*, 137, 1–19.
25. Jain, C. K., Singhal, D. C., & Sharma, M. K. (2004). Adsorption of zinc on bed sediment of River Hindon: Absorption models and kinetics. *Journal of Hazardous Materials*, B114, 231–239.

26. Jain, C. K. (2004). Metal fraction study on bed sediments of River Yamuna, India. *Water Research*, 38, 569–578.
27. Jain, C. K., Singhal, D. C., & Sharma, M. K. (2005). Metal pollution assessment of sediment and water in the river Hindo, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105, 193–207.
28. Jain C. K., Gupta H., Chakrapani G. J., 2008. Enrichment and fractionation of heavy metals in bed sediments of River Narmada, India. *Environ Monit Assess* (2008) 141:35–47.
29. Klishko, O.K., Avdeev, D.V., Zazulina, V.E., and Borzenko, S.V., The role of chironomids (Diptera, Chironomidae) in the biological migration of chemical elements in the ecosystem of anthropogenic water bodies, in *Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova* (V.Ya. Levanidov Memorial Lectures), Vladivostok: Dal'nauka, 2005, vol. 3, pp. 360–367.
30. Lima, M. C., Giacomelli, M. B. O., Stupp, V., Roberge, F. D., & Barrera, P. B. (2001). Speciation analysis of copper and lead in Tubaco River sediments using the Tessier sequential extraction procedure. *Quimica Nova*, 24, 734–742.
31. Lis J., Pasieczna A., (1995). *Atlas geochemiczny Polski w skali 1: 2 500 000*, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
32. Liu X, Wu J, Xu J. Characterizing the risk assessment of heavy metals and sampling uncertainty analysis in paddy field by geostatistics and GIS. *Environmental Pollution* 2006; 141: 257-264.
33. Łojko, Polechońska, Klink, Kosiba, (2015). Trace metal concentrations and their transfer from sediment to leaves of four common aquatic macrophytes. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22:15123–15131.
34. Mikulski J.: *Biologia wód śródlądowych*. PWN, Warszawa 1982.
35. Moore, J. W., & Ramamoorthy, S. (1984). *Heavy metals in natural waters, Applied monitoring and impact assessment*. New York: Springer.
36. Müller, G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins, *Veränderungen Seit 1971 Umschau*, 79 (24), 778-783.
37. Paul D (2017) Research on heavy metal pollution of river Ganga: a review. *Ann Agrar Sci* 15:278–286.
38. Podlaski Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, 2013. Protokół Kontroli Nr WIOŚ – BL 235/2013.
39. Quevauviller, P., Rauret, G., Muntau, H., Ure, A. M., Rubio, R., & Lopez-Sanchez, J. F. (1994). Evaluation of a sequential extraction procedure for the determination of extractable trace metal contents in sediments. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 349, 808–814.
40. Salomons W, Rooij NM, Kerdijk H, Bril J (1987) Sediments as a source for contaminants? *Hydrobiologia* 149:13–30.
41. Salomons, W., & Forstner, U. (1980). Trace metal analysis on polluted sediments. Part II: Evaluation of environmental impact. *Environmental Technology Letters*, 506–517.
42. Samecka – Cymerman A., Kempers A.J., 2007. Heavy Metals in Aquatic Macrophytes from Two Small Rivers Polluted by Urban, Agricultural and Textile Industry Sewages SW

- Poland Arch. Environ. Contam. Toxicol. 53, 198–206 (2007) DOI: 10.1007/s00244-006-0059-6
43. Singare PU, Lokhande RS, Jagtap AG (2011) Water pollution by discharge effluents from Gove Industrial Area of Maharashtra India: dispersion of heavy metals and their Toxic effects. *Int J Global Environ Issues* 11(01):28–36.
  44. Skorbiłowicz M., Skorbiłowicz E., Tarasiuk U., Falkowska M., 2018. Studies of heavy metal content in bottom sediments and aquatic plants near treated wastewater discharge. *Geology, Geophysics & Environment* ISSN 2299-8004 e-ISSN 2353-0790. Vol. 43, nr 4, s. 311-325.
  45. Slukovskia Z. I., Polyakova T., N., 2015. Analysis of Accumulation of Heavy Metals from River Bottom Sediments of the Urban Environment in the Bodies of Oligochaetes. *Inland Water Biology*, 2017, Vol. 10, No. 3, pp. 315–322.
  46. *Urban Ecology: an International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature*, New York: Springer, 2008.
  47. Urząd Gminy Kleszczele, Kleszczele (2008). Plan Rozwoju Lokalnego Gminy Kleszczele na lata 2008-2013, s. 13- 14.
  48. Urząd Miejski w Ciechanowcu, 2006. Plan Rozwoju Lokalnego Gminy Ciechanowiec
  49. WIOŚ Białystok, Białystok (2010). Informacja Podlaskiego Wojewódzkiego Inspektora Ochrony Środowiska w Białymstoku o stanie środowiska na terenie powiatu siemiatyckiego, s. 14- 15.
  50. Woelfl, S., Mages, M., Óvári, M., and Geller, W., Determination of heavy metals in macrozoobenthos from the rivers Tisza and Szamos by total reflection X-ray fluorescence spectrometry, *Spectrochim. Acta, Part A*, 2006, vol. 61, pp.

## 16. PRZEGLĄD STRUKTUR KRystalicznych ORAZ ANALIZA ODDZIAŁYWAŃ WYSTĘPUJĄCYCH W KRYSZTAŁACH ZAWIERAJĄCYCH DIKLOFENAK I JEGO POCHODNE

**Artur Mirocki, Artur Sikorski**

Uniwersytet Gdański

Wydział Chemii

Katedra Chemii Fizycznej

Zakład Krystalochemii

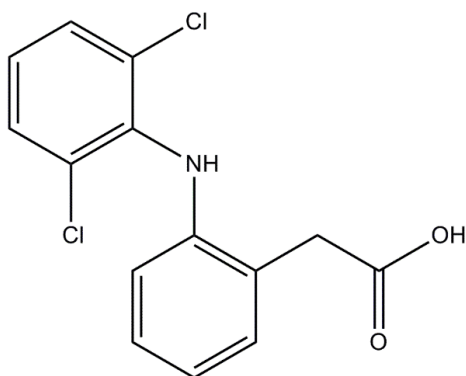
ul. Wita Stwosza 63, 80-308 Gdańsk

E-mail: arturmirocki@phdstud.ug.edu.pl

**Streszczenie:** Diklofenak to powszechnie stosowany lek przeciwzapalny. Od momentu odkrycia przeprowadzono wiele badań mających na celu poznanie właściwości fizykochemicznych tego związku oraz jego pochodnych – w tym ich struktury krystalicznej. W krystalograficznej bazie związków organicznych (CSD) znajdują się 81 struktur zawierających diklofenak i jego pochodne. Szerokie zainteresowanie tą grupą związków wynika z rozwoju inżynierii krystalicznej, która stwarza możliwości otrzymywania nowych form leków o ulepszonych właściwościach. W niniejszym artykule omówione zostały struktury krystaliczne diklofenaku oraz jedno- i wieloskładnikowych kryształów zawierających diklofenak lub jego pochodne.

### 1. Wstęp

Diklofenak (nazwa IUPAC: kwas o-N-(2,6-dichlorofenylo)aminofenylooctowy) należy do niesteroidowych leków przeciwzapalnych (NLPZ) i przeciwbólowych [Zhang, Geißen, Gal, 2008](Rys. 1). Oprócz tego że ma działanie przeciwbólowe i przeciwzapalne, lek ten jest stosowany przy bolesnych stanach reumatycznych oraz wykazuje skuteczne działanie w przypadku kolki nerkowej. Ma stosunkowo krótki czas półtrwania w fazie eliminacji, dzięki czemu ograniczona jest możliwość kumulacji tego związku w organizmie. W porównaniu do innych NLPZ jest dobrze tolerowany i rzadko powoduje efekty nieporządne, na przykład owrzodzenia przewodu pokarmowego (w zależności od dawki). Nie powinien być jednak stosowany u osób z chorobami nerek, czy wątroby. Diklofenak uznaje się jako jeden z nielicznych NLPZ leków „pierwszego wyboru” (ang. „first choice”) w leczeniu ostrych i przewlekłych stanów bólowych i zapalnych [Todd, Sorkin, 1988].



Rysunek 1. Wzór strukturalny diklofenaku

Diklofenak został po raz pierwszy zsyntetyzowany przez Alfreda Sallmann i Rudolfa Pfister, a na rynek farmaceutyczny wprowadziło go jako pierwsze szwajcarskie przedsiębiorstwo Ciba-Geigy (obecnie Novartis AG) w 1973 roku pod nazwą Voltaren [Altman, Bosch, Brune, Patrignani, Young, 2015].

**Tabela 1. Wybrane właściwości fizykochemiczne diklofenaku**

Wzór sumaryczny	$C_{14}H_{11}Cl_2NO_2$
Masa cząsteczkowa	296,16
Stan skupienia	ciało stałe
Temperatura topnienia	156-158°C
Rozpuszczalność w wodzie	237 mg/litr
pK <sub>a</sub>	4,15

## 2. Opis zagadnienia

Jednym ze współcześnie, dynamicznie rozwijających się nurtów krystalochemii jest inżynieria krystaliczna. Jej ideą jest poznanie i zrozumienie oddziaływań występujących w kryształach związków i wykorzystanie tej wiedzy do projektowania nowych związków. Możliwości zastosowania tej wiedzy są ogromne, mając na uwadze projektowanie nowych materiałów w elektronice, nowych technologiach, czy medycynie. W tym ostatnim przypadku, możliwe jest uzyskiwanie nowych form leków o ulepszonych właściwościach, których koszt i czas syntezy będzie mniejszy, a rozpuszczalność, szybkość działania, czy wchłanianie lepsze od innych, znanych form farmaceutyków [Illum, 1998; Jivraj, Martini, Thomson, 2000; Pilcer, Amighi, 2010]

Baza CSD (Cambridge Structural Database) jest jedną z krystalograficznych baz danych, w której są gromadzone dane z eksperymentów przeprowadzonych metodą rentgenowskiej analizy strukturalnej monokryształów oraz proszków. Zawiera ona dane krystalograficzne dla ponad miliona związków organicznych i kompleksów organiczno-nieorganicznych. Z analizy bazy CSD (CSD wersja: 5.41, aktualizacja: marzec 2020) wynika, iż zostało w niej zdeponowanych 81 organicznych struktur kryształów zawierających diklofenak i jego pochodne, z czego 59 struktur to związki zawierające diklofenak w formie cząsteczkowej lub zjonizowanej, zaś 22 struktury to pochodne diklofenaku.

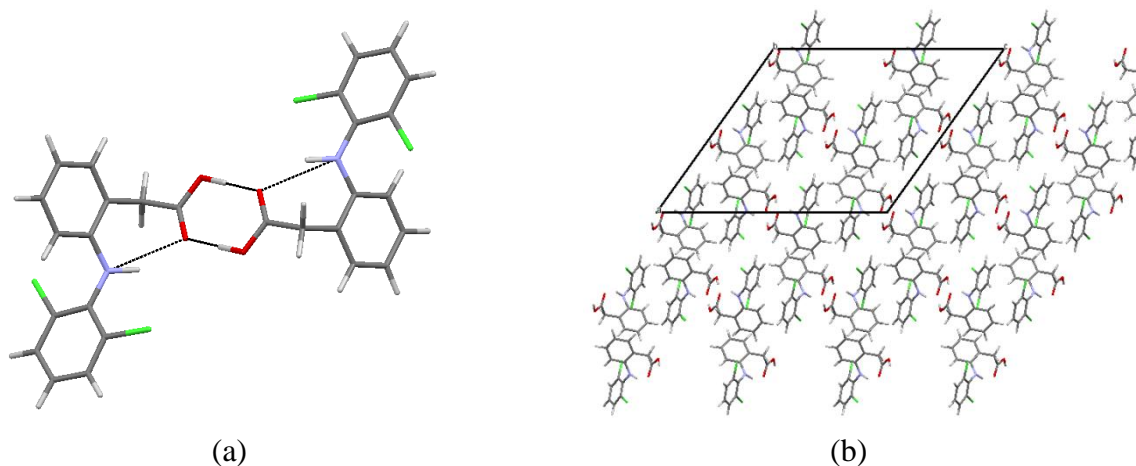
W niniejszym artykule przedstawione zostały wyniki badań przeprowadzonych metodą rentgenowskiej analizy strukturalnej monokryształów wybranych jednoskładnikowych oraz wieloskładnikowych kryształów (hydratów, kokryształów, soli) zawierających diklofenak oraz jego pochodne, a także analiza oddziaływań występujących w kryształach tych związków.

## 3. Przegląd wybranych struktur krystalicznych zawierających diklofenak i jego pochodne

W 1990 roku P. Moser, A. Sallmann oraz I. Wiesenberg opisali sposoby syntezy oraz właściwości fizykochemiczne diklofenaku oraz jego 36 pochodnych [Moser, Sallmann, Wiesenberg, 1990]. Z przeprowadzonych przez nich badań metodą rentgenowskiej analizy strukturalnej monokryształów wynika, iż diklofenak (REFCODE: SIKLIH) krystalizuje w jednoskośnej grupie przestrzennej  $C2/c$ . W cząsteczce diklofenaku kąt dwuścienny między

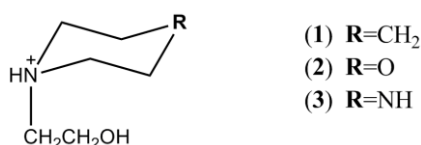


pierścieniami aromatycznymi wynosi  $69,4^\circ$ , a w sieci krystalicznej związku cząsteczki diklofenaku tworzą dimery poprzez międzycząsteczkowe wiązania wodorowe  $O-H\cdots O$  pomiędzy grupami karboksylowymi tworzące pierścień, stabilizowane poprzez wewnątrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe  $N-H\cdots O$  pomiędzy grupą karboksylową, a atomem azotu łączącym pierścienie aromatyczne, a w upakowaniu związku ważną rolę pełnią oddziaływania z udziałem elektronów  $\pi$  aromatycznych pierścieni (Rys. 2).



**Rysunek 2. Struktura krystaliczna diklofenaku (wiązania wodorowe zaznaczone czarnymi przerywanymi liniami) (a) oraz widok komórki elementarnej związku wzdłuż kierunku b (b)**

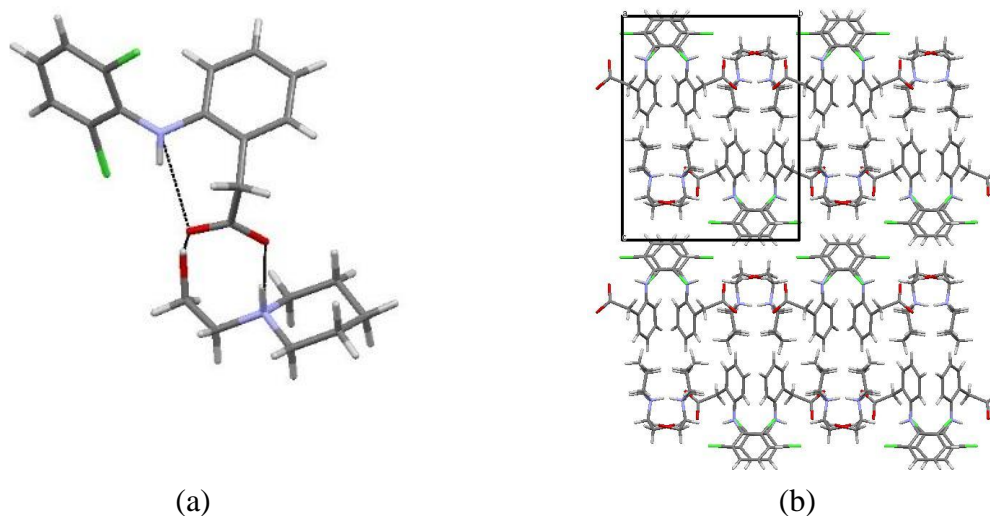
W 1996 roku C. Castellari oraz P. Sabatino otrzymali trzy interesujące sole diklofenaku z: N-(2-hydroksyetylo)piperydyną (**1**) (REFCODE: WIRREU), N-(2-hydroksyetylo)morfoliną (**2**) (REFCODE: WIRRIY) i N-(2-hydroksyetylo)piperazyną (**3**) (REFCODE: WIRROE) [Castellari, Sabatino, 1996]. Wszystkie trzy sole krystalizują w jednoskośnej grupie przestrzennej  $P2_1/a$  i są izostrukturalne, a różnice w budowie mają wpływ na ich rozpuszczalność. W strukturze soli pierwszej kąt dwuścienny między pierścieniami aromatycznymi wynosi  $66,8^\circ$ , soli drugiej  $68,3^\circ$ , zaś w trzecim przypadku kąt ten równy jest  $66,8^\circ$ . W sieciach krystalicznych badanych związków występują silne wiązania wodorowe  $N^+-H\cdots O^-$  i  $O-H\cdots O$ , oraz słabe wiązania wodorowe  $C-H\cdots O$ ,  $C-H\cdots Cl$ . Z przeprowadzonych badań wynika, że czynnikiem wpływającym na rozpuszczalność jest obecność różnych podstawników (**R**) przy atomie azotu w kationie (Rys. 3).



**Rysunek 3. Wzór strukturalny kationów występujący w strukturach wieloskładnikowych kryształów diklofenaku z zasadami azotowymi opisanych przez C. Castellario oraz P. Sabatino**

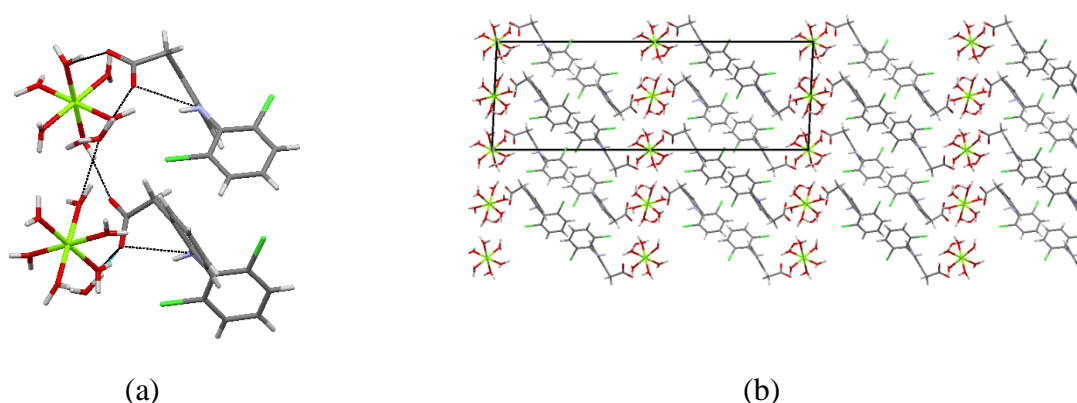
Podstawienie tlenu (struktura **2**) lub grupy  $-NH$  (struktura **3**) powoduje powstawanie dodatkowych wiązań wodorowych. W konsekwencji rozpuszczalność w wodzie związków

maleje w następującej kolejności:  $2 > 3 > 1$ , co koreluje z aktywnością tych pochodnych (Rys. 4).



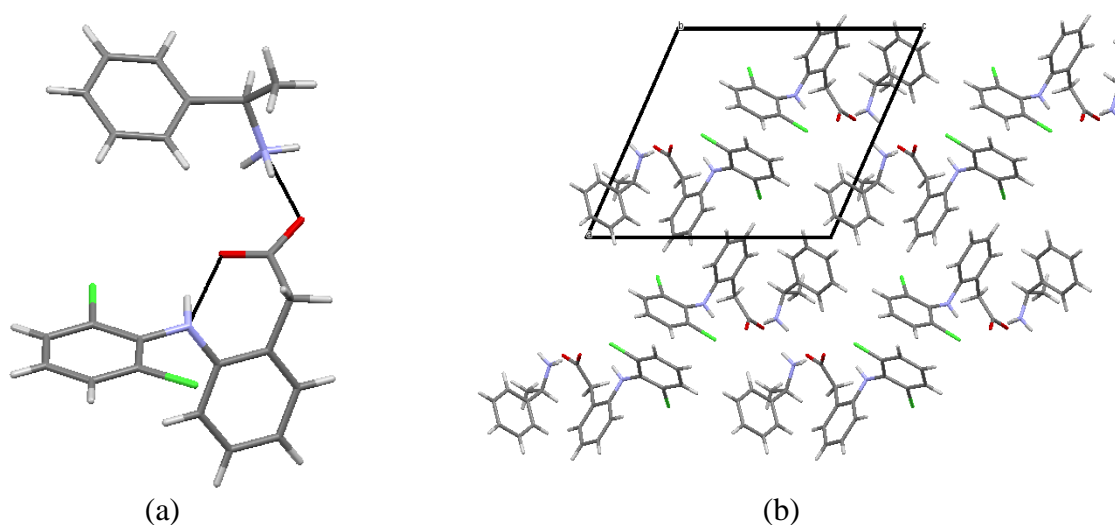
**Rysunek 4. Struktura krystaliczna diklofenaku z N-(2-hydroksyetylo)piperydyną (wiązania wodorowe zaznaczone czarnymi przerywanymi liniami) (a) oraz widok komórki elementarnej związku wzdłuż kierunku a (b)**

W 1999 roku C. Castellari, F. Comelli oraz S. Ottani otrzymali dihydrat heksa-akwa-magnezu bis(diklofenaku) (REFCODE: GOLPIG) [Castellari, Comelli, Ottani 1999]. W kryształach badanego związku część asymetryczną stanowią dwa centrosymetryczne kationy heksa-akwa-magnezu, dwie cząsteczki wody oraz dwa aniony diklofenaku, a związek ten krystalizuje w jednoskośnej grupie przestrzennej  $P2_1/c$ . W strukturze badanej soli kąt dwuścienny między pierścieniami aromatycznymi w anionie diklofenaku wynosi  $66,8^\circ$ . Struktura krystaliczna soli jest stabilizowana poprzez wiązania wodorowe  $O-H \cdots O$  pomiędzy cząsteczkami wody, a anionem diklofenaku oraz wiązania wodorowe  $N-H \cdots O$  pomiędzy anionami diklofenaku, a cząsteczkami wody (Rys. 5).



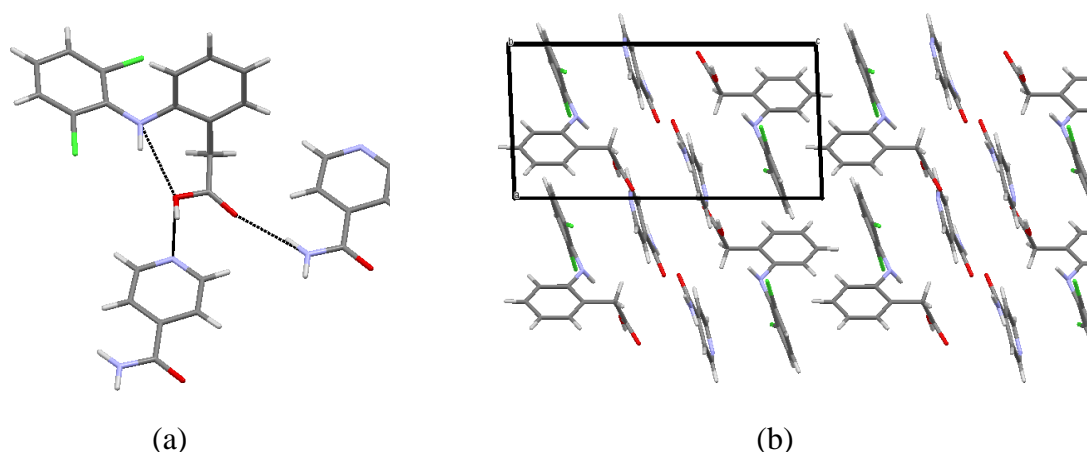
**Rysunek 5. Struktura krystaliczna dihydratu heksa-akwa-magnezu bis(diklofenaku) (wiązania wodorowe zaznaczone czarnymi przerywanymi liniami) (a) oraz widok komórki elementarnej związku wzdłuż kierunku b (b)**

A. Lemmerer i inni w roku 2010 otrzymali sól diklofenaku oraz 1-fenloetyloaminy (REFCODE: VAKVIO) [Lemmerer i in., 2010]. Związek ten krystalizuje w jednoskośnej grupie przestrzennej  $P2_1$ , zawiera jeden kation i anion w części asymetrycznej, a kąt dwuścienny między pierścieniami aromatycznymi w anionie diklofenaku wynosi  $77,8^\circ$ . W sieci krystalicznej związku występuje wiązanie wodorowe  $N^+-H\cdots O^-$  wspomagane ładunkiem pomiędzy tlenem z grupy karboksylowej diklofenaku, a dodatnio naładowaną grupą  $-NH_3^+$  anionu 1-fenloetyloaminy oraz wewnątrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe  $N-H\cdots O$  w kationie diklofenaku. W sieci krystalicznej związku są obecne oddziaływania  $C-H\cdots\pi$  pomiędzy pierścieniami aromatycznymi kationów diklofenaku (Rys. 6).



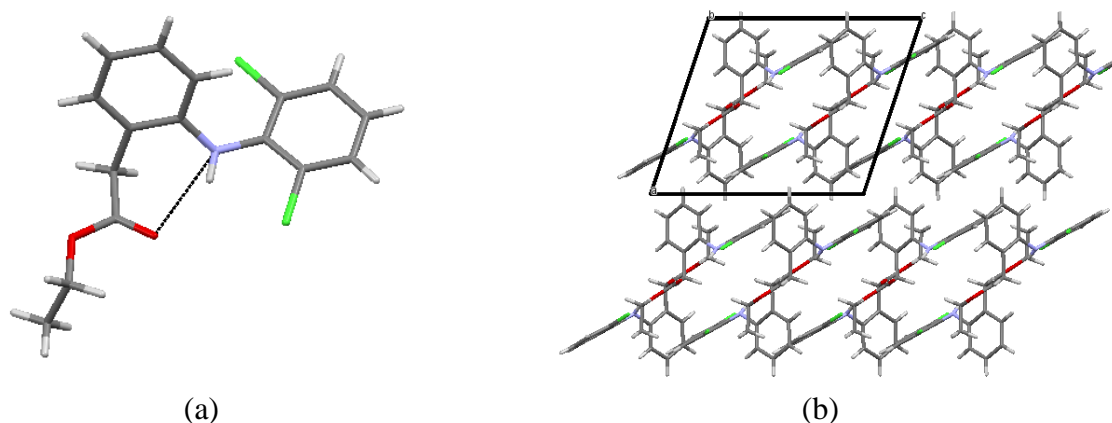
**Rysunek 6. Struktura krystaliczna 1-fenloetyloaminy z diklofenakiem (wiązania wodorowe zaznaczone czarnymi przerywanymi liniami) (a) oraz widok komórki elementarnej związku wzdłuż kierunku  $b$  (b)**

W 2011 N. Bathori i inni zsyntetyzowali i otrzymali dwuskładnikowy kokryształ izonikotynoamidu (witamina B3) i diklofenaku (REFCODE: UMUZAE) [Báthori, Lemmerer, Venter, Bourne, Caira, 2011]. Otrzymany związek krystalizuje w trójskośnej grupie przestrzennej  $P-1$ , a kąt dwuścienny między pierścieniami aromatycznymi wynosi  $75,3^\circ$ . W kryształ badanego związku, w cząsteczce diklofenaku występuje wewnątrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe  $N-H\cdots O$ , a między koformerami – wiązanie wodorowe  $O-H\cdots N$  między sprotonowanym tlenem grupy karboksylowej diklofenaku, a endocyklicznym atomem azotu izonikotynoamidu. Drugi atom tlenu grupy karboksylowej cząsteczki diklofenaku oddziałuje za pośrednictwem wiązania wodorowego  $N-H\cdots O$  z grupą aminową  $-NH_2$  nikotynoamidu. W sieci krystalicznej badanego związku występują oddziaływania  $C-H\cdots\pi$  pomiędzy pierścieniami aromatycznymi sąsiadujących cząsteczek diklofenaku oraz oddziaływania  $\pi\cdots\pi$  z udziałem pierścieni aromatycznych diklofenaku oraz nikotynamidu (Rys. 7).



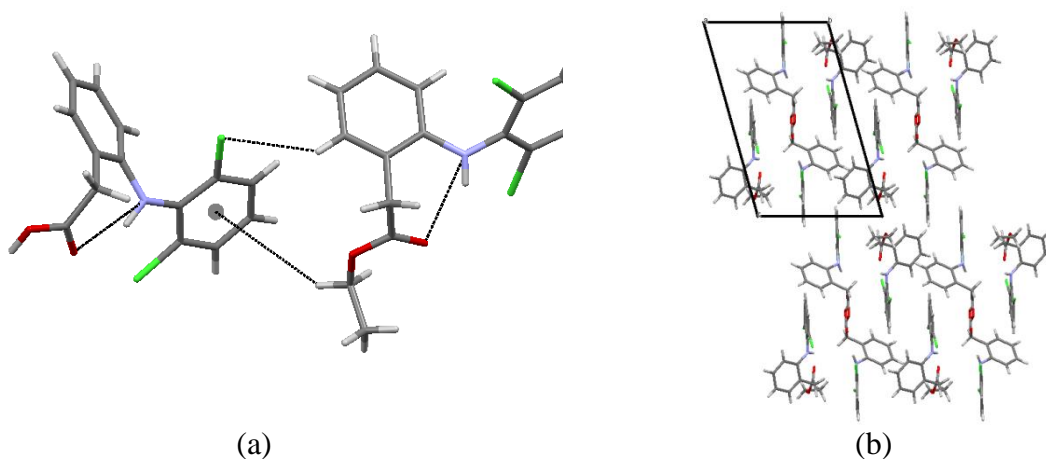
**Rysunek 7. Struktura krystaliczna diklofenaku z izonikotynoamidem (wiązania wodorowe zaznaczone czarnymi przerywanymi liniami) (a) oraz widok komórki elementarnej związku wzdłuż kierunku *b* (b)**

W roku 2019 I. Nugrahani i inni otrzymali dwie interesujące pochodne diklofenaku. Pierwsza z nich to etylowy ester diklofenaku (REFCODE: DUBWAB), druga natomiast to dwuskładnikowy kokryształ zawierający cząsteczkę diklofenaku i cząsteczkę etylowego estru diklofenaku (REFCODE: DUBWEF) [Nugrahani i in., 2019]. Pierwszy związek krystalizuje w jednoskośnej grupie przestrzennej  $P2_1/c$ , a kąt dwuścienny między pierścieniami aromatycznymi cząsteczki związku wynosi  $67,4^\circ$ . Drugi związek krystalizuje w trójskośnej grupie przestrzennej  $P-1$ , z jedną cząsteczką diklofenaku i jedną cząsteczką etylowego estru w części asymetrycznej komórki elementarnej. W kryształach tego związku, kąt dwuścienny między pierścieniami aromatycznymi wynosi  $66,7^\circ$  oraz  $63,9^\circ$ , odpowiednio w cząsteczce diklofenaku oraz estru diklofenaku. Analizując oddziaływania występujące w strukturach krystalicznych badanych związków można zauważyć, że w przypadku pierwszej struktury występuje wewnątrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe  $N-H\cdots O$ , pomiędzy atomem azotu, a tlenem grupy estrowej, a w sieci krystalicznej występują oddziaływania  $Cl\cdots O$  i  $C-H\cdots\pi$  oraz słabe wiązania wodorowe  $C-H\cdots O$  pomiędzy cząsteczkami etylowego estru diklofenaku (Rys. 8).



**Rysunek 8. Struktura krystaliczna etylowego estru diklofenaku (wiązania wodorowe zaznaczone czarnymi przerywanymi liniami) (a) oraz widok komórki elementarnej związku wzdłuż kierunku *b* (b)**

W kryształach drugiego związku również występuje wewnątrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe N–H $\cdots$ O pomiędzy atomem azotu, a atomem tlenu grupy karboksylowej. Oprócz tego cząsteczki diklofenaku i estru oddziałują poprzez wiązanie wodorowe O–H $\cdots$ O tworząc dimer – analogicznie jak w wyżej opisanej strukturze diklofenaku (patrz [Moser i in., 1990], (REFCODE: SIKLIH)). W sieci krystalicznej badanego związku występują oddziaływania Cl $\cdots$ O łączące ze sobą cząsteczki estru oraz wiązania wodorowe C–H $\cdots$ Cl oraz oddziaływania C–H $\cdots$  $\pi$  między cząsteczkami diklofenaku i jego estru (Rys. 9).



**Rysunek 9. Struktura krystaliczna kokryształu diklofenaku i etylowego estru diklofenaku (wiązania wodorowe zaznaczone czarnymi przerywanymi liniami) (a) oraz widok komórki elementarnej związku wzdłuż kierunku *a* (b)**

#### 4. Podsumowanie

W niniejszym artykule został przedstawiony przegląd krystalograficznej bazy CSD wybranych struktur krystalicznych diklofenaku i jego pochodnych wraz z analizą oddziaływań wewnątrz i międzycząsteczkowych. Z przeprowadzonych badań wynika, iż kąt skręcenia między pierścieniami aromatycznymi w cząsteczce/anionie diklofenaku, może mieć

wpływ na zmianę jego właściwości fizykochemicznych (np. rozpuszczalność). We wszystkich opisanych strukturach występuje wewnątrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe N–H···O. Warto zwrócić uwagę, że to samo wiązanie występuje również w wieloskładnikowych kryształach powstających z udziałem diklofenaku (solach, hydratach oraz kokryształach). W kryształach diklofenaku cząsteczki tworzą dimery poprzez wiązanie wodorowe O–H···O. W obecności zasad azotowych powstają kokryształy lub sole, w kryształach których kationy zasady oraz aniony diklofenaku oddziałują odpowiednio poprzez wiązanie wodorowe O–H···N lub wspomagane ładunkiem wiązanie wodorowe N<sup>+</sup>–H···O<sup>-</sup>. W zależności od budowy cząsteczki/anionu, obecnych w wieloskładnikowych kryształach diklofenaku występują również inne oddziaływania to (m.in. C–H···O, C–H···Cl, C–H···π, π···π), które pełnią kluczową rolę w ich upakowaniu w sieciach krystalicznych. Znajomość oddziaływań występujących w kryształach z udziałem diklofenaku jest ważna nie tylko z poznawczego punktu widzenia, ale również stanowi przesłankę do otrzymywania nowych, ulepszonych form tego leku – mając na uwadze jego właściwości farmakokinetyczne i farmakodynamiczne.

### **Bibliografia:**

1. Zhang, Y., Geißen, S.-U., Gal, C.; 2008; Carbamazepine and diclofenac: Removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies; s. 1151-1161; *Chemosphere*, 73 (8).
2. Todd, P.A., Sorkin, E.M.; 1988; Diclofenac Sodium: A Reappraisal of its Pharmacodynamic and Pharmacokinetic Properties, and Therapeutic Efficacy; s. 244-285; *Drugs*, 35 (3).
3. Altman, R., Bosch, B., Brune, K., Patrignani, P., Young, C.; 2015; Advances in NSAID development: Evolution of diclofenac products using pharmaceutical technology; s. 859-877; *Drugs*, 75 (8).
4. Chemodex, <https://www.chemodex.com/products/diclofenac-acid/> (25.05.2020).
5. Illum, L., 1998; Chitosan and its use as a pharmaceutical excipient; s. 1326-1331; *Pharmaceutical Research* (15).
6. Jivraj, M., Martini, L.G., Thomson, C.M., 2000; An overview of the different excipients useful for the direct compression of tablets; s. 58-63; *Pharmaceutical Science & Technology Today* (3).
7. Pilcer, G., Amighi, K.; 2010; Formulation strategy and use of excipients in pulmonary drug delivery; s.392; *International Journal of Pharmaceutics*.
8. Moser, P., Sallmann, A., Wiesenberg, I.; 1990; Synthesis and Quantitative Structure-Activity Relationships of Diclofenac Analogues; s. 2358-2368; *Journal of Medicinal Chemistry*, 33 (9).
9. Castellari, C., Sabatino P.; 1996; Anti-Inflammatory Drugs. III. Salts of Diclofenac with N-(2-Hydroxyethyl) piperidine, N-(2-Hydroxyethyl) morpholine and N-(2-Hydroxyethyl) piperazine; s. 1708-1712; *Acta Crystallographica Section C: Crystal Structure Communications*, 52 (7).
10. Castellari, C., Comelli, F., Ottani, S.; 1999; A hydrated diclofenac salt of the hexaaquamagnesium ion; s. 1054-1056; *Acta Crystallographica Section C: Crystal Structure Communications*, 55 (7).

11. Lemmerer, A., Bourne, S.A., Caira, M.R., Cotton, J., Hendricks, U., Peinke, L.C., Trollope, L.; 2010; Incorporating active pharmaceutical ingredients into a molecular salt using a chiral counterion; s. 3634-3641; *CrystEngComm*, 12 (11).
12. Báthori, N.B., Lemmerer, A., Venter, G.A., Bourne, S.A., Caira, M.R.; 2011; Pharmaceutical Co-crystals with isonicotinamide-vitamin B3, clofibric acid, and diclofenac-and two isonicotinamide hydrates; s. 75-87; *Crystal Growth and Design*, 11 (1).
13. Nugrahani, I., Utami, D., Nugraha, Y.P., Uekusa, H., Hasianna, R., Darusman, A.A.; 2019; Cocrystal construction between the ethyl ester with parent drug of diclofenac: structural, stability, and anti-inflammatory study; artykuł nr. e02946; *Heliyon*, 5 (12).

## 17. IMINOWE KOMPLEKSY JONÓW METALI PRZEJŚCIOWYCH – ZWIĄZKI O SZEROKIM SPEKTRUM AKTYWNOŚCI BIOLOGICZNEJ I FARMAKOLOGICZNEJ

**Ewelina Żmuda**

E-mail: e.zmuda@onet.pl

**Bartłomiej Sawicz**

E-mail: bartlomiej.sawicz@wp.pl

### 1. Wstęp

Kompleksy metali przejściowych z bioaktywnymi ligandami iminowymi, od wielu lat skupiają szczególną uwagę chemii medycznej i przemysłu farmaceutycznego. Ogromne zainteresowanie tymi związkami wynika z ich wysokiej aktywności biologicznej oraz rozmaitego działania farmakologicznego. Wśród szerokiego spektrum właściwości biologicznych, jakie wykazują iminowe kompleksy metali, wymienić można m. in. aktywność przeciwnowotworową, przeciwbakteryjną, przeciwgrzybiczą, przeciw pasożytniczą, przeciwwirusową, a także przeciwdrgawkową. Przytoczone przykłady stanowią jednak niewielką część, spośród niezwykle różnorodnego działania biologicznego tych związków [Hemalatha i in., 2019; Wang i in. 2020]. Dodatkowymi atutami iminowych kompleksów metali, dzięki którym stanowią one przedmiot intensywnych badań, zmierzających ku możliwości zastosowania tej klasy związków jako leków nowej generacji jest wyjątkowo prosta synteza, łatwość wydzielenia kompleksów zasad Schiffa z mieszaniny reakcyjnej, jak również wysokie wydajności otrzymywania produktów końcowych, wynoszące często ponad 80% [Chohan, Shad, Supuran, 2012; Shokohi-pour, Chiniforoshan, Momtazi-borojeni, Notash, 2016; Alyar i in., 2018]. Kolejnym powodem świadczącym o konieczności projektowania nowych grup leków jest fakt, iż stosowane obecnie antybiotyki czy leki przeciwnowotworowe, niejednokrotnie charakteryzują się wąskim zakresem działania, a ich przyjmowanie wiąże się z występowaniem wielu nieprzyjemnych skutków ubocznych. Kompleksy zasad Schiffa z jonami metali przejściowych dają nadzieję na opracowanie nowej klasy metaloleków, cechujących się większą skutecznością działania, niższą toksycznością, jak również minimalizacją działań niepożądanych [Rimbu, Danac, Pui, 2014].

Celem niniejszej pracy jest przegląd danych literaturowych, dotyczących iminowych kompleksów metali przejściowych oraz zaprezentowanie różnorodności w zakresie ich działania biologicznego. Praca ukazuje ogromny potencjał aplikacyjny kompleksów imin oraz możliwość zastosowania tej klasy związków chemicznych jako nowych metaloleków, charakteryzujących się wysoką skutecznością działania.

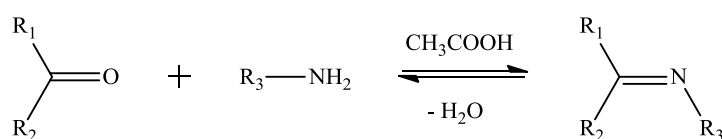
### 2. Charakterystyka imin

Iminy, znane również jako zasady Schiffa lub azometiny, są związkami organicznymi o wzorze ogólnym  $(R_1)(R_2)C=N(R_3)$ , gdzie podstawnikami  $R_1$ ,  $R_2$  oraz  $R_3$  są grupy alkilowe, aryłowe lub atomy wodoru. Charakterystyczną cechą strukturalną imin, decydującą o ich przynależności do tej klasy związków chemicznych jest obecność chromoforowego



ugrupowania azometinowego ( $>C=N-$ ) [Nowicka, Liszkiewicz, Nawrocka, 2014]. Ugrupowanie to, jest kluczowym elementem struktury, odpowiedzialnym za wysoką bioaktywność ligandów iminowych oraz ich zdolność do trwałej koordynacji jonów metali [da Silva i in., 2011].

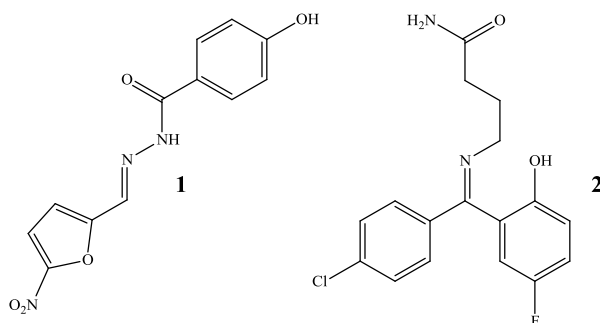
Zasady Schiffa, będące azotowymi analogami związków karbonylowych otrzymywane są głównie na drodze kondensacji amin pierwszorzędowych z aldehydami lub ketonami (Rys. 1). Wspomniana reakcja ma charakter odwracalny i zachodzi najefektywniej w obecności katalizatora kwasowego, którym jest najczęściej lodowaty kwas octowy [Clayden, Greeves, Warren, Wothers, 2009]. Warto nadmienić, że największym znaczeniem praktycznym charakteryzują się azometiny aromatyczne, które w odróżnieniu od swoich alifatycznych odpowiedników, cechują się znacznie większą stabilnością i odpornością na hydrolizę [Daniel i in., 2017].



**Rysunek 1. Ogólny schemat reakcji otrzymywania imin w obecności lodowatego kwasu octowego**

Źródło: [Clayden i in., 2009]

Jak już wspomniano, iminy oraz ich kompleksy z jonami metali, od lat cieszą się ogromnym zainteresowaniem w dziedzinie medycyny i farmacji. Współczesna medycyna zna wiele farmaceutyków, których działanie opiera się na terapeutycznych właściwościach zasad Schiffa. Jako przykład leków, zawierających w swojej strukturze ugrupowanie azometinowe, można wskazać m. in. nifuroksazyd (Rys. 2.1), będący lekiem o działaniu przeciwbakteryjnym [Sidorov, Kravchenko, Poddubikov, Arzumian, 2019], czy progabid (Rys. 2.2) – lek o działaniu przeciwdrgawkowym [Nowicka i in., 2014].



**Rysunek 2. Wzory strukturalne nifuroksazydu (1) oraz progabidu (2)**

Źródło: [1 – Sidorov i in., 2019; 2 – Nowicka i in., 2014]

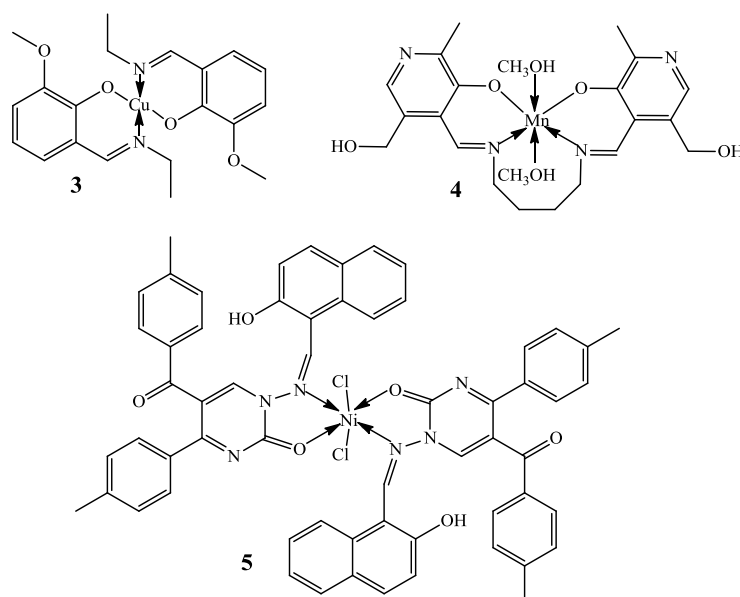
### 3. Aktywność przeciwnowotworowa

Nowotwory stanowią obecnie jedną z najczęstszych przyczyn śmierci w krajach wysoko rozwiniętych oraz rozwijających się [Tüzün, 2020]. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) podaje, że w skali globalnej, w samym 2018 roku, stwierdzono 18,1 mln nowych przypadków zachorowań. Zgodnie z prognozami, liczba chorych w kolejnych latach będzie gwałtownie rosła, a w roku 2040, choroby nowotworowe zostaną zdiagnozowane u ponad

29 mln osób [World Health Organization, 2020]. Na dzień dzisiejszy, jednym z ważniejszych elementów terapii nowotworów jest leczenie farmakologiczne. W wielu przypadkach polega ono na podaniu choremu leków cytostatycznych, należących do grupy tzw. metalofarmaceutyków. Powszechnie stosowane leki z tej grupy (m. in. cis–platyna) wykazują jednak działanie terapeutyczne jedynie w stosunku do wybranych rodzajów nowotworów, a ich przyjmowanie bardzo często niesie za sobą wiele działań niepożądanych [Tüzün, 2020]. W związku z powyższym na szeroką skalę poszukuje się nowych metaloleków, charakteryzujących się większą skutecznością działania, brakiem skutków ubocznych, a także niższą toksycznością wobec zdrowych komórek organizmu.

Iminowe kompleksy jonów metali przejściowych wykazują wysoką aktywność przeciwnowotworową, potwierdzoną badaniami *in vitro*, przeprowadzonymi na wielu liniach komórek rakowych [Hussain i in., 2019; Tabatabayi, Homayouni–Tabrizi, Neamati, Beyramabadi, 2020; Wu, Gao, Li, 2020; Aslan, Akkoc, Kökbudak, 2020; Savir i in., 2020].

Najnowsze publikacje naukowe wskazują, że nanocząstki kompleksu N–(3–metoksyalicydeno)–etyloaminy z jonami Cu(II) (Rys. 3.3), już w niewielkim stężeniu, rzędu  $2 \mu\text{mol}/\text{dm}^{-3}$ , wykazują niezwykle wysoką aktywność cytotoksyczną wobec komórek raka piersi linii MCF–7. Wspomniany związek koordynacyjny indukuje w komórkach rakowych proces apoptozy, wykazując w testach *in vitro* lepsze działanie proapoptyczne, niż oksaliplatyna, będąca metalolekiem należącym do grupy cytostatyków [Wu i in., 2020].



**Rysunek 3. Wybrane iminiowe kompleksy jonów metali przejściowych, wykazujące aktywność przeciwnowotworową**

Źródło: [3 – Wu i in., 2020; 4 – Tabatabayi i in., 2020; 5 – Aslan i in., 2020].

Przeciwnowotworową aktywność kompleksów zasad Schiffa potwierdzają również wyniki badań przedstawione przez Tabatabayi i współpracowników [2020]. Otrzymany przez badaczy związek kompleksowy Mn(II), zawierający iminowy ligand N,N'–(bis(pirydoksalo))–1,4–diaminobutanu (Rys. 3.4), hamuje wzrost i proliferację komórek rakowych MCF–7 oraz komórek nowotworu wątroby linii HepG2. Proapoptyczne działanie kompleksu, indukujące śmierć komórek rakowych udowodniono badaniami

cytometrycznymi. Analiza morfologiczna wykazała, że w komórkach linii MCF-7 oraz HepG2, inkubowanych z dodatkiem kompleksu manganowego, dochodzi do degradacji materiału genetycznego oraz widocznych zmian, w postaci odwodnienia i zmniejszenia cytoplazmy, a także zaokrąglenia komórek i powstania licznych uwypukleń [Tabatabayi i in., 2020].

Kolejnymi przykładami iminowych kompleksów metali, charakteryzujących się szczególnie wysoką aktywnością przeciwnowotworową są związki koordynacyjne jonów Ni(II) (Rys. 3.5), Cr(III), Co(II), Cu(II) oraz Mn(II) z ligandami azometinowymi, będącymi pochodną aldehydu 2-hydroksy-1-naftoesowego. Badania cytotoksyczności kompleksów w stosunku do komórek ludzkiej linii nowotworu płuc – A549, wykazały, że wszystkie wymienione związki działają hamująco na wzrost i rozwój komórek rakowych. Należy również nadmienić, że iminowe kompleksy, w których miejsce jonu centralnego zajmuje jon Cu(II) oraz Mn(II), cechują się blisko 6-krotnie większą aktywnością przeciwnowotworową wobec komórek linii A549, niż Ploxal-S, którego składnikiem czynnym jest oksaliplatyna, a także ponad 5-krotnie większą aktywnością w porównaniu z trihydratem chlorowodoru irynotekanu [Aslan i in., 2020].

#### 4. Aktywność przeciwbakteryjna

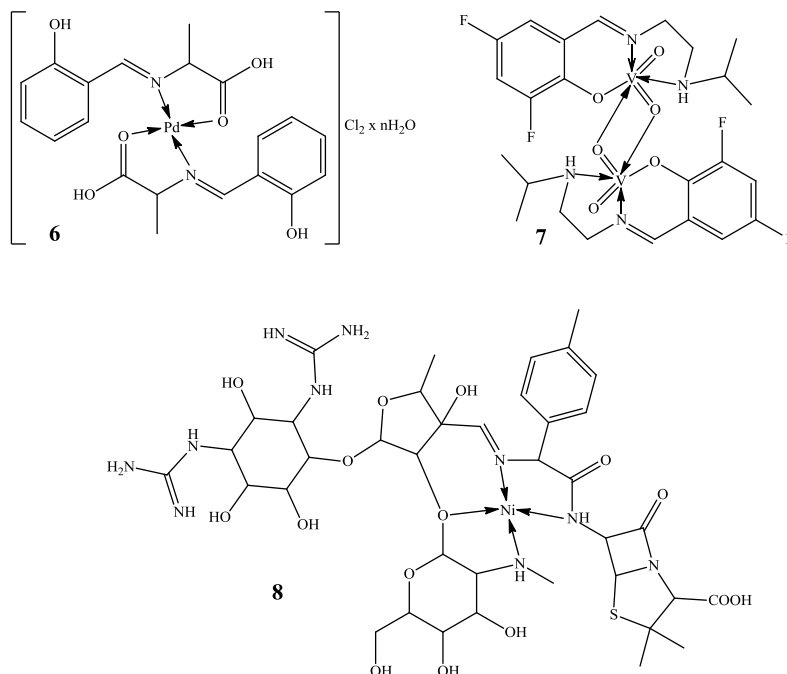
Nadmierne i nieracjonalne stosowanie antybiotyków doprowadziło do zwiększenia odporności wielu szczepów bakteryjnych na ogólnodostępne leki o działaniu przeciwdrobnoustrojowym [Chaudhary i Mishra, 2014; Ali, Said, Jasim, 2016]. Coraz częściej występujące zjawisko lekooporności wymaga więc poszukiwania nowych strategii terapeutycznych, a tym samym projektowania innowacyjnych medykamentów, charakteryzujących się lepszymi właściwościami bakteriostatycznymi oraz wysoką szybkością działania [Rimbu i in., 2014].

Jedną z grup związków chemicznych mogących znaleźć potencjalne zastosowanie w leczeniu infekcji bakteryjnych są kompleksy zasad Schiffa z jonami metali przejściowych. Szeroko zakrojone badania poświęcone przeciwbakteryjnym właściwościom tej klasie związków koordynacyjnych, jednoznacznie potwierdzają ich wysoką skuteczność działania, która niejednokrotnie przewyższa skuteczność stosowanych powszechnie antybiotyków.

Rimbu oraz współpracownicy [2014], w swojej publikacji naukowej, poświęconej badaniom aktywności przeciwbakteryjnej kompleksów palladu(II) z aminokwasowymi zasadami Schiffa, wykazali, że związki koordynacyjne jonów Pd(II) z N-(salicydeno)-alaniną (Rys. 4.6) oraz N-(salicydeno)-glicyną, charakteryzują się doskonałą zdolnością inhibicji wzrostu kolonii bakteryjnych *Staphylococcus aureus* i *Escherichia Coli*. Przeprowadzone przez autorów testy w warunkach *in vitro*, dowodzą również, że otrzymane związki kompleksowe, cechują się lepszymi właściwościami bakteriostatycznymi, niż niektóre klasyczne antybiotyki, takie jak ampicylina i streptomycyna.

Innym przykładem iminowych kompleksów metali o wysokiej aktywności przeciwbakteryjnej jest oktaedryczny związek koordynacyjny jonów VO(II), posiadający dwa azometinowe ligandy, otrzymane na bazie aldehydu 3,5-difluorosalicylowego oraz N-izopropyl-1,2-etylenodiaminy (Rys. 4.7) [Luo, Liu, Han, Xue, 2020]. Wspomniany kompleks, już w niskich stężeniach, tj. 0,5–1 µg/ml, hamuje wzrostu bakterii *Staphylococcus aureus* i *Escherichia coli*. Luo i współpracownicy [2020], prowadzący badania biologiczne

z wykorzystaniem kompleksu wanadowego, wykazali, że jego aktywność przeciwbakteryjna w stosunku do *S. aureus* jest zbliżona do bakteriostatycznych właściwości tetracykliny. Z kolei w przypadku *E. coli*, charakteryzuje się on znacznie większą aktywnością inhibitującą niż referencyjny antybiotyk tetracyklinowy.



**Rysunek 4. Wybrane iminiowe kompleksy jonów metali przejściowych, wykazujące aktywność przeciwbakteryjną**

Źródło: [6 – Rimbu i in., 2020; 7 – Luo i in., 2020; 8 – Chaudhary i Mishra, 2014].

Na szczególną aktywność przeciwbakteryjną kompleksów zasad Schiffa, wskazują badania naukowe przedstawione przez Chaudhary i Mishrę [2014]. W publikacji naukowej, wydanej w 2014 roku, zaprezentowali oni nowy iminowy ligand, który został otrzymany na drodze kondensacji dwóch dobrze znanych antybiotyków – streptomycyny i amoksycyliny. Zsyntezowaną zasadę Schiffa poddali reakcji kompleksowania z jonami Ni(II), Cu(II) oraz Zn(II), a następnie badali aktywność przeciwbakteryjną otrzymanych związków w stosunku do *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* oraz *Klebsiella pneumoniae*. Przeprowadzone badania biologiczne wykazały, że otrzymana zasada Schiffa oraz nowe iminowe kompleksy, charakteryzują się lepszymi właściwościami przeciwbakteryjnymi niż amoksycylina, stanowiąca związek wyjściowy, zastosowany do syntezy ligandu. Można również nadmienić, że wśród zsyntezowanych kompleksów najlepszymi właściwościami przeciwbakteryjnymi, cechuje się związek koordynacyjny jonów niklu(II), wykazujący geometrię płaskiego kwadratu (Rys. 4.8) [Chaudhury i Mishra, 2014].

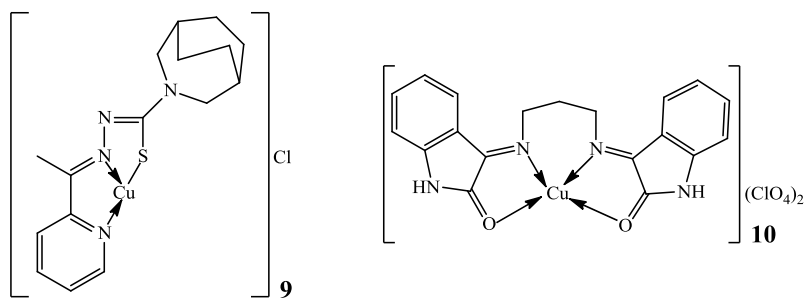
## 5. Aktywność przeciwpasożytnicza i przeciwwirusowa

Od kilku dekad trwają intensywne prace, poświęcone syntezie coraz to nowych iminowych kompleksów, wykazujących potencjalne właściwości przeciwwirusowe i przeciwpasożytnicze. Dotychczas udało się otrzymać całą gamę związków koordynacyjnych, charakteryzujących się wysokim działaniem cytotoksycznym w stosunku

do pierwotniaków z rodzaju *Plasmodium*, wywołujących malarię [Scovill, Klaymen, Franchino, 1982], a także przywr z rodzaju *Schistosoma*, powodujących chorobę pasożytniczą o nazwie Schistosomatoza [Moraes i in., 2015].

Z danych literaturowych wynika, że szczególną aktywnością przeciwmalaryczną, cechują się kompleksy jonów metali przejściowych, posiadające bioaktywne ligandy iminowe, otrzymane na bazie tiosemikarbazonów [Savir i in., 2020; Scovill i in., 1982; Chellan i in., 2010]. Badania naukowe nad przeciw pasożytniczymi właściwościami tej klasy związków chemicznych, prowadzone były m. in. przez Scovilla i współpracowników [1982]. Wspomniani naukowcy zsyntezowali szereg kompleksów Cu(II), Ni(II), Fe(II) oraz Mn(II), zawierających ligandy typu tiosemikarbazonowych zasad Schiffa, otrzymanych na bazie 2-acetylopirydyny. Następnie określili ich aktywność przeciwmalaryczną w badaniach *in vivo*, prowadzonych na myszach, zarażonych uprzednio pierwotniakiem *Plasmodium berghei*. Zespół kierowany przez Scovilla [1982], wykazał, że najlepszymi właściwościami przeciwmalarycznymi charakteryzuje się kompleks jonów miedzi(II) z tiosemikarbazonową zasadą Schiffa, zawierającą w swojej strukturze pierścień 3-azabicyclo[3.2.2]nonanu (Rys. 5.9). Związek ten podany zwierzętom w dawce 160 mg w przeliczeniu na kilogram masy ciała, cechuje się wysoką aktywnością terapeutyczną, dzięki czemu umożliwił zwalczanie pasożytów u wszystkich pięciu myszy poddanych testowi.

Kolejnym przykładem iminowych kompleksów o wysokiej aktywności przeciwoobaczej jest związek koordynacyjny jonów miedzi(II) z N,N'-bis(izatyno)-1,3-propanodiaminą (Rys. 5.10). Kompleks ten w badaniach *in vitro*, już w niskich stężeniach, rzędu 31  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , wykazuje właściwości hamujące wzrost dorosłych pasożytów *Schistosoma mansoni*, a także działa niszcząco na jaja złożone przez przywry tego gatunku [Moraes i in., 2015].

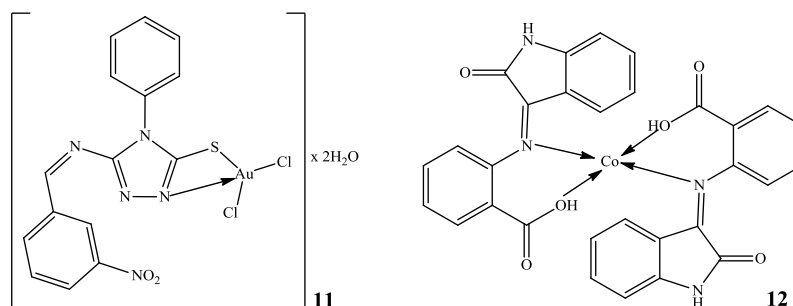


**Rysunek 5. Wybrane iminiowe kompleksy jonów metali przejściowych, wykazujące aktywność przeciw pasożytniczą**

Źródło: [9 – Scovill i in., 1982; 10 – Moraes i in., 2015].

Jak wspomniano na początku niniejszego rozdziału, związki koordynacyjne zasad Schiffa z jonami metali przejściowych, charakteryzują się również udowodnioną aktywnością przeciwwirusową. Kompleks złota(III) z iminowym ligandem otrzymanym na bazie 3-nitrobenzaldehydu oraz 5-amino-4-fenylo-4H-1,2,4-triazolo-3-tiolu (Rys. 6.11), w testach *in vitro* działa hamująco na replikację wirusa HIV (ang. *human immunodeficiency virus*) [Al-Masoudi, Aziz, Mohammed, 2009]. Przeciwwirusowe właściwości niektórych iminowych kompleksów metali zostały potwierdzone również badania *in silico*, polegającymi na komputerowym testowaniu aktywności potencjalnych leków za pomocą metody

dokowania molekularnego. Badania z wykorzystaniem tej techniki wykazały, że kompleksy iminowych pochodnych izatyny i kwasu antranilowego z jonami Co(II) (Rys. 6.12), Cu(II), Mn(II), Cd(II), Zn(II) oraz Ni(II), wykazują znacznie niższą energię wiązania z retrowirusem HIV, niż klasyczne leki o działaniu przeciwwirusowym, tj. marawirok, zydowudyna czy zalcytabina [Raj, Vinnarasi, Johnson, 2013]. Wyniki przeprowadzonych symulacji komputerowych stanowią więc ważną przesłankę do dalszych badań kompleksów zasad Schiffa jako nowych, potencjalnych metaloleków, mogących znaleźć zastosowanie w terapii osób, będących nosicielami wirusa HIV.

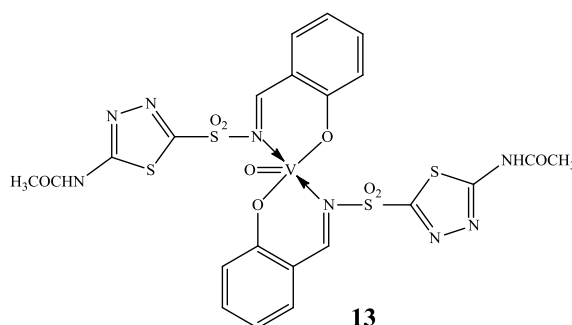


**Rysunek 6. Wybrane kompleksy zasad Schiffa z jonami metali przejściowych, wykazujące aktywność przeciwwirusową wobec wirusa HIV**

Źródło: [11 – Al-Masoudi i in., 2009; 12 – Raj i in., 2013].

## 6. Aktywność przeciwgrzybicza

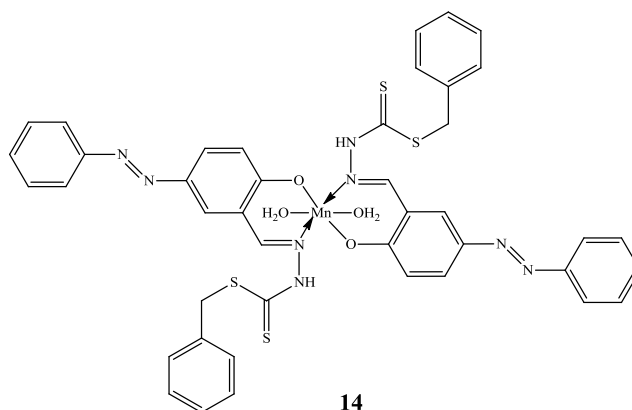
Iminowe kompleksy jonów metali przejściowych bardzo często charakteryzują się wysoką aktywnością przeciwgrzybiczą. Badania naukowe prowadzone w warunkach *in vitro* potwierdziły, że kompleks jonów VO(II) z zasadą Schiffa otrzymaną na bazie aldehydu salicylowego i acetazolamidu (Rys. 7. 13), hamuje wzrost grzybów pleśniowych z rodzaju *Aspergillus*. Ponadto, w przypadku patogenów *Aspergillus flavous*, badany kompleks wykazywał znacznie większą zdolność inhibicji wzrostu kolonii, niż gryzeofulwina, będąca dobrze znanym antybiotykiem o właściwościach przeciwgrzybiczych [Ghosh, Malik, Jain, Iqbal, 2012].



**Rysunek 7. Kompleks jonów VO(II) z iminowymi ligandami, otrzymanym na bazie aldehydu salicylowego i acetazolamidu, wykazujący aktywność przeciwgrzybiczą**

Źródło: [13 – Ghosh i in., 2012].

Kongot i współpracownicy [Kongot i in., 2020], w swojej publikacji naukowej, wydanej w 2020 roku, zaprezentowali nowo zsyntezowany kompleks jonów manganu(II) z ligandem typu hydrazonewej zasady Schiffa (Rys. 8.14).



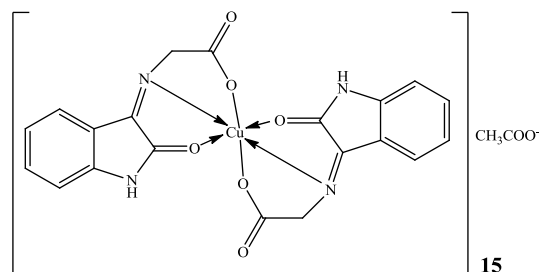
**Rysunek 8. Kompleks Mn(II) z ligandami typu hydrazonej zasady Schiffa, wykazujący wysoką aktywność przeciwgrzybiczą wobec *Cryptococcus neoformans***

Źródło: [14 – Kongot i in., 2020].

Otrzymany przez badaczy związek z grupy kompleksów iminowych, charakteryzuje się niezwykle wysoką aktywnością przeciwgrzybiczą w stosunku do *Cryptococcus neoformans* [Kongot i in., 2020]. Gatunek tego drożdżaka stanowi szczególne zagrożenie dla osób z obniżoną odpornością, gdyż może on wywoływać chorobę grzybiczą, zwaną kryptokokozą. W skrajnych przypadkach infekcja spowodowana przez patogeny tego gatunku rozprzestrzenia się w organizmie i atakuje ośrodkowy układ nerwowy (OUN), prowadząc do zapalenia opon mózgowych [Kavanagh, 2007]. Z racji tak dużego zagrożenia dla zdrowia, jakie stanowią infekcje grzybicze, poszukiwanie nowych środków farmaceutycznych, cechujących się lepszymi właściwościami grzybobójczymi i grzybostatycznymi wydaje się szczególnie zasadne.

## 7. Aktywność przeciwdrgawkowa

Dostępne publikacje naukowe donoszą, że związki koordynacyjne N-(izatyno)–glicyny z jonami miedzi(II) (Rys. 9.15), kobaltu(II) oraz cynku, badano pod kątem potencjalnych właściwości przeciwdrgawkowych. Wspomnianą aktywność antykonwulsyjną kompleksów, sprawdzano na myszach rasy Swiss albino, o masie ciała mieszczącej się w granicach 20–25 g [Subudhi, Panda, Bhatta, Jena, 2009].



**Rysunek 9. Kompleks Cu(II) z ligandami N-(izatyno)–glicyny, wykazujący aktywność przeciwdrgawkową potwierdzoną badaniami *in vivo***

Źródło: [15 – Subudhi i in., 2009].

Prowadzone przez Subudhiego oraz współpracowników [2009] badania polegały na dootrzewnowym podaniu myszom potencjalnych środków przeciwdrgawkowych, a następnie,

po upływie 30 minut, zaaplikowaniu dawki pentetrazolu (PTZ), którego zadaniem było wywołanie konwulsji. Aktywność przeciwdrgawkową kompleksów określono w oparciu o udział procentowy zwierząt w grupie badanej, u których zaobserwowano konwulsje oraz na podstawie czasu, który upłynął od podania PTZ do wystąpienia drgawek. Otrzymane dane doświadczalne porównano z wynikami uzyskanymi dla diazepamu – leku o właściwościach przeciwdrgawkowych oraz próby kontrolnej (tabela 1).

**Tabela 1. Porównanie aktywności przeciwdrgawkowej diazepamu, iminowej pochodnej izatyny (ligandu) oraz iminowych kompleksów miedzi(II), kobaltu(II) i cynku**

Grupa*	Dawka substancji [mg] w przeliczeniu na kilogram masy ciała zwierzęcia**	Czas, który upłynął od podania PTZ do wystąpienia drgawek [s]	Udział procentowy zwierząt w grupie badanej, u których wystąpiły drgawki [%]
N-(izatyno)-glicyna	10	348,20 ± 18,66	66
<b>Kompleks Cu(II)</b>	<b>10</b>	<b>386,20 ± 22,66</b>	<b>33</b>
Kompleks Co(II)	10	379,00 ± 8,68	83
Kompleks Zn	10	284,00 ± 12,73	50
<b>Diazepam</b>	<b>10</b>	<b>drgawki nie wystąpiły</b>	<b>0</b>
Grupa kontrolna	-	165,30 ± 3,34	100

\* – aktywność przeciwdrgawkową każdego ze związków badano na grupie 6 myszy

\*\* – badane substancje podawano dootrzewnowo w postaci zawiesiny w Tween 80 (0,2%)

Źródło: [Subudhi i in., 2009]

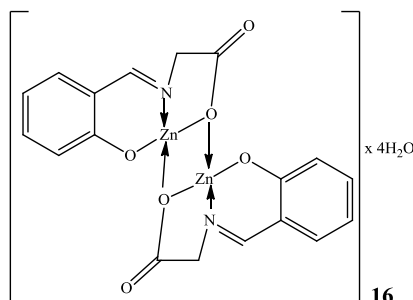
Na podstawie wyników zamieszczonych w tabeli 1 można stwierdzić, że spośród badanych kompleksów najlepsze właściwości przeciwdrgawkowe wykazuje związek koordynacyjny N-(izatyno)-glicyny z jonami miedzi(II). W przypadku myszy, którym zaaplikowano kompleks Cu(II), drgawki po podaniu PTZ, wystąpiły jedynie u 33% zwierząt w próbie badanej, a średni czas po którym zaobserwowano konwulsje wydłużył się o ponad 220 sekund w porównaniu z grupą kontrolną. Właściwości przeciwdrgawkowe kompleksu miedzi(II) nie były co prawda tak dobre, jak działanie diazepamu, jednak przeprowadzone badania dowodzą, że iminowe kompleksy jonów metali przejściowych wykazują pewną aktywność przeciwdrgawkową. Otrzymane wyniki skłaniają więc do projektowania i syntezy nowych kompleksów zasad Schiffa oraz badania ich potencjalnych właściwości przeciwdrgawkowych.

## 8. Aktywność przeciwbólowa i przeciwzapalna

Przeprowadzony przegląd literatury wykazał, że związki koordynacyjne zasad Schiffa z jonami metali d-elektronowych są intensywnie badane pod względem potencjalnej aktywności przeciwbólowej i przeciwzapalnej. Udowodnione działanie analgetyczne oraz zmniejszające stan zapalny wykazują m. in. kompleksy iminowych pochodnych glicyny [Jesmin, Islam, Ali, 2014], 2,6-diaminopirydyny [Narayanachar i in., 2013], 2,6-diamino-4-fenyl-1,3,5-triazyny [Shanmugakala, Tharmaraj, Sheela, Chidambaranathan, 2014], a także 2'-hydroksyacetonofenu [Hunor i in., 2010, 2011].



Znaczącą aktywnością przeciwbólową, potwierdzoną badaniami na myszach, charakteryzują się kompleksy N-(salicydeno)-glicyny z jonami Zn (Rys. 10.16), Co(II), Ni(II) oraz Cu(II).



**Rysunek 10. Kompleks cynkowy N-(salicydeno)-glicyny, wykazujący działanie przeciwbólowe i przeciwzapalne, potwierdzone badaniami *in vivo***

Źródło: [16 – Jesmin i in., 2014].

Analgetyczne działanie tych związków wykazano w teście zanurzenia ogona (ang. *tail immersion test*) oraz teście przeciągania (ang. *writhing test*). Badanie aktywności przeciwbólowej z wykorzystaniem metody zanurzenia ogona polegało na doustnym podaniu myszom iminowych kompleksów, a następnie umieszczeniu ogona zwierzęcia w wodzie o temperaturze 55–60<sup>0</sup> C i pomiarze czasu, po jakim zwierzę podwinęło ogon. Analogiczne badania przeprowadzono po 30, 60 oraz 90 minutach od podania potencjalnych analgetyków. Wydłużenie czasu reakcji myszy na działanie ciepłej wody świadczyło o przeciwbólowych właściwościach podanych związków. W celach porównawczych, test zanurzenia ogona przeprowadzono również na myszach, którym podano uprzednio morfinę oraz dla zwierząt, którym nie podano żadnego z leków (próba kontrolna) [Jesmin i in., 2014]. Wyniki testu zestawiono w tabeli 2.

**Tabela 2. Porównanie aktywności przeciwbólowej morfiny oraz kompleksów jonów metali przejściowych z ligandem N-(salicydeno)-glicyny w teście zanurzenia ogona [Jes2014]**

Grupa*	Dawka substancji [mg] w przeliczeniu na kilogram masy ciała zwierzęcia	Czas reakcji myszy [s] w zależności od czasu podania analgetyku				Procentowe opóźnienie reakcji myszy w odniesieniu do próby kontrolnej [%]		
		0 min	30 min	60 min	90 min	30 min	60 min	90 min
Kompleks Co(II)	10	0,44 ± 0,02	0,56 ± 0,04	0,70 ± 0,02	0,86 ± 0,06	16,66	29,63	48,27
Kompleks Ni(II)	10	0,42 ± 0,06	0,54 ± 0,05	0,68 ± 0,01	0,82 ± 0,04	12,50	25,92	41,37
Kompleks Cu(II)	10	0,47 ± 0,02	0,68 ± 0,02	0,78 ± 0,07	0,90 ± 0,11	41,66	44,44	55,17
<b>Kompleks Zn</b>	<b>10</b>	0,46 ± 0,03	0,66 ± 0,06	0,86 ± 0,12	0,94 ± 0,08	<b>37,50</b>	<b>59,26</b>	<b>62,07</b>
<b>Morfina</b>	<b>10</b>	0,58 ± 0,07	0,80 ± 0,15	0,92 ± 0,04	1,04 ± 0,14	<b>66,66</b>	<b>70,37</b>	<b>79,31</b>

Grupa kontrolna	-	0,46 ± 0,04	0,48 ± 0,10	0,54 ± 0,02	0,58 ± 0,12	-	-	-
-----------------	---	-------------	-------------	-------------	-------------	---	---	---

\* – aktywność przeciwbólową każdego ze związków badano na grupie 4 myszy

Źródło: [Jesmin i in., 2014].

W oparciu o analizę wyników przedstawionych przez Jasmin oraz pozostałych członków zespołu badawczego [2014], można stwierdzić, że spośród badanych kompleksów N-(salicydeno)-glicyny, najlepsze działanie analgetyczne na myszach, w teście zanurzenia ogona, wykazuje związek koordynacyjny jonów cynku. Należy jednak zauważyć, że aktywność przeciwbólowa badanego kompleksu jest niższa od analgetycznych właściwości morfiny. Niemniej, należy mieć na uwadze, że morfina jako silny lek opioidowy, zaliczany do leków III szczebla drabiny analgetycznej WHO, pomimo doskonałej aktywności przeciwbólowej, może powodować wiele nieprzyjemnych skutków ubocznych, takich jak: zaparcia, nudności czy wymioty [Woroń, Dobrogowski, Wordliczek, Kleja, 2011]. W związku z tym dalsze badania nad przeciwbólową aktywnością iminowych kompleksów metali, mogą wykazać, że związki te, mimo nieco słabszego działania analgetycznego, charakteryzować się będą znikomymi działaniami niepożądanymi i okażą się doskonałą alternatywą dla klasycznych leków opioidowych.

## 9. Podsumowanie

W ramach niniejszej pracy zaprezentowano informacje dotyczące kompleksów zasad Schiffa z jonami metali przejściowych oraz wykazano niezwykle wysoką różnorodność w zakresie działania biologicznego tej klasy związków chemicznych. Przedstawione wyniki badań, odnoszące się do aktywności biologicznej iminowych kompleksów, jednoznacznie wskazują na ich niebotyczną skuteczność działania, potwierdzoną w wielu niezależnych testach laboratoryjnych. Należy jednak wskazać, że pomimo tak wielu zalet, jakie posiadają iminowe kompleksy metali, zastosowanie tej grupy związków jako nowych metaloleków wymaga przeprowadzenia dalszych badań, umożliwiających m. in. poznanie molekularnego mechanizmu działania czy wykluczenia ewentualnych skutków ubocznych, wynikających z prowadzenia farmakoterapii. Niemniej, na chwilę obecną, kompleksy zasad Schiffa wykazują ogromny potencjał aplikacyjny, a dalsze badania nad tą klasą związków wydają się szczególnie zasadne.

## Bibliografia:

1. Hemalatha S., Dharmaraja J., Shobana S., Subbaraj P., Esakkidurai T., Raman N. (2019). Chemical and pharmacological aspects of novel hetero MLB complexes derived from NO<sub>2</sub> type Schiff base and N<sub>2</sub> type 1,10-phenanthroline ligands. *Journal of Saudi Chemical Society*, 23, 61–80.
2. Wang H., Xu C., Zhang X., Zhang D., Jin F., Fan Y. (2020). Urease inhibition studies of six Ni(II), Co(II) and Cu(II) complexes with two sexidentate N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-donor bis-Schiff base ligands: An experimental and DFT computational study. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 204, 110959.
3. Chohan Z. H., Shad H. A., Supuran C. T. (2012). Synthesis, characterization and biological studies of sulfonamide Schiff's bases and some of their metal derivatives. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 27, 58–68.

4. Shokohi-pour Z., Chiniforoshan H., Momtazi-borojeni A. A., Notash B. (2016). A novel Schiff base derived from the gabapentin drug and copper(II) complex: Synthesis, characterization, interaction with DNA/protein and cytotoxic activity. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 162, 34–44.
5. Alyar S., Sen C., Alyar H., Adem S., Kalkanci A., Ozdemir U. O. (2018). Synthesis, characterization, antimicrobial activity, carbonic anhydrase enzyme inhibitor effects, and computational studies on new Schiff bases of Sulfa drugs and their Pd(II), Cu(II) complexes. *Journal of Molecular Structure*, 1171, 214–222.
6. Rimbu C., Danac R., Pui A. (2014). Antibacterial Activity of Pd(II) Complexes with Salicylaldehyde-Amino Acids Schiff Bases Ligands. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 62, 12-15.
7. Nowicka A., Liszkiewicz H., Nawrocka W. P. (2014). Zasady Schiffa – wybrane syntezy, reakcje i aktywność biologiczna. *Wiadomości Chemiczne*, 68, 187–209.
8. da Silva C. M., da Silva D. L., Modolo L. V., Alves R. B., de Resende M. A., Martins C. V. B., de Fatima A. (2011). Schiff bases: A short review of their antimicrobial activities. *Journal of Advanced Research*, 2, 1–8.
9. Clayden J., Greeves N., Warren S., Wothers P. (2009). *Chemia organiczna*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowo–Techniczne.
10. Daniel A. S. S. (2017). Synthesis, characterization and antimicrobial activity of Schiff base from benzaldehyde and para-toluidine using gooseberry extract. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 36–39.
11. Sidorov N. G., Kravchenko A. D., Poddubikov A. V., Arzumanyan V. G. (2019). Synthesis and study of the antimicrobial activity of nifuroxazide derivatives. *Microbiology Independent Research Journal*, 6, 10–17.
12. Tüzün B. (2020). Investigation of pyrazoly derivatives Schiff base ligands and their metal complexes used as anti-cancer drug. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomeolecular Spectroscopy*, 227, 117663.
13. World Health Organization (2020). WHO report on cancer. Setting priorities, investing wisely and providing care for all. Switzerland.
14. Hussain A., AlAjmi M. F., Rehman M. T., Amir S., Husain F. M., Alsalmeh A., Siddiqui M. A., AlKhedhairy A. A., Khan R. A. (2019). Copper(II) complexes as potential anticancer and anti-inflammatory agents: *In vitro* and *in vivo* studies. *Scientific Reports*, 9, 5237.
15. Tabatabayi Z. S., Homayouni-Tabrizi M., Neamati A., Beyramabadi S. A. (2020). Mn(II) complexes of vitamin B6 Schiff base as an exclusive apoptosis inducer in human MCF-7 and HepG2 cancer cells: Synthesis, characterization, and biological studies. *Journal of Cellular Biochemistry*, 121, 2677–2689.
16. Wu D., Guo L., Li S. (2020). Synthesis, structural characterization and anti-breast cancer activity evaluation of three new Schiff base metal (II) complexes and their nanoparticles. *Journal of Molecular Structure*, 1199, 126938.
17. Aslan H. G., Akkoc S., Kökbudak Z. (2020). Anticancer activities of various new metal complexes prepared from Schiff base on A549 cell line. *Inorganic Chemistry Communications*, 111, 107645.

18. Savir S., Wei Z. J., Liew J. W. K., Vythilingam I., Lim Y. A. L., Saad H. M., Sim K. S., Tan K. W. (2020). Synthesis, cytotoxicity and antimalarial activities of thiosemicarbazones and their nickel(II) complexes. *Journal of Molecular Structure*, 1211, 128090.
19. Chaudhary N. K., Mishra P. (2014). In vitro antimicrobial screening of metal complexes of Schiff base derived from streptomycin and amoxicillin: Synthesis, characterization and molecular modeling. *American Journal of Applied Chemistry*, 2, 19–26.
20. Ali B. Q., Said M. H., Jasim R. H. (2016). Synthesis, characterization and antibacterial study of novel Schiff base ligand with some metal ion Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II). *International Journal of Chemistry Sciences*, 14, 3131-3144.
21. Luo X., Liu Q., Han Y., Xue L. (2020). Vanadium complexes derived from fluoro-substituted Schiff bases: Synthesis, crystal structures and antimicrobial activity. *Inorganic and nano-metal chemistry*, 1–5.
22. Scovill J. P., Klaymen D. L., Franchino C. F. (1982). 2-Acetylpyridine Thiosemicarbazones. 4. Complexes with Transition Metals as Antimalarial and Antileukemic Agents. *Journal of Medicinal Chemistry*, 25, 1261–1264.
23. Moraes J., Dario B. S., Couto R. A. A., Pinto P. L. S., Costa Ferreira A. M. (2015). Antischistosomal Activity of Oxindolimine–Metal Complexes. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 59, 6648–6652.
24. Chellan P., Shunmoogam–Gounden N., Hendricks D. T., Gut J., Rosenthal P. J., Lategan C., Smith P. J., Chibale K., Smith G. S. (2010). Synthesis, Structure and in Vitro Biological Screening of Palladium(II) Complexes of Functionalised Salicylaldehyde Thiosemicarbazones as Antimalarial and Anticancer Agents. *European Journal of Inorganic Chemistry*, 3520–3528.
25. Al–Masoudi N. A., Aziz N. M., Mohammed A. T. (2009). Synthesis and *In Vitro* Anti-HIV Activity of Some New Schiff Base Ligands Derived from 5-Amino-4-phenyl-4H-1,2,4-triazole-3-thiol and Their Metal Complexes. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon*, 184, 2891–2901.
26. Raj A. A. A., Vinnarasi J., Johnson M. (2013). Insilico Drug Activities of Some Isatin Metal Complexes. *International Journal of Chemistry and Pharmaceutical Sciences*, 1, 187–192.
27. Ghosh S., Malik S., Jain B., Iqbal S. A. (2012). Synthesis, characterization, antimicrobial and diuretic study of Mg(II), Mn(II), Fe(II) and VO(II) complexes of chemotherapeutic importance. *Journal of Saudi Chemical Society*, 16, 137–143.
28. Kongot M., Reddy D. S., Singh V., Patel R., Singhal N. K., Kumar A. (2020). A manganese(II) complex tethered with S-benzylthiocarbazate Schiff base: Synthesis, characterization, *in-vitro* therapeutic activity and protein interaction studies. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 231, 118123.
29. Kavanagh K. (red.) (2007). *New Insights in Medical Mycology*. Springer.
30. Subudhi B. B., Panda P. K., Bhatta D., Jena A. (2009). Anticonvulsant and Antimicrobial Activity of Cu(II), Zn(II) and Co(II) Complex of Isatin 3-Glycine. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 5, 2009, 83–88.

31. Jesmin M., Islam M. K., Ali S. M. M. (2014). Analgesic and anti-inflammatory activities of some transition metal Schiff base complexes. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 27, 64–72.
32. Narayanachar, Dhumwad S. D., Mutalik S., Hugar M. H., Naik P. N. (2013). Synthesis, spectral characterization of Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II) complexes of Schiff bases derived from 3-formyl quinoline and 2,6-diaminopyridine and their biological studies. *Main Group Chemistry*, 12, 87–104.
33. Shaunmugakala R., Tharmaraj P., Sheela C. D., Chidambaranathan N. (2014). Transition metal complexes of s-triazine derivative: new class of anticonvulsant, anti-inflammatory, and neuroprotective agents. *Medicinal Chemistry Research*, 23, 329–342.
34. Hunoor R. S., Patil B. R., Badiger D. S., Vadavi R. S., Gudasi K. B., Magannavar C. V., Muchandi I. S. (2010). A Study of Anti-inflammatory and Analgesic Activity of New 2,3-Disubstituted 1,2-Dihydroquinazolin-4(3H)-one Derivative and Its Transition Metal Complexes. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 58, 712–716.
35. Hunoor R. S., Patil B. R., Badiger D. S., Vadavi R. S., Gudasi K. B., Chandrashekhar V. M., Muchandi I. S. (2011). Synthesis, characterization, anti-inflammatory and analgesic activity of transition metal complexes of 3-[1-(2-hydroxyphenyl)ethylideneamino]-2-phenyl-3,4-dihydroquinazolin-4(3H)-one. *Applied Organometallic Chemistry*, 25, 476–483.
36. Woroń J., Dobrogowski J., Wordliczek J., Kleja J. (2011). Leczenie bólu w oparciu o drabinę analgetyczną WHO. *Medycyna po dyplomie*, 8, 52–61.

## II NAUKI MEDYCZNE

### 1. ZESPÓŁ CORNELII DE LANGE- DONIESIENIA OGÓLNE

**Dominika Gniewek<sup>1</sup>, Agnieszka Maj<sup>2</sup>, Julia Orzepowska<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

Wydział Nauk o Zdrowiu

Studenckie Koło Naukowe Pielęgniarstwa Internistycznego

ul. Kazimierza Bartla 5, 50-50-996 Wrocław

dominika.gniewek@wp.pl

<sup>2</sup>Uniwersytecki Szpital Kliniczny im. Jana Mikulicza – Radeckiego we Wrocławiu

Klinika Chirurgii Urazowej i Chirurgii Ręki

ul. Borowska 213, 50-556 Wrocław

**Streszczenie:** Zespół Cornelli De Lange (CdLS), jest rzadkim zespołem wad wrodzonych, który dotyka wielu narządów. Pacjenci z tym rzadkim schorzeniem zmagają się z wieloma problemami. Do najczęstszych zalicza się opóźnienie rozwoju psycho-ruchowego oraz problemy behawioralne. Przyczyną wystąpienia CdLS są powstające w życiu płodowym mutacje genetyczne. Leczenie zespołu Cornelli De Lange jest trudne ze względu na indywidualne potrzeby każdego pacjenta.

#### 1. Wstęp

W związku ze stale dokonującym się postępowaniem w opiece nad osobami z chorobami rzadkimi dochodzi do przedłużenia oraz zmiany jakości ich życia. Literatura odnosząca się do tych chorób jest bardzo nieliczna. Zespół Cornelli De Lange (CdLS) jest zespołem wad wrodzonych obejmujących wiele narządów z dużą zmiennością manifestacji klinicznej. Jest dziedziczony w sposób autosomalny dominujący [1]. Oznacza to, że chorują zarówno kobiety, jak i mężczyźni, mniej więcej z równą częstością. Osoby chore występują w każdym pokoleniu, a osoby będące nosicielami wadliwego genu mogą go przekazywać dzieciom. Osoby zdrowe nie przekazują choroby potomstwu [2]. CdLS charakteryzuje się dysmorfia twarzą: łukowate brwi, wgłębiony mostek nosowy, zwężone kąci ust, cienkie wargi, usta w kształcie półksiężyca. Występują wady kończyn górnych, nadmierne owłosienie, wady serca, opóźniony wzrost i opóźniony rozwój funkcji poznawczych oraz zaburzenia żołądkowo-jelitowe. Pojawiają się problemy behawioralne oraz opóźnienie psychoruchowe [3]. Niepowtarzalne zestawienie wad rozwojowych przebiegających z charakterystycznym dla danego zespołu upośledzeniem umysłowym zmusza do indywidualizacji metod postępowania terapeutycznego [4]. Niniejsza publikacja ma na celu przedstawienie metod diagnostyki i terapii zespołu Cornelli de Lange

#### 2. Epidemiologia

Dokładna częstość występowania zespołu Cornelli De Lange nie jest znana. Szacuje się, że dotyka on około 1 na 10 000 do 30 000 żywo urodzonych noworodków. Jednak dane te nie odzwierciedlają prawdziwego stanu rzeczy, ponieważ część chorych przez całe życie nie słyszy prawidłowej diagnozy, co jest uwarunkowane niezbyt dużym nasileniem

charakterystycznych dla tego zespołu zmian w wyglądzie oraz brakiem doświadczenia lekarzy w jego rozpoznawaniu [5].

### 3. Etiologia

Przyczyną wystąpienia CdLS jest występowanie co najmniej 5 mutacji genetycznych [6]. Zalicza się do nich mutacje w genie:

- NIPBL (główny regulator kohezyny- gen związany z białkiem), w chromosomie 5;
- SMC1A, inaczej SMC1L1 (komponent struktury pierścienia kohezyny), w chromosomie X;
- SMC3 (komponent struktury pierścienia kohezyny), w chromosomie 10;
- w innych komponentach struktury kohezyny;
- MRPS22 [7].

Około 5% mutacji dotyczy genów SMC3 i SMC1A [8]. Szacuje się, że 60-65% osób z CdLS ma mutacje w genie NIPBL, SMC1A i SMC3 [9]. Jednak istnieją także przypadki tego schorzenia, które pozostają niewyjaśnione, co daje możliwość występowania innych, nie zidentyfikowanych do tej pory mutacji genetycznych odpowiedzialnych za rozwój tej rzadkiej choroby [8]. Co więcej:

- u pacjentów z tą samą mutacją w zakresie NIPBL mogą występować różne fenotypy, co pokazuje różną możliwość modyfikowania zmiany genetycznej w CdLS,
- pacjenci z mutacjami NIPBL wykazują cięższe fenotypy niż ci z samymi mutacjami w zakresie SMC1A [9].

Białka produkowane przez te pięć genów wchodzi w skład kompleksów kohezyny, czyli grupy białek odgrywających ważną rolę w rozwoju prenatalnym. Kohezyny pomagają w stabilizowaniu informacji genetycznej zawartej w komórkach. Przyczyniają się także do naprawy uszkodzonych wersji DNA. Niektóre kohezyny wpływają na aktywność niektórych genów, odpowiedzialny między innymi za rozwój kończyn, twarzy, jak i innych części ciała [10].

Powstanie mutacji w genach NIPBL, SMC1A, HDAC8, RAD21 i SMC3 powoduje powstawanie zaburzenia w postaci upośledzenia funkcji kompleksu kohezyny, co prowadzi do jego rozregulowania w krytycznych etapach wczesnego rozwoju [11].

Badania nad zmianami genetycznymi były prowadzone na modelach zwierzęcych. Uwidoczniono w nich, że heterozygotyczne myszy z mutacją w zakresie genu NIPBL prezentowały wady rozwojowe charakterystyczne dla CdLS, czyli: małe rozmiary, anomalie czaszkowo-twarzowe, mikrobrachycefalia, wady serca, zaburzenia słuchu, opóźnione dojrzewanie kości, zmniejszenie tkanki tłuszczowej, zaburzenia zachowania i wysoką śmiertelność w pierwszych tygodniach życia [12].

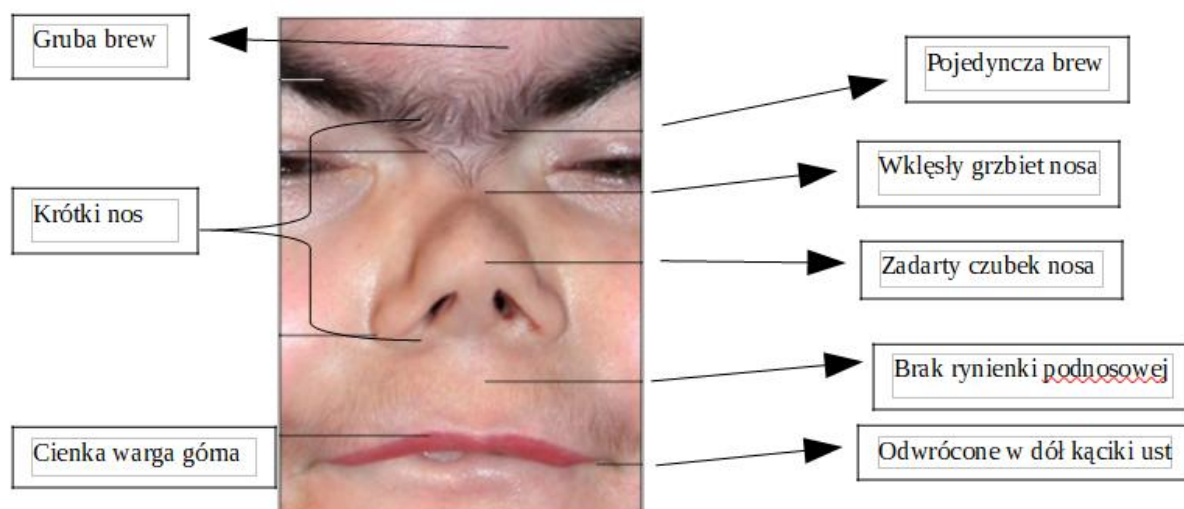
U około 30% chorych nie można znaleźć charakterystycznej dla zespołu Cornellii de Lange mutacji genetycznej, co skłania naukowców do dalszego poszukiwania mutacji innych genów [13].

### 4. Charakterystyka zespołu

Nazwa zespołu wywodzi się od holenderskiej lekarki Cornellii de Lange, która w 1933 roku jako jedna z pierwszych opisała tę jednostkę chorobową [14]. Jednak pierwsze wzmianki

o tej chorobie pochodzą już z roku 1916, kiedy to W. Brachmann opisał chorego z tym zespołem. Z uwagi na to w piśmiennictwie można znaleźć nazwę „zespół Brachmanna-de Lange”. Z uwagi na charakterystyczny wygląd dziecka rozpoznanie można postawić tuż po urodzeniu. Są to: hipotrofia, małogłowie, nadmierne ciemne owłosienie skóry głowy oraz tułowia, zrosnięte ze sobą brwi (synophrys), długie gęste rzęsy, nisko osadzone uszy, cofnięta i mała żuchwa oraz wady kończyn, przede wszystkim górnych. Typowym objawem tego zespołu jest także niedostateczny przyrost masy ciała, co skutkuje pojawieniem się mikrosomii. U prawie wszystkich chorych występuje refluks żołądkowo-przełykowy. Ponadto, stwierdza się wady serca, układu moczowo-płciowego, wzroku i niedosłuch. Upośledzenie umysłowe z brakiem rozwoju lub niedorozwojem mowy i zaburzeniami zachowania występuje we wszystkich przypadkach klasycznej postaci zespołu [15]. Opisywane są także przypadki, w których objawy kliniczne są mniej nasilone — wówczas rozpoznanie jest znacznie trudniejsze [16].

W Gdańskim Uniwersytecie Medycznym od 2002 roku działa system wielospecjalistycznej diagnostyki pacjentów z CdLS. Do tej pory skorzystało z niego 63 chorych i ich najbliższych. Większość osób z CdLS zarejestrowanych w Polsce korzystało z pomocy w ramach zjazdów rodzin, organizowanych corocznie przez Stowarzyszenie CdLS-Polska. Jak do tej pory takiej obserwacji podlega 24 chorych, którzy ukończyli 18 lat. Najstarszy polski pacjent zarejestrowany w Stowarzyszeniu ma obecnie 38 lat [17].



Rycina 1. Charakterystyczne rysy twarzy dziecka z CdLS [18]

## 5. Objawy zespołu i diagnostyka

W literaturze można spotkać się ze stwierdzeniem, że dzieci są do siebie tak podobne, że są traktowane jak rodzeństwo. Dzieje się tak z uwagi na to, że powstałe mutacje powodują ujawnienie się typowych cech w wyglądzie i ogólnym funkcjonowaniu dzieci [19]. Szczególną uwagę zwraca:

- noworodki: poród przedwczesny, cichy płacz, niska masa urodzeniowa - poniżej 2,5kg, zaburzenia oddychania, problemy z karmieniem (utrudnione ssanie i połykanie, ulewania i wymioty), przykurcze kończyn, częste zapalenia płuc i oskrzeli, obrzęk wokół oczu, długie, podwinięte rzęsy;



- charakterystyczne rysy twarzy nasilające się wraz z wiekiem: małowłowie - mikrocefalia, niska tylna linia włosów; niskie czoło; łukowate, krzaczaste, wyraźne, połączone ze sobą brwi (synophrys), jakby narysowane kredką; długie, gęste, podkręcone rzęsy; kości oczodołowe i jarzmowe są słabo rozwinięte; nisko osadzone małżowiny uszne; szeroki i zadarty w górę nos, z zapadniętą nasadą; mała szczęka, wąskie usta, z gładką, wydatną górną wargą i kącikami skierowanymi w dół (usta karpiovate); zdarza się rozszczep wargi; mały podbródek, mała szczęka - mikrognacja; wydatna rynianka wargowa; zasinienie skóry wokół oczu, nosa, ust; krótka szyja;
- wady zgryzu: szeroko rozstawione zęby, zgryz otwarty, rozszczep podniebienia, zeszlifowane zęby, ubytki zębowe, próchnica spowodowana częstymi wymiotami i refluksem żołądkowo-przelykowym;
- zniekształcenia kończyn: krótkie kończyny (fokomelia), deformacje dystalnych części rąk np. brak przedramienia lub obu przedramion, brak rąk, zniekształcenia palców, zrośnięcie palców (syndaktylia), dłonie przypominające szczytce raka (rozszczipione dłonie), zarośnięcie 2. i 3. palców stóp, krótki i "podwinięty" 5. palec; nisko osadzone kciuki, palce dodatkowe (polidaktylia); u starszych dzieci i dorosłych zauważalne małe ręce i stopy; dzieci uczą się chodzić, jednak w zależności od typu, może nauka trwać kilka lat;
- nadmierne owłosienie ciała (hirsutyzm), zwłaszcza w części krzyżowej pleców i na nogach;
- problemy z układem pokarmowym: refluks żołądkowo-przelykowy, wymioty i ulewania, zaparcia, biegunki, wzdęcia,
- częste infekcje układu oddechowego - zwłaszcza oskrzeli i płuc,
- opóźnienie rozwoju psycho-fizycznego, maksymalny wzrost wynosi do 1,5m; słabe przybieranie na wadze mimo apetytu, skłonność do tycia w wieku młodzieńczym; ale występuje niezwykła zdolność manipulacji przedmiotami, nawet przy wadach rąk; dzieci z łagodnym zespołem mogą nauczyć się czytać i pisać;
- zaburzenia psychiczne i nerwowe: upośledzenie umysłowe w stopniu lekkim, umiarkowanym i głębokim, zaburzenia autystyczne, samookaleczenia - wynikające z upośledzenia umysłowego np. bicie się po głowie, uderzanie głową, gryzienie rąk - mogą ustąpić z wiekiem; możliwe ADHD i nadpobudliwość oraz wahania nastroju; zaburzenia snu: nawet kilkudniowa bezsenność i lęki senne,
- zaburzenia zachowania, np. nadpobudliwość, krzyki, agresja - często wynikające z dolegliwości somatycznych lub ważnych wydarzeń - po wyleczeniu danej dolegliwości, czy zaprzestaniu oddziaływania bodźca, wszystko powinno wrócić do normy,
- zaburzenia mowy: trudności z mową, brak mowy, ochrypły głos, długa nauka mowy - nawet 5-6 lat, w ciężkim typie zespołu prawdopodobnie dziecko nie nauczy się mówić, choć zachęcane i motywowane może nauczyć się kilku prostych słów;
- zaburzenia słuchu: uszy małe i dysplastyczne, niedosłuch 30-50 db - wymaga zaopatrzenie w aparat słuchowy,

- zaburzenia wzroku: krótkowzroczność, oczopląs, opadanie powiek, hipertropie, objawy zapalenia spojówek,
- wady serca: z otworami np. ubytek przegrody międzyprzedsionkowej - ASD lub międzykomorowej – VSD [20].

Przypadki CdLS można klasyfikować za pomocą fenotypu. Klasyfikacja została zaprezentowana w tabeli 1.

**Tabela 1. Klasyfikacja CdLS według fenotypu [21]**

Typ I – klasyczny fenotyp	Klasyczne ciężkie postaci (głównie mutacje NIPBL) z charakterystycznymi zmianami twarzy i szkieletu.
Typ II – łagodny fenotyp	Łagodniejsze postaci, nietypowe warianty z wadami twarzy i niewielkimi wadami szkieletu podobnymi do typu I, czasem rozwijające się później lub tylko częściowo (głównie SMC1A lub mutacje SMC3).
Typ III – przypadki podobne do CdLS	Objawy fenotypowe CdLS, które są przyczynowo związane z chromosomem zmianem lub działaniem teratogenne

Zródło: opracowanie własne na podstawie McConnell V, Brown T, Morrison PJ. An Irish three-generation family of Cornelia de Lange syndrome displaying autosomal dominant inheritance. Clin Dysmorphol 2003; 12:241-4.

## 6. Leczenie

Leczenie jest skomplikowane i indywidualne ze względu na wiele zmian związanych z CdLS. Konieczna jest współpraca zespołu interdyscyplinarnego. W zależności od objawów i nasilenia CdLS leczenie może zapewnić podstawowy zespół, w bardziej skomplikowanych przypadkach zespół powiększa się o odpowiednich specjalistów. Zespół podstawowy może składać się z: pediatry, laryngologa, kardiologa, gastroenterologa, endokrynologa, urologa, denty, chirurga i fizjoterapeuty specjalizującego się w neuro-rehabilitacji dzieci [5,6,7,8]. W bardziej skomplikowanych przypadkach zespół składa się z: pediatry, genetyka, neurologa, kardiologa, internisty, gastroenterologa, endokrynologa, urologa, okulisty, chirurga, dietetyka, denty, lekarza specjalizującego się w rehabilitacji medycznej, fizjoterapeuty specjalizującego się w neuro-rehabilitacji, neuro-psychologa, logopedy i inni specjaliści potrzebni do indywidualnej terapii [5,6,7]. Ważne jest wsparcie rodziców dzieci z CdLS, ponieważ są narażeni na wysoki poziom stresu i problemy ze zdrowiem psychicznym [9,10]. Zadaniem zespołu interdyscyplinarnego jest zapewnienie opieki zdrowotnej oraz poprawienie jakości życia pacjentów z CdLS i ich rodzin. Najważniejszym aspektem w leczeniu jest doświadczenie i szeroka wiedza na temat CdLS i wszystkich możliwych problemów związanych ze wszystkimi członkami zespołu interdyscyplinarnego. Pozwala to na szybką, dokładną diagnozę i użycie różnych metod leczenia, w zależności od objawów, problemów i ich nasilenia. Aby to osiągnąć ważna jest ścisła współpraca wśród członków zespołu interdyscyplinarnego. Sprawia to, że są oni świadomi wszystkich zaburzeń, które wpływają na rozwój i zachowanie pacjenta. Właściwa terapia powinna ułatwić rozwój dziecka [3].

**Tabela 2. Leczenie problemów najczęściej spotykanych u pacjentów z CdLS [3]**

Problem	Terapia w ramach zespołu interdyscyplinarnego
Refluks żołądkowo-przełykowy	Początkowo pomoc dietyka i farmakoterapia. Następnym krokiem jest fundoplikacja. Ostatecznie umieszczenie rurki gastrostomijnej.
Choroby serca	Głównie farmakoterapia, zazwyczaj dzieci z CdLS nie potrzebują interwencji chirurgicznych.
Zaburzenia okulistyczne	Farmakoterapia, czasem interwencje chirurgiczne np. przy problemach z rzęsami.
Zaburzenia stomatologiczne	Mikro- i makrodondia, uzupełnianie ubytków w zębie, implanty, mosty – wszystko w znieczuleniu ogólnym.
Zaburzenia neurologiczne	Epilepsja leczona farmakologicznie.
Zaburzenia zachowania	Agresja, zachowania autodestrukcyjne, zachowania jak przy zespole ADHD. Zespół interdyscyplinarny musi odnaleźć źródło tych zachowań np. ból, nowa sytuacja, nowe środowisko.
Deformacje kończyn oraz wady budowy	Interwencja chirurgiczna w przypadku wad, które utrudniają funkcjonowanie.
Zaburzenia ruchu, opóźnienie rozwoju umysłowego	- Systematyczna ocena rozwoju i wzrostu. - U dorosłych ocena rozwoju osteoporozy. - Terapia zaburzeń napięcia mięśni, przykurczów i związanych z nimi deformacjami ciała np. skolioza. - Terapia zajęciowa. - Rehabilitacja neuropsychologiczna – zwiększenie potencjału edukacyjnego u dzieci z CdLS z uwzględnieniem zdolności rozwojowych i niepełnosprawności.
Utrata słuchu, niedosłuch	Dodatkowe badania z wykorzystaniem audiometrii. W przypadku niedosłuchu przewodzącego leczenie zachowawcze, ale w przypadku niedosłuchu odbiorczego aparat słuchowy.
Opóźnienie mowy i deficyty	Logopedia. W połączeniu z niedosłuchem – nauka języka migowego.
Wnętrostwo	Orchiopeksja.

Źródło: opracowanie własne na podstawie Mikołajewska E. Interdisciplinary Therapy in Cornelia de Lange Syndrome – Reviex of the Literature, Advances in Cliniccil and Experimental Medicine, January 2013, 571-577

### **Bibliografia:**

1. Noor N., Kazmi Z. Mehnaz A. Cornelia De Lange Syndrome Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan 2012, Vol. 22(6):412-413.
2. Tobias E.S., Connor M., Smith M.F. (2013) Genetyka medyczna PZWL Wydawnictwo Lekarskie, Warszawa s. 120.
3. Mikołajewska E. Interdisciplinary Therapy in Cornelia de Lange Syndrome – Reviex of the Literature, Advances in Cliniccil and Experimental Medicine, January 2013, 571-577.

4. Rohatgi S., Clark D., Kline A.D. et al.: Facial diagnosis of mild and variant CdLS: Insights from a dysmorphologist survey. *Am J Med Genet A* 2010, 152A(7), 1641–1653.
5. Kline A.D., Krantz I.D., Sommer A. Cornelia de Lange syndrome: clinical review, diagnostic and scoring systems, and anticipatory guidance *Am J Med Genet A* 2007, 143(12), 1287–1296.
6. Mikołajewska E. Zespół Cornellii de Lange – obraz kliniczny i terapia *Prakt Fizjoter Rehabil* 2010, 7–8, 50–53.
7. Mikołajewska E. Zespół Cornellii de Lange – obraz kliniczny, leczenie i rehabilitacja *Valetudinaria* 2008, 1, 52–56.
8. Gupta D., Goyal S. Cornelia de Lange syndrome *J Indian Soc Pedo Prev Dent* 2005, 3, 38–41.
9. Griffith G.M., Hastings R.P., Oliver C. et al. Psychological well-being in parents of children with Angelman, Cornelia de Lange and Cri du Chat syndromes *J Intellect Disabil Res* 2011, 55(4), 397–410.
10. [10] - Wulffaert J., van Berckelaer-Onnes I., Kroonenberg P. et al. Simultaneous analysis of the behavioural phenotype, physical factors, and parenting stress in people with Cornelia de Lange syndrome *J Intellect Disabil Res* 2009, 53(7), 604–619.
11. Mulder PA, Huisman SA, Hennekam RC, Oliver C, van Balkom ID, Piening S. Behaviour in Cornelia de Lange syndrome: a systematic review. *Dev Med Child Neurol*. 2017;59(4):361-366.
12. Bergeron M, Chang K, Ishman SL. Cornelia de lange manifestations in otolaryngology: A systematic review and meta-analysis. *Laryngoscope*. 2020;130(4):E122- E133.
13. Livingstone DM, Smith KA, Lange B. Scuba diving and otology: a systematic review with recommendations on diagnosis, treatment and post-operative care. *Diving Hyperb Med*. 2017;47(2):97- 109.
14. Miura da Costa K, Saxena AK. A systematic review of the management and outcomes of cecal and appendiceal volvulus in children. *Acta Paediatr*. 2018;107(12):2054- 2058.
15. Miura da Costa K, Saxena AK. A systematic review of the management and outcomes of cecal and appendiceal volvulus in children. *Acta Paediatr*. 2018;107(12):2054- 2058.
16. Biester K, Skipka G, Jahn R, Buchberger B, Rohde V, Lange S. Systematic review of surgical treatments for benign prostatic hyperplasia and presentation of an approach to investigate therapeutic equivalence (non-inferiority). *BJU Int*. 2012;109(5):722- 730.
17. Ellaithi M, Gisselsson D, Nilsson T, Elagib A, Fadl-Elmula I, Abdelgadir M. A case of Cornelia de Lange syndrome from Sudan. *BMC Pediatr* 2007; 7:6.
18. Krantz ID, McCallum J, DeScipio C, Kaur M, Gillis LA, Yaeger D, et al. Cornelia de Lange syndrome is caused by mutations in NIPBL, the human homolog of drosophila melanogaster NippedB. *Nat Genet* 2004; 36:631-5. Epub 2004 May 16.
19. Ireland M, Burn J. Cornelia de Lange syndrome: photo essay. *Clin Dysmorph* 1993; 2:151-60.
20. Borck G, Redon R, Sanlaville D, Rio M, Prieur M, Lyonnet S, et al. NIPBL mutations and genetic heterogeneity in Cornelia de Lange syndrome. *J Med Genet* 2004; 41:e128.
21. McConnell V, Brown T, Morrison PJ. An Irish three-generation family of Cornelia de Lange syndrome displaying autosomal dominant inheritance. *Clin Dysmorphol* 2003; 12:241-4.

## **2. ZAGROŻENIA ZWIĄZANE Z EKSPOZYCJĄ NA PROMIENIOWANIE SŁONECZNE I METODY OCHRONY**

### **Karolina Kosmala**

Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Wydział medyczny, kierunek lekarsko-dentystyczny

ul. Aleksandra Fredry 10, 61-701 Poznań

E-mail: karolina.kosmala25@gmail.com

### **Katarzyna Kliniec, Marcin Dereziński, Krzysztof Przeorski, Mateusz Mendowski**

Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

Wydział lekarski

Ul. Wybrzeże Ludwika Pasteura 1, 50-345 Wrocław

Email: katarzyna.kliniec@gmail.com

### **1. Wstęp**

Słońce kojarzyć możemy z jego pozytywnym działaniem na organizm człowieka. Dzięki ekspozycji na światło słoneczne w skórze produkowana jest witamina D oraz wspomagana jest synteza endorfin. Promieniowanie słoneczne wykorzystywane jest również w terapii niektórych chorób skóry [39] (helioterapia). Jednak należy pamiętać o negatywnych skutkach przewlekłej ekspozycji na promieniowanie ultrafioletowe emitowane przez Słońce. Do skutków tych należą m.in. przebarwienia skóry, jej przedwczesne starzenie, stany przedrakowe oraz nowotwory skóry. Ważna jest świadomość ryzyka występowania tych schorzeń skóry, warto też posiadać wiedzę na temat ich objawów czy podstawowych mechanizmów powstawania. Najważniejsza jednak wydaje się być wiedza na temat ochrony skóry przed szkodliwymi skutkami chronicznego przebywania na Słońcu. Spośród wielu dostępnych preparatów o działaniu fotoprotekcyjnym wybór odpowiedniego może być trudny. Zaznajomienie się z oznaczeniami produktów oraz aktualnymi rekomendacjami umożliwi nam dopasowanie odpowiedniej do naszych potrzeb ochrony przeciwsłonecznej i stosowanie jej nie tylko w czasie wakacji, ale i na co dzień.

### **2. Materiały i metody**

W artykule wykorzystane zostały materiały dostępne w serwisach PubMed i Google Scholar (wyniki wyszukiwania słów takich jak: „melanoma”, „fotostarzenie”, „rak kolczystokomórkowy”, „czerniak”, „ochrona przeciwsłoneczna”, „filtr UV”, „promieniowanie ultrafioletowe”, „melasma”, w języku polskim i angielskim). Dokonana została analiza rekomendacji Polskiego Towarzystwa Dermatologicznego, Amerykańskiej Akademii Dermatologii, Brytyjskiego Stowarzyszenia Dermatologów i Komisji Europejskiej.

Celem niniejszej pracy było przybliżenie problemu szkodliwości promieniowania ultrafioletowego (UV) i usystematyzowanie aktualnej wiedzy na temat skuteczności metod ochrony przeciwsłonecznej i właściwego ich stosowania.

### 3. Dyskusja

#### 3.1. Ekspozycja skóry na promieniowanie ultrafioletowe

Na promieniowanie słoneczne, które dociera do ziemskiej atmosfery składają się: promieniowanie podczerwone (IRR), ultrafioletowe (UVR) oraz światło widzialne (VIS) [33]. Spośród nich na wyszczególnienie zasługuje promieniowanie UV, ponieważ bierze ono udział w wielu ważnych procesach zachodzących w skórze człowieka i niewłaściwa ochrona przed nim niesie za sobą poważne konsekwencje dla zdrowia. Składa się ono z trzech pasm o różnych długościach fali, a mianowicie: UVA (320-400nm), UVB (290-320nm) i UVC (200-290nm). Do powierzchni Ziemi i ludzkiej skóry dociera tylko promieniowanie UVA oraz 10% promieniowania UVB, ponieważ wszystkie pozostałe (tj. całe promieniowanie UVC oraz 90% promieniowania UVB) zostają pochłonięte przez ozon zawarty w atmosferze [33]. Biorąc pod uwagę różne właściwości fizyczne poszczególnych pasm UVR, należy spodziewać się, że będą one inaczej oddziaływać na ludzką skórę, dając przy tym różne skutki zdrowotne.

Promieniowanie UVA, które składa się z fal o większej długości, charakteryzuje się stałym natężeniem niezależnie od pory dnia oraz zdolnością do przenikania przez szyby okienne i samochodowe [10, 33]. Równie dobrze przenika ono przez warstwę naskórka, działając tym samym na struktury położone w skórze właściwej i przyczyniając się do procesów starzenia skóry. Wśród wspomnianych wyżej oddziaływań należy wymienić zwiększenie uwalniania kolagenazy i metaloproteinaz, prowadzące do uszkodzenia włókien kolagenowych, elastynowych oraz ścian naczyń krwionośnych. Odpowiadają one także za reakcje fototoksyczne, fotoalergiczne, oraz nasilenie syntezy wolnych rodników tlenowych, przyczyniając się tym samym do uszkodzania DNA komórek i sprzyjając powstawaniu zmian nowotworowych [26, 33].

W przeciwieństwie do przedstawionego wyżej UVA, promieniowanie UVB charakteryzuje się zmiennym natężeniem, zależnym od pory roku, dnia oraz szerokości geograficznej [26, 33, 43]. Ponadto wykazuje ograniczoną zdolność przenikania przez skórę, dlatego oddziałuje wyłącznie na warstwę naskórka, odpowiadając za jego uszkodzenia, zmiany rumieniowe, stan zapalny i pobudzając syntezę melaniny przez melanocyty [33]. Wspólnie

z promieniowaniem UVA bierze ono udział w promowaniu karcynogeneza, nie tylko poprzez indukowanie stresu oksydacyjnego czy nasilenie ekspresji genu TP53, ale również syntezę dimerów tymidynowych [10, 26, 35]. Pomimo wielu niekorzystnych skutków przez nie wywoływanych, jest ono jednak niezbędne dla ludzkiego organizmu, ze względu na niezastąpioną rolę w procesie biosyntezy witaminy D [26].

Ostatni rodzaj promieniowania UV – UVC, ze względu na silne oddziaływanie z kwasami nukleinowymi i związanym z tym efektem cytotoksycznym, uważane jest za najgroźniejsze dla żywych organizmów. Nie jest ono jednak przedmiotem powszechnych dyskusji, ponieważ nie dociera ono do powierzchni Ziemi [33].

#### 3.2. Wpływ Słońca na starzenie skóry

Starzenie się skóry wraz z wiekiem to proces nieunikniony, na który wpływ ma wiele czynników wewnątrz- oraz zewnątrzpochodnych. Do czynników odgrywających znaczącą

rolę w tym procesie należy promieniowanie słoneczne. Na skutek długotrwałej ekspozycji skóry na światło słoneczne dochodzi do przedwczesnego jej starzenia, co nazywamy fotostarzeniem. O występowaniu fotostarzenia świadczy występowanie widocznych objawów starzenia w większej ilości i znacznie szybciej na odsłoniętych powierzchniach ciała, np. twarzy [3]. Z uwagi na wieloletni przebieg procesu fotostarzenia utrudnione jest zbadanie względnego udziału różnych długości fal w ludzkiej skórze. Po analizie cech promieniowania UVB i UVA naukowcy przedstawiali różne teorie, które z nich odgrywa znacznie większą rolę w przebiegu fotostarzenia. Najprawdopodobniej jednak zarówno UVA, jak i UVB przyczyniają się do występowania określonych cech fotostarzenia [14].

Na typowe cechy starzenia skóry pod wpływem Słońca silnie wpływa fototyp skóry. Objawy fotostarzenia są bardziej widoczne u osób o jasnej karnacji oraz wieloletniej i regularnej ekspozycji na UVR [14]. Do cech manifestujących się w przebiegu fotostarzenia należą zmarszczki, plamy barwnikowe, piegi, plamy soczewicowate, odbarwienia. Ponadto obserwujemy obniżenie elastyczności i napięcia skóry, wzrost podatności na uszkodzenia oraz łagodne zmiany patologiczne takie jak włókniaki, rogowacenie, teleangiektazje [5].

W obrazie histologicznym obserwujemy zmiany w obrazie skóry ekspozowanej w stosunku do obrazu skóry z powierzchni chronionej przed słońcem u tej samej osoby. W obszarze uszkodzonym przez promieniowanie może występować hiperkeratoza warstwy rogowej, przerost, zanik lub niezmienny obraz naskórka. Najbardziej widoczną cechą fotostarzenia jest elastoz [6]. Zjawisko to występuje tylko w skórze ekspozowanej na promieniowanie ultrafioletowe i polega na tworzeniu agregatów z nagromadzonej w warstwie siateczkowej skóry właściwej tropoelastyny [3]. Spływanie granicy skórno-naskórkowej oraz spadek liczby naczyń, które są kręte, rozszerzone i mają pogrubione ściany to kolejne cechy obrazu histologicznego skóry starzejącej się na skutek oddziaływania słońca [18].

### **3.3. Związek światła słonecznego z nowotworami**

Proces nowotworzenia w skórze jest ściśle powiązany z ekspozycją na promieniowanie UV. Z jednej strony prowadzi ono do uszkodzenia DNA związanego z wywołaniem mutacji w genie kodującym białko P53 co skutkuje niekontrolowanymi podziałami keratynocytów, a z drugiej obniża zdolność układu immunologicznego do działania przeciwnowotworowego [15].

Do innych poznanych czynników ryzyka zachorowania na nowotwory skóry należy przebieg fototerapii, zakażenie wirusem HIV, stan po przeszczepie, zakażenie wirusem HPV [32].

Do najczęstszych stanów przednowotworowych skóry należą rogowacenie słoneczne, choroba Bowena oraz keratoakantoma [30].

Rogowacenie słoneczne jest to powszechnie występująca zmiana dysplastyczna, która ograniczona jest do naskórka. W obrazie klinicznym ujawnia się jako łuszczące, białe ognisko pogrubionej skóry przede wszystkim na okolicach odsłoniętych - twarzy, szyi oraz na powierzchniach grzbietowych rąk. Na poziomie molekularnym wiadomo, że jedną z przyczyn tego stanu jest zaburzenie proliferacji komórek, a także komunikacji wewnątrzkomórkowej. Do wystąpienia takich zmian predysponuje fototyp I i II skóry wg. Fitzpatricka. Rogowacenie słoneczne może wycofać się spontanicznie, pozostawać stabilne lub transformować się

w kierunku raka kolczystokomórkowego, czego ryzyko jest oceniane na około 1% przez 10 lat [9, 13, 22].

Do stanów przednowotworowych skóry należy również skóra pergaminowa (*xeroderma pigmentosum*) będąca rzadkim, dziedzicznym się autosomalnie recesywnie, genetycznym defektem polimerazy B DNA. U osób cierpiących na to zaburzenie nowotwory skóry inne niż czerniak rozwijają się nawet 50 lat wcześniej niż w populacji zdrowej [19].

Nowotwory w obrębie skóry dzieli się na podstawie pochodzenia z jej konkretnych warstw. W piśmiennictwie anglosaskim dominuje podział na nowotwory złośliwe pochodzące z keratynocytów czyli NMSC (non-melanoma skin cancer), w skład którego wchodzi rak podstawnokomórkowy (BCC), podstawnokolczystokomórkowy i kolczystokomórkowy (SCC), do drugiej grupy należy czerniak złośliwy [21]. Każdy z tych nowotworów daje nieco inne objawy oraz ma inne rokowania. Rak podstawnokomórkowy przerzutuje bardzo rzadko, rak kolczystokomórkowy częściej, natomiast czerniak odznacza się najwyższą złośliwością spośród omawianych nowotworów.

W obrębie skóry występuje również rak z komórek Merkla będący rzadkim, agresywnym, neuroendokrynnym nowotworem o niepewnym pochodzeniu i patogenezie [8].

W przypadku raka podstawnokomórkowego oraz kolczystokomórkowego do rozwoju nowotworu prowadzi kumulacyjna ekspozycja na promieniowanie UV. Nowotwory te wywodzą się z komórek keratynizujących.

Rak podstawnokomórkowy jest najczęstszym nowotworem skóry występującym u człowieka. Rozwija się najczęściej w obrębie skóry twarzy, a w jego patogenezie, oprócz działania promieni UV, podejrzewa się zakażenie wirusem HPV. Do odmian omawianego nowotworu należą postać guzkowa (najczęstsza), barwnikowa, wrzodziejąca, twardzinopodobna, torbielowata oraz powierzchniowa. Rak podstawnokomórkowy rośnie wolno i ma niską zdolność do przerzutowania. Diagnoza tego nowotworu jest stawiana zazwyczaj po 15-20 latach od zadziałania czynnika sprawczego prowadzącego do jego rozwoju [9, 24].

Rak kolczystokomórkowy jest drugim najpopularniejszym nowotworem skóry w Stanach Zjednoczonych. Podobnie jak w przypadku raka podstawnokomórkowego czynnikiem sprawczym jest przede wszystkim działanie promieniowania ultrafioletowego, a następnie uszkodzenie genu kodującego białko p53. Lokalizacja tego nowotworu również jest podobna - występuje głównie na twarzy, szyi i karku. Wyróżniamy postać wrzodziejącą i brodawkującą [17].

Najbardziej złośliwym nowotworem skóry jest czerniak, którego mechanizm nowotworzenia nie jest do końca poznany. Wiadomo, że melanocyty nie ulegają podziałom w zdrowej skórze, niemniej jednak poparzenie słoneczne prowadzi do uszkodzenia ich materiału genetycznego, a promieniowanie UVB promuje ich podział [15]. W przypadku czerniaka w USA liczba zachorowań znacząco wzrosła, czemu rolę przypisuje się lepszej wykrywalności, ubytkowi warstwy ozonowej oraz używaniu sztucznych lamp ultrafioletowych [23]. Należy pamiętać, że czerniak może występować nie tylko na skórze, ale także w gałce ocznej, mózgu, przewodzie pokarmowym oraz jamie ustnej. Dane epidemiologiczne wskazują, że przyjmowanie doustnych środków antykoncepcyjnych oraz hormonalnej terapii zastępczej nie ma żadnego wpływu na przebieg czerniaka. Nie wykazano



również związku pomiędzy ryzykiem zachorowania na ten nowotwór, a przyjmowaniem leków na bezpłodność [12].

David C Borradale pisze o ważnym procesie, którym jest degradacja folianów zawartych w skórze oraz krwi przez promieniowanie UV-A oraz UV-B. Kwas foliowy jest redukowany do kwasu lewomefoliowego, który jest jego aktywną formą i pełni istotną rolę w syntezie i naprawie DNA [7].

Badania wykazały, że foliany są wrażliwe na światło - pod jego wpływem dochodzi do ich rozpadu. Kwas lewomefoliowy jest rozkładany przez światło UVB, ale nie przez UVA. In vivo jednak, światło UVB nie penetruje do krążenia skórnoego w wystarczającym stopniu (w przeciwieństwie do UVA), aby móc oddziaływać bezpośrednio na poziom kwasu foliowego we krwi. Dowiedziono jednak, iż endogenne fotouczulacze - uroporfiryny i ryboflawiny pod wpływem promieniowania UVA i światła widzialnego wydzielają wolne rodniki tlenowe, które dezaktywują kwas lewomefoliowy [25].

Williams i Jacobson dowiedli, że keranocyty pozbawione folianów wykazywały obniżoną zdolność do naprawy DNA po ekspozycji na światło słoneczne. Sprzyja to zjawisku niestabilności genetycznej, a co za tym idzie – może mieć udział we wczesnych procesach nowotworzenia w obrębie skóry [38].

W innym badaniu, na podstawie danych epidemiologicznych, wysunięto hipotezę, iż fotodegradacja folianów in vivo polepsza rokowanie chorych na nowotwory okrężnicy, piersi, prostaty i chłoniaka Hodgkina, gdyż obniżając ich stężenie, zwiększa efektywność leczenia antagonistami kwasu foliowego [34].

### **3.4. Melasma**

Melasma, inaczej ostuda, jest nabytym przebarwieniem skóry związanym ze wzmożonym wytwarzaniem melaniny w miejscach wyeksponowanych na słońce [36]. Zmiany mają nasilenie od żółtobrunatnych do ciemnobrunatnych plam o dobrym odgraniczeniu i nieregularnych zarysach. W ich obrębie nie występuje zaczerwienienie, złuszczenie ani zanik [18].

Jest to schorzenie wieloczynnikowe. Do znanych przyczyn, które mogą prowadzić do jego wystąpienia zalicza się przede wszystkim promieniowanie UV, ale także uwarunkowania genetyczne, ciążę, terapie hormonalne, zaburzenia wewnątrzwydzielnicze, leki fototoksyczne, leki przeciwzapalne i kosmetyki.

Dokładna patogeneza ostudy nie jest znana [1], jednak wiadomo, że promieniowanie słoneczne może prowadzić do peroksydacji lipidów błon komórkowych, co jest przyczyną powstania wolnych rodników tlenowych, które z kolei stymulują melanocyty do nadmiernej produkcji melaniny. Promieniowanie UV skutkuje wytworzeniem czynników, które poprzez melanocyty śródskórne, prowadzą do wzmożonej produkcji melaniny. Zalicza się do nich m.in. melantropinę, kortykotropinę, interleukinę 1 i endotelinę 1. Alternatywną drogą pobudzenia melanogenezy jest stymulacja komórek macierzystych skóry poprzez aktywację fibroblastów z powodu przedłużonego zapalenia skóry wywołanego promieniami słonecznymi [4].

Piśmiennictwo anglosaskie rozróżnia trzy typy kliniczne melasmy: typ centralno-twarzowy obejmujący czoło, policzki, wargę górną, nos i brodę, typ policzkowy zlokalizowany na policzkach i nosie oraz typ żuchwowy - na gałęziach żuchwy [1, 4].

Melasma może dotknąć osoby o każdym kolorze skóry, ale jest częstsza u osób o ciemnym odcieniu skóry, a szczególnie częsta wśród osób o fototypach III-V wg Fitzpatricka [16]. Dotyka kobiet dziewięć razy częściej niż mężczyzn [4]. Prawdopodobnym powodem, dla którego kobiety częściej chorują na melasmę od mężczyzn jest fakt, iż u kobiet stężenie progesteronu i estrogenu jest wyższe, szczególnie w trakcie ciąży. Dowiedzione zostało, że kobiety po menopauzie przyjmujące zastępczą terapię hormonalną z użyciem progesteronu mogą rozwinąć tę jednostkę chorobową. U osób cierpiących na melasmę, melanocyty są bardziej stymulowane przez żeńskie hormony płciowe [4].

Występuje rzadko przed okresem dojrzewania płciowego; w jego trakcie jest częstsza. Ostudę spotyka się u od 15% do 50% ciężarnych. Rozpowszechnienie wynosi od 1.5% do 33%, w zależności od danej populacji [4]. Dodatni wywiad rodzinny zaobserwowano wśród 33.33% chorych [1].

Melasma nie została powiązana w badaniach ze zwiększoną śmiertelnością lub zapadalnością na inne jednostki chorobowe. Nie zostały również opisane przypadki złośliwych transformacji nowotworowych, zwiększonego ryzyka zachorowania na czerniaka lub innych nowotworów złośliwych [4].

Pacjenci poddają się terapii najczęściej ze względów estetycznych [4]. Zmiany umiejscawiają się w widocznych miejscach, co jest powodem obniżenia jakości życia i samooceny osób dotkniętych ostudą [16]. Duży odsetek pacjentów cierpi również na depresję [11]. W większości przypadków, przy unikaniu światła słonecznego oraz zaprzestaniu używania leków, które mogą wywoływać ten stan, melasma ustępuje sama w przeciągu kilku miesięcy [4].

### 3.5. Wpływ promieniowania ultrafioletowego na zaostżenia chorób

Należy spodziewać się, że zmiany dokonujące się w skórze za pośrednictwem promieni UV będą miały wpływ na toczące się w jej obrębie procesy chorobowe. Dlatego też w wielu schorzeniach, przebiegających z nadwrażliwością na promienie nadfioletowe, zaleca się unikania ekspozycji na duże dawki promieniowania słonecznego oraz odpowiednie stosowanie środków fotoprotekcyjnych, w celu zmniejszenia ryzyka wystąpienia zaostżeń choroby. Do schorzeń takich należą na przykład: toczeń rumieniowaty układowy, zespół Sjögrena, pęcherzyce zwykła i liściasta, trądzik zwyczajny i różowaty, choroba Dariera, łojotokowe zapalenie skóry oraz liszaj płaski. Ten rodzaj profilaktyki dotyczy również chorych z fotodermatozami genetycznymi (np. *xeroderma pigmentosum*, zespół Cockayne'a), których skóra pozbawiona jest niektórych naturalnych mechanizmów ochronnych, a przez to dużo bardziej podatna na szkodliwe działanie promieni UV [2, 28, 35].

### 3.6. Fotoprotekcja

Polskie Towarzystwo Dermatologiczne wskazuje, że kwalifikacja danego preparatu, jako skutecznego środka ochrony przed promieniowaniem UV jest możliwa, jeśli zostaną spełnione następujące warunki:

#### 1. Ochrona przeciw UVA i UVB

Preparat przeciwsłoneczny musi zapewnić ochronę przed promieniowaniem UVA i UVB, a stosunek ochrony UVA do UVB musi wynosić minimum 1/3 [26]. W praktyce, zgodnie z europejskimi wytycznymi stosowane jest oznaczenie na opakowaniu produktu,

który spełnia ten wymóg, w formie logo UVA [42], które jest przedstawione, jako litery UVA w kółku [41].

## 2. Minimalna wartość $SPF = 6$

Za pomocą współczynnika  $SPF$  (*sun protection factor*) określany jest stopień ochrony przeciw promieniowaniu UVB. Oznacza on stosunek minimalnej dawki promieniowania (MED), która spowoduje wystąpienie rumienia na skórze chronionej przez dany produkt, do MED powodującej rumień na skórze bez ochrony przeciwsłonecznej. Oznacza to, że dawka promieniowania, która wywoła rumień po zastosowaniu filtra z  $SPF = 30$  może być 30 razy wyższa, niż dawka promieniowania wywołująca rumień na skórze bez zastosowanej ochrony przeciwsłonecznej. Nie należy mylić tego z dozwolonym czasem, przez który można narażać się na oddziaływanie promieniowania słonecznego, gdyż wartość współczynnika  $SPF$  równa 30 nie oznacza 30-krotnego wydłużenia tego czasu [26].

## 3. Masa cząsteczkowa filtra musi wynosić więcej niż 500 Da.

Odpowiednia masa cząsteczkowa ma zapobiegać przeskórnemu przenikaniu filtra [26].

### **3.7. Zakres ochrony przeciwsłonecznej**

Zgodnie z zaleceniami Komisji Europejskiej produkt przeciwsłoneczny powinien być opatrzony informacją na temat poziomu zapewnianej ochrony, określanego kategoriami ustalonymi na podstawie zakresu deklarowanego współczynnika  $SPF$ :  $SPF$  6-10 - niska ochrona,  $SPF$  15, 20, 25 – średnia ochrona,  $SPF$  30 i 50 – wysoka ochrona,  $SPF$  50+ - bardzo wysoka ochrona. Kategorie te powinny być równoważne także z odpowiednim stopniem ochrony przed promieniowaniem UVA wynoszącym 1/3 wartości oznaczonego współczynnika  $SPF$  [42]. Żaden z filtrów UV nie zapewnia 100% bezpieczeństwa, a wzrost jest liniowy tylko w przypadku ochrony przed oparzeniami słonecznymi. Oznacza to, np. w przypadku filtra  $SPF$  30, że chroni on dwukrotnie bardziej przed oparzeniem niż filtr z  $SPF$  15, ale stopień pochłaniania promieniowania UVB wynosi 97% dla  $SPF$  30 i 93% dla  $SPF$  15 [42]. Filtr z  $SPF$  50 pochłania 98,3% promieniowania UVB [26].

### **3.8. Oznaczanie stopnia ochrony przeciw promieniowaniu UVA**

Oprócz oznaczania odpowiednim logo produktów spełniających warunek stosunku ochrony przed UVA do UVB wynoszącym 1/3 [41, 42] istnieją również inne metody oznaczania stopnia ochrony przeciw promieniowaniu UVA. Jednym z nich jest opracowany w Wielkiej Brytanii system gwiazdkowy [20], za pomocą którego określa się procent pochłoniętego promieniowania UVA w porównaniu do UVB. W pierwszej kolejności należy więc zwrócić uwagę na wartość  $SPF$  i odnieść ją do ilości gwiazdek, których zakres mieści się między 0 a 5. Ich duża liczba wskazuje na to, że produkt ma porównywalny poziom ochrony przeciw UVA, z tym deklarowanym przeciw UVB. Za wysoki standard ochrony przeciw promieniowaniu UV jest uważany filtr  $SPF$ 30 z liczbą 4 lub 5 gwiazdek [41]. W informacjach o niektórych produktach przeciwsłonecznych, dostępnych na rynku, można znaleźć wartość PPD (*peristent pigment darkening*). Jest to metoda trwałej pigmentacji - jeden ze sposobów określania stopnia ochrony przed UVA. Określa stosunek dawki promieniowania UVA, która

wywoła widoczną na skórze reakcję przy zastosowaniu preparatu z filtrem do dawki promieniowania UVA wywołującej widoczną reakcję na skórze bez ochrony [26].

Japońskie wytyczne opierają się natomiast na współczynniku ochrony przed promieniowaniem UVA - *protection factor UVA* (PFA). Jest to stosunek minimalnej dawki promieniowania UV potrzebnej do powstania lekkiego zaciemnienia na całym obszarze skóry poddanej promieniowaniu w czasie od 2 do 4h od ekspozycji (MPPD - minimal persistent pigment darkening) przy zastosowaniu środka ochrony, do MPPD skóry niechronionej. Wartość PFA oznaczana jest jako klasa ochrony UVA (PA- protection grade of UVA) z odpowiednią ilością +. Wartość PFA 2 lub większa, ale mniejsza niż 4 to PA + i oznacza niską ochronę, 4 i więcej, ale mniej niż 8 to PA ++ i oznacza umiarkowaną ochronę, a 8 i więcej to PA +++, co oznacza wysoką ochronę [20].

### 3.9. Stosowanie filtrów UV

Wybór właściwego preparatu przeciwsłonecznego to pierwszy krok do prawidłowej ochrony przeciwsłonecznej. Równie ważne jest prawidłowe jego stosowanie, dlatego należy przestrzegać następujących zasad:

- Filtr UV należy zaaplikować około 15 minut przed wyjściem na zewnątrz [40].
- Zaaplikować odpowiednią ilość filtru ( $2 \text{ mg/cm}^2$ ) co w praktyce oznacza 6 pełnych łyżeczek w celu pokrycia całego ciała – ponad pół łyżeczki na twarz (i uszy), na szyję i na każde z ramion oraz nieco ponad łyżeczkę na każdą nogę i na przód oraz tył ciała [41].
- Filtr należy nałożyć na wszystkie odkryte fragmenty skóry [40].
- Powtarzać aplikację po 2 godzinach lub natychmiast po pływaniu lub spoceniu się [40].
- Należy pamiętać o stosowaniu filtru również zimą i w pochmurne dni [40].

### 3.10. Skuteczność preparatów przeciwsłonecznych

Istnieje wiele badań potwierdzających skuteczność filtrów UV. Udowodniono, że stosowanie produktów przeciwsłonecznych zapobiega rozwojowi inwazyjnego czerniaka i raka kolczystokomórkowego (cSCC), zmniejsza rumień oraz objawy takie jak zanik naskórka i skóry właściwej, teleangiektazje, degradacje włókien elastycznych czy depigmentację, które są objawami fotostarzenia [35]. Jedno z badań przeprowadzonych w Australii oceniło związek między stosowaniem ochrony przeciwsłonecznej, a ryzykiem wystąpienia czerniaka u osób poniżej 40 roku życia. Przeanalizowano w nim dane z kwestionariusza na temat stosowania ochrony przeciw promieniowaniu UV pochodzące z australijskiego badania dotyczącego rodzinnego czerniaka. Wykazano, że regularne stosowanie ochrony przeciwsłonecznej ma znaczący wpływ na zmniejszenie ryzyka czerniaka u młodych dorosłych [37].

W innym badaniu 32 ochotników stosowało fotostabilny filtr SPF 30, codziennie przez 52 tygodnie, na całą powierzchnię twarzy. Stwierdzono poprawę w zakresie wszystkich parametrów fotostarzenia już po 12 tygodniach stosowania filtra UV. Ulegały one dalszej poprawie do końca eksperymentu. U 100% badanych nastąpiło rozjaśnienie i poprawa tekstury skóry [31]. Kolejne badanie wykazało znaczący spadek, wywoływanego przez

promieniowanie UV, uszkodzenia DNA na skórze chronionej preparatem przeciwsłonecznym [29].

Ponadto wskazuje się na istotność stosowania filtrów UV w chorobach, które mogą być zaostrzane przez promieniowanie słoneczne (m.in. trądzik różowaty, toczeń rumieniowaty, zapalenie skórno-mięśniowe) [35].

### 3.11. Inne metody ochrony

Poza preparatami przeciwsłonecznymi, duże znaczenie w ochronie przed szkodliwymi skutkami promieniowania UV mają również nakrycia głowy, okulary przeciwsłoneczne i odzież ochronna.

Okulary przeciwsłoneczne, posiadające europejski certyfikat, absorbujące fale UV do 400 nm skutecznie chronią narząd wzroku przed promieniowaniem UV i chorobami takimi jak retinopatia słoneczna czy *photokeratitis*. Znacznie zmniejszają także ryzyko wystąpienia zaćmy.

Kapelusze posiadające rondo szersze niż 7,5 cm mogą w pewnym stopniu zapewnić ochronę poszczególnych partii twarzy tj. rzędu SPF 7 - nos, SPF 5 – szyi, SPF 3 – policzków, SPF 2 - brody. Te o mniejszym, ale większym niż 2,5 cm rondzie zapewnią jedynie ochronę nosa i policzków, odpowiednio rzędu SPF 3 i 2. Węższe rondo lub daszki w nakryciach głowy mogą zapewnić ochronę rzędu SPF 1,5 dla nosa.

Odzież ochronna polecana jest szczególnie osobom wybitnie wrażliwym na promieniowanie słoneczne. Do pomiaru stopnia ochrony zapewnianej przez odzież stosuje się współczynnik ochrony przed UVR (UPF - ultraviolet protection factor). Według europejskich standardów materiał wykorzystany do jej wytworzenia powinien posiadać UPF = 40 lub wyższy. Ponadto transmisja UVA powinna wynosić mniej niż 5%. Istnieją również preparaty piorące mogące zwiększyć wartość UPF [27].

## 4. Podsumowanie

Szkodliwość promieniowania UV jest niewątpliwie poważnym problemem, który nie może być bagatelizowany. Badania udowadniają jego wpływ na rozwój nowotworów skóry czy zaostrzanie niektórych chorób. Promieniowanie słoneczne odpowiada również za dotyczący każdego człowieka proces fotostarzenia. Z tego względu tak ważna jest znajomość jego negatywnych skutków oraz wiedza na temat skutecznych metod ochrony. Dalsze nagłaśnianie problemu, jakim jest szkodliwość promieniowania UV w kampaniach społecznych i mediach oraz przekazywanie usystematyzowanych i czytelnych dla każdego informacji, dotyczących dostępnych preparatów fotoprotekcyjnych i ich prawidłowego stosowania, są kluczowym elementem profilaktyki negatywnych skutków ekspozycji na światło słoneczne, nieuniknionej w życiu codziennym.

### Bibliografia:

1. Achar A, Rathi SK. (2011) Melasma: a clinico-epidemiological study of 312 cases. *Indian J Dermatol*.
2. Amblard, P., Leccia, M. T. (1992). Dermatoses avec photosensibilité [Skin diseases with photosensitivity]. *La Revue du praticien*, 42(11), 1365–1368.

3. Ata P., Majewski S. (2013) Fotostarzenie skóry. *Dermatology Review / Przegląd Dermatologiczny*. 2013, Vol. 100 Issue 3, p178-183. 6p.
4. Basit H, Godse KV, (2020) Al Aboud AM. Melasma. [Updated 2020 Jan 15]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan-.
5. Baumann L. (2013) *Dermatologia estetyczna*. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL
6. Berneburg M., Plettenberg H., Krutmann J. (2002) Photoaging of human skin <https://doi.org/10.1034/j.1600-0781.2000.160601.x>
7. Borradaile, D. C., & Kimlin, M. G. (2012). Folate degradation due to ultraviolet radiation: possible implications for human health and nutrition. *Nutrition reviews*, 70(7), 414–422
8. Brady M, Spiker AM. (2019) Cancer, Merkel Cell Of The Skin. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan-.
9. Cywińska E., Brzeziński P. (2017). Rogowacenie słoneczne. Wstępna diagnostyka w gabinecie kosmetycznym Actinickeratosis. A preliminary diagnosis in the cosmetology office, 3 / 2017 / vol. 6 *Kosmetologia Estetyczna*
10. Dale Wilson, B., Moon, S., Armstrong, F. (2012). Comprehensive review of ultraviolet radiation and the current status on sunscreens. *The Journal of clinical and aesthetic dermatology*, 5(9), 18–23.
11. Deshpande SS, Khatu SS, Pardeshi GS, Gokhale NR. (2018) Cross-sectional study of psychiatric morbidity in patients with melasma. *Indian J Psychiatry*.
12. Dika E, Patrizi A, Lambertini M, Manuelpillai N, Fiorentino M, Altimari A, Ferracin M, Lauriola M, Fabbri E, Campione E, Veronesi G, Scarfi F. (2019) Estrogen Receptors and Melanoma: A Review. *Cells*
13. Dodds A, Chia A, Shumack S. (2014) Actinic keratosis: rationale and management. *Dermatol Ther (Heidelb)*.
14. Gilchrest B. (2013) Photoaging <https://doi.org/10.1038/skinbio.2013.176>
15. Gruber P, Shah M, Zito PM. Cancer, Skin (Integument) [Updated 2020 Mar 24]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing;
16. Handel AC, Miot LD, Miot HA. (2014) Melasma: a clinical and epidemiological review. *An Bras Dermatol*.
17. Howell JY, Ramsey ML. (2019) Cancer, Squamous Cell of the Skin In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan-
18. Jabłońska S., Majewski S. (2010) “Choroby skóry i choroby przenoszone drogą płciową” PZWL Warszawa, wyd 1 ISBN: 978-83-200-4707-3
19. Kraemer KH. (1997) Sunlight and skin cancer: another link revealed. *Proc Natl Acad Sci U S A*.
20. Latha, M. S., Martis, J., Shobha, V., Sham Shinde, R., Bangera, S., Krishnankutty, B., Bellary, S., Varughese, S., Rao, P., & Naveen Kumar, B. R. (2013). Sunscreening agents: a review. *The Journal of clinical and aesthetic dermatology*, 6(1), 16–26.
21. Leiter U, Garbe C. (2008) Epidemiology of melanoma and nonmelanoma skin cancer--the role of sunlight. *Adv Exp Med Biol*. 624:89- 103. doi:10.1007/978-0-387-77574-6\_8
22. Marks R, Rennie G, Selwood TS. (1988) Malignant transformation of solar keratoses to squamous cell carcinoma. *Lancet*.1(8589):795- 797. doi:10.1016/s0140-6736(88)91658-3

23. Matthews NH, Li WQ, Qureshi AA, et al. (2017) Epidemiology of Melanoma. In: Ward WH, Farma JM, editors. Cutaneous Melanoma: Etiology and Therapy [Internet]. Brisbane (AU): Codon Publications; Chapter 1.
24. McDaniel B, Badri T. Basal Cell Carcinoma. [Updated 2019 Dec 16]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan-.
25. Moan, J., Nielsen, K. P., & Juzeniene, A. (2012). Immediate pigment darkening: its evolutionary roles may include protection against folate photosensitization. *FASEB journal : official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 26(3), 971–975.
26. Narbutt J., Wolska H., Kaszuba A., Langner A., Lesiak A., Maj J., Placek W., Reich A., Rudnicka L., Zegarska B. (2018): Photoprotection. Recommendations of the Polish Dermatological Society. Part 1: Ultraviolet radiation and sunscreens. *Dermatol Rev/Przegl Dermatol* 2018, 105, 19–29. DOI: <https://doi.org/10.5114/dr.2018.74163>.
27. Narbutt J., Wolska H., Kaszuba A., Langner A., Lesiak A., Maj J., Placek W., Reich A., Rudnicka L., Zegarska B. (2018): Photoprotection. Recommendations of the Polish Dermatological Society. Part 2: Sunscreen use. *Dermatol Rev/Przegl Dermatol* 2018, 105, 30–40. DOI: <https://doi.org/10.5114/dr.2018.74164>.
28. Oakley AM, Badri T. Photosensitivity. [Updated 2019 Oct 19]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK431072/>
29. Olsen, C. M., Wilson, L. F., Green, A. C., Biswas, N., Loyalka, J., & Whiteman, D. C. (2017). Prevention of DNA damage in human skin by topical sunscreens. *Photodermatology, photoimmunology & photomedicine*, 33(3), 135–142. <https://doi.org/10.1111/phpp.12298>
30. Pinkus H, Mehregan AH. (1980) Premalignant skin lesions. *Clin Plast Surg.* 7(3):289-300.
31. Randhawa, M., Wang, S., Leyden, J. J., Cula, G. O., Pagnoni, A., & Southall, M. D. (2016). Daily Use of a Facial Broad Spectrum Sunscreen Over One-Year Significantly Improves Clinical Evaluation of Photoaging. *Dermatologic surgery : official publication for American Society for Dermatologic Surgery [et al.]*, 42(12), 1354–1361. <https://doi.org/10.1097/DSS.0000000000000879>
32. Saladi, R. N., & Persaud, A. N. (2005). The causes of skin cancer: a comprehensive review. *Drugs of today (Barcelona, Spain : 1998)*, 41(1), 37–53.
33. Skórska E. (2016). Oddziaływanie słonecznego promieniowania ultrafioletowego na organizm człowieka. *KOSMOS. Problemy Nauk Biologicznych* 65 (4), 657–667.
34. Steindal, A. H., Porojnicu, A. C., & Moan, J. (2007). Is the seasonal variation in cancer prognosis caused by sun-induced folate degradation?. *Medical hypotheses*, 69(1), 182–185. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2006.07.063>
35. Suozzi, K., Turban, J., & Girardi, M. (2020). Cutaneous Photoprotection: A Review of the Current Status and Evolving Strategies. *The Yale journal of biology and medicine*, 93(1), 55–67.
36. Szepietowski J., Baran W. (2019), “Terapia w dermatologii” PZWL Warszawa, wyd 1 ISBN: 978-83-200-5772-0

37. Watts, C. G., Drummond, M., Goumas, C., Schmid, H., Armstrong, B. K., Aitken, J. F., Jenkins, M. A., Giles, G. G., Hopper, J. L., Mann, G. J., & Cust, A. E. (2018). Sunscreen Use and Melanoma Risk Among Young Australian Adults. *JAMA dermatology*, 154(9), 1001–1009. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2018.1774>
38. Williams, J. D., & Jacobson, M. K. (2010). Photobiological implications of folate depletion and repletion in cultured human keratinocytes. *Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology*, 99(1), 49–61. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2010.02.003>
39. Zalewska A., Cylkowska-Nowak M. (2012) ZDROWA SKÓRA A SŁOŃCE – PRÓBA DIAGNOZY WIEDZY ORAZ WYBRANYCH POSTAW. *Nowiny Lekarskie* 2012, 81, 3, 214–218.

#### **Wykaz stron internetowych:**

40. American Academy of Dermatology, <https://www.aad.org/public/everyday-care/sun-protection/sunscreen/how-to-apply-sunscreen> (American Academy of Dermatology, How to apply sunscreen) (dostęp z dnia 01.06.2020).
41. British Association of Dermatologists, <https://www.bad.org.uk/skin-cancer/sunscreen-fact-sheet> (Sunscreen and sun safety factsheet, 2013) (dostęp z dnia 01.06.2020).
42. Commission Recommendation, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reco/2006/647/oj> (Commission Recommendation of 22 September 2006 on the efficacy of sunscreen products and the claims made relating thereto [notified under document number C(2006) 4089]) (dostęp z dnia 01.06.2020).
43. World Health Organization, [www.who.int/news-room/q-a-detail/ultraviolet-\(uv\)-radiation](http://www.who.int/news-room/q-a-detail/ultraviolet-(uv)-radiation) (dostęp z dnia 01.06.2020).



### 3. OCENA DZIAŁANIA WYBRANYCH $\alpha$ -KETOKWASÓW W LECZENIU MIEJSCOWYM TRĄDZIKU POSPOLITEGO

**mgr Agnieszka Łaska-Jesionowska**

Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii, Katedra Chemii Organicznej

ul. Tamka 12, 91-403 Łódź

E-mail: agnieszka.laska@chemia.uni.lodz.pl

**mgr Bogusław Tymoniuk**

Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Klinika Immunologii i Alergii

ul. Pomorska 251, 92-213 Łódź

E-mail: boguslaw.tymoniuk@umed.lodz.pl

**mgr Nicola Kubik**

ul. Obornicka 111/2a, 51-114 Wrocław

E-mail: nicola1230@wp.pl

**Paulina Muskala**

Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii

Koło Naukowe Chemii Kosmetycznej

ul. Tamka 12, 91-403 Łódź

E-mail: paulina.muskala@unilodz.eu

#### 1. Wstęp

Trądzik pospolity (*Acne vulgaris*) jest jedną z najczęściej występujących chorób skóry. Szacuje się, że dotyka on od 80 do nawet 100% osób do 30 roku życia. Największe nasilenie zmian można zaobserwować u nastolatków, w okresie dojrzewania, czyli między 14. a 19. rokiem życia – u kobiet przypada to na 14.-17. r.ż. a u mężczyzn na 16.-19. r.ż., co stanowi około 30-66% przypadków [Szepielkowski, 2016]. Rzadko, bo zaledwie w 7% przypadków, można zaobserwować zmiany u osób poniżej 12. roku życia. Ostatnie badania wykazują, że zwiększa się liczba osób, u których zmiany trądzikowe utrzymują się nawet w wieku 40.-50. lat – tzw. trądzik dorosłych [Szepielkowski, 2016].

Trądzik pospolity to choroba przewlekła i niestety nie można przewidzieć czasu jej trwania. Zmiany, w większości przypadków, wykazują tendencję do ustępowania po kilku latach, jednak zdarzają się przypadki, gdy schorzenie utrzymuje się nawet przez wiele lat. Dodatkowo, coraz częściej, po stosowanym leczeniu farmakologicznym, pojawia się remisja zmian trądzikowych w stopniu bardziej nasilonym od stadium pierwszego.

Wprowadzenie do leczenia kwasów organicznych daje bardzo dobre efekty, zarówno w postaci eksfoliacji w gabinetach, jak i ich zastosowania w produktach przeznaczonych do pielęgnacji domowej, takich jak kremy, żele czy toniki.

## 2. Materiały i metody

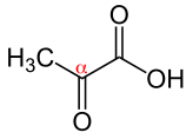
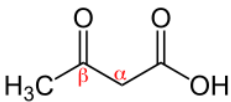
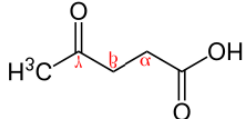
Dokonano przeglądu literatury, wykorzystując aktualne doniesienia naukowe z dziedziny dermatologii i kosmetologii na temat zastosowania i właściwości kwasów do leczenia miejscowego trądziku pospolitego. Dodatkowym źródłem wiedzy były doświadczenia zaprzyjaźnionych kosmetologów oparte na pracy z osobami dotkniętymi tą dermatozą i stosującymi w terapii kwasy organiczne. Celem pracy było podsumowanie najważniejszych aspektów stosowania  $\alpha$ -ketokwasów w leczeniu trądziku pospolitego w świetle aktualnej wiedzy.

## 3. Charakterystyka chemiczna i właściwości wybranych $\alpha$ -ketokwasów

Ketokwasy karboksylowe, zwane w skrócie ketokwasami (oksykwasami) to grupa organicznych związków chemicznych, zawierających grupę ketonową i karboksylową.

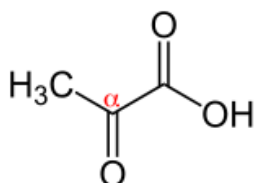
W tabeli poniżej przedstawione zostały trzy rodzaje ketokwasów, które występują w organizmach zwierzęcych.

**Tabela 1. Podział ketokwasów**

Rodzaj ketokwasu	$\alpha$ -ketokwasy	$\beta$ -ketokwasy	$\gamma$ -ketokwasy
Budowa	ketonowa grupa karbonylowa jest przyłączona do atomu węgla grupy karboksylowej	ketonowa grupa karbonylowa jest przyłączona przez dodatkowy atom węgla grupy karboksylowej	ketonowa grupa karbonylowa jest przyłączona przez dwa atomy węgla grupy karboksylowej
Schemat budowy cząsteczki przykładowego przedstawiciela	 kwas pirogronowy	 kwas acetylooctowy	 kwas lewulinowy

W grupie  $\alpha$ -ketokwasów, stosowanych w miejscowej terapii leczenia trądziku pospolitego, zarówno dermatologicznej, jak i kosmetologicznej, znajdują się kwas pirogronowy i kwas azelainowy.

### *Kwas pirogronowy*



Wzór sumaryczny  $C_3H_4O_3$

**Rycina 1. Schemat budowy cząsteczki kwasu pirogronowego**

W środowisku naturalnym kwas ten występuje w jabłkach, occie i sfermentowanych owocach, i charakteryzuje się dość intensywnym i drażniącym zapachem [Staniewska A., Błaszyk J, 2014].

Charakteryzuje się małą cząsteczką (masa molowa 88,06 g/mol) oraz niskim pKa (2,39), dzięki czemu posiada właściwości głębokiej i szybkiej penetracji w skórę, nawet do warstwy siateczkowatej skóry właściwej, co pozwala na uzyskanie w dość krótkim czasie dobrych efektów kosmetycznych. Jest rozpuszczalny zarówno w wodzie, jak i alkoholu [Kmieć M, 2016].

Do głównych właściwości tego kwasu zaliczmy działanie [Staniewska A, Błaszczyk J., 2014] [Kmieć M,2016]:

- keratolityczne, poprzez rozluźnienie przylegania keratynocytów i ścięczenie warstwy rogowej naskórka,
- komedolityczne, przy dobrej penetracji w mieszkcu włosowym, obniżając pH,
- sebostatyczne, czyli regulujące wydzielanie łoju,
- poprawiające nawilżenie i elastyczność skóry, docierając do skóry właściwej powoduje zwiększenie produkcji kolagenu i elastyny oraz glikoprotein,
- przeciwbakteryjne,
- redukujące przebarwienia skóry.

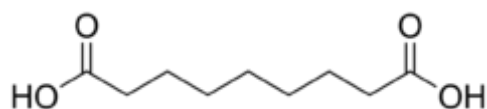
Kwas pirogronowy zaliczany jest do peelingów powierzchniowych i średniogłębokich, w zależności od zastosowanego stężenia, czasu pozostawienia na skórze i ilości zaaplikowanych warstw. W gabinetach kosmetycznych stosuje się roztwór wodno-etanolowy o stężeniu od 40-70%, co pozwala na zachowanie lepszej kontroli pola zabiegowego [Kmieć M., 2016]. Zabiegi wykonywane są co 10-14 dni. Ze względu na przekształcanie się kwasu pirogronowego w kwas mlekowy, wykorzystywane jest działanie jednocześnie keratolityczne i nawilżające.

Skuteczność stosowania zabiegów z kwasem pirogronowym potwierdzili włoscy naukowcy – Cotellessa C i wsp., którzy prowadząc badania u osób z łagodną i umiarkowaną formą trądziku grudkowo-krostkowego, wykazali, że w czasie czterech miesięcy terapii z zabiegami wykonywanymi co 2 tyg. z zastosowaniem kwasu o stężeniu 40-50%, u wszystkich badanych nastąpiło zredukowanie produkcji łoju, niewielki wzrost nawilżenia skóry oraz brak działań niepożądanych, jednak stała poprawa nastąpiła tylko u 20% pacjentów. Wielu naukowców podkreśla fakt, iż kwas ten jest bardzo dobrze tolerowany, nie wywołuje uczucia dyskomfortu, ponieważ w przypadku pojawienia się rumienia, okres jego trwania jest bardzo krótki a złuszczenie nieznaczne [Dawgul M, Barańska-Rybak W., 2009]. Przy zastosowaniu do eksfoliacji kwasem pirogronowym może wystąpić tzw. „frost”, czyli zbielenie skóry w miejscu aplikacji, co jest oznaką penetracji kwasu do warstwy brodawkowatej.

Przy zabiegach z użyciem kwasu pirogronowego należy bezwzględnie pamiętać o fotoprotekcji.

Zastosowanie kwasu zalecane jest w przypadku trądziku pospolitego, nawet w fazie zapalnej, trądziku różowatego, blizn potrądzikowych, hiperpigmentacji pozapalnych i potrądzikowych, łojotokowym zapaleniu skóry czy keratozie trądzikowej.

### *Kwas azelainowy*



Wzór sumaryczny C<sub>9</sub>H<sub>16</sub>O<sub>4</sub>

### **Rycina 2. Schemat budowy cząsteczki kwasu azelainowego**

Kwas azelainowy ma większą cząsteczkę od kwasu pirogronowego (masa molowa 188,2 g/mol) i wyższe pKa (4,55). Jest rozpuszczalny w alkoholu, gorącej wodzie i rozpuszczalnikach organicznych [Dębek P. i wsp., 2018].

W środowisku naturalnym kwas ten znajduje się w życie, jęczmieniu, pełnoziarnistym zbożu oraz produktach zwierzęcych [Reszke, 2016]. Jest wytwarzany przez drożdżaki *Pityrosporium ovale* i *Malassezia furfur*, które jednocześnie bytują na naszej skórze i włosach.

Początkowo, czyli w latach 70. XX w., poznano jego właściwości w niwelowaniu przebarwień skórnych – badania przeprowadzane były w Instytucie San Gallicano, gdzie badano przyczyny hiperpigmentacji w łupieżu pstrym [Reszke R., Szepielkowski J., 2016]. Okazało się, że kwas ten hamuje tyrozinazę, czyli enzym biorący udział w procesie melanogenezy. W terapii trądziku pospolitego zaczął być stosowany w kremach, czyli w preparatach działających miejscowo, już w latach 80-tych ubiegłego wieku a nieco później bo w latach 90-tych w terapii trądziku różowatego [Reszke R., Szepielkowski J., 2016].

Kwas azelainowy wykazuje również działanie przeciwbakteryjne, co zostało wykazane w wielu badaniach naukowych m.in. przez Brandona T.P., Bojara R.A. czy Farmeya M.R. a co najważniejsze nie wykazano w tych badaniach oporności *Propionibacterium acnes* na AZA, co jest niezwykle istotne w przypadku trądziku pospolitego i wciąż rosnącej oporności tej bakterii na stosowaną antybiotykoterapię. Działa zarówno na bakterie Gram-dodatnie, jak i Gram-ujemne [Nowicka D., 2015]. Dodatkowo naukowcy wykazali, m.in. Thielitz A. i wsp., że kwas azelainowy stosowany miejscowo przez okres ośmiu tygodni doprowadza do zmniejszenia ilości bakterii *P.acnes* w mieszkach włosowym nawet do 98% oraz, że żel z zawartością 15% kwasu azelainowego wykazuje takie same działanie jak 0,1% adapalenu w zmniejszaniu ilości zmian trądzikowych, przy większym bezpieczeństwie i lepszej tolerancji przez skórę [Thielitz A. i wsp., 2015].

Kwas azelainowy wykazuje również działanie przeciwzapalne – Mastrofrancesco A. zaosserwował, że obecność tego kwasu, po naświetlaniu UVB, przyczyniła się do znacznie mniejszej produkcji cytokin prozapalnych przez keratynocyty (TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  i IL-6) [Mastrofrancesco A. i wsp., 2010].

Naukowcy zauważyli również dużą aktywność tego kwasu w procesie regulowania keratynizacji w okolicy naskórka, poprzez zdolność hamowania dojrzewania keratynocytów, co jednocześnie wykazuje efekt przeciwwaskoźnikowy oraz dodatkowo, co jest niezwykle

istotne w terapii przeciwtrądzikowej, wykazano, że AZA w korelacji z siarczanem cynku, ma niezwykle silny wpływ na enzym 5 $\alpha$ -reduktazy, hamując jego działanie a tym samym ograniczając przekształcenie się testosteronu w dihydroksyttestosteron – wykazuje to działanie antyandrogenowe i tym samym przeciwłojotokowe [Reszke R., Szepielowski J., 2016].

W zabiegach kosmetologicznych stosowane jest stężenie 30-50%, również w okresie letnim, gdyż nie wywołuje on nadwrażliwości na promieniowanie UV.

Skuteczność działania kwasu azelainowego potwierdzona została również przez Polskie Towarzystwo Dermatologiczne, które wskazało na jego wielokierunkowe działanie na wszystkie patogenetyczne elementy trądziku z jednoczesną bardzo dobrą tolerancją przez skórę [Szepielowski J., Kapińska-Mrowiecka M i wsp., 2012].

### **Preparaty miejscowe**

Osobom zmagającym się z trądzikiem pospolitym, oprócz zabiegów eksfoliacji z użyciem powyżej opisanych kwasów (szczegółowy opis w kolejnym rozdziale) rekomenduje się preparaty do pielęgnacji domowej. Mogą to być kremy, żele, toniki itp. Stężenia kwasów są niższe ale produkty te stanowią bardzo dobre uzupełnienie profesjonalnych terapii. Poniższa tabela przedstawia produkty dostępne bez recepty w aptekach. Z uwagi na ogromną ilość preparatów drogeryjnych nie zostały one ujęte w wykazie. Należy jednak podkreślić, że stężenie kwasu azelainowego wynosi od 5-20% natomiast kwasu pirogronowego około 5% i występuje on w połączeniu z kwasem azelainowym lub salicylowym. Preparaty nanosi się na czystą i osuszoną skórę, w niewielkiej ilości około 1g, 1-2 razy dziennie.

**Tabela 2. Wykaz wybranych preparatów miejscowych**

Nazwa preparatu	Skład podstawowy	Postać
Acne-Derm	20% kwas azelainowy	krem
Skinoren	15% kwas azelainowy	żel
Skinoren	20% kwas azelainowy	krem
Hascoderm Lipożel	10% kwas azelainowy	żel
Qcera	5% kwas azelainowy 5% kwas pirogronowy	krem

Warto również podkreślić, że kremy z  $\alpha$ -ketokwasami oprócz wielokierunkowego działania przeciwtrądzikowego są polecane dla osób dojrzałych, dzięki ich wpływowi na syntezę kolagenu i elastyny oraz przeciwdziałaniu fotostarzeniu się skóry.

## **4. Peelingi chemiczne**

Peeling chemiczny nazywany jest inaczej eksfoliacją i polega na zamierzonym i w pełni kontrolowanym złuszczeniu określonych warstw naskórka, bądź skóry właściwej, w celu pobudzenia procesów regeneracji, a tym samym poprawy wyglądu i ogólnego stanu skóry, z jednoczesnym zadziałaniem na czynniki patogenne wielu dermatoz.

W gabinetach kosmetologicznych peelingi chemiczne stosowane są dość często, ze względu na bardzo dobre efekty terapeutyczne. Zastosowanie mają tu, aplikowane

powierzchniowo alfa-, beta-, lipo- i polihydroksykwasów oraz  $\alpha$ -ketokwasów, różniące się między sobą budową chemiczną i intensywnością działania. Wyróżniamy następującą ogólną klasyfikację kwasów [Szmigiel, 2014]:

- AHA, czyli  $\alpha$ -hydroksykwasów - kwas mlekowy, glikolowy, migdałowy, szikimowy, jabłkowy, winowy i cytrynowy,
- BHA,  $\beta$ -hydroksykwasów - kwas salicylowy,
- LHA, lipohydroksykwasów – pochodne BHA,
- PHA, polihydroksykwasów – glukonolakton, kwas laktobionowy,
- $\alpha$ -ketokwasów – kwas pirogronowy, azelainowy.

Dodatkowo wprowadzony został podział kwasów w zależności od głębokości działania [Macierzyńska, 2010]:

- bardzo powierzchowne - do warstwy ziarnistej naskórka,
- powierzchowne – do warstwy brodawkowatej skóry właściwej,
- średniogłębokie – do powierzchni warstwy siateczkowatej skóry właściwej,
- głębokie – do połowy (środk) warstwy siateczkowatej skóry właściwej.

Każdy zabieg kosmetyczny, w tym również peeling chemiczny może być obciążony powikłaniami, które najczęściej objawiają się zaostrzeniem zmian trądzikowych, rumieniem czy zaburzeniami pigmentacyjnymi. Dlatego też niezbędne jest przestrzeganie procedur zabiegowych i pozabiegowych.

Bezwzględными przeciwwskazaniami do wykonania zabiegu eksfoliacji kwasami są:

- uczulenie na substancje aktywne zawarte w preparacie,
- zakażenia bakteryjne, wirusowe lub grzybicze w miejscu aplikacji,
- aktywna opryszczka; w przypadku częstego pojawiania się wirusa należy, przed zabiegiem, podnieść ogólną odporność,
- przerwana ciągłość naskórka, w tym skaleczenia, uszkodzenia, otarcia,
- trądzik w postaci ropnej lub o ciężkim przebiegu,
- trądzik różowany w nasilonym stadium,
- skóra poddana promieniowaniu UV,
- ciąża i okres karmienia,
- wiek dziecięcy,
- skłonność do powstawania blizn i bliznowców,
- znamiona barwnikowe,
- nowotwory (po 5 latach od zakończenia leczenia) i guzy o niewiadomym pochodzeniu,
- terapia retinoidami (po około pół roku lub roku od zakończenia terapii),
- zabiegi z wykorzystaniem lasera (dopiero po 6-ciu miesiącach), stosowanie innych preparatów złuszczących i fotouczulających.

Zabieg peelingu chemicznego jest ściśle związany z zachowaniem odpowiedniej pielęgnacji domowej i przestrzeganiu zaleceń, do których należą w szczególności:

- używanie kremów nawilżających, łagodzących, regenerujących, w celu łagodzenia podrażnień skóry, szybszej regeneracji i odpowiedniego nawilżenia;
- używanie kremów z filtrami UV, zabezpieczając skórę przed szkodliwym działaniem promieniowania m.in. uniknięcia powstania przebarwień;
- unikanie bezpośredniej ekspozycji skóry promieniowanie UV – słońce, solarium, lampy kwarcowe;
- zakaz poddawania się innym zabiegom złuszczącym lub działającym drażniąco, np. mikrodermabrazji, depilacji w miejscu poddanym działaniu kwasu czy zabiegom rozgrzewającym;
- zakaz używania preparatów drażniących, z zawartością alkoholu, peelingujących;
- pozwolenie na samoistne złuszczenie – nie należy zrywać złuszczonej się skóry.

## 5. Podsumowanie

Kwas azelainowy i pirogronowy w terapii trądziku pospolitego są stosowane zarówno wśród kosmetologów, lekarzy medycyny estetycznej, jak i dermatologów. Ich miejscowa aplikacja wspomaga leczenie trądziku, działając na wiele czynników tej dermatozy. Wykorzystując m.in. ich właściwości komedogenne, keratolityczne, sebestatyczne czy przeciwbakteryjne, poszczególne kwasy są stosowane nie tylko monoterapii, ale również w terapiach skojarzonych. Peelingi z zastosowaniem kwasów: pirogronowego i azelainowego doskonale wspomagają terapię przeciwtrądzikową i przy systematyczności i współpracy pacjenta dają dobre rezultaty.

Należy jednak podkreślić, że mimo wieloletnich badań efektywne leczenie trądziku nadal pozostaje wyzwaniem. Z uwagi na rosnącą antybiotykooporność bakterii *Propiobacterium acnes*, uciążliwych efektów ubocznych terapii farmakologicznej oraz coraz częściej obserwowaną nawrotowość choroby, poszukiwane są alternatywne metody leczenia.

## Bibliografia:

1. Dawdul M., Barańska-Rybak W., Zastosowanie peelingów chemicznych w dermatologii, *Pol J Cosmetol* 2009, 12(I), s. 2-14.
2. Dębek P., Piotrowska A., Nastalek M., Totko-Borkusiewicz N, Czerwińska-Ledwig O., Zuziak Z., Pilch W, Zastosowanie kwasu azelainowego w wybranych schorzeniach dermatologicznych, *Medycyna Rodzinna* 4/2018, s. 307-314.
3. Kmiec M, Zastosowanie peelingów z kwasem pirogronowym u osób ze skórą łojotokową, *Dermatologia Estetyczna* vol. 18/nr 6/2016, s.354-361.
4. Macierzyńska A., Powikłania po peelingach chemicznych, *Polish Journal of Cosmetology* 2010, 13(2); s.82-87.
5. Mastrofrancesco A. Ottaviani M., Aspite N. i wsp., Azelaic acid modulates the inflammatory response in normal human keratinocytes through PPARgamma activation, *EXP. Dermatol* 2010, 19(9); s.813-820.
6. Nowicka D., Szepielowski J., Kwas azelainowy w dermatologii i kosmetologii, *Dermatologia Praktyczna* 2015, 2(37); s.17-36.
7. Reszke R., Szepielowski J., Kwas azelainowy w lecznictwie dermatologicznym w świetle aktualnego stanu wiedzy, *Przegląd Dermatologiczny* 2016, 103; s.337-343.

8. Staniewska A, Błaszyk J., Kwas pirogronowy i azelainowy w miejscowej terapii dermatologicznej, *Dermatologia Praticzna* 2/2014, s. 21-26.
9. Szepielowski J., Karpińska-Morowiecka M., Kaszuba A., Langer A., Placek W., Wolska H., Matusiak Ł., Trądzik zwyczajny: patogenezą i leczenie. Konsensus Polskiego Towarzystwa Dermatologicznego, *Przełąd Dermatologiczny* 2012, 99; s.649-673.
10. Szepielowski J., Karpińska-Morowiecka M., Kaszuba A. i wsp., pod red. Kaszuba A., Maj J. *Praktyka dermatologiczna*, Termedia Wydawnictwa Medyczne, Poznań 2016; s. 649-673.
11. Szmigiel B. Żymańczyk-Duda E., Lochyński S., Hydroksykwasy – budowa, działanie i zastosowanie w kosmetologii i dermatologii, *Polish Journal of Cosmetology* 2014, 17(2); s.127-133.
12. Thielitz A., Lux A., Wiede A. i wsp., A randomized investigator-blind parallel-group study to assess efficacy and safety of azelaic acid 15% gel vs. adapalene 0.1% gel in the treatment and maintenance treatment of female adult acne, *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 2015, 29(4); s.789-96.



## 4. ANALIZA ODDZIAŁYWAŃ NIESTEROIDOWYCH LEKÓW PRZECIWPALNYCH Z BIAŁKIEM OSOCZA KRWI

**Anna Ploch-Jankowska, Danuta Pentak**

Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach  
Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu  
ul. Jedności 8, 41-200 Sosnowiec  
Email: aniaploch@op.pl

### 1. Wstęp

Albumina surowicy krwi ludzkiej (HSA) jest najliczniej występującym białkiem w osoczu krwi [Bańkowski, 2009; Davidson i Sittman, 2002]. Produkowana jest w wątrobie przez hepatocyty oraz komórki Browicza-Kupffera. Albumina stanowi 25 % wszystkich białek wytwarzanych przez wątrobę [Bańkowski, 2009.]. Jest jednołańcuchowym polipeptydem złożonym z 585 aminokwasów. Struktura HSA wskazuje na obecność trzech homologicznych  $\alpha$ -helikalnych domen, odpowiadających za elastyczność białka. Wśród nich wyróżnia się domenę I (reszty aminokwasowe 1-195), domenę II (reszty aminokwasowe 196-383) i domenę III (reszty aminokwasowe 384-585). Każda z domen składa się z dwóch subdomen A i B. HSA należy do białek wykazujących swoiste funkcje fizjologiczne oraz farmakologiczne w organizmie człowieka. Dzięki swoim właściwości wykazuje zdolność do wiązania oraz transportu wielu endo- i egzogennych ligandów, m.in. leków.

W niniejszej pracy przedstawiono analizę oddziaływań albuminy surowicy krwi ludzkiej z niesteroidowym lekiem przeciwzapalnym – kwasem acetylosalicylowym pozyskanym z produktu farmaceutycznego Acard o różnym terminie ważności: 01.2020, 01.2018, 01.2016, 05.2015 (pomiarów wykonano 10.2017). Badania przeprowadzono w temperaturze 25°C i pH roztworu albuminy równym 7.4 z użyciem spektrofotometrii UV-VIS oraz spektrofotometrii.

Lek Acard stosowany jest w profilaktyce choroby niedokrwiennej serca, wtórnego zawału oraz w zapobieganiu powikłaniom pozawałowym. Ponadto wykorzystywany jest w leczeniu choroby wieńcowej, w niedokrwinnym udarze mózgu, miażdżycy tętnic obwodowych, czy też w przypadku podejrzenia świeżego zawału mięśnia sercowego.

### 2. Materiały i Metody

#### *Odczynniki*

- Albumina surowicy krwi ludzkiej, frakcja V, liofilizowana (MP Biomedicals).
- Lek Acard nieprzeterminowany (75mg kwas acetylosalicylowy). Warszawskie Zakłady Farmaceutyczne Polfa S.A. Termin ważności: 01.2020 (AC2020) i 01.2018 (AC2018).
- Lek Acard przeterminowany (75mg kwas acetylosalicylowy). Warszawskie Zakłady Farmaceutyczne Polfa S.A. Termin ważności: 01.2016 (AC2016) i 05.2015 (AC2015).
- Bufor fosforanowy, pH 7.4.
- Alkohol etylowy 99.8% cz.d.a. (POCH).

### ***Techniki badawcze i warunki pomiarowe***

#### ***Spektrofotometria (UV-VIS)***

Widma absorpcyjne roztworów wybranych leków Acard wykonano na spektrofotometrze Jasco V-760. Pomiary przeprowadzono w temperaturze 25°C.

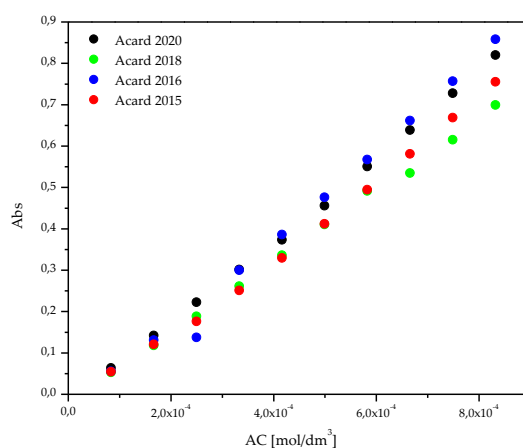
#### ***Spektrofluorymetria (SFM)***

Widma fluorescencyjne albuminy surowicy krwi ludzkiej związanej z lekiem wykonano na spektrofluorymetrze Jasco FP-6500. Fluorescencję białka wzbudzano promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{ex} = 275$  nm i  $\lambda_{ex} = 295$  nm (widma emisyjne) oraz  $\Delta\lambda_{syn} = 15$  nm i  $\Delta\lambda_{syn} = 60$  nm (widma synchroniczne). Pomiary przeprowadzono w temperaturze 25°C.

### **3. Wyniki i dyskusja**

#### ***Analiza spektrofotometryczna kwasu acetylosalicylowego pozyskanego z leku Acard o różnych terminach przydatności do spożycia***

Wykorzystując technikę spektrofotometrii UV-VIS wyznaczono krzywą stężeniową leków Acard nieprzeterminowanych (AC 2020, AC2018) i przeterminowanych (AC2016 i AC2015) (Ryc.1). Na ich podstawie określono zawartość kwasu acetylosalicylowego (ASA) w roztworach badanych preparatów. Wartość absorbancji odczytano przy długości fali  $\lambda = 275$  nm.



**Rycina1. Krzywa wzorcowa AC2020, AC2018, AC2016 i AC2015**

Na podstawie ryc. 1 stwierdzono, iż stężenie substancji czynnej leku AC2016 jest porównywalne ze stężeniem kwasu acetylosalicylowego w pastylce AC2020. W AC2015 i AC2018 stężenie substancji czynnej było mniejsze. Dla pełniejszej analizy badanych próbek, w Tab.1 porównano ich skład zgodnie z informacjami podanymi przez producenta.

**Tabela 1. Skład substancji pomocniczych leku Acard o różnych terminach ważności**

AC2020 i AC2018	AC2016 i AC2015
celuloza mikrokrystaliczna	celuloza sproszkowana
skrobia kukurydziana	skrobia kukurydziana
talk	talk
krzemionka koloidalna uwodniona	bezwodna krzemionka koloidalna
kwas metakrylowy	kopolimer kwasu metakrylowego
emulsja antypienna	emulsja antypienna
cytrynian trietylu	cytrynian trietylu
kopolimer akrylan etylu (1:1) kwas stearynowy	karboksymetyloskrobia sodowa otoczka hypromeloza typ C dwutlenek tytanu (E171) wodorowęglan sodu laurylosiarczan sodu

W drodze przeprowadzonej analizy zauważono, iż leki po roku 2016 miały zmieniony skład. W Tab. 1 przedstawiono różnice wynikające prawdopodobnie z procesu technologicznego leków wyprodukowanych w różnych latach. Stwierdzono, iż zmiana procesu technologicznego najprawdopodobniej ma wpływ na rozpuszczalność pastylki w etanolu, a tym samym wydzielenie kwasu acetylosalicylowego z leku do roztworu.

W trakcie analizy uzyskanych wyników odnotowano wartość absorbancji badanych roztworów ( $C_{AC} = 8,32 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ ) przy długości fali  $\lambda = 302 \text{ nm}$ , co odpowiada sygnałowi pochodzącemu od kwasu salicylowego. Uzyskane wyniki zamieszczono w Tab.2.

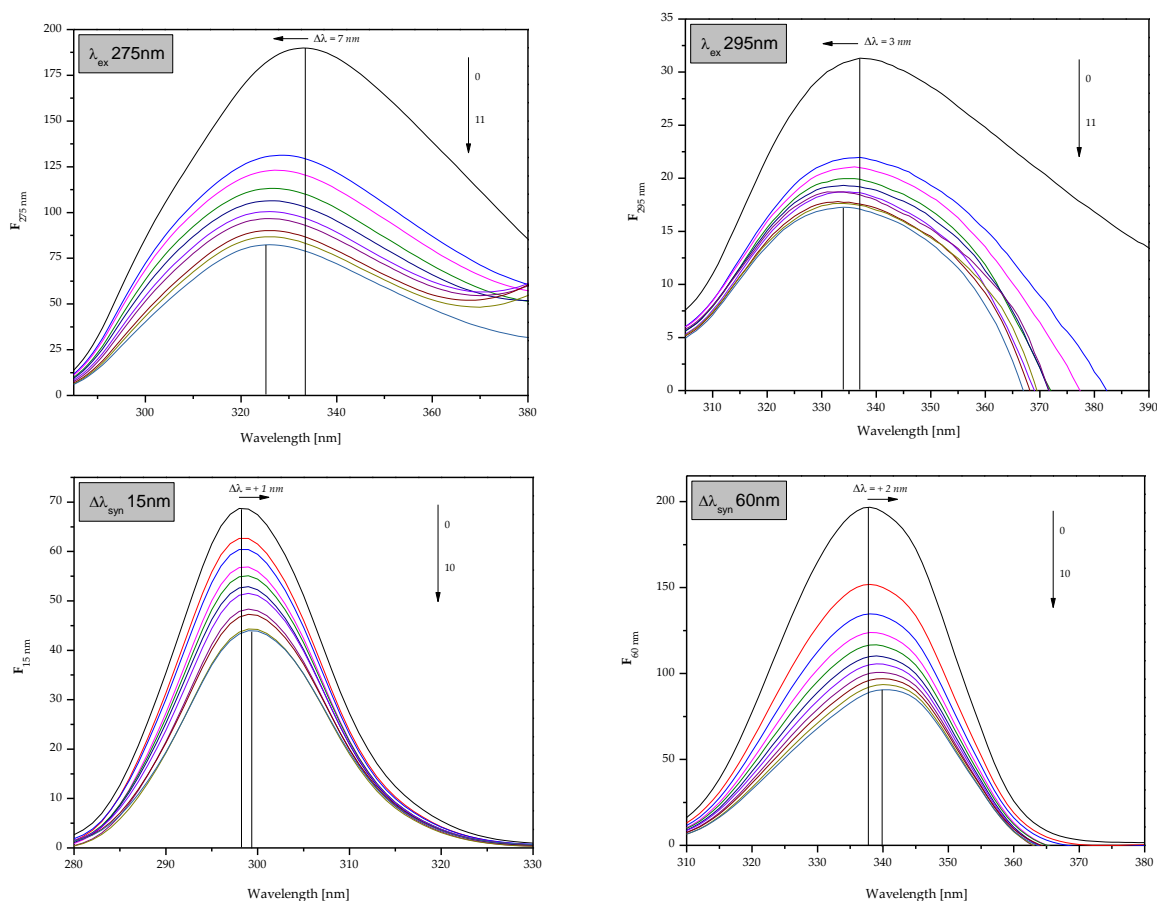
**Tabela 2. Wartości absorbancji badanych roztworów o stężeniu  $8,32 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ ,  $\lambda = 302 \text{ nm}$** 

	AC2020	AC2018	AC2016	AC2015
Abs <sub>302 nm</sub>	0,1543	0,3084	0,1477	0,0615

Na podstawie wartości absorbancji zawartych w Tab.2 można stwierdzić, iż w AC2018 doszło do rozkładu kwasu acetylosalicylowego najprawdopodobniej w wyniku reakcji hydrolizy. Przypuszczalnie było to spowodowane przechowywaniem leku w nieodpowiednich warunkach środowiska. W pozostałych próbkach nie odnotowano znaczącej ilości kwasu salicylowego.

### ***Badanie oddziaływań kwasu acetylosalicylowego z próbek Acard z albuminą surowicy krwi ludzkiej metodą spektrofлуometryczną***

Wykorzystując technikę spektroskopii fluorescencyjnej zarejestrowano emisyjne i synchroniczne widma fluorescencji HSA o stężeniu  $5 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$ , bez i w obecności roztworu kwasu acetylosalicylowego (ASA) pozyskanego z AC2020 o rosnącym stężeniu ( $8,3 \cdot 10^{-5} \div 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ ). Fluorescencję układu HSA – AC wzbudzano falą o długościach  $\lambda_{ex} = 275 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{ex} = 295 \text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda_{syn} = 15 \text{ nm}$  i  $\Delta\lambda_{syn} = 60 \text{ nm}$  przedstawiono na Ryc. 2.



**Rycina 2. Emisyjne i synchroniczne widma fluorescencji ( $\lambda_{\text{ex}} = 275 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{\text{ex}} = 295 \text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda_{\text{syn}} = 15 \text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda_{\text{syn}} = 60 \text{ nm}$ ) HSA o stężeniu  $5 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$  (0) oraz w obecności AC2020 w zakresie stężeń  $8,32 \cdot 10^{-5}$  (1) ÷  $8,32 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$  (10)**

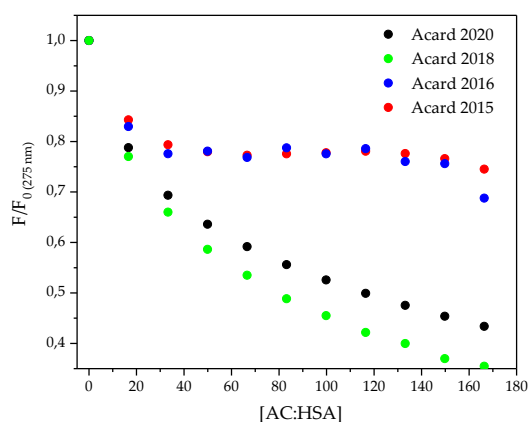
Na podstawie uzyskanych wyników (Ryc. 2) stwierdzono, że wzbudzając układ albumina – lek promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{\text{ex}} = 275 \text{ nm}$ , obserwuje się zmniejszenie intensywności fluorescencji fluoroforów wraz ze wzrostem stężenia kwasu acetylosalicylowego pochodzącego z AC2020. Świadczy to o przejmowaniu części energii pochodzącej od reszt tryptofanowych i tyrozyłowych albuminy przez cząsteczki leku znajdujące się w odległości nie większej niż 10 nm. W obu przypadkach zaobserwowano przesunięcie maksimum emisji fluorescencji w kierunku fal krótszych w miarę wzrostu stężenia kwasu acetylosalicylowego w odniesieniu do widma albuminy niezawierającej liganda (przesunięcie hipsochromowe). Zjawisko to może świadczyć o wzroście charakteru hydrofobowego otoczenia reszt tryptofanowych i tyrozyłowych albuminy w obrębie subdomeny IIA, IIA, IB, IIB. Wzbudzając układy promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{\text{ex}} = 295 \text{ nm}$  również nastąpiło wygaszenie fluorescencji albuminy surowicy krwi ludzkiej w obecności kwasu acetylosalicylowego z AC2020 dając informację, iż lek przejął część energii pochodzącej od reszt tryptofanowych albuminy. Zaobserwowano przesunięcie maksimum emisji fluorescencji w kierunku fal krótszych o 3 nm. W przypadku widm synchronicznych zmiany wywołane wzbudzeniem reszt tyrozyłowych ( $\Delta\lambda_{\text{syn}} = 15 \text{ nm}$ ) i reszty tryptofanowej ( $\Delta\lambda_{\text{syn}} = 60 \text{ nm}$ ) dostarczyły informacji o udziale tych reszt w tworzeniu kompleksu białko – ligand.

W analogiczny sposób zarejestrowano synchroniczne i emisyjne widma fluorescencji albuminy, bez i w obecności roztworu kwasu acetylosalicylowego pozyskanego z AC2018, AC2016 i AC2015 o wzrastającym stężeniu.

Z uzyskanych danych wykreślono:

- krzywe wygaszania fluorescencji (Ryc.3)
- krzywe Sterna-Volmera (Ryc.4)
- zmodyfikowane krzywe Sterna-Volmera (Ryc.5)
- krzywe Scatcharda i Klotza (Ryc.6.)

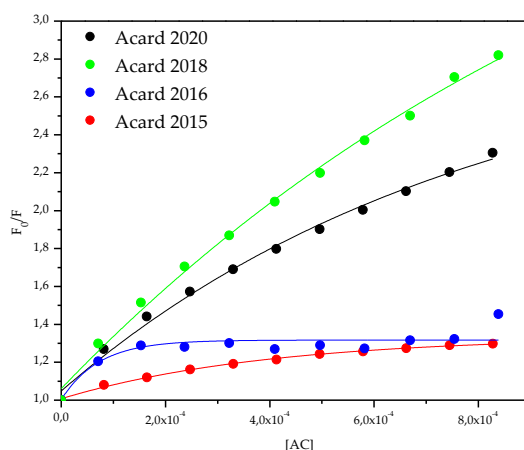
Na Ryc. 4 przedstawiono krzywe wygaszania fluorescencji albuminy surowicy krwi ludzkiej pod wpływem kwasu acetylosalicylowego pozyskanego z leku Acard, wzbudzając układ HSA – AC promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{ex} = 275 \text{ nm}$ .



**Rycina 3. Krzywe wygaszania fluorescencji albuminy surowicy krwi ludzkiej ( $5 \cdot 10^6 \text{ mol/dm}^3$ ) w obecności kwasu acetylosalicylowego pozyskanego z leku Acard o stężeniu  $8,32 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \div 8,32 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$  ( $\lambda_{ex} = 275 \text{ nm}$ )**

Poddając analizie krzywe wygaszania fluorescencji albuminy surowicy krwi ludzkiej w układzie pod wpływem kwasu acetylosalicylowego pozyskanego z leków Acard (Ryc. 3) zaobserwowano powstanie kompleksów pomiędzy ligandem a białkiem: HSA–AC2020, HSA – AC2018, HSA – AC2016, HSA – AC2015. Wzbudzając układy HSA – AC promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{ex} = 275 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{ex} = 295 \text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda_{syn} = 15 \text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda_{syn} = 60 \text{ nm}$  stwierdzono, iż w całym analizowanym zakresie stężenia kwasu acetylosalicylowego przebiegi krzywych wygaszania fluorescencji fluoroforów HSA są różne. Świadczy to o tym, iż w tworzeniu kompleksu HSA – AC biorą udział zarówno reszty tyrozylowe albuminy zlokalizowane w subdomenach IB (Tyr-138, Tyr-140, Tyr-148, Tyr-150, Tyr-156, Tyr-157 i Tyr-161), IIA (Tyr-263) i IIIA (Tyr-401, Tyr-411, Tyr-452 i Tyr-497) jak i reszty tryptofanowe albuminy Trp-135 (umiejscowione w subdomenie IB) i Trp-214 (zlokalizowane w poddomenie IIA) [Carter i Ho, 1994; Chadborn, Bryant, Bain i O'shea, 1999].

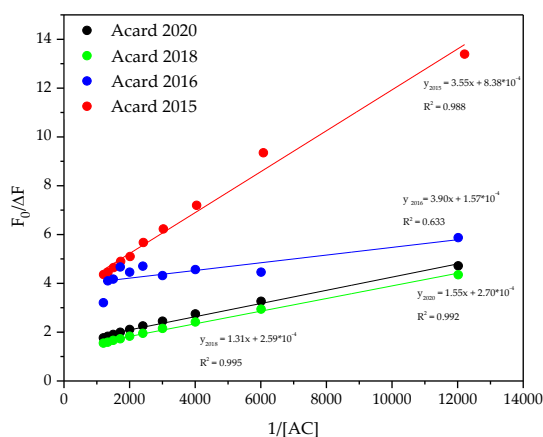
Na Ryc. 4 przedstawiono oryginalne krzywe Sterna-Volmera opisujące sposób oraz dynamikę wygaszania fluorescencji fluoroforów albuminy [Eftink i Ghiron 1976, 1981].



**Rycina 4. Krzywe Sterna-Volmera kompleksu HSA – ASA (AC2020, AC2018, AC2016, AC2015),  $\lambda_{ex} = 275$  nm**

Na podstawie krzywych Sterna-Volmera (Ryc. 4) stwierdzono, iż niezależnie od terminu ważności produktów farmaceutycznych, wzbudzając układ HSA – AC promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{ex} = 275$  nm, krzywa zależność  $F_0/F = f([AC])$  wykazuje charakter nieliniowy. Świadczy to o dynamicznym i statycznym efekcie wygaszenia fluorescencji fluoroforów białka w całym analizowanym zakresie stężenia kwasu acetylosalicylowego. Podobne wnioski wysunięto wzbudzając kompleks HSA – AC2020, HSA – AC2018, HSA – AC2016, HSA – AC2015 promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{ex} = 295$  nm,  $\Delta\lambda_{syn} = 15$  nm,  $\Delta\lambda_{syn} = 60$  nm (wykresy nie przedstawiono).

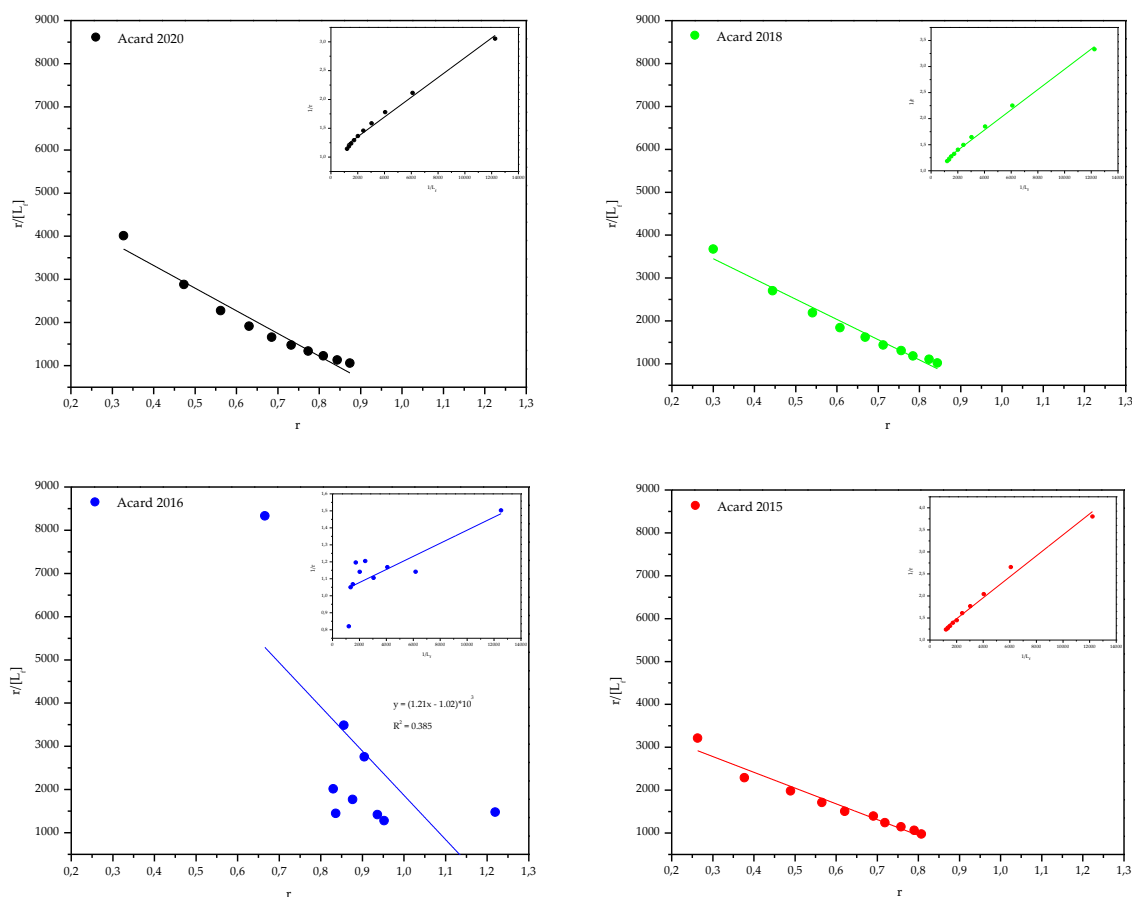
Ryc. 5 przedstawia zmodyfikowane krzywe Sterna-Volmera kompleksów HSA – AC2020, HSA – AC2018, HSA – AC2016 i HSA – AC2015, wzbudzanych promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{ex} = 275$  nm.



**Rycina 5. Zmodyfikowane krzywe Sterna-Volmera kompleksu HSA – AC (AC2020, AC2018, AC2016, AC2015),  $\lambda_{ex} = 275$  nm**

W celu określenia dostępności ligandów do fluoroforów albuminy surowicy krwi ludzkiej wykreślono zmodyfikowane krzywe Sterna-Volmera. Na ich podstawie wyznaczono stałe Sterna-Volmera  $K_{SV}$  [ $\text{dm}^3/\text{mol}$ ], charakteryzujące odległość pomiędzy ligandem a wzbudzonym fluoroforem białka. Uzyskane wyniki zamieszczono w Tab. 3.

Ryc. 6 przedstawia krzywe Scatcharda i krzywe Klotza kompleksu HSA – AC2020, HSA – AC2018, HSA – AC2016 i HSA – AC2015. Kompleksy wzbudzano promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{ex} = 275\text{nm}$ . Krzywe Scatcharda dostarczają informacji o stałej asocjacji, liczbie miejsc wiążących  $n$  w kompleksie HSA – AC oraz ilości klas wiążących ligand w subdomenie IIA lub / i IB, IIB lub IIIA [Hiratsuka 1990]. Krzywe Klotza zakładając istnienie wyłącznie jednej klasy miejsc wiążących dany ligand przez białko dostarczają informacji o wartości stałych asocjacji (wiązania)  $K_a$ . W przypadku wystąpienia większej ilości klas miejsc wiążących krzywe Klotza dostarczają informacji o średniej wartości stałych asocjacji dla tych miejsc [Zhao, Zhu, Zhang W., Zhang L., Liang, Zhang Y., 2008].



**Rycina 6. Krzywe Scatcharda i Klotza kompleksu HSA – ASA, a) AC2020, b) AC2018, c) AC2016, d) AC2015,  $\lambda_{ex} = 275\text{ nm}$**

Poddając analizie krzywe Klotza i Scatcharda (Ryc. 6) stwierdzono, iż wzbudzając układy HSA – AC2020, HSA – AC2018 i HSA – AC2015 promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{ex} = 275\text{ nm}$  z wyjątkiem kompleksu HSA – AC2016 krzywe Klotza i Scatcharda wykazują charakter liniowy. Świadczy to o istnieniu jednej klasy miejsc wiążących w cząsteczce albuminy. Podobne wnioski wysunięto wzbudzając badane kompleksy promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{ex} = 295\text{nm}$ ,  $\Delta\lambda_{syn} = 15\text{nm}$ ,  $\Delta\lambda_{syn} = 60\text{nm}$ .

Na podstawie równań krzywych Scatcharda i Klotza (Ryc. 12) wyznaczono wartości stałych asocjacji  $K_a$  oraz liczbę miejsc wiążących  $n$  dla analizowanych kompleksów. Dane zabrano w Tab. 3.

**Tabela 3. Stałe Sterna-Volmera  $K_{SV}$  [ $\text{dm}^3/\text{mol}$ ], stałe asocjacji  $K_a$  [ $\text{dm}^3/\text{mol}$ ] oraz liczba miejsc wiążących ( $n$ ) w kompleksie HSA – AC2020 oraz HSA – AC2015, wyznaczone dla długości fali  $\lambda_{\text{ex}} = 275 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{\text{ex}} = 295 \text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda_{\text{syn}} = 15 \text{ nm}$  i  $\Delta\lambda_{\text{syn}} = 60 \text{ nm}$**

$\lambda_{\text{ex}}$	kompleks	Wartość stałych oraz liczba miejsc wiążących		
		Sterna-Volmera [ $\text{M}^{-1}$ ]	Klotza [ $\text{M}^{-1}$ ]	Scatcharda [ $\text{M}^{-1}$ ]
275 nm	HSA – AC <sub>2020</sub>	$K_{SV} = 4,2 \cdot 10^3 \pm 2,2 \cdot 10^1$	$K_a = 5,9 \cdot 10^3 \pm 3,6 \cdot 10^1$ $n = 0,99 \pm 0,03$	$K_a = 5,2 \cdot 10^3 \pm 3,6 \cdot 10^2$ $n = 1,03 \pm 0,12$
	HSA – AC <sub>2015</sub>	$K_{SV} = 5,7 \cdot 10^3 \pm 3,2 \cdot 10^1$	$K_a = 4,2 \cdot 10^4 \pm 2,2 \cdot 10^1$ , $n = 0,99 \pm 0,05$	$K_a = 3,7 \cdot 10^3 \pm 2,7 \cdot 10^2$ , $n = 1,06 \pm 0,13$
295 nm	HSA – AC <sub>2020</sub>	$K_{SV} = 9,8 \cdot 10^3 \pm 1,8 \cdot 10^2$	$K_a = 1,0 \cdot 10^4 \pm 2,0 \cdot 10^2$ , $n = 1,00 \pm 0,02$	$K_a = 9,4 \cdot 10^3 \pm 6,1 \cdot 10^2$ $n = 1,02 \pm 0,12$
	HSA – AC <sub>2015</sub>	---*	---*	---*
$\Delta\lambda_{\text{syn}} = 15 \text{ nm}$	HSA – AC <sub>2020</sub>	$K_{SV} = 2,7 \cdot 10^3 \pm 1,4 \cdot 10^2$	$K_a = 2,8 \cdot 10^3 \pm 1,4 \cdot 10^2$ $n = 0,99 \pm 0,12$	$K_a = 1,8 \cdot 10^3 \pm 3,4 \cdot 10^2$ $n = 1,09 \pm 0,14$
	HSA – AC <sub>2015</sub>	$K_{SV} = 1,7 \cdot 10^3 \pm 1,8 \cdot 10^2$	$K_a = 1,6 \cdot 10^3 \pm 1,6 \cdot 10^2$ , $n = 0,91 \pm 0,14$	$K_a = 1,2 \cdot 10^3 \pm 1,0 \cdot 10^3$ , $n = 0,95 \pm 0,13$
$\Delta\lambda_{\text{syn}} = 60 \text{ nm}$	HSA – AC <sub>2020</sub>	$K_{SV} = 7,5 \cdot 10^3 \pm 1,6 \cdot 10^2$	$K_a = 7,7 \cdot 10^3 \pm 1,7 \cdot 10^2$ $n = 1,00 \pm 0,05$	$K_a = 7,3 \cdot 10^3 \pm 8,0 \cdot 10^2$ $n = 1,02 \pm 0,11$
	HSA – AC <sub>2015</sub>	$K_{SV} = 6,3 \cdot 10^4 \pm 5,2 \cdot 10^2$	$K_a = 6,6 \cdot 10^4 \pm 3,2 \cdot 10^2$ , $n = 1,00 \pm 0,04$	$K_a = 1,1 \cdot 10^4 \pm 0,1 \cdot 10^2$ , $n = 1,07 \pm 0,08$

W analogiczny sposób wyznaczono stałe Sterna-Volmera  $K_{SV}$ , stałe asocjacji  $K_a$  oraz liczbę miejsc wiążących  $n$  dla pozostałych dwóch kompleksów HSA – AC2018 i HSA – AC2016.

Na podstawie uzyskanych wyników (Tab. 3) stwierdzono, iż wartości stałych Sterna-Volmera  $K_{SV}$  jak i stałych asocjacji  $K_a$  są wyższe w przypadku kompleksu HSA – AC2020 niż HSA – AC2015, z wyjątkiem stałej Sterna-Volmera, wzbudzając kompleksy promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{\text{ex}} = 275 \text{ nm}$  (Tab. 3, Ryc. 5). Stała Sterna-Volmera określa odległość pomiędzy ligandem a wzbudzonym fluoroforem. Zwiększenie stałej świadczy o zbliżeniu się liganda do białka i tworzenie kompleksu. Zaś im silniejszy kompleks tym słabszy efekt terapeutyczny [Eftink i Ghiron, 1976]. Można przypuszczać, iż AC2020 wykazuje większe powinowactwo względem albuminy w porównaniu z AC2015, a tym samym wykazuje mniejszy efekt terapeutyczny.

Poddając analizie wartości stałych asocjacji  $K_a$  wyznaczone metodą Klotza i Scatcharda (Tab. 3, Ryc. 6) stwierdzono, iż wyższą wartość stałych wiązania  $K_a$  pomiędzy albuminą surowicy krwi ludzkiej a kwasem acetylosalicylowym pozyskanym z leku Acard wykazuje układ HSA – AC2020 w porównaniu z HSA – AC2015. Świadczy to o tym, iż AC2020 wykazuje wyższe powinowactwo do hydrofobowych subdomen IB, IIA i IIIA i reszt tryptofanowych albuminy surowicy krwi ludzkiej niż kwas acetylosalicylowy pozyskany z leku Acard przeterminowanego.

Na podstawie krzywych Scatcharda i Klotza wyznaczono także liczbę miejsc wiążących  $n$ , która opisuje ilość cząsteczek liganda przypada na jedną cząsteczkę białka. Z analizy danych wynika, iż niezależnie od daty ważności próbki produktu farmaceutycznego Acard, wzbudzając kompleks HSA – AC promieniowaniem o długości fali  $\lambda_{\text{ex}} = 275 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{\text{ex}} = 295 \text{ nm}$ ,



$\Delta\lambda_{\text{syn}} = 15\text{nm}$ ,  $\Delta\lambda_{\text{syn}} = 60\text{nm}$  liczba cząsteczek kwasu acetylosalicylowego przypadająca na jedną cząsteczkę albuminy surowicy krwi ludzkiej jest bliska jedności.

#### 4. Wnioski

W przedstawionej pracy przeprowadzono analizę spektroskopową wiązania kwasu acetylosalicylowego pozyskanego z produktu farmaceutycznego Acard o różnym terminie ważności z białkiem transportującym – albuminą surowicy krwi ludzkiej (HSA). Wykorzystując zjawisko wygaszenia fluorescencji fluoroforów albuminy pod wpływem alkoholowego roztworu Acard wykreślono krzywe wygaszania fluorescencji, krzywe Sterna – Volmera, zmodyfikowane krzywe Sterna – Volmera, krzywe Scatcharda i Klotza. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, iż próbki leku Acard w badanym zakresie stężeń tworzą kompleks z albuminą surowicy krwi ludzkiej. Ponadto w tabletkach Acard po upływie terminu ważności stężenie substancji czynnej jest niższe niż w leku, którego data ważności jeszcze nie minęła. Spośród wszystkich przebadanych pastylek Acard w nieprzeterecinowanym AC2018 zaobserwowano największą degradację substancji czynnej. Przeprowadzając analizę porównawczą stałych asocjacji  $K_a$  i stałych Sterna-Volmera  $K_{SV}$  wykazano zmniejszenie powinowactwa AC2015 i AC2016 do miejsca wiązania z albuminą surowicy krwi ludzkiej w porównaniu z AC2020 AC2018.

Praca zrealizowana w ramach umowy o realizację pracy naukowo-badawczej przez doktoranta nr **KNW-2-040/D/8/N**.

#### Bibliografia

1. Bańkowski E. Biochemia. (2009). Biochemia. Wrocław: Elsevier Urban & Partner.
2. Carter D.C., Ho J.X. (1994) Structure of serum Albumin. Adv. Protein Chem, 45, s. 153–203.
3. Chadborn N., Bryant J., Bain A.J., O'shea P. (1999). Ligand-dependent conformational equilibria of serum albumin revealed by tryptophan fluorescence quenching. Biophys. J., 76, s. 2198–2207.
4. Davidson V., Sittman D. (2002). Biochemia. Wrocław: Elsevier Urban & Partner.
5. Eftink M.R., Ghiron C.A. (1976). Exposure of tryptophanyl residues in proteins. Quantitative determination by fluorescence quenching studies. Biochemistry, 15, s. 672 – 680.
6. Eftink M.R., Ghiron C.A. (1981). Fluorescence quenching studies with proteins. Anal Biochem, 114, s. 199 – 227.
7. Hiratsuka T. (1990). Conformational changes in the 23-kilodalton NH2-terminal peptide segment of myosin ATPase associated with ATP hydrolysis. J. Biol. Chem., 265, s. 18786-18790.
8. Zhao P., Zhu G., Zhang W., Zhang L., Liang Z., Zhang Y. (2008). Study of multiple binding constants of dexamethasone with human serum albumin by capillary electrophoresis-frontal analysis and multivariate regression. Anal. Bioanal. Chem., 393, s. 257-261.

## 5. ARTETERAPIA I BAJKOTERAPIA A KOMPETENCJE EMOCJONALNO-SPOŁECZNE DZIECI

**Magdalena Słowik**

Uniwersytet Warmiński – Mazurski w Olsztynie

Wydział Nauk Społecznych, Katedra Dydaktyki i Wczesnej Edukacji

ul. Prawocheńskiego 13, 0-447 Olsztyn

Email: magdalena.slowik@uwm.edu.pl

**Streszczenie:** Dzieci, od najwcześniejszych lat charakteryzują się silnymi potrzebami tworzenia – budują, kolorują, rysują, malują, wycinają, skleją. Czynności te pozwalają im na ujarzmienie często nieuświadomianych emocji, uczuć i wrażeń, a także na wyrażenie ich w sposób społecznie akceptowalny. W późniejszym okresie życia twórczość dziecięca - oprócz uczuć i emocji - angażuje także rozum, wszelkie pragnienia, niepokoje i lęki. Poprzez twórcze działania kształtowana może być jednostka twórcza, znająca własne potrzeby i uczucia. Ma to szczególne znaczenie dla osób zaburzonych, mających problemy z wyrażaniem własnych emocji oraz wykazujących się trudnościami w kontakt z innymi ludźmi. Dzieci nieśmiałe, wycofane, z nadpobudliwością psychoruchową czy też te, które mają trudności w kontaktowaniu się z otoczeniem – uczestnicząc w zajęciach wykorzystujących arteterapię, funkcjonują dużo lepiej, bowiem formuła zajęć i zastosowane techniki oraz formy może pomagać im (w spokojnej i życzliwej atmosferze) w ułożeniu zarówno świata fizycznego jak i duchowego.

W niniejszej pracy starano się przybliżyć arteterapię oraz - będącą jej składową – biblioterapię (bajkoteraپیę), jej główne założenia i cele. Najwięcej miejsca poświęcono jednakże na ukazaniu oddziaływania arteterapii i biblioterapii na kształtowanie kompetencji emocjonalno-społecznych społecznych wśród dzieci.

**Słowa kluczowe:** kompetencje, socjoterapia, arteterapia, bajkoteraپیę, kompetencje emocjonalne, kompetencje społeczne

### 1. Wstęp

Twórczość artystyczna od wieków towarzyszyła człowiekowi i jest nieodłącznie związana z jego dziejami. Już w prehistorii ludzie wyrażali swoje myśli i poglądy za pomocą rysunków. Warto wskazać, iż sztuka uznawana jest także za pewnego rodzaju alternatywny sposób komunikacji. W ostatnich latach arteterapia budzi coraz większe zainteresowanie wśród pedagogów, psychologów bądź innych specjalistów i terapeutów. Wielu autorów uważa, że udział w zajęciach wykorzystujących arteterapię pozwala na zaakceptowanie siebie (a co z tym idzie również innych), wyrażenie siebie i odkrycie własnych możliwości. Istotnym jest, że arteterapia może być stosowana względem wszystkich osób, niezależnie od wieku, płci, stanu zdrowia, zdolności czy poziomu wykształcenia.

Socjoterapia i zajęcia rozwijające kompetencje emocjonalno-społeczne stanowią specyficzną formę zajęć (także z grupy zajęć terapeutycznych) realizowanych na terenie placówek oświatowych. Analizując oddziaływania adresowane do dziecka w ramach pomocy psychologicznej – pedagogicznej warto podkreślić, iż „w socjoterapii dzieci i młodzieży istotniejszą rolę odgrywa wzmacnianie osobowości niż docieranie do przeszłych doświadczeń i uświadamianie ich sobie oraz powiązanie z aktualnie występującymi wzorami zachowań, co

jest charakterystyczne bardziej dla psychoterapii” [Jagiela, 2007, s.23]. Zajęcia rozwijające kompetencje emocjonalno-społeczne oraz socjoterapia (wykorzystujące arteterapię i bajkoterapię) umożliwiają korekturę i wzbogacanie siebie o nowe doświadczenia, przekazując subiektywne treści o sobie oraz innych. Dzięki nim nowo wypracowane zachowania w otoczeniu szkoły mogą ulegać wzmocnieniu i utrwalać się, pomimo niekorzystnych warunków środowiskowych i rodzinnych. Tym samym szkoła i grupa socjoterapeutyczna mogą wspomagać zmiany w zachowaniu i postawach wobec siebie i innych ludzi [Sawicka, 2012] oraz rozwijać kompetencje emocjonalne i społeczne dziecka.

W Rozporządzeniu Ministra Edukacji Narodowej z dnia 9 sierpnia 2017 r. w sprawie zasad organizacji i udzielania pomocy psychologiczno-pedagogicznej w publicznych przedszkolach, szkołach i placówkach zastąpiono zajęcia socjoterapeutyczne zajęciami rozwijającymi kompetencje emocjonalno – społeczne. Zmiana nazewnictwa i charakteru zajęć przyczyniać się może do zmniejszenia oporu wśród uczestników zajęć, co zostanie omówione w dalszej części artykułu [Dz. U. 2017 poz. 1591].

Rozważania na temat rozwoju kompetencji emocjonalno-społecznych u dzieci należałoby rozpocząć od zdefiniowania samego pojęcia *kompetencja*, które to pojęcie stało się więcej niż modne, będąc obecnie niemal czarodziejskim słowem, którego używamy w różnych dziedzinach życia [Dyczewski, 2012]. Czesław Nosal podaje, że „kompetencje są nowymi, funkcjonalnymi strukturami czynności intelektualnych, które kształtują się pod wpływem wymagań stawianych w toku socjalizacji, edukacji, pracy zawodowej, uczestnictwa w kulturze” [Nosal, 2004, s.22]. Kompetencje, jego zdaniem, obejmują cztery główne składniki: *poznawczy* (warunkujący tworzenie reprezentacji poznawczych otoczenia: wiedza, systemy pojęciowe); *ewaluatywny* (wartości i kryteria ocen); *programujący* (cele, zadania, ideały, problemy, motywy); *metapoznawczy* (myślenie twórcze, krytyczne, refleksyjne) [Nosal, 2004]. „Kompetencje tworzą swego rodzaju system funkcjonalny, to znaczy stanowią pewną jednostkę umysłową wzbudzaną i kształtowaną przez zadania, problemy i wymagania kulturowej (ogólnej) lub zawodowej natury. To oznacza, że jeśli jednostka w toku socjalizacji lub praktyki edukacyjnej nie zetknie się z pewnymi sytuacjami, zadaniami lub problemami, nie będzie miała możliwości wykształcenia struktur poznawczych, które przy kolejnym zetknięciu z tego typu zadaniami zostaną automatycznie aktywowane” [Ptaszek, 2014, s.8]. Aspekt poznawczy oraz motywacyjny odgrywają, zdaniem Smółki, najważniejszą rolę w procesie ich nabywania [Smółka, 2008]. Wykorzystanie arteterapii i bajkoterapii w trakcie zajęć rozwijających kompetencje emocjonalno-społeczne znacząco może wpłynąć na motywację i kształtowanie się kompetencji u dzieci.

## **2. Kształtowanie kompetencji emocjonalnych i społecznych w trakcie zajęć socjoterapeutycznych**

Magdalena Czub definiuje kompetencje społeczno-emocjonalne, jako umiejętność rozumienia oraz kontrolowania uczuć i zachowań własnych, a także innych ludzi. Dotyczą one również umiejętności nawiązywania satysfakcjonujących interakcji z innymi osobami. Wśród kompetencji społeczno-emocjonalnych wyodrębnia się: samoświadomość, świadomość społeczną, odpowiedzialne podejmowanie decyzji, zarządzanie relacjami z innymi oraz zarządzanie własnym zachowaniem. Dzieci posiadające wysoki poziom tych umiejętności (a więc wysoki poziom umiejętności interpersonalnych, samoregulację stanów

emocjonalnych, zdolność do rozpoznawania i wyrażania emocji) osiągały lepsze oceny od ich rówieśników charakteryzujących się niskim poziomem tych kompetencji [Czub, 2014].

We współczesnej psychologii poznawczej pojęcia *kompetencji emocjonalnych i społecznych* bliskie są znaczeniowo *inteligencji emocjonalnej*, która rozumiana jest jako ogół zdolności warunkujących efektywność przetwarzania informacji emocjonalnych. *Inteligencja emocjonalna* to nic innego jak zdolność rozumienia własnych i cudzych emocji, kontrolowania ich i umiejętnego posługiwania się nimi. **Kompetencje emocjonalne** zaś rozumiane są jako nabyte już zdolności radzenia sobie w konkretnych sytuacjach społecznych. Wśród bliskich znaczeniowo pojęć pojawia się też *inteligencja społeczna*, gdyż wiele umiejętności uwzględnionych w koncepcjach inteligencji emocjonalnej traktuje się jako składowe inteligencji społecznej. *Kompetencje osobiste* warunkują trafność samopoznania i rozumienie innych ludzi. **Kompetencje społeczne** zaś są to nabyte umiejętności, które wpływają na efektywność funkcjonowania w sytuacjach społecznych (czyli na zdolność radzenia sobie z innymi ludźmi). Można je kształcić i doskonalić za pomocą odpowiednich zajęć i treningów. Wszystkie te pojęcia bliskoznaczne bywają często zamiennie używane [Goleman, 1999].

Zdaniem D. Golemana [1999] na kompetencje społeczne, rozumiane jako zdolności nawiązywania i utrzymywania kontaktów z innymi członkami społeczeństwa, składają się:

a) *empatia*, czyli poprawne rozpoznawanie uczuć, potrzeb i stanów emocjonalnych innych osób;

b) *umiejętności społeczne*, czyli umiejętności wzbudzania oczekiwanych reakcji u innych ludzi.

Kształtowanie kompetencji społeczno–emocjonalnych oraz realizacja głównych celów socjoterapeutycznych możliwa jest w trakcie spotkań o specyficznym charakterze. Spotkania te tworzą dynamiczną całość, na którą składają się określone etapy pracy z grupą. W trakcie spotkań wyróżnić można charakterystyczne elementy:

1. rytualne powitanie, będące informacją o rozpoczęciu zajęć oraz podzielenie się informacjami na temat stanu emocjonalnego dzieci lub ważnych wydarzeń w ich życiu.
2. gry, zabawy wyciszające lub pobudzające.
3. zajęcia psychokorekcyjne, edukacyjne lub rozwojowe – najistotniejsza częśći zajęć – mająca na celu zdobycie przez dzieci doświadczeń społecznych, emocjonalnych i poznawczych.
4. zakończenie z rundką podsumowującą i rytualnym pożegnaniem [Jagięła, 2007].

Katarzyna Sawicka określa, iż podstawowym celem socjoterapii jest tworzenie (w trakcie specyficznych spotkań grupowych) takich sytuacji, które sprzyjają korygowaniu doświadczeń urazowych poprzez pojawiające się spontanicznie wydarzenia interpersonalne. Sytuacje te, zawierające przyjemne emocje i treści przeciwstawne urazowym sądom poznawczym o sobie samym, z biegiem czasu powinny przynieść zmiany w prezentowanych postawach i zachowaniu [Sawicka, 2012], a więc powinny przyczyniać się do rozwoju kompetencji emocjonalnych i społecznych. Socjoterapia jest jednakże procesem długotrwałym.

Cele socjoterapii Jarosław Jagięła (za: Zofią Sobolewską, 1993) sprowadza do celów terapeutycznych, edukacyjnych i rozwojowych. Dostarczenie pożądaných wzorców

zachowań, które umożliwiają odreagowanie napięć emocjonalnych oraz wypróbowanie i wyćwiczenie nowych zachowań stanowi cel terapeutyczny. Zapoznanie dzieci z zagadnieniami ułatwiającymi funkcjonowanie społeczne i radzenie sobie z problemami a także nabywanie przez dzieci umiejętności rozwiązywania konfliktów, rozpoznawania, nazywania i wyrażania emocji czy pełnienia ról społecznych stanowi cel edukacyjny socjoterapii. Cele rozwojowe wynikają zaś z potrzeb związanych z etapami rozwojowymi. Dominantą są więc potrzeby aktywności ruchowej, ciekawości poznawczej, kontaktu z rówieśnikami czy potrzeby tworzenia i zabawy [Jagiela, 2007 za: Sobolewska, 1993].

Głównym celem oddziaływań podejmowanych w trakcie realizacji zajęć rozwijających kompetencje emocjonalno-społeczne w badanej szkole była poprawa społecznego i emocjonalnego funkcjonowania dzieci - zarówno w młodszym wieku szkolnym, jak i w starszych klasach szkoły podstawowej. Zajęcia rozwijające kompetencje emocjonalno-społeczne oparte były o programy (zgodnie z założeniami socjoterapii) zakładające realizację rozwojowych, edukacyjnych i terapeutycznych celów. W trakcie opisywanych zajęć powyższe cele realizowano wykorzystując edukacyjne, informacyjne oraz interwencyjne strategie profilaktyczne [zob. Charlińska-Żeromska, 2013]

Spotkania adresowane były do dzieci wytypowanych w wyniku wcześniejszej diagnozy, a konkretnie na podstawie: rozmów z wychowawcami i rodzicami dzieci, analizy dokumentów, obserwacji oraz wskazań ze strony poradni psychologiczno-pedagogicznych lub nauczycieli i specjalistów pracujących z uczniami.

Uczestnikami zajęć były dzieci (podzielone na maksymalnie dziesięcioosobowe grupy), które doświadczały agresji i przemocy, w środowisku rodzinnym (dzieci objęte oddziaływaniami w ramach realizacji procedur Niebieskiej Karty, z rodzin objętych nadzorem kuratora sądowego, będących pod opieką Miejskiego Ośrodka Pomocy Społecznej lub też opieką asystenta rodziny; dzieci zgłoszone przez wychowawców, nauczycieli, opiekunów prawnych) czy też ze strony rówieśników (przemoc i agresja słowna, fizyczna i psychiczna, dokuczanie, wyśmiewanie, obrażanie, itp.) a także dzieci nieśmiałe, zahamowane, zamknięte w sobie, mające trudności w nawiązaniu relacji w grupie rówieśniczej, problemy szkolne (wynikające z deficytów parcjalnych bądź zaniedbania środowiska) oraz niską samoocenę. Do grup kwalifikowane były także dzieci przejawiające inne zaburzenia zachowania. Godzinne zajęcia rozwijające kompetencje emocjonalno-społeczne prowadzone były przez cały rok szkolny dla grupy 137 uczniów.

Istotnym było to, by formuła zajęć przyciągała dzieci, zaciekawiła je, tak, by same chciały w nich uczestniczyć i nie mogły się ich doczekać. Przyczyniać się to mogło do zmniejszenia oporu z ich strony i skuteczniejszej oraz głębszej pracy. Na uwagę zasługuje także fakt, iż w trakcie realizacji programów zajęć socjoterapeutycznych kładziono szczególny nacisk na to, by aspekt terapeutyczny zajęć nie był zbyt eksponowany. Zwracano uwagę raczej na zalety zajęć i ich atrakcyjność (prace plastyczne, wspólne muzykowanie, gry i zabawy, bajki i opowiadania) oraz możliwe korzyści dla uczniów (np. prezentacja prac plastycznych na forum szkoły, wykonanie upominków i ozdób dla bliskich, itp.). J. Jagiela podkreśla, iż wskazane jest, by tego typu zajęcia nie miały stygmatyzującego miana „terapii”. Jak podkreśla: „Takie określenie może występować w oficjalnych dokumentach, natomiast uczestnicy powinni przychodzić na spotkania pod tajemniczym hasłem, np. *Koło Poszukiwaczy Innego* (...). Najlepiej, aby nazwę wymyślili

sami uczestnicy” [Jagięła 2007, s. 10]. Dzieci same najczęściej wskazywały, iż chodzą na „zajęcia rozwojowe”, „socjo”, czy „zajęcia artystyczne”. W chwili, gdy słyszały od wychowawcy, iż mają uczestniczyć w socjoterapii, zdarzało się, iż pojawiała się niechęć ze strony uczniów i negatywne komentarze, takie jak na przykład: „Ja nie będę chodził na socjoterapię, bo nie jestem głupi”, „Przecież nie jestem szurnięty, by chodzić na te zajęcia”, „Wypiszę się z tych zajęć, bo nie muszę chodzić na jakieś terapie, bo przecież nic mi nie jest”.

W trakcie zajęć dzieci uczyły się między innymi: form radzenia sobie w sytuacjach trudnych w aprobowany społecznie sposób, nawiązywania relacji w grupie, rozpoznawania i komunikowania potrzeb, rozpoznawania i wyrażania emocji, zastępowania agresji, asertywności, komunikacji i rozwiązywania konfliktów, sposobów radzenia sobie z trudnymi emocjami. Miały także możliwość budowania pozytywnego obrazu siebie oraz rozwijania samoświadomości i empatii. Zajęcia umożliwiały dzieciom rozładowanie napięcia emocjonalnego, gdyż przebiegały w atmosferze akceptacji, zaufania i bezpieczeństwa.

Wykorzystywano różne metody i techniki pracy z dziećmi, takie jak: rundka, praca w kręgu, „burza mózgów”, swobodna ekspresja plastyczna, zabawy i gry - interakcyjne i ruchowe, zabawa z chustą Klanza, pogadanka, miniwykład, praca w grupach, praca w parach, bajkoterapia, arteterapia, relaksacja, wizualizacja czy śpiew i muzykowanie. Formuła oraz tematyka poruszana w trakcie zajęć oraz wykorzystanie gier i zabaw, arteterapii, muzykoterapii, relaksacji i bajkoterapii – mogły przyczyniać się do odczuwania przyjemnych emocji. To z kolei mogło przyczyniać się do odreagowania emocjonalnego, ale także mogło wpływać na proces uczenia się [Łukaszewski, 2003], polepszać pamięć oraz sprzyjać wyrażaniu pozytywnych emocji. W sprzyjających warunkach i bezpiecznej oraz radosnej atmosferze maleje bowiem gotowość do niewłaściwych zachowań, a wzrasta prawdopodobieństwo pojawienia się zachowań prospołecznych. Przyjazna atmosfera w grupie jest pomocna nie tylko w korekturze sądów urazowych i odreagowaniu emocjonalnym, lecz pomaga także w ćwiczeniu nowych zachowań oraz sposobów radzenia sobie z trudnymi sytuacjami [Sawicka, 2012].

### 3. Arteterapia

Niezwykle istotnym elementem socjoterapii i zajęć rozwijających kompetencje emocjonalno-społeczne jest arteterapia. „Metody arteterapeutyczne (łac. ars – sztuka, gr. therapeuein – leczyć, ang. art therapy) wykorzystują do celów leczniczych różnorodne formy plastyczne, muzyczne, choreograficzne, literackie i teatralne. Dają możliwość symbolicznego wyrazu trudnych przeżyć, doświadczeń i emocji w bezpiecznych emocjonalnie warunkach, w formie mówienia „nie wprost”. Obniżają napięcie i pomagają nazwać problem” [Jagięła, 2007, s. 86-87]. Arteterapia niejednokrotnie daje dziecku możliwość odczucia sukcesu i poczucia sprawstwa.

Joachim Rumpf podkreśla iż „muzykowanie, malowanie, taniec czy gimnastyka, połączona najlepiej z ćwiczeniami relaksującymi, mogą uczynić naprawdę wiele i wzmocnić nasz system nerwowy” [Rumpf, 2003, s. 77]. Rysowanie, malowanie, rzeźbienie, taniec czy muzykowanie – będące formą ekspresji twórczej – posiada walory terapeutyczne i umożliwia kształtowanie kompetencji ze względu na:

- „specyficzny kod niewerbalny będący uniwersalnym kodem komunikacyjnym;

- dostarczanie przeżyć twórcom dzieła i ich odbiorcom w samym procesie tworzenia i jego odbioru;
- możliwość wyrażenia nie wprost własnych odczuć, myśli i wyobrażeń podczas aktu tworzenia i poprzez powstały wytwór;
- łatwiejszą werbalizację i nadanie znaczenia aktowi tworzenia i symbolicznej formie wyrazu;
- powstanie pretekstu do nawiązania kontaktu” [Sawicka, 2012].

Działania artystyczne – wykorzystujące różnorodne techniki plastyczne – ukierunkowane były głównie na swobodną ekspresję, abstrakcję, kolorystykę oraz fakturę materiałów. W trakcie zajęć dzieci poznawały nowe i atrakcyjne techniki plastyczne, nie były oceniane, a ich prace nie były porównywane. Wszystkie wykonane przez dzieci prace zostały omówione i wyeksponowane (również na forum całej szkoły) dzieci zaś mogły być docenione za włożony wysiłek – co przyczyniać się mogło do ogromnego zainteresowania ze strony dzieci tego typu formą zajęć. Sam rysunek spełniał dodatkowo rolę diagnostyczną.

Bardzo lubianym przez dzieci ćwiczeniem była praca plastyczna zatytułowana „Flakon emocji”. Dzieci miały za zadanie zwiualizować siebie pod postacią flakonu pełnego perfum (emocji). W ćwiczeniu tym istotną rolę odgrywała zarówno zastosowana kolorystyka, jak i sam rodzaj oraz kształt pojemnika – flakonu. Ważny był też materiał, w którym uczeń, pod postacią perfum, jest „przechowywany”, a także sposobu, w jaki ten perfum może być użyty (np. aerozol, pompka). Po wykonaniu pracy dzieci wspólnie z prowadzącym interpretowali wykonane rysunki. Zadanie to może pełnić podobną rolę, jak w przypadku rysunku „Drzewo”, czy „Rodzina”. Dzieci wskazują, iż bardzo lubią wszelkie działania arteterapeutyczne realizowane podczas zajęć.

#### **4. Bajkoterapia w trakcie zajęć socjoterapii i rozwijających kompetencje emocjonalno-społeczne**

Wypowiedzi nauczycieli oraz rodziców potwierdzają opinię Agnieszki Chamery-Nowak i Lidii Ippoldt, że bajka terapeutyczna jest niezwykle ważną formą oddziaływań w omawianym kontekście, gdyż „Jej dobór do konkretnej sytuacji dziecka decyduje niejednokrotnie o powodzeniu działań terapeutycznych. (...) Bajka ma bowiem ogromne znaczenie w łagodzeniu lęków, poprawie wyników nauczania, oswojeniu ze szkołą czy przedszkolem, w chorobie, niepełnosprawności, osamotnieniu” [Chamera-Nowak, Ippoldt 2015, s. 49].

Bajki psychoterapeutyczne zdaniem Elżbiety Śnieżkowskiej-Bielak „pomagają odnaleźć się w sytuacji dla dziecka trudnej, nowej, z jego punktu widzenia niebezpiecznej i zrozumieć ją. Pokazują jak radzić sobie z lękami albo znosić porażki oraz minimalizują problem, wskazując drogi wyjścia. Bajki psychoedukacyjne uczą empatii, budują poczucie własnej wartości, rozbudzają uczucia opiekuńcze, pokazują asertywne zachowania, uczą odróżniać dobro od zła i uczulają dziecko na to, jak unikać niebezpiecznych sytuacji. Bajki relaksacyjne stwarzają ciepły, przyjazny nastrój, tworzą pogodę, radosny klimat” [Śnieżkowska-Bielak, 2015, s.4]. Wykorzystanie podczas zajęć bajek umożliwia w bezpieczny sposób (na przykładzie baśniowych postaci) analizę i omówienie trudnych zagadnień (doświadczenia urazowe), z którymi boryka się dziecko.

Znaczenie bajkoterapii w profilaktyce lęków, agresji, przemocy oraz w rozwijaniu mocnych stron dziecka i jego kompetencji podkreślane było w licznych artykułach i opracowaniach. W celu ukazania znaczenia bajkoterapii podczas zajęć rozwijających kompetencje emocjonalno-społeczne poniżej zaprezentowano wybrane pozycje książkowe, które swoją treścią wspomagać mogą oddziaływania profilaktyczne, korekturę doświadczeń urazowych oraz kształtowanie kompetencji.

Ciekawą publikacją wykorzystywaną podczas omawianych zajęć była książka Marii Trojanowicz – Kasprzak *„Nie wolno mnie gnębić”* [Trojanowicz-Kasprzak, 2013]. Praca z książką zawierającą bogate ilustracje, ułatwiała wzbudzenie u dzieci refleksji wokół sytuacji prezentowanych na kartach książki, wzrostu empatii, ich samoświadomości i otwartości na potrzeby innych. Zawarte w niej opisy w przystępny sposób wyjaśniały, zjawisko przemocy, jej mechanizmy i sposoby przeciwdziałania. „Dzieci zachowujące się brutalnie często same były lub są ofiarami znęcania się ze strony dorosłych bądź innych dzieci” [Trojanowicz-Kasprzak, 2013]. Zdaniem Marii Trojanowicz-Kasprzak doświadczanie tak silnego bodźca nie powinno to być podstawą do okrucieństwa wobec innych [Trojanowicz-Kasprzak, 2013]. W bezpośredni sposób nazwała ona również różne uczucia, które mogą towarzyszyć osobie doświadczającej przemocy – np. „Jeśli ktoś zacznie cię tyranizować, możesz poczuć przerażenie lub złość” [Trojanowicz-Kasprzak, 2013]. W cytowanej książce opisała także skutki przemocy np. „Możesz mieć problemy z zasypianiem albo, gdy już zaśniesz, będą przesładować Cię koszmary. Możesz stracić ochotę na jedzenie i chodzenie do szkoły” [Trojanowicz-Kasprzak, 2013]. Wspólna lektura tej książki oraz próba odpowiedzi na zawarte w niej pytania wywoływała u dzieci falę spontanicznych wypowiedzi. Uczestnicy chętnie wypowiadali się na temat ilustracji zawartych w książkach, odnosząc się do własnych doświadczeń, jak np.: „O, u mnie w klasie to Michał tak robi”, „Mi też tak robili”. Dalsza analiza tej książki umożliwiała – na przykładzie bohaterów w niej ukazanych dawała podwaliny do wspólnego z dziećmi szukania rozwiązań, lecz innych, niż prezentowane w książce, a bliskich uczniom. Dzieci podawały: „Przecież można zgłosić swojej Pani”, „Ja bym poszła do Pani pedagog lub Pani psycholog i powiedziała jej o tym...”, „Można powiedzieć bratu”, „Powiedziałabym o tym mojej babci”, itp.

Ponieważ praca z bajką terapeutyczną umożliwia dzieciom rozmowę na temat doświadczanych przez bohaterów opowiadań trudnych sytuacji, uczuć i problemów, w trakcie zajęć często wykorzystywane były historie zawarte w książce Corneli Nitsch *„Bajki pomagają dzieciom. Opowieści, które uzdrawiają, pocieszają i dodają odwagi”* [Nitsch, 2001]. Szczególnie cenne podczas pracy z grupą były historie zamieszczone w tej książce bezpośrednio dotyczące przemocy i agresji: „Kiedy dziecko jest wyjątkowo agresywne... - Opowieść o Timie, który wszystkich wprawiał w przerażenie”, „Kiedy dziecko przeszkadza innym w zabawie... - Opowieść o trzech pluszowych stworkach”, „Kiedy dziecko brzydko odzywa się do rodziców... Opowieść o lisiej rodzinie” a także opowieści dotyczące kłótni: „Kiedy rodzeństwo się kłóci... Historia o UFO w pokoju rodzinnym”, „Kiedy mama i dziecko się kłóca... Opowieść o klaunie i zrzedliwej myszy”, „Kiedy przyjaźń się kończy... Opowieść o skorupkach, które przynoszą szczęście” czy też „Kiedy przyjaciele się kłóca... Historia o kłótlwym czerwonym jabłku”. Wśród historii wykorzystywanych w trakcie zajęć pojawiały się także bajki dotyczące umierania („Historia o psie z bursztynowymi oczami” oraz „Opowieść o trzech życzeniach”), zazdrości - „Kiedy dzieci są zazdrosne o siebie... Opowieść



o zjadliwie zielonych sówkach” czy też dotyczące rozvodu - „Opowieść o codziennej mamie i niedzielnym tacie”.

Bardzo pomocne w pracy z dziećmi z młodszych klas szkolnych były również książki, które w atrakcyjny sposób ukazują takie uczucia jak złość, smutek, strach, wstyd, radość czy zazdrość [Chamera-Nowak, Ippold, 2015; Kołyszko, Tomaszewska, 2009]. W przystępny dla dzieci sposób (głównie dzięki treści oraz ćwiczeniom rysunkowym zawartym w książce „*Garść radości, szczypta złości*” [Kołyszko, Tomaszewska, 2009]) pomagały one zrozumieć oraz zaakceptować emocje, a przez ćwiczenia rysunkowe rozwijały dodatkowo kreatywność, wyobraźnię, myślenie oraz wiarę w siebie.

Ciekawą książką z bajkami wykorzystywanymi w arteterapii jest książka O. Handford i W. Karolaka [2007] „*Bajka w twórczym rozwoju i arteterapii*” - wykorzystywana do tworzenia w trakcie zajęć własnych bajek z zastosowaniem różnych technik plastycznych.

Wśród książek zwierających bajki dotyczące akceptacji siebie, tolerancji, lęku, odrzucenia przez grupę rówieśniczą, nieśmiałości, relacji w rodzinie pomiędzy rodzeństwem lub rodzicami, rozvodu, uzależnienia czy straty kogoś bliskiego warto wskazać książki, takie jak: zbiór bajek pod redakcją Kamili Zdanowicz-Kucharczyk [2016] „*Moc jest w nas. Bajki terapeutyczne dla dzieci i ich rodziców*”, A. Kozłowska [2007] „*Zaczarowane bajki, które leczą dla dzieci i dorosłych*”, A. Jaszczyk i B. Kochaniak [2006] „*Czarodziejski pyłek, czyli metafora i bajka we wspomaganiu rozwoju małego dziecka*”, B. Schieder [2006] „*Bajki dodają odwagi*” czy D. Brett [2003, 2006] „*Bajki, które leczą*”. Książki D. Brett, mimo, iż składają się z dłuższych bajek opowiadających losy Ani, zawierają lubianą przez dzieci opowieść dotyczącą sposobów przeciwdziałaniu dokuczaniu [Brett, 2003], zaś opowiadanie o Ani, dotyczące lęków, w ciekawy sposób wyjaśnia dzieciom czym jest złość. Definiuje ono złość jako rodzaj energii. Gdy nagromadzi jej się zbyt dużo, potrzebuje ona ujścia. "To samo się dzieje, kiedy w czajniku gotuje się woda, a powstająca para usiłuje się wydostać na zewnątrz. (...) Żeby pozbyć się energii złości, można na przykład uderzać ręką w poduszkę, tupać nogami na chodniku lub zrobić rysunek przedstawiający tą złość” [Brett, 2003, s. 47, 112].

W trakcie wspomnianych zajęć (w celu niewielowania doświadczanych urazów) korzystano także z bajek relaksacyjnych autorstwa Elżbiety Śnieżkowskiej-Bielak [2015] „*Bajeczne mikstury, czyli bajki psychoterapeutyczne, psychoedukacyjne i relaksacyjne*”.

Posłużono się także scenariuszami oraz kartami pracy dotyczącymi skutecznej komunikacji i rozwiązywania konfliktów, poszanowania różnic i podobieństw, współpracy i budowania zespołu - zaczerpnięte z książki „*Jak nauczyć rozwiązywania konfliktów*” [Covan i in. 2007]. Scenariusze i karty pracy zawarte w tej książce w przystępny sposób (poprzez ilustracje, komiksy, gotowe arkusze, pytania, testy zdań niedokończonych, itp.) wprowadzały uczniów w omawianą tematykę i umożliwiały jej zrozumienie oraz stworzenie i ćwiczenie właściwych strategii. Książka ta, nie tylko wyjaśnia dynamikę konfliktu, ale pokazuje także, jak im zapobiegać poprzez naukę wzajemnego szacunku, rozumienie uczuć, właściwe ich komunikowanie i kontrolowanie. Zawarte w niej propozycje ćwiczeń stanowiły pomoc w rozbudowaniu repertuaru umiejętności dzieci i stworzeniu skutecznych strategii komunikowania się i rozwiązywania konfliktów. Wykorzystywanie w trakcie zajęć rozwijających kompetencje emocjonalno-społeczne bajek i krótkich tekstów, tworzenie własnych opowiadań, książeczek z bajkami oraz stworzenie pracy plastycznej (różnymi

technikami) może pozwolić dzieciom w bezpieczny sposób wyrazić własne emocje oraz je omówić – odnosząc się do treści pracy plastycznej, tego co dane dzieło „mówi” odbiorcom, a nie w bezpośredni sposób mówić o własnych doświadczeniach i emocjach. Przez tworzenie i ekspozycję różnorodnych prac plastycznych dzieci mogą podnosić swoją samoocenę.

Taka formuła zajęć – zawierających arteterapię i bajkoterapię – bardzo odpowiadała dzieciom. O zainteresowaniu zajęciami i zadowoleniu z udziału w nich może także świadczyć fakt, iż dzieci często pytały się o to, co będzie na następnych zajęciach, deklarowały, iż nie mogły się doczekać, aż będą mogły na nie przyjść. Pojawiły się też wypowiedzi takie jak *„Dziś przyszedłem do szkoły z dobrym humorem, bo wiedziałem, że będą zajęcia”*, *„Nie chciało mi się dziś wstać do szkoły, ale przyszedłem, bo jest socjo”*. Niejednokrotnie w zajęciach chciały uczestniczyć (lub też zapisać się na nie) inne dzieci, nie mające do nich wskazań, a zachęczone opinią i relacjami kolegów lub koleżanek. Podczas ostatnich zajęć, odbywających się na zakończenie roku szkolnego – dzieci pytały także, czy będą mogły uczestniczyć w nich w kolejnym roku szkolnym.

Na podstawie prowadzonych obserwacji, notatek, analizy artefaktów, rozmów z nauczycielami i rodzicami, a także dzięki opiniom dzieci i analizie wypełnionych kwestionariuszy ankiet ewaluacyjnych wnioskować można iż zastosowanie arteterapii i bajkoterapii mogło uatrakcyjnić zajęcia i przyczynić się rozwijania u dzieci kompetencji emocjonalno-społecznych i do realizacji założonych celów. Z ankiety ewaluacyjnej wynikało, iż dzieci oceniały zajęcia jako *„fajne”*, *„ciekawe”* czy *„fantastyczne”*. Wskazywały, że w trakcie zajęć przeważnie dobrze się bawiły. Zaledwie 3% ankietowanych określiło zajęcia jako *„nudne”* i *„nieciekawe”*. Wśród badanych dzieci 85% dostrzega efekty podjętych działań, 5% nie, zaś brak odpowiedzi pojawiło się na 10% ankiet. Formuła i sposób prowadzenia zajęć odpowiadały 73% uczniów (19% brak odpowiedzi). Systematycznie na zajęcia uczęszczało 87% badanych, a 12% opuszczało zajęcia z przyczyn zdrowotnych, *„bo tak”*, *„zapomniałem”*, *„bo mi się nie chciało”*. Atmosfera na zajęciach nie odpowiadała zaledwie 4 uczniom.

## 5. Podsumowanie

W wyniku analizy uzyskanych wyników można przypuszczać, iż arteterapia i bajkoterapia – włączona w zajęcia pozalekcyjne - zarówno w opinii rodziców, jak i samych uczniów uatrakcyjniła zajęcia i umożliwiła realizację dodatkowych celów terapeutycznych i profilaktycznych. Z obserwacji dzieci, z rozmów z nauczycielami i rodzicami można wysunąć wnioski, iż uczestnictwo dzieci w zajęciach przyczyniło się do zauważalnych zmian w funkcjonowaniu dzieci, zwłaszcza pod względem ich samooceny, poczucia bezpieczeństwa czy nawiązywania relacji, co znacząco może wpływać na profilaktykę i przeciwdziałanie przemocy i agresji oraz na kształtowanie i wzrost kompetencji emocjonalno-społecznych dzieci.

### Bibliografia:

1. Brett D. (2003). Bajki, które leczą, cz. 2, Gdańsk. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, s. 47, 112.
2. Brett D. (2006). Bajki, które leczą, cz. 1, Gdańsk. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.
3. Chamera-Nowak A., Ippoldt L. (2015). Bajka jak lekarstwo. Warszawa. Wyd. SBP, s.49.

4. Charlińska-Żeromska J. (2013). Wybrane koncepcje teoretyczne w obszarze profilaktyki, W: A. Małycka, E. Mudrak (red.), *Zagubione człowieczeństwo. Wybrane patologie społeczne XXI wieku*, Olsztyn. Wydawnictwo Uczelniane WSiE TWP, s.356-357.
5. Covan D., Palomares S. , Schilling D. (2007). *Jak nauczyć rozwiązywania konfliktów. Ćwiczenia i strategie działania dla nauczycieli, pedagogów i psychologów szkolnych*, Warszawa. Wydawnictwo Fraszka Edukacyjna.
6. Czub M. (2014). *Diagnoza funkcjonowania społeczno-emocjonalnego dziecka w wieku od 1,5 do 5,5 lat*. Warszawa. Instytut Badań Edukacyjnych.
7. Dyczewski L. (2012). *Konieczność kompetencji medialnych w nowoczesności*. W: Sugier-Szerega A., Sławek-Czochra M. (2012). *Konieczność i różnorodność kompetencji medialnej*. Lublin. Wyd. KUL, s. 16 -17.
8. Dz. U. 2017. poz.1591 - Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 9 sierpnia 2017 r. w sprawie zasad organizacji i udzielania pomocy psychologiczno-pedagogicznej w publicznych przedszkolach, szkołach i placówkach.
9. Goleman D. (1999). *Inteligencja emocjonalna w praktyce*. Poznań. Media Rodzina, s. 48–49, 67.
10. Handford O., Karolak W. (2007). *Bajka w twórczym rozwoju i arteterapii*. Łódź. Wydawnictwo AHE.
11. Jagieła J. (2007). *Krótki poradnik psychologiczny*. Kraków. Wydawnictwo Rubikon, s. 10, 23, 25, 86-87, 110.
12. Jaszczyk A., Kochaniak B. (2006). „Czarodziejski pyłek”, czyli metafora i bajka we wspomaganiu rozwoju małego dziecka, Kraków. Oficyna Wydawnicza "Impuls".
13. Kołyszko W., Tomaszewska J. (2009). *Garść radości, szczypta złości. Mnóstwo zabawnych ćwiczeń z uczniami*, Gdańsk. GWP.
14. Kozłowska A. (2007). *Zaczarowane bajki, które leczą dla dzieci i dorosłych*. Warszawa. Wydawnictwo Akademickie ŻAK.
15. Łukaszewski W. (2003). *Wielkie pytania psychologii*, Gdańsk. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.
16. Nitsch C. (2001). *Bajki pomagają dzieciom. Opowieści, które uzdrawiają, pocieszają i dodają odwagi*. Warszawa. Wydawnictwo Diogenes Vlg.
17. Nosal C. (2004). *Psychologia kompetencji w dobie nowej technologii informacyjnej*. W: Strykowski W., Skrzydlewski W. red., *Kompetencje medialne społeczeństwa wiedzy*. Poznań. EMPi2, s. 22.
18. Ptaszek G. (2014). *Pomiar indywidualnych kompetencji medialnych. Pytania i problemy*. "Kultura Popularna" nr 3(41), s. 6 – 18.
19. Rumpf J. (2003). *Krzyczyć, bić niszczyć. Agresja u dzieci w wieku do 13 lat*. Gdańsk. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, s. 77
20. Sawicka K. (2012). *Socjoterapia jako forma pracy z dziećmi i młodzieżą przejawiającymi zaburzone zachowania*, W: I. Dąbrowska-Jabłońska (red.), *Terapia dzieci i młodzieży. Metody i techniki pomocy psychopedagogicznej*, Kraków. Wydawnictwo Naukowe UAM, s. 66-68, 75,78, 82.
21. Schieder B. (2006). *Bajki dodają odwagi*. Kielce. Wydawnictwo Jedność.
22. Śnieżkowska-Bielak E. (2015). *Bajeczne mikstury, czyli bajki psychoterapeutyczne, psychoedukacyjne i relaksacyjne*, Gdańsk. Wydawnictwo Harmonia, s. 4.

23. Smółka P. (2008). Kompetencje społeczne. Metody pomiaru i doskonalenia umiejętności interpersonalnych. Kraków. Wolters Kluwer Polska.
24. Trojanowicz-Kasprzak M. (2013) Nie wolno mnie gnębić. Pierwsza rozmowa o przemocy rówieśniczej, Kielce. Wydawnictwo Pedagogiczne ZNP, s. 8, 17, 21-22.
25. Zdanowicz-Kucharczyk K. red. (2016). Moc jest w nas. Bajki terapeutyczne dla dzieci i ich rodziców, Kraków. Oficyna Wydawnicza "Impuls".

## 6. JAK GRZYBY WYMYKAJĄ SIĘ UKŁADOWI ODPORNOŚCIOWEMU GOSPODARZA?

**Paulina Smaruj**

Uniwersytet Warszawski

Wydział Biologii

Instytut Mikrobiologii

Zakład Genetyki Bakterii

Koło Naukowe Biologii Molekularnej Uniwersytetu Warszawskiego

ul. Ilii Miecznikowa 1, 02-096 Warszawa

E-mail: p.smaruj@student.uw.edu.pl

Opiekun naukowy:

**dr Katarzyna Bocian**

Zakład Immunologii

Wydział Biologii UW

Instytut Biologii Funkcjonalnej i Ekologii

**Abstrakt:** Grzyby stanowią istotny czynnik etiologiczny ludzkich chorób. Szacuje się, że 1,5 milionów ludzi umiera każdego roku z powodu infekcji grzybiczych [Bongomin et al., 2017]. Szczególnie narażone są osoby z wrodzonym niedoborem odporności, chorujące na AIDS, przyjmujące leki immunosupresyjne czy w trakcie chemioterapii. Odkrycia ostatnich lat rzucają światło na przebieg aktywacji odpowiedzi immunologicznej na patogeny grzybicze. Zidentyfikowano również istotne korelacje pomiędzy dysfunkcją konkretnych elementów pierwotnej odpowiedzi odpornościowej, a zwiększoną zapadalnością na infekcje grzybicze. Badania prowadzone na modelach zwierzęcych poszerzyły wiedzę na temat molekularnych i komórkowych mechanizmów zwalczania patogenów grzybiczych. Miejmy nadzieję, że skutkiem dalszych badań nad patogenezą m.in. *Candida*, *Cryptococcus*, *Histoplasma* będzie nie tylko szerszy i bardziej spójny opis przebiegu infekcji, ale także stworzenie skutecznych terapii chorób grzybiczych.

### 1. Wstęp

Człowiek podlega ciągłej ekspozycji na patogeny grzybicze: występują one we wdychanym powietrzu, mogą stanowić zanieczyszczenie żywności, a także dokonywać inwazji poprzez zranienia skóry i błon śluzowych [Lionakis i in., 2017]. Powiązanych z jednostkami chorobowymi jest mniej niż 100 z szacowanych 5 milionów gatunków grzybów [Brown i in., 2012]. Większość śmiertelnych infekcji spowodowana jest grzybami z rodzajów: *Aspergillus*, *Candida*, *Cryptococcus*, *Histoplasma* (tab.1.) Z wyjątkiem *Candida*, który jest organizmem komensalnym znajdującym na skórze i śluzówkach, dostają się one do organizmu drogą wziewną [Heung, 2020]. Grzyby patogenne mogą występować w różnych postaciach. Identyfikujemy pojedyncze drożdżopodobne komórki (ang. *yeast*) oraz rozgałęziające się tubularne strzępki. Zidentyfikowano także grzyby posiadające zdolność do zmiany morfologii w trakcie infekcji. Przykładem gatunku dimorficznego może być gatunek *Histoplasma capsulatum*, który występuje jako strzępka w środowisku pozaustrojowym, a po dokonaniu inwazji przyjmuje postać pojedynczych komórek [Saville i in., 2003]. Najczęstsze

choroby grzybicze zostały podsumowane w tabeli 1. Wiele z nich może stanowić zagrożenie życia, szczególnie dla osób z wrodzonym lub nabytym niedoborem odporności [Lionakis i in., 2017]. O powadze chorób wywoływanych przez czynniki grzybicze zdano sobie sprawę w drugiej połowie XX wieku, kiedy identyfikowano wyraźne zwiększenie się przypadków infekcji o podłożu grzybiczym wśród pacjentów w trakcie chemioterapii, z chorobami autoimmunizacyjnymi oraz przyjmujących środki immunosupresyjne np. po transplantacji. Badania z wykorzystaniem modeli zwierzęcych dostarczają cennych informacji na temat rozwoju chorób grzybiczych i reakcji układu odpornościowego gospodarza. Kluczowymi aspektami są: w jaki sposób przebiega rozpoznanie komórek grzybiczych przez komórki odpowiedzi wrodzonej, jakie są drogi przekazywania sygnałów pomiędzy komórkami układu odpornościowego w czasie zwalczania infekcji, jaki jest przebieg odpowiedzi nabytej i co niesłychanie istotne jakie mechanizmy ochronne wykształciły grzyby, żeby uniknąć rozpoznania przez gospodarza [Lionakis i in., 2017]

**Tabela 1. Najczęściej diagnozowane choroby pochodzenia grzybiczego. Na podstawie (Lionakis i in., 2017), zmodyfikowane**

Jednostka chorobowa	Czynnik etiologiczny	Morfotyp	Objawy kliniczne
<b>Kandidoza</b> (ang. <i>candidiasis</i> )	<i>Candida albicans</i> , <i>Candida auris</i> , <i>Candida krusei</i> i inne	dymorfizm	Pleśniawki, zapalenie sromu i pochwy
<b>Mukormykoza</b> (ang. <i>mucormycosis</i> )	<i>Rhizopus</i> spp., <i>Mucor</i> spp. i inne	Postać strzępki	Zapalenie płuc, zapalenie rogówki
<b>Fusarioza</b> (ang. <i>fusarioza</i> )	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Fusarium solani</i>	Postać strzępki	Zapalenie płuc, zapalenie rogówki
<b>Kokcidioidomykoza</b> (ang. <i>coccidioidomycosis</i> )	<i>Coccidioides immitis</i> , <i>Coccidioides posadasii</i>	dymorfizm	Zapalenie płuc, zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych, choroby układu szkieletowego
<b>Histioplazmoza</b> (ang. <i>histoplasmosis</i> )	<i>Histoplasma capsulatum</i> , <i>Histoplasma duboisii</i>	Postać strzępki	Zapalenie płuc, ziarniaki, zwłóknienia
<b>Kryptokokoza</b> (ang. <i>cryptococcosis</i> )	<i>Cryptococcus neoformans</i> , <i>Cryptococcus gatti</i>	Drożdżopodobne komórki	Zapalenie płuc, zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych
<b>Dermatofytoza</b> (ang. <i>dermatophytosis</i> )	<i>Epidermophyton</i> spp., <i>Microsporum</i> spp. i inne	Postać strzępki	Infekcje skóry i paznokci, wysypka

## 2. Odpowiedź przeciwgrzybicza

Istotę ochrony przeciwgrzybiczej stanowią mechanizmy odpowiedzi wrodzonej układu odpornościowego. Kluczowymi elementami odpowiedzi przeciwgrzybiczej są komórki: monocyty, makrofagi, komórki dendrytyczne (ang. dendritic cells, **DC**), neutrofile, białka rozpuszczalne: cytokiny prozapalne, chemokiny i receptory rozpoznające wzorce (ang. *pattern recognition receptors*, **PRRs**) - wzorce molekularne typowe dla patogenów (ang. *pathogen-associated molecular patterns*, **PAMPs**).

### Rozpoznanie komórek grzyba i aktywacja odpowiedzi odpornościowej

Komórki grzybicze, które przedostały się przez bariery fizyczne organizmu, mierzą się z narzędziami obronny układu odpornościowego. Po pierwsze zostaną zidentyfikowane. Ściany komórkowe grzybów zawierają liczne PAMP: polisacharydy i lipopolisacharydy, które potencjalnie mogą być rozpoznawane przez specjalne receptory PRR i aktywować odpowiedź wrodzoną. Wewnętrzna warstwa ściany zbudowana jest z chityny (polimeru N-acetyloglukozaminy), a zewnętrzna – z immunogennych  $\alpha$ - i  $\beta$ -glukanów [Erwig i Gow, 2016]. W zależności od gatunku i/lub cyklu rozwojowego zidentyfikowano pewne różnice w składzie jakościowym i ilościowym polisacharydów budujących poszczególne warstwy. Dla przykładu, konidia *Aspergillus fumigatus* wytwarzają białkową hydrofobową osłonkę, podczas gdy ściana strzępki zawiera galaktomannany i galaktozoaminogalakty [Aimanianda i in., 2009; Gravelat i in., 2013]. Z kolei w zewnętrznej warstwie osłony komórek *Cryptococcus neoformans* występują duże ilości glukuronoksylomannanu i galaktoksylomannanu [Doering, 2009].

Receptory PRR monocytów, makrofagów, DC, neutrofilii w tym składniki komplementu wiążą pochodne węglowodanów pochodzenia grzybiczego, co doprowadza do uruchomienia szlaków transdukcji sygnału i indukcji przeciwgrzybiczych mechanizmów efektorowych odpowiedzi wrodzonej [Underhill i Pearlman, 2015]. I tak receptory: TLR2 (ang. *Toll-like receptor*) rozpoznaje  $\alpha$ -(1,4)-glukany i glukuronoksylomannany na powierzchni *Candida albicans*; CD14 specyficzny dla  $\alpha$ -(1,4)-glukanów *Scedosporium apiospermium* a białko komplementu CR3 wiąże  $\beta$ -glukany m.in. *Aspergillus fumigatus* czy [Lionakis i in., 2017].

W ochronie przeciwgrzybiczej ważną grupą PRR są Dektyny. Dektyna-1 (ang. *Dectin-1*, *C-type lectin domain family 7 member A*) wiąże  $\beta$ -glukany grzybów klasyfikowanych do wielu gatunków m.in. *C. albicans*, *A. fumigatus*, *Pneumocystis jiroverci*, *Coccidioides posadasii* [Taylor i in., 2007]. Skutkiem tego rozpoznania jest SRC<sup>1</sup>-zależna fosforylacja wewnątrzkomórkowych motywów przypominających ITAM (ang. *intracellular ITAM-like motifs*) i kaskada aktywacji kolejnych białek [Deng i in., 2015]. Makrofagi i DC w wyniku rozpoznania przez Dektynę-1 patogenu zaczynają produkować m.in. IL-1 $\beta$  (interleukinę 1 beta), IFN- $\beta$  [Gringhuis i in., 2012, Lionakis i in., 2017]. Cytokiny: TNF (ang. *tumor necrosis factor*), IL-6 (ang. *interleukin 6*), produkowane zależnie od sygnału dektyny-1, indukują aktywację odporności wrodzonej i promują różnicowanie limfocytów Th17 związanych z odpowiedzią nabytą [Leibund Gut-Landmann i in., 2007]. Indukowane szlaki sygnałowe wpływają także na aktywność kinazy MAP, co z kolei reguluje odpowiedź

---

<sup>1</sup> SRC – komórkowy homolog białka onkogenetycznego RSV (ang. *Rous sarcoma virus*)

makrofagów na IL-6, IL-1 $\beta$  i TNF i ma działanie protekcyjne w przypadku kandydozy [Jia i in., 2014].

W alternatywnym scenariuszu Dektynę-2 w kompleksie z Dektyną-3 rozpoznaje  $\alpha$ -mannany *Candida* [Zhu i in., 2013]. Inwazja innych gatunków grzybów, takich jak *Histoplasma capsulatum* czy *Blastomyces dermatidis*, również indukuje przekazywanie sygnałów zależne od Dektyny-2 [Jhingran i in., 2012].

Dodatkowo w niezależnych ścieżkach od Dektyny inne PRR również promują reakcje zapalne. W płucach rozpuszczalna kolektyna PTX3 (ang. *pentraxin-3*) wiąże się z galaktomannanem występującym na powierzchni komórek *A. fumigatus*, co indukuje aktywację składników komplementu i indukuje fagocytozę zależną od CD23 [Garlanda i in., 2002; Moalli i in., 2010]. Opsonizowane przez PTX3 konidia *A. fumigatus* aktywują transdukcję sygnału zależną od TLR4, co wywołuje produkcję IL-10 [Bozza i in., 2014].

### **Mechanizmy zabijania komórek grzybów**

Po rozpoznaniu sygnału zagrożenia jakim jest patogen pochodzenia grzybiczego, błyskawicznie uruchamiane są mechanizmy eliminacji związane z komórkami odpowiedzi wrodzonej. Głównie fagocytoza i indukcja apoptozy w komórkach patogenu.

Neutrofile jako pierwsze internalizują drożdżopodobne komórki i/lub konidia oraz zwiększają produkcję ROS (ang. *reactive oxygen species*) [Warnatsch i in., 2017]. Niektóre grzyby ze względu na swoją budowę – strzępki *A. fumigatus* i psudostrzępki *C. albicans* - indukują formowanie NET (ang. *neutrophil extracellular trap*) wywołane formą programowanej śmierci komórkowej neutrofilii określanej jako NEToza [Branzk i in., 2014]. NET zawiera pozakomórkowe kwasy nukleinowe, histony i inne białka oraz usieciowione grzyby, które są zbyt duże na zabicie mechanizmem fagolizosomalnym [Branzk i in., 2014; Lionakis i in., 2017].

Monocyty, makrofagi i DC to niezwykle skuteczne w działaniu populacje komórek posiadające zdolność fagocytozy patogenów grzybiczych i indukowaniu odpowiedzi nabytej. Ich potężnym orędem jest ekspresja szerokiej gamy receptorów: PRRs, TLRs, NLRs (ang. *NOD-like receptors*), oraz receptorów dla składników dopełniacza (ang. *complement receptors*, CRs) i dla fragmentu Fc przeciwciał [Heung, 2020].

Eliminacja patogennych grzybów odbywa się w fagolizomach – komponentach o obniżonym pH, które zawierają liczne enzymy, ROS (wykazują szkodliwe działanie względem kwasów nukleinowych, utleniają kwasy tłuszczowe), RNS (ang. *reactive nitrogen species*, modyfikują niektóre białka, co uniemożliwia ich aktywność) produkowane przez indukowalną syntazę tlenku azotu (ang. *inducible nitric oxide synthase*, iNOS) w odpowiedzi na czynniki prozapalne [Uribe-Querol i Rosales, 2017]. Fagocytoza komórek grzybów nie tylko spowalnia rozwój infekcji przez ich dezaktywację, lecz także dostarcza antygenów koniecznych do wywołania odpowiedzi nabytej.

Trzeba zwrócić uwagę, że głównie makrofagi prozapalne, klasycznie aktywowane tzn. makrofagi M1 biorą udział w odpowiedzi przeciwgrzybiczej [Lawrence i Natoli, 2011]. Makrofagi M1 posiadają enzym NOS2 (ang. *nitric oxide synthase 2*) [Heung, 2020]. Dla przykładu, kiedy *H. capsulatum* może replikować się wewnątrz nieodróżnicowanych makrofagów i monocytów, w makrofagach M1 ich aktywacja ogranicza wewnątrzkomórkowy wzrost strzępek, po części ze względu na ograniczenie dostępności jonów cynku



(niezbędnych dla rozwoju *H. capsulatum*) [Newman i in., 1991; Vignesh i in., 2013]. Innym przykładem może być *Coccidioides immitis*. Monocyty wykazują wrodzoną zdolność do pochłaniania i zabijania konidiów, z kolei do eliminacji endospor konieczna jest stymulacja przez prozapalne cytokiny [Ampel i Galgiani, 1991; Beaman, 1991].

W obronie przeciwko patogenom grzybiczym biorą także udział komórki dendrytyczne, które powstały w wyniku różnicowania z monocytów tzw. MoDCs (ang. *monocyte-derived dendritic cells*) [Heung, 2020]. Wykazano, że MoDCs pochłaniają konidia *A. fumigatus* i zabijają w wyniku aktywności NOX2 [Espinosa i in., 2014]. Z kolei drożdżopodobne komórki *H.capsulatum* nie tylko są przez nie eliminowane, ale także procesowane do antygenów, które następnie są prezentowane komórką odpowiedzi nabytej limfocytom T [Gildea i in., 2001].

### **Produkcja cytokin i interakcje międzykomórkowe.**

Białka sygnałowe produkowane w czasie infekcji grzybiczej są istotne dla rozwoju zarówno wrodzonej, jak i adaptacyjnej odpowiedzi immunologicznej [Heung, 2020]. Dobrze obrazuje to przykład zwiększonej podatności na infekcje *C.albicans* (dokładnie infekcje krwi), które zostały skorelowane z polimorfizmem jednego nukleotydu genu kodującego wydzielaną przez monocyty cytokinę [Jaeger i in., 2019].

Monocyty i komórki od nich pochodzące produkują zróżnicowany zestaw białek sygnałowych: (i) cytokiny prozapalne, np. TNF, IL-1, IL-12; (ii) cytokiny o działaniu plejotropowym, np. IL-6; a także (iii) chemokiny, takie jak CXCL1, CCL5 [Arango Duque i Descoteaux, 2014; Carson i in., 1995]. Sekrecja prozapalnych cytokin zazwyczaj jest związana z aktywacją reakcji odpornościowej gospodarza. Przykładem może być infekcja *H. capsulatum*, gdy wydzielane przez makrofagi i komórki dendrytyczne interleukiny (TNF, IL-6, IL-12) stanowią kluczową informację do aktywacji odpowiedzi nabytej [Huang i in., 2015; Lin i in., 2010]. Z kolei wydzielanie cytokin przeciwzapalnych np. IL-10 skorelowane jest zazwyczaj ze słabszą lub supresyjną odpowiedzią immunologiczną.

Cytokiny mogą także wpływać na interakcje między poszczególnymi elementami odpowiedzi. W czasie systemowej infekcji *C.albicans* IL-15 wydzielana przez monocyty wraz z IL-23p19 produkowaną przez komórki dendrytyczne stymuluje neutrofile do aktywności przeciwgrzybiczej [Domínguez-Andrés i in., 2017; Whitney i in., 2014]. Z kolei w wyniku m.in aktywacji komórek odporności nabytej produkowana jest IL-17. IL-17 jest kluczowym elementem ochrony przed patogenami grzybiczymi występującym w błonach śluzowych. Limfocyty Th17 i  $\gamma\delta$  odpowiadają wzmożoną produkcją IL-17 w przypadku pojawienia się *C.albicans* w obrębie skóry i górnych dróg oddechowych [Gladiator i in., 2013]. Co zaskakujące, wykazano, że neurony czuciowe skóry biorą udział w wykrywaniu grzybów *C.albicans* i aktywowaniu komórek Langerhansa. Mediatorem w tej interakcji jest neuropeptyd, który wywołuje zależne od IL-23 wydzielanie IL-17 przez limfocyty  $\gamma\delta$  [Kashem i in., 2015]

### **Prezentacja antygenów i odpowiedź adaptacyjna.**

Istotnym procesem, w utrzymaniu ochrony przeciw infekcjom grzybiczym, jest indukcja odpowiedzi nabytej: komórkowej (tu limfocyty T pomocnicze Th i cytotoksyczne Tc) oraz humoralnej związanej z produkcją przeciwciał przez limfocyty B.

Monocyty, makrofagi i DC posiadają zdolność prezentacji antygenów w tym antygenów grzybiczych komórkom odpowiedzi nabytej, naiwnym limfocytom T [Roy i Klein, 2012]. Komórki dendrytyczne dodatkowo są w stanie prezentować zarówno antygeny pobrane bezpośrednio z otoczenia, jak i powstałe wewnątrzkomórkowo na skutek fagocytozy całych komórek grzybiczych [Heung, 2020].

Z badań na mysim modelu chronicznej infekcji *Cryptococcus* wynika, że monocyty mogą się różnicować w komórki dendrytyczne, które stymulują rozwój odpowiedzi nabytej z indukcją głównie limfocytów Th1 [Osterholzer i in., 2009]. Komórki MoDCs prezentujące antygeny *H.capsulatum* hamują odpowiedź zależną od Th2 poprzez zmniejszenie produkcji IL-4 przez komórki T [Szymczak i Deepe, 2010]. Ponadto antygeny grzybicze uzyskane po aktywności fagocytarno-apoptotycznej makrofagów komórki MoDC mogą prezentować krzyżowo w kontekście nie tylko MHC II, ale również MHC I i tym samym stymulować odpowiedź cytotoksyczną limfocytów T CD8+ w warunkach znacznego obniżenia ilości limfocytów T CD4+ we krwi, co jest typowe dla pacjentów HIV/AIDS [Lin i in., 2005]. Mechanizm krzyżowej prezentacji można wykorzystać do indukcji odporności przeciwgrzybiczej i tak w wyniku ekspozycji na antygeny *C.immitis* ludzkie komórki MoDC biorą udział w indukcji odpowiedzi nabytej: proliferacji limfocytów T i sekrecji IFN- $\gamma$  [Richards i in., 2001].

Aktywność odpowiedzi humoralnej jest źródłem powszechnie identyfikowanych Przeciwciała skierowanych przeciwko antygenom grzybiczym. W modelu mysim infekcji *Pneumocystis carini* (pneumocystoza) IgM specyficzne dla polisacharydów są kluczowe dla przebiegu odpowiedzi immunologicznej: wzmacniają proces rozpoznania patogenów przez receptor dla końca Fc obecnego m.in. na DC, stymulują odpowiedź typu Th2 i Th17 oraz zjawisko przełączania klas produkowanych przeciwciał przez komórki B [Rapaka i in., 2010]. [Lionakis i in., 2017].

Produkcja limfocytów pamięci jest klasycznym mechanizmem nabywania pamięci immunologicznej na obce antygeny zapewniając szybką i specyficzną odpowiedź w razie ponownej ekspozycji [Heung, 2020]. Niedawne badania wskazują również, że monocyty i inne komórki odpowiedzi wrodzonej mogą także nabywać pamięci patogenu w wyniku zjawiska określanego jako „wytrenowana odporność” (ang. *trained immunity*) [Netea i in., 2016]. Kiedy komórki te rozpoznają patogen i aktywują swoje mechanizmy obronne, przechodzą epigenetyczne i metaboliczne modyfikacje, które zwiększają intensywność odpowiedzi w wypadku kolejnego kontaktu. W tym przypadku jednak pamięć nie jest długotrwała – trwa przez tygodnie/miesiące, tutaj głównym ograniczeniem jest długość życia komórek [Heung, 2020].

### 3. Jak grzyby wymykają się układowi odpornościowemu?

Polisacharydy obecne w ścianach komórkowych stanowią najważniejsze receptory z grupy PAMPs pochodzenia grzybiczego; są rozpoznawane przez receptory PRR, co prowadzi do uruchomienia reakcji obronnej organizmu. Komórki grzybów wypracowały jednak strategie umykania rozpoznawania przez układ odpornościowy.

### **Modyfikacje osłon komórkowych**

Grzyby unikają interakcji z receptorami komórek odpornościowych gospodarza poprzez manipulowanie ilością i dostępnością poszczególnych komponentów ściany komórkowej [Hernández-Chávez i in., 2017].

$\beta$ -1,3-glukan jest wysoce immunogenną molekułą i kluczową w utrzymaniu struktury ściany komórkowej grzybów. Receptorem powierzchniowym komórek układu immunologicznego specyficznym dla  $\beta$ -1,3-glukanu jest wspomniana wcześniej Dektyna-1 [Brown i Gordon, 2001]. W odpowiedzi na mechanizmy obronne gospodarza grzyby wykształciły sposób chowania immunogennych komponentów. Dektyna-1 wykazuje niską reaktywność w stosunku do komórek *Candida glabrata*, *Candida parapsilosis*, *Candida guilliermondii*. Badania wykazały, że ściana komórkowa wszystkich wymienionych gatunków pokryta jest zewnętrzną warstwą mannanu, co skutecznie uniemożliwia interakcję Dektyny-1 z  $\beta$ -1,3-glukanem [Estrada-Mata i in., 2015; Navarro-Arias i in., 2016; West i in., 2013]. Ciekawą strategię wykształcił *Histoplasma capsulatum*, którego drożdżopodobne komórki wydzielają białko Eng1 (ang. *endo- $\beta$ -1,3-glucanase*), które przycina fragmenty  $\beta$ -1,3-glukanu wyeksponowane na zewnątrz, co osłabia rozpoznanie przez Dektynę-1 oraz aktywację odpowiedzi wrodzonej [Garfoot i in., 2016].

Melaniny są hydrofobowymi pigmentami produkowanymi na drodze oksydacyjnej polimeryzacji fenolowych i indolowych związków. Są one obecne w ścianach komórkowych grzybów, odpowiadają za ich wytrzymałość mechaniczną, oporność na degradację enzymatyczną i działanie promieniowania UV [Nosanchuk i Casadevall, 2006]. Jak sugerują badania *C.neoformans* i *Paracoccidioides brasiliensis*, komórki zawierające w ścianach melanine są bardziej odporne na fagocytozę [Camacho i Niño-Vega, 2017; Nosanchuk i in., 2015].

Inną niesłychanie skuteczną strategią jest wykształcenie fizycznych barier między ścianą komórkową grzyba a otoczeniem, które dodatkowo wykazują pewne właściwości biologiczne. Wśród niektórych grzybów zidentyfikowano polisacharydowe otoczki (ang. *polysaccharide capsule*, PC). Dobrym przykładem jest oportunistyczny patogen *C.neoformans*, którego wydatna osłona jest głównym czynnikiem wirulencji [Doering, 2009]. Jej Przeważającym składnikiem jest woda (99% masy) oraz glukuroksylomannan [Vecchiarelli, 2000]. Polisacharydowa otoczka *C.neoformans* wykazuje silne właściwości hamujące odpowiedź wrodzoną i nabytą gospodarza. Blokuje fagocytozę, hamuje proliferację limfocytów T, indukuje wydzielanie cytokiny przeciwzapalnych np. IL-10, a także zaburza produkcję cytokin prozapalnych, jak TNF- $\alpha$  i IL-1 $\beta$  [Syme i in., 1999]. Zatem *C.neoformans* wykształcił umiejętność podporządkowania działania układu odpornościowego na swoją korzyść.

### **Komórki tytany**

Rozmiar jest jedną z kluczowych strategii przetrwania w ustroju organizmu gospodarza. Imponujących rozmiarów polisacharydowa osłona nie jest jedyną strategią obronną *C.neoformans*. Komórki patogena mogą ulegać znacznemu powiększeniu, co stanowi mechanizm protekcyjny przed aktywnością fagocytarną makrofagów [Chrisman i in., 2011]. Komórki tytany (ang. *titan cells*) są od 14 do 20 razy większe niż drożdżopodobne komórki

*C.neoformans* hodowane *in vitro* [Okagaki i in., 2010]. Rozmiary komórek tytanów uniemożliwiają ich fagocytozę (są większe niż standardowa komórka żerna) [Hernández-Chávez i in., 2017]. W badaniach *in vitro* uzyskano mutanty, które produkowały olbrzymie komórki ze zwiększoną częstotliwością, a w rezultacie kompletne usunięcie z płuc patogenego grzyba okazało się być niemożliwe [Crabtree i in., 2012]. Nietypowa morfologia wydaje się być istotnym czynnikiem wirulencji, może być jest odpowiedzialna za chroniczny przebieg infekcji u niektórych pacjentów [Garcia-Hermoso i in., 1999].

### **Ciała gwiaździste**

Liczne grzyby m.in. *Sporothrix*, *Candida*, *Histoplasma*, *Aspergillus* posiadają zdolność wykształcania tzw. ciał gwiaździstych (ang. *asteroid bodies*, AB). Są opisywane jako koncentryczne warstwy otoczone wypustkami, co jest widoczne jako struktura w kształcie korony zamykająca pojedynczą komórkę w środku (jest ona okrągła i większa w porównaniu ze sfagocytowanymi komórkami grzybów) [Daniel Da Rosa i in., 2008]. Ciała gwiaździste pełnią funkcję protekcyjną względem komórki w ich centrum. Przeciwciała IgG oraz IgM zostają uwięzione w zewnętrznych wypustkach. Komórka grzyba ma możliwości podziału wewnątrz ciała gwiaździstego, co udowodniono w warunkach *in vivo* i *in vitro* [Daniel Da Rosa i in., 2008]

Jednak fagocytoza nie zawsze niesie pozytywne skutki. Zidentyfikowano grzyby, które dzięki zaadaptowały się do warunków panujących we wnętrzu fagolizosomów były zdolne do przetrwania i namnażania się w monocytach [Heung, 2020].

## **4. Podsumowanie**

Układ odpornościowy pełni kluczową rolę w obronie organizmu przed ciągłą inwazją patogenów grzybiczych. Grzyby w trakcie ewolucji wykształciły różnorodne strategie uciekania działaniu elementów systemu odpornościowego gospodarza. Modyfikacje komponentów ściany komórkowej, produkcja polisacharydowych osłon, drastyczne zwiększenie rozmiarów komórki czy wykształcanie ciał gwiaździstych są zaledwie szczytem góry lodowej grzybiczych mechanizmów ochronnych. Grzyby stanowią istotny czynnik etiologiczny, co jaskrawo obrazują pacjenci chorujący na AIDS, wrodzone zespoły niedoboru odporności i przyjmujący lekki immunosupresyjne.

Warto jednakże pamiętać, że grzyby stanowią także naturalny i pożądaną dla utrzymania homeostazy element organizmu zdrowego człowieka. [Underhill i Iliev, 2014]. [Lionakis i in., 2017].

Patogenom grzybiczym żyjącym w cieniu infekcji o pochodzeniu bakteryjnym i wirusowym nie jest poświęcana odpowiednia uwaga w środowisku naukowym. Miejmy nadzieję, że skutkiem dalszych badań patogenezy m.in. *Candida*, *Cryptococcus*, *Histoplasma* będzie nie tylko szerszy i bardziej spójny opis przebiegu infekcji, poznanie grzybiczych mechanizmów unikania odpowiedzi immunologicznej, ale także stworzenie skutecznych terapii i środków prewencyjnych.

**Bibliografia:**

1. Amanianda V., Bayry J., Bozza S. i in. (2009). Surface hydrophobin prevents immune recognition of airborne fungal spores. *Nature*, 460(7259), 1117–1121.
2. Ampel N.M., Galgiani J.N. (1991). Interaction of human peripheral blood mononuclear cells with *Coccidioides immitis* arthroconidia. *Cellular Immunology*, 133(1), 253–262.
3. Arango Duque G., Descoteaux A. (2014). Macrophage Cytokines: Involvement in Immunity and Infectious Diseases. *Frontiers in Immunology*, 5, 491.
4. Beaman L. (1991). Effects of recombinant gamma interferon and tumor necrosis factor on in vitro interactions of human mononuclear phagocytes with *Coccidioides immitis*. *Infection and Immunity*, 59(11), 4227–4229.
5. Bongomin F., Gago S., Oladele R.O., Denning D.W. (2017). Global and Multi-National Prevalence of Fungal Diseases-Estimate Precision. *Journal of Fungi*, 3(4).
6. Bozza S., Campo S., Arseni B. i in. (2014). PTX3 binds MD-2 and promotes TRIF-dependent immune protection in aspergillosis. *Journal of Immunology*, 193(5), 2340–2348.
7. Branzk N., Lubojemska A., Hardison S. E. i in. (2014). Neutrophils sense microbe size and selectively release neutrophil extracellular traps in response to large pathogens. *Nature Immunology*, 15(11), 1017–1025.
8. Brown G.D., Gordon S. (2001). Immune recognition. A new receptor for beta-glucans. *Nature*, 413(6851), 36–37.
9. Brown G.D., Denning D.W., Gow N.A.R. i in. (2012). Hidden killers: human fungal infections. *Science Translational Medicine*, 4(165), 165.
10. Camacho E., Niño-Vega G.A. (2017). *Paracoccidioides* spp.: Virulence Factors and Immune-Evasion Strategies. *Mediators of Inflammation*, 2017, 5313691.
11. Carson W.E., Ross M.E., Baiocchi R.A. i in. (1995). Endogenous production of interleukin 15 by activated human monocytes is critical for optimal production of interferon-gamma by natural killer cells in vitro. *The Journal of Clinical Investigation*, 96(6), 2578–2582.
12. Chrisman C.J., Albuquerque P., Guimaraes A.J. i in. (2011). Phospholipids trigger *Cryptococcus neoformans* capsular enlargement during interactions with amoebae and macrophages. *PLoS Pathogens*, 7(5), e1002047.
13. Crabtree J.N., Okagaki L.H., Wiesner D.L. i in. (2012). Titan cell production enhances the virulence of *Cryptococcus neoformans*. *Infection and Immunity*, 80(11), 3776–3785.
14. Da Rosa D.W., Gezuele E., Calegari L., Goñi F. (2008). Asteroid body in sporotrichosis. Yeast viability and biological significance within the host immune response. *Medical Mycology*, 46(5), 443–448.
15. Deng Z., Ma S., Zhou H. i in. (2015). Tyrosine phosphatase SHP-2 mediates C-type lectin receptor-induced activation of the kinase Syk and anti-fungal TH17 responses. *Nature Immunology*, 16(6), 642–652.
16. Doering T. L. (2009). How sweet it is! Cell wall biogenesis and polysaccharide capsule formation in *Cryptococcus neoformans*. *Annual Review of Microbiology*, 63, 223–247.
17. Erwig L.P., Gow N.A.R. (2016). Interactions of fungal pathogens with phagocytes. *Nature Reviews. Microbiology*, 14(3), 163–176.

18. Espinosa V., Jhingran A., Dutta O. i in. (2014). Inflammatory Monocytes Orchestrate Innate Antifungal Immunity in the Lung. *PLOS Pathogens*, 10(2), e1003940.
19. Estrada-Mata E., Navarro-Arias M.J., Pérez-García L.A. i in. (2015). Members of the *Candida parapsilosis* Complex and *Candida albicans* are Differentially Recognized by Human Peripheral Blood Mononuclear Cells. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1527.
20. Garcia-Hermoso D., Janbon G., Dromer, F. (1999). Epidemiological evidence for dormant *Cryptococcus neoformans* infection. *Journal of Clinical Microbiology*, 37(10), 3204–3209.
21. Garfoot A.L., Shen Q., Wüthrich M. i in. (2016). The Eng1  $\beta$ -Glucanase Enhances *Histoplasma* Virulence by Reducing  $\beta$ -Glucan Exposure. *MBio*, 7(2), e01388-15.
22. Garlanda C., Hirsch E., Bozza S. i in. (2002). Non-redundant role of the long pentraxin PTX3 in anti-fungal innate immune response. *Nature*, 420(6912), 182–186.
23. Gildea L.A., Morris R.E., Newman S.L. (2001). *Histoplasma Capsulatum* Yeasts Are Phagocytosed via Very Late antigen-5, Killed, and Processed for Antigen Presentation by Human Dendritic Cells. *The Journal of Immunology*, 166(2), 1049 - 1056.
24. Gladiator A., Wangler N., Trautwein-Weidner K., LeibundGut-Landmann S. (2013). Cutting edge: IL-17-secreting innate lymphoid cells are essential for host defense against fungal infection. *Journal of Immunology*, 190(2), 521–525.
25. Gravelat F. N., Beauvais A., Liu H. i in. (2013). *Aspergillus* galactosaminogalactan mediates adherence to host constituents and conceals hyphal  $\beta$ -glucan from the immune system. *PLoS Pathogens*, 9(8), e1003575.
26. Gringhuis S.I., Kaptein T.M., Wevers B. A. i in. (2012). Dectin-1 is an extracellular pathogen sensor for the induction and processing of IL-1 $\beta$  via a noncanonical caspase-8 inflammasome. *Nature Immunology*, 13(3), 246–254.
27. Hernández-Chávez M.J., Pérez-García L.A., Niño-Vega G.A., Mora-Montes H.M. (2017). Fungal Strategies to Evade the Host Immune Recognition. *Journal of Fungi*, 3(4), 51.
28. Heung L.J. (2020). Monocytes and the Host Response to Fungal Pathogens. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10, 34.
29. Huang J.H., Lin C.Y., Wu, S.Y. i in. (2015). CR3 and Dectin-1 Collaborate in Macrophage Cytokine Response through Association on Lipid Rafts and Activation of Syk-JNK-AP-1 Pathway. *PLOS Pathogens*, 11(7), e1004985.
30. Jaeger M., Matzaraki V., Aguirre-Gamboa R. i in. (2019). A Genome-Wide Functional Genomics Approach Identifies Susceptibility Pathways to Fungal Bloodstream Infection in Humans. *The Journal of Infectious Diseases*, 220(5), 862–872.
31. Jhingran A., Mar K.B., Kumasaka D.K. i in. (2012). Tracing conidial fate and measuring host cell antifungal activity using a reporter of microbial viability in the lung. *Cell Reports*, 2(6), 1762–1773.
32. Jia X.M., Tang B., Zhu L.L. i in. (2014). CARD9 mediates Dectin-1-induced ERK activation by linking Ras-GRF1 to H-Ras for antifungal immunity. *The Journal of Experimental Medicine*, 211(11), 2307–2321.
33. Kashem S.W., Riedl M.S., Yao C. i in. (2015). Nociceptive Sensory Fibers Drive Interleukin-23 Production from CD301b+ Dermal Dendritic Cells and Drive Protective Cutaneous Immunity. *Immunity*, 43(3), 515–526.

34. Lawrence T., Natoli, G. (2011). Transcriptional regulation of macrophage polarization: enabling diversity with identity. *Nature Reviews Immunology*, 11(11), 750–761.
35. Lee M.J., Liu H., Barker B.M., i in, (2015). The Fungal Exopolysaccharide Galactosaminogalactan Mediates Virulence by Enhancing Resistance to Neutrophil Extracellular Traps. *PLOS Pathogens*, 11(10), e1005187.
36. Leibund-Landmann S., Gross O., Robinson M. J. i in. (2007). Syk- and CARD9-dependent coupling of innate immunity to the induction of T helper cells that produce interleukin 17. *Nature Immunology*, 8(6), 630–638.
37. Lin J.S., Yang C.W., Wang D.W., Wu-Hsieh B.A. (2005). Dendritic cells cross-present exogenous fungal antigens to stimulate a protective CD8 T cell response in infection by *Histoplasma capsulatum*. *Journal of Immunology* 174(10), 6282–6291.
38. Lin J.S., Huang J.H., Hung L.Y. i in. (2010). Distinct roles of complement receptor 3, Dectin-1, and sialic acids in murine macrophage interaction with *Histoplasma* yeast. *Journal of Leukocyte Biology*, 88(1), 95–106.
39. Lionakis M.S., Iliev I.D., Hohl T.M. (2017). Immunity against fungi. *JCI Insight*, 2(11), e93156.
40. Moalli F., Doni A., Deban L. i in. (2010). Role of complement and Fc{gamma} receptors in the protective activity of the long pentraxin PTX3 against *Aspergillus fumigatus*. *Blood*, 116(24), 5170–5180.
41. Navarro-Arias M.J., Defosse T.A., Dementhon K. i in. (2016). Disruption of Protein Mannosylation Affects *Candida guilliermondii* Cell Wall, Immune Sensing, and Virulence. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1951.
42. Netea M.G., Joosten L.A.B., Latz, E. i in. (2016). Trained immunity: A program of innate immune memory in health and disease. *Science*, 352(6284), 1098.
43. Newman S., Gootee L., Bucher C., Bullock W. (1991). Inhibition of intracellular growth of *Histoplasma capsulatum* yeast cells by cytokine-activated human monocytes and macrophages. *Infection and Immunity*, 59, 737–741.
44. Nosanchuk J.D., Casadevall A. (2006). Impact of melanin on microbial virulence and clinical resistance to antimicrobial compounds. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 50(11), 3519–3528.
45. Nosanchuk J.D., Stark R.E., Casadevall A. (2015). Fungal Melanin: What do We Know About Structure? *Frontiers in Microbiology*, 6, 1463.
46. Okagaki L.H., Strain A.K., Nielsen J.N. i in. (2010). Cryptococcal cell morphology affects host cell interactions and pathogenicity. *PLoS Pathogens*, 6(6), e1000953.
47. Osterholzer J.J., Chen G.H., Olszewski M.A. i in. (2009). Accumulation of CD11b+ lung dendritic cells in response to fungal infection results from the CCR2-mediated recruitment and differentiation of Ly-6Chigh monocytes. *Journal of Immunology*, 183(12), 8044–8053.
48. Rapaka R.R., Ricks D.M., Alcorn J.F. i in. (2010). Conserved natural IgM antibodies mediate innate and adaptive immunity against the opportunistic fungus *Pneumocystis murina*. *The Journal of Experimental Medicine*, 207(13), 2907–2919.
49. Richards J.O., Ampel N.M., Galgiani J.N. i in. (2001). Dendritic Cells Pulsed with *Coccidioides immitis* Lysate Induce Antigen-Specific Naive T Cell Activation. *The Journal of Infectious Diseases*, 184(9), 1220–1224.

50. Roy R.M., Klein B.S. (2012). Dendritic cells in antifungal immunity and vaccine design. *Cell Host & Microbe*, 11(5), 436–446.
51. Saville S.P., Lazzell A.L., Monteagudo C., Lopez-Ribot J.L. (2003). Engineered control of cell morphology in vivo reveals distinct roles for yeast and filamentous forms of *Candida albicans* during infection. *Eukaryotic Cell*, 2(5), 1053–1060.
52. Syme R.M., Bruno T.F., Kozel T.R., Mody C.H. (1999). The capsule of *Cryptococcus neoformans* reduces T-lymphocyte proliferation by reducing phagocytosis, which can be restored with anticapsular antibody. *Infection and Immunity*, 67(9), 4620–4627.
53. Szymczak W.A., Deepe G.S. (2010). Antigen-presenting Dendritic Cells Rescue CD4-depleted CCR2<sup>-/-</sup> Mice From Lethal *Histoplasma Capsulatum* Infection. *Infection and Immunity*, 78(5), 2125–2137.
54. Taylor P.R., Tsoni S.V., Willment J. A. i in. (2007). Dectin-1 is required for beta-glucan recognition and control of fungal infection. *Nature Immunology*, 8(1), 31–38.
55. Underhill D.M., Iliev I.D. (2014). The mycobiota: interactions between commensal fungi and the host immune system. *Nature Reviews. Immunology*, 14(6), 405–416.
56. Underhill D.M., Pearlman E. (2015). Immune Interactions with Pathogenic and Commensal Fungi: A Two-Way Street. *Immunity*, 43(5), 845–858.
57. Uribe-Querol E., Rosales, C. (2017). Control of Phagocytosis by Microbial Pathogens. *Frontiers in Immunology*, 8, 1368.
58. Vecchiarelli A. (2000). Immunoregulation by capsular components of *Cryptococcus neoformans*. *Medical Mycology*, 38(6), 407–417.
59. Vignesh K., Landero Figueroa J.A., Porollo A. i in. (2013). Granulocyte macrophage-colony stimulating factor induced Zn sequestration enhances macrophage superoxide and limits intracellular pathogen survival. *Immunity*, 39(4), 697–710.
60. Warnatsch A., Tsourouksoglou T.D., Branzk N. i in. (2017). Reactive Oxygen Species Localization Programs Inflammation to Clear Microbes of Different Size. *Immunity*, 46(3), 421–432.
61. West L., Lowman D.W., Mora-Montes H.M. i in. (2013). Differential virulence of *Candida glabrata* glycosylation mutants. *The Journal of Biological Chemistry*, 288(30), 22006–22018.
62. Whitney P.G., Bär E., Osorio F. i in. (2014). Syk Signaling in Dendritic Cells Orchestrates Innate Resistance to Systemic Fungal Infection. *PLOS Pathogens*, 10(7), e1004276.
63. Yáñez A., Hassanzadeh-Kiabi N., Ng M.Y. i in. (2013). Detection of a TLR2 agonist by hematopoietic stem and progenitor cells impacts the function of the macrophages they produce. *European Journal of Immunology*, 43(8), 2114–2125.
64. Zhu L.L., Zhao X.Q., Jiang C. i in. (2013). C-type lectin receptors Dectin-3 and Dectin-2 form a heterodimeric pattern-recognition receptor for host defense against fungal infection. *Immunity*, 39(2), 324–334.



## **7. CHOROBY NEUROLOGICZNE WIEKU DZIECIĘCEGO - UJĘCIE NEUROLOGOPEDYCZNE**

**mgr Kamila Urbaniak**

Uczelnia Łazarskiego w Warszawie

**Streszczenie:** Choroby neurologiczne są powszechnie znanym zjawiskiem, występującym we współczesnym świecie. Dotykają wielu osób, bez względu na wiek i płeć. W artykule tym skoncentrowano się przede wszystkim na dzieciach i trudnościach w mowie oraz komunikacji zależnych od występowania współuczestniczących zaburzeń. Rozdział został podzielony na kilka części- w każdej z nich prezentowana jest dana choroba- uszczegółowiona o aspekty neurologopedyczne. Wybrano poszczególne, które mają odzwierciedlenie w wieku dziecięcym.

**Słowa kluczowe:** dziecko, choroby neurologiczne, zaburzenia mowy i komunikacji

### **1. Wstęp**

Wiele dzieci z różnych przyczyn narażonych jest na choroby neurologiczne. Są one spowodowane różnymi czynnikami- zaczynając od determinantów występujących w okresie trwania ciąży, a także podczas samego porodu, jak i w jego trakcie. Dziecko jest narażone w tym czasie na wszelkiego rodzaju patologiczne zmiany, które mają znaczenie na jego przyszłym życiu oraz prawidłowym funkcjonowaniu. Różnorodne kliniczne formy mają wpływ na odzwierciedlające umiejętności zdrowotne i psychomotoryczne. Wymienić można także nieprawidłowości, takie jak wady wrodzone (które będą opisane w kolejnej części rozdziału), uwarunkowania genetyczne, ale także wszelkie choroby matki występujące podczas trwania ciąży. Do istotnych przyczyn zalicza się także determinanty podczas porodu i w jego trakcie. Istotne wydaje się, iż każda choroba jest jednostką złożoną, opisując wybrane nieprawidłowości, koncentrowano się przede wszystkim na aspekcie neurologopedycznym, czyli mowie, komunikacji, budowie, funkcjonowaniu oraz napięciu mięśniowemu twarzoczaszki. Wybrano tylko niektóre choroby neurologiczne występujące w wieku dziecięcym, mając na uwadze, że nie są to wszystkie istniejące w tym przedziale. Każda jednostka chorobowa zostanie przedstawiona w osobnym rozdziale.

### **2. Mózgowe Porażenie Dziecięce- aspekty neurologopedyczne**

Jest to zespół objawów chorobowych. Występująca choroba u dzieci powoduje w różnym stopniu niedowład kończyn, ruchy mimowolne, a także trwałe uszkodzenia mózgu. Wyróżnia się różne postaci MPDz, między innymi: spastyczne, dyskinetyczne, ataktyczne lub mieszane [Topczewska- Cabanek i wsp., 2012, s. 438-440]. U dzieci tych występują także różnorodne deficyty rozwojowe. Są to zaburzenia w obszarze przetwarzania bodźców dotykowych, co w konsekwencji przyczynia się do patomechanizmu neurorozwojowego w umiejętności planowania ruchów, schemacie ciała, jak również obronności dotykowej. W dużej mierze występują także trudności znajdujące się po stronie przedsiódkowo- proprioceptywnej, która powoduje słabą percepcję ruchową i pośrednio wpływa na słuch wzrok oraz mowę [Mańdziuk, Bik, 2013, s. 147-148]. Występują także zaburzenia napięcia mięśniowego, które stanowią patologiczną motorykę. Wyróżnić można

także niezintegrowanie odruchów ustno- twarzowych oraz szyjnych. Prawidłowy rozwój utrudniają także przetrwałe odruchy toniczne, które uniemożliwiają wykonywanie celowych ruchów oraz tworząc bariery ruchowe i związane z nimi nieprawidłowości [Nawrotny i wsp., 2009, s. 54-57]. Dezorganizacja motoryki małej i dużej dotyczy trudności z chodzeniem, jedzeniem, a także połykaniem; ma wpływ na brak koordynacji oczu oraz nieprawidłowości artykulacyjne, a także czynności mięśniowo- szkieletowe [Gajewska, 2009, s. 68-69].

### **3. Padaczka wczesnodziecięca- trudności w mowie i komunikacji**

Choroba ta występuje stosunkowo często w populacji wczesnodziecięcej. Oscyluje na trzecim miejscu- po MPDz oraz wodogłowiu [Gontko- Romanowska i wsp., 2016, s. 17-19]. Jest uwarunkowana genetycznie w jednostkach wielogenowych lub wieloczynnikowych oraz powodująca choroby monogenowe. Wraz z padaczką współistnieją także zaburzenia poznawcze, neurorozwojowe i behawioralne [Hoffman- Zacharska, 2017, s. 75-76]. U dzieci, u których występują napady padaczkowe zauważa się diplegię, triplegię, opadanie powiek oraz regres mowy. Można wymienić także niepełnosprawność intelektualną. Jako przyczyny wymienia się urazy okołoporodowe, zaburzenia rozwojowe ośrodkowego układu nerwowego, urazy czaszkowo- mózgowo, guzy ośrodkowego układu nerwowego oraz stwardnienie hipokampa [Gergont i wsp., 2008, s. 752-755]. Dzieci obciążane padaczką mają wiele trudności w zakresie umiejętności językowych i komunikacyjnych- między innymi: tempo mowy ulega spowolnieniu, występują zaburzenia leksykalno- semantyczne; słownictwo jest ubogie; oprócz nadawania mowy, występują także zaburzenia rozumienia, a w związku z tym również trudność sprawia tworzenie tekstów narracyjnych (istnieje redukcja wypowiedzeniowa); umiejętności logicznego myślenia są ograniczone; sprawność artykulacja oraz praksja oralna są na niższym poziomie. Inne sfery funkcjonowania, takie jak: poznawcza, emocjonalno- motywacyjna oraz motoryczna także odzwierciedlają różnorodne zaburzenia [Panasiuk, 2018, s. 109].

### **4. Tiki nerwowe jako schorzenie współistniejące podczas procesu realizacyjnego mowy**

Do tej grupy zaburzeń można zaliczyć szybkie i krótkotrwałe skurcze, występujące w różnych partiach ciała, z podziałem na częściowe lub całkowite. Obejmuje zazwyczaj mięśnie twarzy, szyi, barków, a także kończyn czy tułowia. Objawia się pod różnymi postaciami. Najczęściej są to wdechy, pochrząkiwania, pociągania nosem- w charakterze napadowym; wymienia się także embolofrazje. Przy tikach, wyróżnia się także hiperkinezy- które polegają na rytmicznych ruchach tułowia. Dzieci z taką specyfiką problemu mają trudności z koncentracją i uwagą, a także myśleniem. Duża przerzutność uwagi doprowadza do sytuacji popełniania wielu błędów leksykalno- semantyczno- gramatycznych. Występują niedokończone słowa i zdania, chaotyczność. W tej przypadłości może pojawić się nie płynność mówienia, zacinanie lub jąkanie. Wyróżnia się także fragmentaryczny deficyt percepcji- który jest odpowiedzialny za niepoprawną pracę podczas nabywania umiejętności wypowiedzenia się, rysowania, czytania, pisanie oraz rozumienia tekstów, a także koordynacji wzrokowo- ruchowej czy percepcji i analizy wzrokowej. Nieprawidłowości występują także w obszarze słuchu- uszczegóławiając w analizie i syntezie dźwiękowej oraz brakiem płynności w tworzeniu wypowiedzi [Kowolik, 2005, s. 14-18]. Według periodyzacji, warto wspomnieć także o tikach wokalnych- które objawiają się nagłymi stereotypowymi

wokalizacjami. Do tego typu rodzaju tików zalicza się koprolalie- słowa społecznie nieakceptowane; palilalie- powtarzanie własnych słów lub dźwięków oraz echolalie- powtarzanie ostatniego usłyszanego dźwięku, słowa lub frazy [Richman, Lindauer, 2002, s. 179-180].

### 5. Zaburzenia ośrodkowego układu nerwowego okiem neurologopedy

Ośrodkowy układ nerwowy i zaburzenia w nim się znajdujące, są złożonymi formami klinicznymi, istotnymi dla prawidłowego funkcjonowania dziecka, nie tylko ze względu na mowę i komunikację. W tej grupie można wyróżnić wiele nieprawidłowości, począwszy od **wodogłowia**. Powstaje ono jako skutek zaburzenia równowagi pomiędzy procesem produkcji, przepływem oraz wchłanianiem płynu mózgowo- rdzeniowego [Zakrzewski, Nowosławska, 2009, s. 46]. Zjawisko to może także wystąpić pod postacią wodogłowia pokrwotocznego- uściślając- jego występowanie implikuje krwawienie do układu komorowego, jak i okołokomorowego mózgu. Najbardziej narażone są na to dzieci urodzone przedwcześnie [Mandera, 2009, s. 37-38]. Wodogłowie może powstać także w przebiegu zapaleń opon mózgowo- rdzeniowych, którego przyczyną jest zakażenie patogenetycznym czynnikiem listeriozy, a dokładnie bakterią uczestniczącą w tym procesie, czyli *Listeria monocytogenes*. Jej występowanie jest niebezpieczne, ponieważ ma predyspozycję do przejścia OUN, tworząc neuroinfekcje [Jamroz i wsp., 2010, s. 89-90]. Kolejnym zaburzeniem jest **rozszerzenie kręgosłupa**- jeden z rodzajów wad rozwojowych. Wiąże się z tym przepuklina oponowo- rdzeniowa, świadcząca o patomechanizmie neurorozwoju zamknięcia kanału kręgowego. Skutkiem towarzyszącym może być osłabienie lub zniesienie przewodzenia bodźców nerwowych, w strukturach centralnych- odnoszących się na obwód ciała i docierający do mięśni, skóry czy narządów wewnętrznych [Malicka, 2014, s. 229]. U dzieci takich występuje opóźniony rozwój motoryczny; brak koordynacji wzrokowo- ruchowej; zaburzenia percepcji słuchowej, a także nieprawidłowości związane z mową- czyli zasób słownictwa nieadekwatny do wieku rozwojowego, brak rozumienia związków leksykalno- semantycznych oraz kategorii czasowych i przestrzennych [Kaźmierska, 2016, s. 784-786]. Badania donoszą, iż nieprawidłowości rozwojowe związane z przepukliną oponowo- rdzeniową związane są także z występowaniem wodogłowia, obniżeniem sprawności intelektualnej oraz porażeniem kończyn dolnych i utratą czucia [Zamłyński i wsp., 2007, s. 648]. Następną nieprawidłowością są **guzy ośrodkowego układu nerwowego**. Ich występowanie w dużej mierze wynika z chorób genetycznych. Wyłaniający się obraz kliniczny może wskazywać na występowanie niedowładów, a także zaburzeń w obrębie czucia, napadów padaczkowych oraz zespołu mózdkowego; problemów z widzeniem, dysfunkcji nerwów czaszkowych, jak również zaburzeń zachowania [Szołkiewicz, 2009, s. 181-183]. Istotne jest także wymienienie w tym miejscu **neuralgii nerwów czaszkowych**. Jest to postać neuropatii, która charakteryzuje się krótkim i silnym bólem, trwającym zazwyczaj od kilku sekund do kilku minut. Miejsce bólu odpowiada występującej lokalizacji anatomicznego nerwu, który został zajęty; może także dotyczyć gałęzi tego nerwu. Napady te są spowodowane podrażnieniem stref lub punktów spustowych [Fliciński i wsp., 2013, s. 51-53]. **Kraniosyntoza** jest jedną z chorób powodujących dysfunkcję prawidłowego rozwoju i funkcjonowania ośrodkowego układu nerwowego. Jest to zjawisko polegające na przedwczesnym zarośnięciu jednego lub więcej liczby szwów czaszkowych. Konsekwencją tego jest nieprawidłowa budowa czaszki.

Jako patomechanizmy wyróżnia się także zaburzenia twarzoczaszki, a uszczegóławiająco skutkuje nieprawidłowym funkcjonowaniem struktur, takich jak mózg, narządy mowy, wzroku, słuchu oraz mięśni szkieletowych głowy. Zaburzenia neurorozwojowe, które można uwzględnić wobec tej choroby, to przede wszystkim: mowa czynna, motoryka duża, sprawność manualna, percepcja, funkcje społeczne, mowa bierna oraz samodzielność [Rożek, Larysz, 2016, s. 217-219]. Podsumowując, u dzieci, u których występują uszkodzenia lub dysfunkcje OUN trudność sprawia naturalne przyswajanie mowy i języka. Zauważa się u nich brak ukształtowanych mechanizmów językowych, do których zaliczany jest słuch fonemowy, kinestezja artykulacyjna, rozumienie mowy, tworzenie wypowiedzi [Kurowska, 2016, s. 73].

## 6. Schorzenia degeneracyjne mózgu implikujące trudności w sferze werbalnej

Biorąc pod uwagę tę grupę chorobową, wyróżnić można nieprawidłowości u dzieci, kategoryzując je na udary, migreny i zawroty głowy. **Udar mózgu** jest stosunkowo rzadką jednostkową chorobą, spotykaną w młodszej populacji. Najczęstszym objawem współistniejącym jest napad padaczkowy. Oprócz tego można wymienić także zaburzenia oddychania, uwypuklenie ciemączka oraz niedowład. Udar mózgu ma swoje konsekwencje w przyszłości. Skutkuje między innymi niedowładami lub porażeniami; afazją lub dysfagią, zmniejszonym polem widzenia oraz trudnościami w obszarze percepcji wzrokowej, utratą kontroli emocjonalnej i zmianami nastroju, problemami z pamięcią, zmianami zachowania lub osobowości oraz używaniem w sposób niewłaściwy języka. Wymienia się również zaburzenia: ruchowo- koordynacyjne, informacyjno- poznawcze, napięcia mięśniowego, wygórowanie odruchów oraz niepełnosprawności intelektualne [Klisowska i wsp., 2012, s. 311-313], a także zaburzenia świadomości i mowy oraz niedowład nerwów czaszkowych [Pilarska, 2009, s. 15]. Kolejnym schorzeniem są **migreny**. Charakteryzują się występowaniem epizodów nawracającego bólu głowy. Mogą występować z zaburzeniami lękowymi pod postacią lęku separacyjnego lub uogólnionego; fobii szkolnej, napadów panicznych, jak również zespołów obsesyjno- kompulsywnych [Wendorff, Wiśniewska, 2006, s. 134-135]. Objawia się nadwrażliwością na światło i dźwięki [Boćkowski i wsp., 2011, s. 81-82]. Ostatnim rodzajem schorzenia są **zawroty głowy**. Implikują się nieprawidłowościami czynnościowymi układu równowagi, krążenia, w przebiegu chorób ogólnoustrojowych i psychicznych. Skutkuje uczuciem wirowania otoczenia lub własnego ciała, zaburzenia słuchu, utratą przytomności, zaburzeniami psychosomatycznymi [Pilarska i wsp., 2012, s. 53-57].

## 7. Autyzm jako zaburzenie rozwojowe

Nieprawidłowości związane z autyzmem dotyczą zaburzeń rozwojowych wynikających z funkcjonowania ośrodkowego układu nerwowego. Charakterystykę tych nieprawidłowości określa triada objawów dotycząca interakcji społecznych, komunikowania się oraz ograniczonych wzorców zachowań, zainteresowań oraz aktywności; a także, oprócz tego wymienia się deficyty motoryczne, to znaczy nieharmonijność rozwojową, obniżone napięcie mięśniowe, słabą kontrolę motoryczną. W niektórych przypadkach zaburzenie to sprzężone jest z niepełnosprawnością intelektualną. Dzieci te mają trudność podczas naśladowania ruchów, planowaniem, manipulowaniem przedmiotami i wykonywaniem precyzyjnych ruchów i czynności [Białas-Paluch, 2017, s. 75-76]. Zakłócenia odbywają się

także w obszarze artykulacyjnym- ekspresja językowa, zdolności kinetyczne i ruchowe są obniżone; praca narządu artykulacyjnego oscyluje na nieprawidłowym poziomie; intencjonalność oraz rozumienie wynikające z dialogu lub kontekstu sytuacyjnego jest zaburzone [Wojciechowska, 2011, s. 18-20]. Zauważa się także trudność w obrębie tak zwanej teorii umysłu, która jest komponentem rozwoju społecznego oraz umiejętności komunikacji- w tym przypadku zaburzone jest wnioskowanie o stanach umysłowych innych ludzi, biorąc pod uwagę ich wypowiedzi, mowę ciała czy ubiór [Szwajda, 2014, s. 100].

### **8. Symptomatologia zespołu Westa**

Następnym neurologicznym zaburzeniem jest występowanie zespołu Westa. Przypadłość ta należy do grupy encefalopatii padaczkowych. W objawach wyróżnione są zaburzenia psychoruchowe, a mianowicie rozwój motoryki małej i dużej, jak również obniżony jest poziom funkcjonowania poznawczego oraz niepełnosprawność intelektualna. Obecność napadów padaczkowych oznacza zaburzenia funkcji mózgowych. Dotyczą one funkcji poznawczych, emocji oraz inteligencji [Mojs i wsp., 2007, s. 68-69]. Napady zgięciowe zaczynają się uaktywniać około 3 miesiąca życia i są odporne na leki. Są symetryczne lub niesymetryczne; przypominają napady toniczne lub miokloniczne. Pojawiają się także klonie powiek i mięśni twarzy, połączone z niedowładami ciała [Rudzka- Dybała i wsp., 2015, s. 694-695].

### **9. Choroba Krabbego i jej oddziaływanie na mowę**

Jest to postępująca, dziedziczona autosomalnie recesywnie choroba w obszarze obwodowego i ośrodkowego układu nerwowego. Leukodystrofia globoidalna jest implikacją mutacji genu *GALC*, zlokalizowanego na 14 chromosomie. Gen ten odpowiedzialny jest przede wszystkim za substancje niezbędne do prawidłowych przemian mieliny. W chorobie tej dochodzi do procesu odkładania się lipidów w pochodnych makrogleju komórek. Dotyczy ona w dużej mierze noworodków [Jastrzębski, Klimek, 2008, s. 62]. Zmiany także dotyczą okolicy ciemieniowo- potylicznej oraz okolicy okołokomorowej [Przysło, Wendorff, 2013, s. 135-136].

### **10. Choroba Niemann- Picka implikująca uszkodzenia mózgu**

Jest to choroba należąca do grupy rzadkich lizosomalnych spichrzeniowych. Wewnątrzkomórkowy obrót cholesterolu jest przyczyną jej występowania. Mutacja w genach *NPC1*, a także *NPC2* powoduje gromadzenie się toksycznego wolnego chromosomu w lizosomach. Objawy trzewne, w tym przypadku, wyprzedzają objawy neurologiczne- które sinusoidalne zmieniają swoją postać. Charakter neurologicznej patogenezy obejmuje ataksję mózdzkową, dyzartrię, dysfagię, zaburzenia ruchów gałek ocznych w pionie, ataki padaczkowej oraz dystonię. Można także zauważyć determinanty psychiatryczne [Ługowska, Musielak, 2013].

### **11. Zespół FAS w ujęciu językowym**

Zespół FAS oznacza *Fetal Alcohol Syndrome*, czyli zespół płodu alkoholowego. Zjawisko to występuje wśród matek nadużywających alkohol w czasie ciąży. Ma to niebagatelne znaczenie na rozwój oraz późniejsze funkcjonowanie dziecka. W związku z taką

sytuacją, wyróżnia się szereg nieprawidłowości, które mają swoje konsekwencje, między innymi- małowagowie oraz niepełnosprawność w rozwoju psychofizycznym; małą wagę urodzeniową lub hypotrofię. Twarz takiego dziecka ma charakterystyczne rysy- to znaczy- płaskie czoło, mały zadarty nos, wygląd górnej wargi jest płaski; policzki również przybierają taką cechę; występują deformacje uszów oraz retrognatia. Do trudności, które mają także swoje odzwierciedlenie w późniejszym przyswajaniu języka oraz osiągnięciu umiejętności komunikacyjnych, mają także predyspozycje wynikające z występowania rozwojowych wad wrodzonych. Zalicza się do nich rozszczepy podniebienia, wady oftalmologiczne, wady serca czy wady naczyniowe [Klecka, 2004, s. 1]. Dzieci z zespołem FAS posiadają szereg trudności związanych z prawidłową pracą OUN. Oprócz wyżej wymienionych, dysfunkcje występują także w postaci: braku węchomózgowia, porencefalii, agenezji ciała modzelowatego, mikrodysplazji, różnorodne zmiany w jądrze oliwki, wady rozwojowe półkul mózdkowych, deficyty w zakresie rozwoju rdzenia przedłużonego, rdzenia kręgowego, pnia mózgu, a także zaburzenia mielinizacji [Jadczyk-Szumidło, 2015, s. 242].

## 12. Symptomatologia w ADHD

Dzieci z rozpoznaniem tak zwanego zespołu nadpobudliwości psychoruchowej z deficytami uwagi, charakteryzują się w dużej mierze- nadaktywnością ruchową, impulsywnością oraz dysfunkcjami w obszarze koncentracji. Do trudności, z którymi mają styczność określa się także rozwój funkcji językowych. W tym przypadku, występuje obniżenie umiejętności w tym obszarze, implikując opóźnieniem rozwoju językowego, zaburzeniami przetwarzania słuchowego *CAPD*, nieprawidłowościami w zakresie interioryzacji mowy, braku poprawności w zakresie werbalnej pamięci operacyjnej. Istnieją również trudności odnoszące się do fluencji słownej oraz rozumienia przekazów werbalnych [Jędrzejowska, Borkowska, 2011, s. 73].

## 13. Wady rozwojowe będące przejawem zaburzeń migracji neuroblastów

Neurorozwoj składa się z wielu czynników i procesów. Do jednych z nich zalicza się przemieszczanie neuroblastów, czyli niedojrzałych komórek nerwowych, znajdujących się w układzie nerwowym, które są związane z formowaniem się substancji szarej w mózgu. W zjawisku tym oraz procesie mielinizacji dokonuje się refleksji na temat mikrouszkodzeń, które powodują fragmentaryczne dysfunkcje rozwojowe [Podgórska-Jachnik, 2009, s. 92-97]. Przemieszczające się neuroblasty dzielą się, a także przekształcają strukturę cewy nerwowej z jednowarstwowej na wielowarstwową [Bużańska i wsp., 2012, s. 23]. Wady rozwojowe współistniejące z tym deficytem dotyczą agenezji ciała modzelowatego. Dysfunkcja ta zaliczana jest do nieprawidłowości związanych z OUN. Skutkiem niepoprznego funkcjonowania tych struktur, są zmiany w obszarze kory nowej oraz komórkowe patologie, które mają wpływ na tworzenie się umiejętności przyswajania funkcji językowych.

## 14. Podsumowanie

Choroby neurologiczne dotyczą nie tylko osób dorosłych, ale także dzieci. Istnieje szereg nieprawidłowości o znanej lub nieznannej etiologii, mających bezpośredni wpływ na funkcjonowanie psychoruchowe młodszej populacji. W rozdziale tym, skoncentrowano się przede wszystkim na tych dysfunkcjach rozwojowych, które swoje podłoże mają

w prawidłowym rozwoju oraz pracy narządu artykulacyjnego. W związku z tym, że struktury odpowiadające za produkcję mowy istnieją w korelacji i tworzą złożoność w swoim przebiegu, wzięto pod uwagę różnorodne nieprawidłowości- a przede wszystkim oddziaływanie neurologiczne na wytwarzanie komunikatów i przyswajanie funkcjonalnego języka. Jak można zauważyć, istnieje wiele determinantów, które mają związek ze sobą i łączą się w sposób obligatoryjny, lecz ze względu na ograniczenia czasowe wybrano tylko niektóre z nich. Celem rozdziału było dokonanie refleksji i przybliżenie zagadnienia dotyczącego korelacji mózg- sprawność narządów artykulacyjnych oraz funkcjonowania psychoruchowego, biorąc pod uwagę aspekt neurologopedyczny.

### **Bibliografia:**

1. Białas- Paluch K. (2017). Zaburzenia prakcji u dzieci ze spektrum autyzmu w świetle teorii integracji sensorycznej. W: J. Głodkowska (red.) Człowiek- Niepełnosprawność- Społeczeństwo. 1, 35. (s. 75-76).
2. Boćkowski L. i wsp. (2011). Doraźne leczenie napadów migrenowych i stanu migrenowego u dzieci i młodzieży. W: Neurologia Dziecięca. Praca zbiorowa. 20, 41. (s. 81-82).
3. Bużańska L. i wsp. (2012). Neuralne komórki macierzyste: podejmowanie decyzji rozwojowych. W: Glej. XXIX Zimowa Szkoła Instytutu Farmakologii PAN. Praca zbiorowa. (s. 23).
4. Fliciński J. i wsp. (2013). Neuralgie nerwów czaszkowych u dzieci. W: Neurologia Dziecięca. Praca zbiorowa. 22, 45. (s. 51-53).
5. Gajewska E. (2009). Nowe definicje i skale funkcjonalne stosowane w mózgowym porażeniu dziecięcym. W: Neurologia Dziecięca. Praca zbiorowa. 18, 35. (s. 68-69).
6. Gergont A. i wsp. (2008). Przyczyny padaczki objawowej u dzieci w wieku 3-18 lat hospitalizowanych w latach 2006-2007. W: Przegląd Lekarski. Praca zbiorowa. 65, 11. (s. 752-755).
7. Gontko- Romanowska K. i wsp. (2016). Analiza zgonów u dzieci z chorobami układu nerwowego. W: Neurologia Dziecięca. Praca zbiorowa. 25, 51. (s. 17-19).
8. Hoffman- Zacharska D. (2017). Encefalopatie padaczkowe- diagnostyka następnej generacji. W: Neurologia Dziecięca. Praca zbiorowa. 26, 52. (s. 75-76).
9. Jadczyk- Szumidło T. (2015). Problemy diagnostyczne dzieci z FASD- implikacje diagnozy. W: XXI Konferencja Diagnostyki Edukacyjnej, Bydgoszcz. (s. 242).
10. Jamroz i wsp. (2010). Ostre wodogłowie w przebiegu zapalenia opon mózgowo- rdzeniowych o etiologii *Listeria monocytogenes*. W: Neurologia Dziecięca. Praca zbiorowa. 19, 38. (s. 89-90).
11. Jastrzębski K., Klimek A. (2008). Leukodystrofia globoidalna Krabbego- choroba o wielu twarzach? W: Aktualności Neurologiczne. 8, 1. (s. 62).
12. Jędrzejowska N., Borkowska A.R. (2011). „Prawopółkulowa” komunikacja językowa a funkcjonowanie intelektualne u dzieci z ADHD. W: Psychiatria i Psychologia Kliniczna. 11, 2. (s. 73).
13. Kaźmierska B. (2016). Diagnoza i terapia neurologopedyczna dziecka z przepukliną oponowo- rdzeniową. W: Journal of Education, Health and Sport. Praca zbiorowa. 6, 12. (s. 784-786).

14. Klecka M. (2004). FAS- Alkoholowy Zespół Płodowy. Poalkoholowe dzieci ze złożoną niepełnosprawnością. W: Dziecko Krzywdzone. Teoria. Badania. Praktyka. 3, 3. (s.1).
15. Klisowska I. i wsp. (2012). Udary mózgu u dzieci- czynniki ryzyka, objawy, rehabilitacja. W: Pielęgniarstwo i Zdrowie Publiczne. Praca zbiorowa. 2, 4. (s. 311-313).
16. Kowolik P. (2005). Nadpobudliwość psychoruchowa dzieci w młodszym wieku szkolnym: wprowadzenie do tematu. W: Nauczyciel i Szkoła. 1-2, 26-27. (s. 14-18).
17. Kurowska M. (2016). Wywoływanie wypowiedzi u dzieci z zaburzeniami rozwoju mowy i języka pochodzenia korowego. W: J. Porayski-Pomsta (red). Studia Pragmalingwistyczne. Rok VIII. (s. 73).
18. Ługowska A., Musielak M. (2013). Diagnostyka choroby Niemann-Picka typu C. W: Klinika Pediatria. Neurometabolizm, nr 21.
19. Malicka A. (2014). Terapia dziecka z rozszczepem kręgosłupa i wodogłowiem- studium przypadku. W: O. Przybyła (red). Logopedia Silesiana. Praca zbiorowa. t. 3. (s. 229).
20. Mandera M. (2009). Wodogłowie pokrwotoczne u noworodków i niemowląt. W: Aktualności Neurologiczne. 9, 1. (s. 37-38).
21. Mańdziuk M., Bik A. (2013). Przegląd aktualnych metod terapeutycznych wykorzystywanych w usprawnieniu dzieci z mózgowym porażeniem dziecięcym. W: E. Boksa, A. Michalska, P. Zbróg (red), Aktualne problemy diagnozy i terapii osób z niepełnosprawnościami sprzężonymi i zaburzeniami neurorozwojowymi. Praca zbiorowa. (s. 147-148).
22. Mojs E. i wsp. (2007). Problemy diagnostyczne i terapeutyczne dzieci z zespołem Westa. W: Roczniki Pomorskiej Akademii Medycznej w Szczecinie. Praca zbiorowa. 53, 1. (s. 68-69).
23. Nawrotny J. i wsp. (2009). Aktualne podejście do rehabilitacji dzieci z mózgowym porażeniem dziecięcym. W: Neurologia Dziecięca. Praca zbiorowa. 18, 35. (s. 54-57).
24. Panasiuk J. (2018). Padaczka w diagnozie i terapii logopedycznej. Studium przypadku. W: O. Przybyła (red). Logopedia Silesiana. Praca zbiorowa. t. 7. (s. 109).
25. Pilarska E. (2009). Udar niedokrwienny u dzieci: czynniki ryzyka, objawy, leczenie, następstwa. W: Neurologia Dziecięca. Praca zbiorowa. 18, 36. (s. 15).
26. Pilarska E. i wsp. (2012). Zawroty głowy u dzieci- klasyfikacja, przyczyny, objawy, diagnostyka. W: Neurologia Dziecięca. Praca zbiorowa. 21, 42. (s. 53-57).
27. Podgórska-Jachnik D. (2009). Uzasadnienie potrzeby wczesnych oddziaływań wspomagających rozwój dziecka jako jednego z głównych kierunków rozwoju współczesnej pedagogiki specjalnej. W: J. Świerczyńska (red). Niepełnosprawność. Półrocznik Naukowy. Teoretyczne i metodologiczne konteksty pedagogiki specjalnej. Nr 1. Gdańsk. (s. 92-97).
28. Przysto Ł., Wendorff J. (2013). Spastyczność w encefalopatiach neurometabolicznych u dzieci. W: E. Boksa, A. Michalska, P. Zbróg (red), Aktualne problemy diagnozy i terapii osób z niepełnosprawnościami sprzężonymi i zaburzeniami neurorozwojowymi. Praca zbiorowa. (s. 135-136).
29. Richman D.M., Lindauer S.E. (2002) Identifying operant functions for tics in children with mental retardation. W: Behavioral Interventions. vol. 17. (179-180).



30. Rożek A., Larysz D. (2016). Nieprawidłowa budowa aparatu mowy oraz opóźniony rozwój mowy u dzieci z izolowanymi postaciami kraniosyntoz. W: O. Przybyła (red.). Logopedia Silesiana. Praca zbiorowa. t. 5. (s. 217-219).
31. Rudzka- Dybała i wsp. (2015). Wzorce zapisu EEG u dzieci z zespołem Westa. W: Przegląd Lekarski. Praca zbiorowa. 72, 11. (s. 694-695).
32. Szólkiewicz A. i wsp. (2009). Guzy ośrodkowego układu nerwowego u dzieci- analiza objawów i propozycje diagnostyczne. W: Forum Medycyny Rodzinnej. Praca zbiorowa. 3, 3. (s. 181-183).
33. Szwajda U. (2014). O mówieniu bez komunikowania, czyli dyskurs i interakcja w autyzmie. Charakterystyka trudności. W: Socjolingwistyka. XXVIII. (s. 100).
34. Topczewska- Cabanek A. i wsp. (2012). Epidemiologia mózgowego porażenia dziecięcego u dzieci w wieku 0- 18 lat hospitalizowanych w wybranym oddziale ortopedyczno- rehabilitacyjnym w latach 2005-2010. W: Family Medicine & Primary Care Review. Praca zbiorowa. 14, 3. (s. 438-440).
35. Wendorff J., Wiśniewska B. (2006). Migrena u dzieci i młodzieży. Zasady rozpoznania i terapii ze szczególnym uwzględnieniem problemów psychologicznych. W: Psychiatria i Psychologia Kliniczna. 6, 3. (s. 134-135).
36. Wojciechowska A. (2011). Charakterystyka języka i komunikacji osób z autyzmem i zespołem Aspergera. W: M. Obrębska (red). O utrudnieniach w porozumiewaniu się. Perspektywa języka i komunikacji. Poznań. (s. 18-20).
37. Zakrzewski K., Nowosławska E. (2009). Wodogłowie u dzieci z nowotworami mózgu. W: Aktualności Neurologiczne. 9, 1. (s. 46).
38. Zamłyński i wsp. (2007). Wyniki perinatalne wewnątrzmacicznej operacji zamknięcia przepukliny oponowo- rdzeniowej płodu. Raport kliniczny 10 przypadków. W: Ginekologia Polska. Praca zbiorowa. 8, 78. (s. 648).

## 8. CUKRZYCA - STARA CHOROBA, NOWE PODEJŚCIE - OMÓWIENIE POTENCJALNYCH PRZYSZŁYCH METOD LECZENIA CUKRZYCY NA PODSTAWIE LITERATURY

### Maksim Bogusz

Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

Wydział Lekarski

E-mail: m.bogusz97@gmail.com

### Marcin Penno

Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

Wydział Lekarski

E-mail: mpenno@o2.pl

### Michał Jasiński

Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

Wydział Lekarski

E-mail: lieksaviikinki@gmail.com

### Filip Inglot

Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

Wydział Lekarski

E-mail: filip.inglot@hotmail.com

### 1. Wstęp

Cukrzyca według definicji Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) należy do chorób metabolicznych, objawia się hiperglikemią spowodowaną upośledzeniem wydzielania lub działania insuliny. Przewlekła hiperglikemia w cukrzycy prowadzi do zmian, które zwykle wiążą się z zaburzeniem czynności oraz w późniejszym okresie niewydolnością różnych narządów, w szczególności narządu wzroku, nerek, nerwów, serca i naczyń krwionośnych [1].

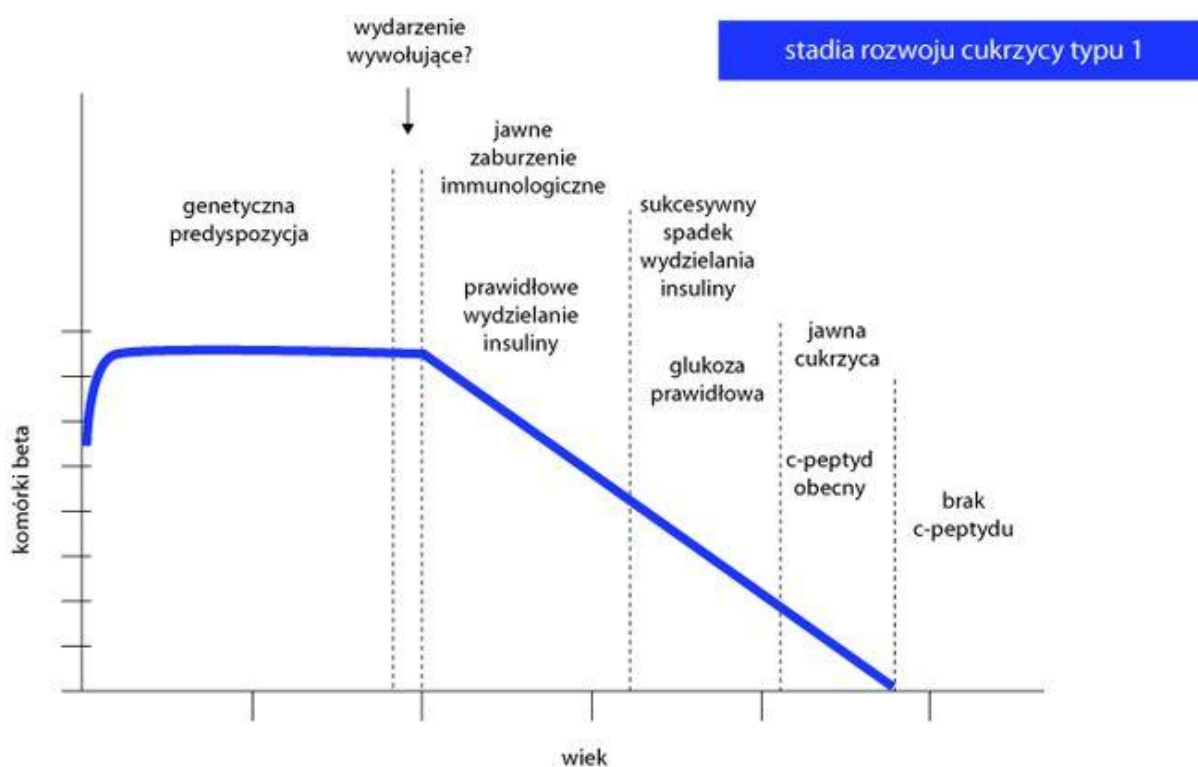
Obowiązujące obecnie klasyfikacja cukrzycy Amerykańskiego Towarzystwa Diabetologicznego (ADA) wyróżnia 4 główne typy [2].

**Tabela 1. Klasyfikacja cukrzycy (uzupełnione według[1,2])**

Typ	Przyczyna
Cukrzyca typu 1	Spowodowana zniszczeniem komórek $\beta$ trzustki przez proces immunologiczny lub nieustalony (idiopatyczny), co zwykle prowadzi do bezwzględnego niedoboru insuliny
Cukrzyca typu 2	Wynikająca z postępującego upośledzenia insuliny, rozwijającego się w warunkach insulinooporności
Cukrzyca o znanej	Defekty genetyczne czynności komórek $\beta$ oraz działania insuliny,

etiologii	endokrynopatie, leki czy zakażenia
Cukrzyca ciążowa	Nieprawidłowa glikemia na czczo, nieprawidłowa tolerancja glukozy lub cukrzyca, rozpoznane podczas ciąży

Etologie cukrzycy typu 1 można podzielić na dwa główne rodzaje, są to uwarunkowania genetyczne oraz procesy autoimmunologiczne. Pierwszy z nich objawia się stosunkowo niewielkim znaczeniem gdyż penetracja genów-kandydatów mogących wpływać na rozwój cukrzycy typu 1 jest małą u rasy białej. Największy związek zdaje się mieć część głównego układu zgodności tkankowej (MHC), a dokładniej locus IDDM1, związany z antygenami ludzkich leukocytów (HLA). Drugi objawia się destrukcją komórek  $\beta$  w procesie autoimmunologicznym. Charakteryzuje się on rozpoczęciem wytwarzania przeciwciał przeciwko czynnikom związanym z utrzymywaniem właściwej glikemii. Zaczyna się on dużo wcześniej (stan przedcukrzycowy) niż właściwe objawy cukrzycy (jawna cukrzyca), która pojawiają się po dłuższym czasie trwania tego procesu. Za inicjację tego procesu odpowiadają wirusy lub białka pokarmowe [1].



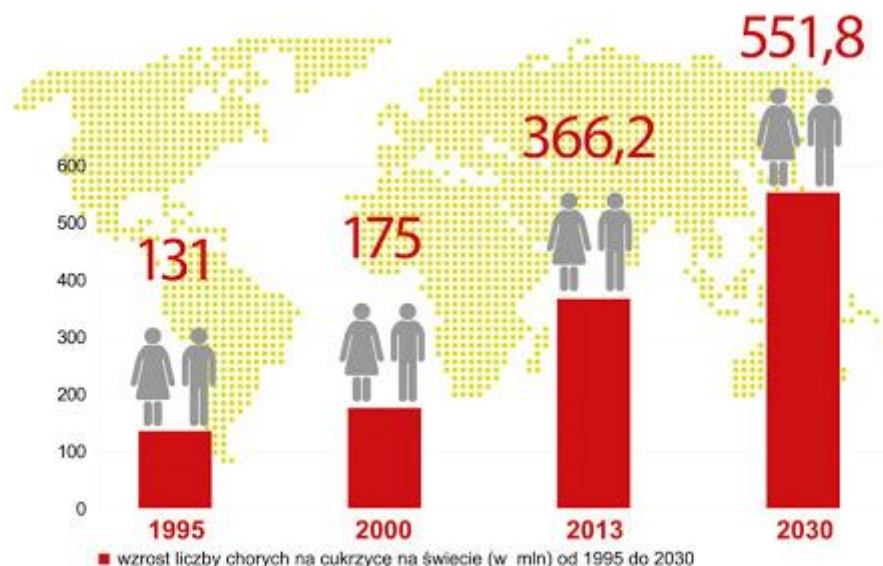
**Schemat 1. Stadia rozwoju cukrzycy typu 1**

Źródło: <https://www.mp.pl/pacjent/pediatrica/choroby/cukrzyca/73612,cukrzyca-typu-1-o-podlozu-autoimmunologicznym>

Z kolei etiologie cukrzycy typu 2 łączy się także z uwarunkowaniami genetycznymi oraz czynnikami środowiskowymi. W pierwszym przypadku niestety nie ustalono konkretnych genów odpowiedzialnych za zachorowanie, wskazuje się bardziej na dziedziczenie wielogenowe, czyli polimorfizmy odpowiedzialne za wydzielanie i działanie insuliny czy też substancji i hormonów wydzielanych przez adipocyty, czyli komórki tkanki tłuszczowej. Znacznie ważniejsze czynniki środowiska dzielimy na otyłość, zwłaszcza

brzuszną, oraz małą aktywność fizyczną. Nadmierna ilość tkanki tłuszczowej prowadzi do insulinooporności na drodze lipotoksycznego działania na metabolizm glukozy. Zmniejszona aktywność fizyczna w prosty sposób prowadzi do otyłości, ale także hamuje utlenianie glukozy oraz obniża aktywność komórkowych transporterów glukozy co również działa negatywnie [1].

Statystyczny pacjent z cukrzycą typu 2, która jest najczęstsza postacią, stanowiąc ponad 90% wszystkich zachorowań, ma 62 lata z czego choruje już przez 10 lat, a jego wskaźnik BMI wynosi 31,4. Najnowsze dane statystyczne wskazują, że cukrzyca jest wielkim problemem który narastał na przestrzeni kolejnych dziesięcioleci. W 1995 roku zmagало się z tym schorzeniem 131 milionów ludzi, w następnych dwóch dekadach liczba ta zwiększyła się praktycznie trzy razy. Przewidywania na rok 2030 nie napawają optymizmem gdyż proces ten tylko się pogłębi dochodząc do 551,8 milionów chorych.



**Wykres 1. Wzrost chorych na cukrzycę na świecie**

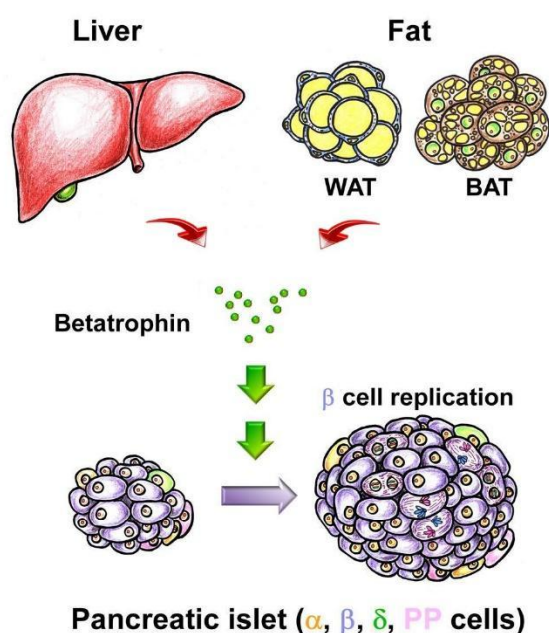
Źródło: <http://swiatlekarza.pl/cukrzyca-pandemia-xxi-wieku/>

Zmusiło to Światową Organizację Zdrowia (ONZ) do uznania jej za epidemię XXI wieku. Wszystko pociąga za sobą ogromne koszty w Polsce szacuję się je na 6 mld złotych rocznie. Sprawia to zasadnym poszukiwanie nowych sposobów na lepszą kontrolę glikemii, zatrzymanie postępu choroby czy nawet całkowite wyleczenie chorego. W tej pracy chcielibyśmy przybliżyć nowe, potencjalnie skuteczne rozwiązania[3].

## 2. Betatorfina

Jedną z głównych przyczyn cukrzycy jest niszczenie komórek  $\beta$  wysp trzustki lub ich nieadekwatne wydzielanie insuliny. Idealnym sposobem na poprawę czy też przywrócenie ich funkcji byłoby znalezienie związku, który wpływa na proliferację komórek  $\beta$ . Naukowcy pod kierownictwem Douglasa Meltona, za pomocą zablokowania receptorów insulinowych na komórkach  $\beta$  gryzoni zmusili je do kompensacyjnego podziału, a więc zwiększenia ich ilości.

W następnej fazie odnaleźli związek którego wzrost w krwi gryzoni korelował z zwiększeniem proliferacji komórek  $\beta$ . Metodami chemicznymi określili budowę czynnika, w taki sposób odkrywając betatrofinę. U myszy związek ten powstaje w wątrobie i tkance tłuszczowej. Poprzez próbę ze zmodyfikowanymi genetycznie komórkami wątroby potwierdzono wpływ betatrofiny na zwiększoną proliferację komórek  $\beta$ . W dalszym etapie badań stwierdzono, że powstałe komórki są prawidłowe i wykazano pozytywny efekt w próbie obciążenia glukozą. Jest to niezwykle obiecująca metoda której potwierdzone działanie w organizmie ludzkim może okazać się sposobem na leczenie jednej z przyczyn cukrzycy [4,5].



### Schemat 2. Działanie betatrofiny

Źródło: <https://directorsblog.nih.gov/2013/05/07/more-beta-cells-more-insulin-less-diabetes/>

### 3. Protektyna

Cukrzyca typu 2 jest bardzo silnie związana z otyłością. Połączenie to wynika z bezpośredniego wpływu nadmiernej tkanki tłuszczowej oraz powodowanych przez nią przewlekłych stanów zapalnych na wzrost insulinooporność [1]. W trakcie badań nad mediatorami stanu zapalnego stwierdzono, że związek, protektyna D1, będący przedstawicielem kwasów omega-3, wpływa na prawidłową odpowiedź immunologiczną w procesie chorób metabolicznych. W głównej mierze działa ona poprzez ograniczenie tej reakcji, a niedobór tego mediatora wzmacnia proces immunologiczny [6]. Podczas dalszych doświadczeń starano się znaleźć związki podobnie działające, tak odkryto protektynę DX izomer PD1. Badając funkcję PDX stwierdzono nieoczekiwanie, że wpływa także na regulację glikemii, poprzez aktywację wytwarzania interleukiny 6 (IL-6) przez mięśnie szkieletowe. Kontrola gospodarki węglowodanowej następuje poprzez zaprzestanie produkcji glukozy przez wątrobę i poprawę insulino-wrażliwości mięśni. W celu potwierdzenia działania PDX wykonano testy na transgenicznym myszach w których grupa kontrolna nie miała receptorów dla interleukiny 6. W grupie badawczej mającej receptory wykazano silnie

zwiększoną insulinowrażliwość [7]. Udane potwierdzenie tej zależności w tkankach ludzkich umożliwi lepszą kontrolę procesów zapalnych spowodowanych otyłością, a także co prawdopodobnie ważniejsze, odwrócenie procesu postępującej insulinooporności komórek u chorych na cukrzycę typu 2.

#### 4. Inhibitory SGLT2

Inhibitory SGLT2 to nowa grupa leków, która może zrewolucjonizować leczenie nie tylko cukrzycy, ale także niewydolności serca. Choroby sercowo-naczyniowe są jednym z najistotniejszych powikłań u chorych na cukrzycę, to one odpowiadają za istotne skrócenie czasu przeżycia. O istotności tych powikłań świadczy fakt, że Food and Drug Organisation (FDA) wymaga, aby leki przeciwcukrzycowe były badane pod kątem bezpieczeństwa sercowo-naczyniowego. Leki te są dostępne od 2011 roku, pierwszym zarejestrowanym inhibitorem SGLT2 zarejestrowanym w Unii Europejskiej była dapagliflozyna w listopadzie 2012 roku. Mechanizm działania inhibitorów SGLT2 jest wyjątkowy z tego względu, że nie zależy on od insuliny. W warunkach fizjologicznych transporter SGLT2 odpowiada za utrzymanie prawidłowego stężenia glukozy we krwi. U chorych na cukrzycę stężenie glukozy we krwi jest jednak zwiększone, a mimo to odbywa się u nich wychwyty zwrotny glukozy z moczu. Leki te odpowiadają za zahamowanie transportera SGLT2, a więc także zwrotnego wychwyty glukozy w nerkowych kanalikach bliższych, co skutkuje wzrostem wydalania glukozy z moczem i spadkiem jej poziomu we krwi. Dodatkową zaletą tego rozwiązania jest fakt, że jednocześnie dochodzi do natriurezy i obniżenia ciśnienia krwi, wzrostu wrażliwości tkanek na insulinę [9]. Innym ważnym aspektem jest to, że leki te nie powodują niebezpiecznej dla chorych hipoglikemii, a ponad to nie przyczyniają się do wzrostu masy ciała. Dzięki utracie energii w postaci glukozy z moczem mogą wręcz sprzyjać obniżeniu masy ciała. Przeprowadzono już kilka dużych badań klinicznych, które wykazały skuteczność tej grupy leków w obniżaniu poziomu hemoglobiny glikowanej, jak również ciśnienia krwi, stwierdzono także działanie protekcyjne na nerki. Dodatkową zaletą było obniżenie ilości hospitalizacji z powodu niewydolności układu krążenia. Niebezpieczeństwem związanym ze stosowaniem inhibitorów SGLT2 jest powodowana przez nie glikozuria, która jest czynnikiem sprzyjającym zakażeniom układu moczowo-płciowego, szczególnie u kobiet. Wynik badań wskazują jednak, że standardowe leczenie jest w ich przypadku wystarczające, a ryzyko nie na tyle istotne by rezygnować z tych leków. Przed użyciem należy jednak ocenić stan układu moczowo-płciowego pacjenta, a podczas stosowania u pacjentów podwyższonego ryzyka zakażeń trzeba zachować szczególną ostrożność. Dodatkowo w związku z działaniem natriuretycznym istnieje ryzyko odwodnienia i objawów hipowolemii, dlatego należy zadbać o prawidłowe nawodnienie pacjenta w trakcie terapii. Podsumowując inhibitory SGLT2 ze względu na swój odmienny mechanizm działania stanowią bardzo istotne uzupełnienie leczenia przeciwcukrzycowego. Mogą być alternatywą dla obecnego sposobu leczenia cukrzycy typu 2, jak i jego uzupełnieniem na każdym etapie terapii. Skutecznie obniżają glikemię zarówno w monoterapii jak i w leczeniu skojarzonym. Dodatkowymi istotnymi atutami tych leków są małe ryzyko hipoglikemii, brak przyrostu masy ciała oraz obniżanie ciśnienia tętniczego. Ważny jest także fakt pozainsulinowego mechanizmu działania, który otwiera możliwość wykorzystania tych leków w leczeniu skojarzonym i dzięki temu zmniejszenia dawki insuliny, stosowanej przez pacjenta.

## 5. Przeszczep wysp trzustkowych

Przeszczep trzustki jest metodą leczenia cukrzycy znaną już od dłuższego czasu. To właśnie cukrzyca typu I powikłana schyłkową niewydolnością nerek jest najczęstszym wskazaniem do transplantacji trzustki [11]. Pierwszy udany zabieg tego typu na świecie wykonano w 1966 roku. Jest to jednak proces bardzo skomplikowany, który wiąże się z wieloma czynnikami ryzyka. Pacjenci, którzy od lat zmagają się z cukrzycą i jej licznymi powikłaniami niestety często nie kwalifikują się do zabiegu, który dodatkowo w około jednej trzeciej przypadków wiąże się z koniecznością poddania się ponownej operacji w przyszłości. Ze względu na fakt, że za produkcję insuliny odpowiadają komórki beta wysp trzustkowych i to one są uszkodzone przez reakcje autoimmunologiczne u chorego na cukrzycę typu I, alternatywą dla takich osób stał się przeszczep wysp trzustkowych. Jest on znacznie łatwiejszy technicznie i stwarza mniejsze ryzyko odrzucenia przez układ immunologiczny gospodarza niż przeszczep całej trzustki. Po zabiegu konieczne jest leczenie immunosupresyjne, dlatego chorzy na cukrzycę, którzy poddali się transplantacji nerki z powodu nefropatii cukrzycowej są grupą często kwalifikowaną do tej procedury, ze względu na fakt, że muszą oni i tak przyjmować leki immunosupresyjne. Po raz pierwszy przeszczep komórek Langerhansa według stosowanego obecnie schematu został opisany w 2000 roku i możliwe było osiągnięcie wskaźnika niezależności od insuliny w okolicach 80% w ciągu 1 roku u pacjentów po przeszczepie. Tak dobry wynik osiągnięto dzięki nowoczesnemu oszczędzającemu wyspy leczeniu immunosupresyjnemu i korzystaniu z 2-4 dawców dla jednego biorcy. Głównym celem tej terapii nie jest całkowite uniezależnienie chorego od insuliny, a sprawienie, by poziom glukozy we krwi był bardziej wyrównany i możliwe było uniknięcie nagłych, nieprzewidzianych jego spadków, gdyż hipoglikemia grozi śpiączką cukrzycową lub nawet śmiercią. Przeszczep wysp trzustkowych jest obecnie dobrze opracowaną procedurą, wykonywaną przez wiele szpitali na świecie. Mimo wielu zalet, metoda ta nie jest idealna. Najważniejsze problemy dotyczące leczenia cukrzycy metodą transplantacji wysp trzustkowych to:

- Wiele wysp ginie w trakcie przeszczepu
- Często potrzeba kilku dawców, aby leczyć jedną osobę, podczas gdy dawców brakuje
- Przeszczepione wyspy dobrze funkcjonują jedynie w krótkim czasie po przeszczepie. Obecnie wskaźnik niezależności od insuliny spada do 15% po 5 latach od przeszczepu.
- Schemat leczenia immunosupresyjnego stosowany obecnie w klinicznym przeszczepie wysp ma szereg wad pod względem skutków ubocznych, w szczególności toksyczności dla nerek

Rewolucji w tym zakresie udało się dokonać badaczom z Genewy, którzy aby poprawić przeżycie przeszczepionych komórek, zmodyfikowali je dodając do nich komórki nabłonka owodni. Owodnia to jedna z błon płodowych. Zapewnia środowisko wodne dla zarodka, a także pełni funkcję ochronną przed obrażeniami mechanicznymi, amortyzując ewentualne wstrząsy. Komórki nabłonka owodni są bardzo podobne do komórek macierzystych i są wykorzystywane też w innych gałęziach medycyny. W tym przypadku badania pokazały, że komórki owodni mogą poprawiać funkcję wydzielniczą zależną od wahań poziomu cukru, a dodatkowo ułatwiają one przyjęcie się przeszczepionych komórek i promują ich lepsze unaczynienie. Badacze przypuszczają, że komórki owodni mogą

w pewnym stopniu modulować działanie układu immunologicznego biorcy, zmniejszając ryzyko odrzucenia przeszczepu. Opisane efekty są zasadnicze dla dłuższego przeżycia przeszczepionych komórek wysp Langerhansa. Opisane tu wyniki badań są bardzo obiecujące, jednak przeprowadzane były dopiero na zwierzętach i trzeba je jeszcze potwierdzić w przypadku ludzi. Przypuszcza się dodatkowo, że zaobserwowany w tym przypadku pozytywny wpływ komórek owodni na ochronę przeszczepianych komórek będzie można wykorzystać w przyszłości w przeszczepach całych narządów, a także w przeszczepach narządów od zwierząt.

Innym kierunkiem badań w tym obszarze są próby uzyskania komórek produkujących insulinę z komórek macierzystych. Dużym problemem w tym przypadku jest możliwość wtórnego odróżnicowywania się komórek macierzystych z ryzykiem wywoływania przez nie nowotworów. Udaje się jednak uzyskiwać budzące nadzieje wyniki z wykorzystaniem multipotencjalnych komórek pochodzących z endometrium. Naukowcy otrzymali już linie komórkowe, które nie tylko produkowały insulinę, ale robiły to w sposób zależny od poziomu glukozy, wciąż jednak ilość wytwarzanego hormonu była zbyt mała.

Jeszcze inne podejście do tego zagadnienia, nad którym trwają badania, to możliwość przeprogramowania genetycznego zróżnicowanych komórek przewodów trzustkowych w komórki mające zdolność do produkcji insuliny. Przy pomocy wirusów naukowcy wprowadzili do komórek niezbędne geny, które umożliwiły komórkom wytwarzanie insuliny w odpowiedzi na glukozę. Tak zmienione komórki mogłyby zastąpić następnie komórki wysp Langerhansa u chorych. Trwają nadal prace nad kolejnymi etapami procesu przekształcania komórek poprzez wpływ na ekspresję poszczególnych genów.

## 6. Wnioski

Dane epidemiologiczne wyraźnie pokazują, że cukrzyca jest jedną z najistotniejszych chorób cywilizacyjnych XXI wieku, a prognozy co do ilości chorych, dodatkowo podkreślają, jak pilna jest potrzeba unowocześnienia metod leczniczych. Przedstawione w pracy kierunki rozwoju, mimo że część z nich jest na wstępnym etapie badań, pokazują, że przed medycyną jeszcze wiele do odkrycia, a dodatkowo pozwalają patrzeć z nadzieją w przyszłość i liczyć, że kiedyś będzie możliwe całkowite wyleczenie tej choroby.

## Bibliografia:

1. Sieradzki J. Cukrzyca i zespół metaboliczny. W: Gajewski P. (red.). *Interna Szczeklika* 2012. Medycyna Praktyczna, Kraków 2012: 1322–1330.
2. Barbara Zahorska-Markiewicz: *Patofizjologia kliniczna*. Elsevier, 2009: 409-417.
3. Polskie Towarzystwo Diabetologiczne. Cukrzyca. Ukryta pandemia. Sytuacja w Polsce. [http://pfed.home.pl/files/raport\\_ukryta\\_pandemia\\_2012.pdf](http://pfed.home.pl/files/raport_ukryta_pandemia_2012.pdf) (dostęp 08.07.2014).
4. Yi P., Park J.S., Melton D.A. Betatrophin: a hormone that controls pancreatic beta cell proliferation. *Cell* 2013; 153: 747–758.
5. Zdrojewicz Z., Bugaj B., Cabała K., Pypno D., Waracki M. Nowoczesne kierunki leczenia cukrzycy. *Diabetologia Kliniczna* 2014, tom 3, 5, 198–205.
6. White P.J., Arita M., Taguchi R., Kang J.X., Marette A. Transgenic restoration of long-chain n–3 fatty acids in insulin target tissues improves resolution capacity and alleviates



- obesity-linked inflammation and insulin resistance in high-fat-fed mice. *Diabetes* 2010; 59(10): 3066–3073.
7. White P.J., St-Pierre P., Charbonneau A. i wsp. Protectin DX alleviates insulin resistance by activating a myokine-liver glucoregulatory axis. *Nature Medicine* 2014; 20: 664–669.
  8. D. Vasilakou i wsp. Sodium-glucose cotransporter 2 inhibitors for type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Annals of Internal Medicine*, 2013; 159: 262–274
  9. Wright EM, Hirayama BA, Loo DF. Active sugar transport in health and disease. *J Intern Med* 2007;261:32-43.
  10. Lebreton, F., Lavallard, V., Bellofatto, K. et al. Insulin-producing organoids engineered from islet and amniotic epithelial cells to treat diabetes. *Nat Commun* 10, 4491 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-1472-3>
- Rowiński W., Durlik M. Przeszczepianie trzustki. W: Rowiński W., Wałaszewski J., Pęczak L. red. *Transplantologia*

## 9. LECZENIE RAKA ANAPLASTYCZNEGO TARCZYCY PRZY UŻYCIU LENWATYNIBU

**Michał Brzdek**

Uniwersytet Jana Kochanowskiego W Kielcach

Collegium Medicum

Al. IX Wieków Kielc 19A, 25-317 Kielce

E-mail: [michal.brzdek@gmail.com](mailto:michal.brzdek@gmail.com)

### 1. Wstęp

Rak anaplastyczny tarczycy (ATC) jest jednym z najbardziej złośliwych i śmiertelnych nowotworów występujących u ludzi. Wskaźnik przeżycia po roku to około 20%, a po pięciu latach mniej niż 5% (Tavarelli i in. 2017). Średnio, śmierć następuje w mniej niż sześć miesięcy od postawienia diagnozy (Ryan i in. 2008). ATC stanowi mniej niż 5% nowotworów tarczycy (Kumar, Abbas i Aster, 2017). Co roku diagnozuje się 1-2 miliony tych raków. Mimo, że ATC jest rzadkim nowotworem tarczycy, jest przyczyną większości zgonów spowodowanych rakami tarczycy (Smallridge i in., 2012). Nowotwór ten jest bardzo oporny na znane sposoby leczenia (Saini, Tulla, Maker, Burman i Prabhakar, 2018.) Guzy te wywodzą się bezpośrednio z nabłonka pęcherzykowego tarczycy lub pośrednio z innych raków tarczycy. Najważniejszymi zaburzeniami molekularnymi, które są przyczyną rozwoju ATC to mutacja w genie RAS, w genie PIK3CA oraz inaktywacja genu TP53 (Kumar i in., 2017). Choroba dotyczy zwykle starszych osób (głównie występuje w szóstej i siódmej dekadzie życia) (Limaiem, Kashyap i Giwa, 2020). Objawy kliniczne, które występują u pacjentów z ATC to szybkie zwiększenie wymiarów szyi, ból szyi, duszność, dysfagia, chrypka, zespół Hornera. Ponadto w przebiegu choroby może wystąpić udar mózgu (spowodowany uciskiem guza na tętnice szyjną). U około 40% chorych z ATC pojawia się limfadenopatia szyjna (Keutgen, Sadowski i Kebebew, 2015). Najczęstszymi miejscami, gdzie przerzutuje ATC to płuca i opłucna. Rzadziej przerzuty występują w kościach, mózgu, wątrobie, nerkach i trzustce. ATC uznaje się za nieuleczalnego. Nie ma skutecznej terapii na tę chorobę. Śmierć następuje w wyniku niedrożności górnych dróg oddechowych, co prowadzi do uduszenia (Haddad i in., 2015).

Nie są znane czynniki ryzyka, które powodują powstanie ATC. Wiadomo, że jego powstanie jest związane z mutacją genu TP53 w raku zróżnicowanym tarczycy. To powoduje progresję tego nowotworu do ATC (Limaiem i in., 2020). Rozpoznanie ATC ustala się na podstawie badania histologicznego tkanki pobranej w wyniku biopsji cienkoigłowej. Cechy mikroskopowe ATC: to komórki wrzecionowate, komórki olbrzymie i komórki płaskonabłonkowe. Inne cechy ATC to: duży indeks mitotyczny, ogniska martwicy i ogniska krwotoczne. Charakterystyczne jest intensywne naciekanie na naczynia, co może utrudniać rozpoznanie (guz bywa mylony z naczyniakomięsakiem) (Saini i in., 2018).

W tej pracy została przedstawiona charakterystyka lenwatinibu, jego skuteczność w terapii u pacjentów chorych na ATC. Ponadto przedstawiono jakie może powodować działania uboczne oraz omówiono przeciwwskazania do stosowania tego leku. Omówiono także niektóre cechy raka anaplastycznego tarczycy, takie jak epidemiologia czy objawy,

które wywołuje. W artykule zawarto również informacje na temat obecnie znanych i stosowanych metod leczenia.

## 2. Materiały i metody

Dokonano przeglądu literatury. Wykorzystano następujące bazy: PUBMED, Google Scholar i Elsevier. Do wyszukiwania użyto haseł takich jak: „Anaplastic thyroid cancer”, „Anaplastic thyroid cancer lenvatynib”, „lenvatynib”. Spośród uzyskanych wyników wyselekcjonowano artykuły o dostatecznej wiarygodności. Wyłoniono 3 oryginalne prace badawcze. Wszystkie opisywały przypadki, gdy wykorzystano lenvatynib w leczeniu ATC. Dodatkowo przeszukano wyżej wymienione bazy, specjalistyczne książki naukowe o tematyce medycznej oraz internet w celu znalezienia literatury, która opisuje epidemiologię, objawy, sposoby leczenia ATC, charakterystykę lenvatynibu, jego mechanizm działania, działania niepożądane i przeciwwskazania do stosowania.

## 3. Wyniki i dyskusja

### *Metody leczenia ATC*

Nie istnieje skuteczna terapia, która pozwoliłaby wyleczyć pacjenta, który ma ATC. W celu przedłużenia życia stosuje się leczenie operacyjne, radioterapie i chemioterapie. Po postawieniu diagnozy ATC, należy określić, czy guz jest resekcyjny. Jeśli tylko jest to możliwe, to nowotwór należy wyciąć razem z całą tarczycą, pobliskimi węzłami chłonnymi oraz tkankami, które ATC może naciekać. Po operacji, aby zapobiegać rozwojowi niedoczynności tarczycy, pacjenci muszą brać lewotyroksynę. Niestety wycięcie guza zwykle nie wydłuża życia pacjentów, ponieważ w momencie diagnozy już istnieją przerzuty do innych narządów organizmu. Leczenie operacyjne ma na celu tylko zwiększenie jakości życia pacjenta poprzez utrzymanie drożności dróg oddechowych i w ten sposób zapobiega uduszeniu się pacjenta. W przypadku wystąpienia przerzutów ATC w zależności od lokalizacji, czasami się podejmuje leczenie chirurgiczne narządów zajętych przez chorobę. Kolejnym sposobem leczenia ATC jest radioterapia. Stosuje się nią zarówno w miejscach pierwotnego występowania ATC (w celach paliatywnych, aby zapobiegać uduszeniu się pacjenta, przez rozrastający się guz), a także w narządach, których wystąpiły przerzuty.

Do terapii ATC stosuje się także chemioterapię, wykorzystuje się głównie doksorubicynę. U nowo zdiagnozowanych pacjentów stosuje się paklitaksel (Haddad i in., 2015). ATC jest bardzo oporny na wszelkie formy leczenia (Saini i in., 2018). Obecnie jest prowadzonych wiele badań na temat terapii, które mogą być wykorzystane w ATC. Jednak duży stopień złośliwości oraz rzadkość występowania tej choroby utrudnia znalezienie optymalnego leczenia. Duże nadzieje pokłada się w immunoterapii z wykorzystaniem przeciwciał anti-PD-L1 (sama immunoterapia lub w połączeniu z inhibitorami BRAF) (Ferrari i in., 2020). Warto także wspomnieć o możliwości wykorzystania wirusów onkolitycznych w terapii ATC. Dzięki metodom biotechnologicznym możliwe jest połączenie wirusa (najczęściej adenowirusa) z różnymi inhibitorami, które upośledzają różne czynności komórek guza. Skutkiem tego jest efekt przeciwnowotworowy (Saini i in., 2018). Kolejnym wartym uwagi lekiem jest lenvatynib, który ma działanie antynowotworowe na ATC (Ferrari i in., 2020).

Często stosuje się leczenie wielokierunkowe, obejmujące różne sposoby terapii (Saini i in., 2018).

Ponadto, u pacjentów, u których wystąpiły problemy z połykaniem stosuje się odżywianie pozajelitowe (Haddad i in., 2015).

#### *Mechanizm działania lenwatynibu*

Kinazy tyrozynowe są białkami, które pełnią ważne role regulacyjne w organizmie człowieka. Są aktywowane w wyniku fosforylacji. Są składnikami szlaków sygnalizacji międzykomórkowych. Biorą udział w zmienianiu aktywności innych substancji. Ich rolą jest także udział w wielu ważnych procesach np.: w angiogenezie i kontroli cyklu komórkowego. Dlatego zaburzenia działania kinaz tyrozynowych może być związane z rozwojem nowotworów (Hao i Wang, 2019).

Lenwatynib jest lekiem przeciwnowotworowym. Działa na wiele różnych receptorów i powoduje hamowanie aktywności kinazy tyrozynowej. Lek ten hamuje VEGFR (receptor czynnika wzrostu śródbłonna naczyniowego), FGFR (receptor czynnika wzrostu fibroblastów), PDGFR $\alpha$  (receptor płytkopochodnego czynnika wzrostu alfa), receptor KIT (receptor czynnika komórek macierzystych). Powyższe receptory biorą udział w procesie angiogenezy. Dzięki upośledzeniu ich funkcji przez lenwatynib możliwe jest hamowanie procesu nowotworowego. Ponadto lek ten hamuje przekaznictwo międzykomórkowe, co powoduje zmniejszoną proliferację komórek rakowych. Aktywność przeciwnowotworową lenwatynibu zaobserwowano w terapii wielu nowotworów. Są to: czerniak, rak jelita grubego, rak endometrium, rak nerki, a także w rakach tarczycy (Suyama i Iwase, 2018). Udowodniono znaczną skuteczność tego leku w terapii raków zróżnicowanych tarczycy. Dzięki jego zastosowaniu mediana czasu przeżycia wolnego od progresji wyniosła o 14,7 miesiąca więcej niż wśród pacjentów otrzymujących placebo (Schlumberger i in., 2015).

Po doustnym podaniu 24mg lenwatynibu maksymalne stężenie leku osiągnęte jest po 1,6h, a końcowy okres półtrwania to 34,5 godziny. Lenwatynib jest eliminowany z osocza w wyniku kilku mechanizmów. Jest metabolizowany przez cytochrom P450 i oksydazę aldehydową. W wątrobie zachodzi sprzężanie z glutationem. Lenwatynib jest metabolizowany w 97,5%. Reszta jest wydalana z moczem i kałem (Cabanillas i Habra, 2016). Prawdopodobieństwo występowania interakcji między lenwatynibem, a innymi lekami jest niewielkie (Inoue i in., 2014).

ATC charakteryzuje się dużym unaczynieniem. Dlatego uważa się, że ingerencja w angiogenezę indukowaną przez ten nowotwór może być kluczem w walce z tą chorobą. Dlatego lenwatynib, który hamuje angiogenezę może być pomocny w terapii pacjentów z ATC (Grande, Díez, Zafon i Capdevila, 2012).

#### *Skuteczność lenwatynibu*

Poniżej opisano kilka badań, które opisują skuteczność lenwatynibu w leczeniu ATC. W 2017 roku opublikowano artykuł, przedstawiający zastosowanie lenwatynibu w leczeniu ATC. W badaniu wzięło w nim udział 17 pacjentów. Ich charakterystykę przedstawiono w tabeli poniżej. (Tabela 1). Mediana czasu przez jaki chorzy byli leczeni lenwatynibem wyniósł 5,5 miesiąca. Pacjentom podawano lenwatynib w dawce 24mg na dobę. Chorych badano i oceniano zmiany zachodzące w guzie 4, 8, 12 i 16 tygodni po podaniu pierwszej

dawki, a następnie co 8 tygodni. W badaniu badano skuteczność tego leku. Oceniono ją na podstawie czasu przeżycia wolnego od progresji choroby (PFS) oraz na podstawie przeżycia całkowitego (OS). Mediana PFS wyniosła 7,4 miesiąca, z kolei mediana OS wyniosła 10,6 miesiąca. Wynik OS jednego z pacjentów wyniósł 19,8 miesiąca. Dla porównania, u pacjentów z ATC poddanych terapii innymi lekami cytotoksycznymi mediana OS była mniejsza niż 8 miesięcy. U pacjentów leczonym lenwatynibem zaobserwowano zmniejszenie się wymiarów guza. Mimo wystąpienia wielu zdarzeń niepożądanych związanych z leczeniem, tylko w jednym przypadku konieczne było jego odstawienie. Było to spowodowane próbą samobójczą pacjenta, co jednak nie było spowodowane lekiem. Dla 15 pacjentów dawka 24mg/dobę okazała się zbyt duża, dlatego zdecydowano się na jej zmniejszenie, ponadto 11 osób z powodu wystąpienia zdarzeń niepożądanych związanych z leczeniem wymagało przerwy w podaniu leku. Podsumowując, lenwatynib wykazuje znaczną aktywność przeciwnowotworową u pacjentów z ATC. Istotnym problem może być toksyczność leku, jednak badanie pokazało, że stosując odpowiednie dawki można znaleźć kompromis między skutecznością terapii, a bezpieczeństwem stosowania lenwatynibu (Tahara i in. 2017).

**Tabela 1. Charakterystyka pacjentów chorych na ATC, którzy wzięli udział w badaniu nad skutecznością lenwatynibem w 2017 roku**

Kategoria	n = 17
Płeć męska, n (%)	6 (35)
Mediana wieku (lata)	65,0
Mediana masy ciała (kg)	54,2
Mediana wyjściowej średnicy guza (mm)	52
Poprzednia terapia, n (%)	
Leczenie przeciwnowotworowe	14 (82)
Chemioterapia przeciwnowotworowa	7 (41)
Terapia czynnikiem wzrostu śródbłonna naczyniowego	0
Radioterapia	9 (53)

Źródło: Tahara i in. 2017/

W 2018 roku opublikowano artykuł typu case report, w którym przedstawiono wykorzystanie lenwatynibu w ciężkim przypadku ATC (Pacjent miał nawrót choroby wraz z odległymi przerzutami. W publikacji omówiono przypadek Japonki, która 16 lat wcześniej miała raka brodawkowego tarczycy. Z tego powodu miała przeprowadzoną tyreoidektomię. Następnie zgłosiła się do szpitala z powodu powiększającej się masy po lewej stronie szyi. Po biopsji zdiagnozowano raka anaplastycznego tarczycy. Guz usunięto chirurgicznie. Ze względu na podeszły wiek pacjentki (miała 91 lat) nie zdecydowano się na chemioterapie czy radioterapie uzupełniającej. Po pięciu miesiącach zaobserwowano wznowę choroby. Wykryto także guzki przerzutowe raka anaplastycznego tarczycy w płucach.

Zdecydowano się na rozpoczęcie terapii lenwatynibem. Podawano doustnie 24 mg tego leku na dobę. Już po tygodniu zaobserwowano zmniejszenie się wymiarów guza. Ponadto po miesiącu, po wykonaniu tomografii komputerowej, okazało się, że po guzkach w płucach zostały tylko puste przestrzenie. Niestety wystąpiły także skutki uboczne takie jak:

wysokie ciśnienie krwi, biegunka, albuminuria, hipoalbuminemia, hipokalcemia. W związku z tym zdecydowano się na zmniejszenie podawanej dawki do 20mg na dobę. Mimo to, stan pacjentki nie pozwalał na kontynuowanie eksperymentu. Ostatecznie zaprzestano podawania lenwatynibu po 40 dniach od rozpoczęcia nim terapii. Po odstawieniu leku objawy niepożądane ustąpiły. Niestety, nastąpiła szybka wznowa guza w szyi oraz odnowa guzków w płucach. Pacjentka zmarła po sześciu dniach po odstawieniu leku (Ohkubo, 2018).

W 2018 roku opublikowano artykuł, w których badano skuteczność lenwatynibu u osób chorych na ATC. W badaniu wzięło udział 23 pacjentów. Niemal 70% badanych stanowiły kobiety. Mediana wieku pacjentów wyniosła 77 lat. Ponad 80% chorych miało przerzuty do płuc. Mediana wielkości ATC wynosiła 44,2 mm średnicy. Więcej informacji o charakterystyce pacjentów przedstawia Tabela 2. (Iwasaki i in., 2018).

**Tabela 2. Charakterystyka badanych chorych na ATC leczonych lenwatynibem w 2018 roku**

Kategoria	N=23
Płeć męska	7 (30,4%)
Płeć żeńska	16 (69,6)
Mediana wieku	77
Przerzuty do płuc	19 (82,6%)
Przerzuty do kości	3 (13%)
Przerzuty do innych narządów	9 (39,1%)
Mediana średnicy guza	44,2 ± 17,8 (mm)

Źródło: Iwasaki i in., 2018.

Pacjenci przyjmowali lenwatynib w dawce 24mg/dobę (taką dawkę przyjmowało 19 chorych). Natomiast pozostałe osoby otrzymywały mniejsze dawki. Jeden pacjent przyjmował 20mg/dobę, inny 10mg/dobę, dwie osoby przyjmowały 14mg/dobę leku. Podawanie mniejszych dawek było spowodowane niską masą ciała i bardzo złym stanem zdrowia. Mediana czasu, przez który stosowano lenwatynib u chorych wynosił 5,4 miesiąca (zakres 0,4–27,9 miesiąca). Przez ten czas, z powodu występowania skutków niepożądanych leczenia były konieczności przerywania lub zmniejszania podawanej dawki. Pacjenci byli poddawani badaniom w miesięcznych odstępach. Mediana całkowitego przeżycia wyniosła 166 dni. Zaobserwowano także, że u pacjentów, którzy wcześniej byli leczeni chirurgicznie mediana całkowitego przeżycia wyniosła więcej (bo 265 dni) w porównaniu z pacjentami leczonymi tylko lenwatynibem (mediana całkowitego przeżycia takich osób to 130 dni). U wszystkich pacjentów stwierdzono występowanie działań niepożądanych. Z czego najczęstszym było nadciśnienie tętnicze. U niektórych chorych pojawiły się przetoki i były to jedyne działania niepożądane, których nie dało się kontrolować (Iwasaki i in., 2018).

#### *Skutki uboczne lenwatynibu*

W leczeniu ATC za pomocą lenwatynibu zaobserwowano następujące skutki uboczne (zaczynając od najczęstszych): zmniejszony apetyt, nadciśnienie, zmęczenie, nudności, białkomocz, zapalenie jamy ustnej, zaparcia, zmniejszona waga, dysfonia, wymioty, biegunka, ból głowy, zwiększony poziom aminotransferazy alaninowej i aminotransferazy

asparaginianowej, małopłytkowość, obrzęk obwodowy, ból stawów, odwodnienie, krwawienie z nosa, niedoczynność tarczycy (Tahara i in. 2017).

Najczęstszym działaniem niepożądanym zgłaszanym przez pacjentów leczonych lenwatynibem (ogólnie, nie tylko w leczeniu ATC) to zaburzenia funkcjonowania wątroby. Lenwatynib działa hepatotoksycznie. W wyniku stosowania lenwatynibu może dojść do niewydolności wątroby, ostrego zapalenia wątroby.

W początkowej fazie leczenia często zgłasza się występowania nadciśnienia. Lenwatynib może powodować zaburzenia czynności serca, powodujące niewydolność serca. Ponadto lek ten powoduje wydłużenie odcinka QT.

Dość częstym skutkiem ubocznym stosowania lenwatynibu są zaburzenia czynności nerek. Podczas terapii może rozwinąć się proteinuria, zespół nerczycowy czy też niewydolność nerek. Lenwatynib może także powodować krwotoki (głównie z tętnicy szyjnej). Jest to spowodowane kurczeniem się guza w czasie terapii preparatem. Zmniejszenie wymiarów nowotworu, który już zaczął naciekać naczynie może doprowadzić do uszkodzenia tętnicy.

W czasie kuracji lenwatynibem zgłaszano także incydenty zakrzepowo-zatorowe (pojawiały się przemijające ataki niedokrwienne mózgu czy zawały serca). Zaobserwowano także możliwość pojawiania się perforacji i przetok w przewodzie pokarmowym. Przetoki, u pacjentów leczonych lenwatynibem, pojawiały się również w innych narządach np.: w tchawicy, w przetyku czy w oskrzelach (19).

#### Przeciwwskazania lenwatynibu

Jest mało badań na temat terapii lenwatynibem kobiet, które były w ciąży. Dlatego nie jest jasne dokładnie jak lek oddziałuje na zarodki i płody. W badaniach na zwierzętach (królikach i szczurach) zaobserwowano jego teratogenne działanie. Dlatego ciąża jest przeciwwskazaniem do przyjmowania lenwatynibu. Ponadto kobiety poddane terapii przy użyciu tego leku powinny unikać zajścia w ciążę i powinny stosować skuteczną antykoncepcję. Nie wiadomo czy lenwatynib przenika do mleka ludzkiego, ale zaobserwowano, że przechodzi do mleka szczurów. Dlatego karmienie piersią jest przeciwwskazaniem do przyjmowania tego leku.

Przeciwwskazaniem do stosowania lenwatynibu jest stwierdzona u chorego nadwrażliwość na ten lek (19).

#### 4. Podsumowanie

Leczenie lenwatynibem wykazuje aktywność przeciwnowotworową wobec wielu nowotworów, także wobec raka anaplastycznego tarczycy. Jego skuteczność jest obiecująca, jednak należy pamiętać, że lek ten tylko wydłuża życie osób chorych na ATC. Całkowite wyleczenie lenwatynibem prawdopodobnie nie jest możliwe. Nie mniej stanowi on pewną opcję terapeutyczną, którą można rozważyć w leczeniu osób z ATC. Wyniki dotychczasowych badań zachęcają do dalszych prób jego zastosowania w terapii ATC. Lenwatynib może powodować wiele działań niepożądanych, dlatego należy określić kompromis między przydatnością tego leku w terapii, a jego szkodliwym działaniem. Potrzeba przeprowadzić więcej prób, aby jednoznacznie stwierdzić, czy lenwatynib należy wykorzystywać w leczeniu ATC. Warto rozważyć wykonanie kolejnych badań o wysokiej

jakości i przy udziale większej liczby pacjentów. Do ustalenia pozostaje także optymalne dawkowanie i sytuacje kliniczne, kiedy lenwatynib może przynieść chorym największą korzyść.

### **Bibliografia:**

1. Cabanillas M.E., Habra M.A., 2016. lenwatynib: Role in thyroid cancer and other solid tumors. *Cancer treatment reviews*, 42, 47–55.
2. Ferrari S.M., Elia G., Ragusa F., Ruffilli I., La Motta C., Paparo S.R., Patrizio A., Vita R., Benvenega S., Materazzi G., Fallahi P., Antonelli A., 2020. Novel treatments for anaplastic thyroid carcinoma. *Gland surgery*, 9, S28–S42.
3. Grande E., Díez J.J., Zafon C., Capdevila J., 2012. Thyroid cancer: molecular aspects and new therapeutic strategies. *Journal of thyroid research*, 2012, 847108. Epub 2012 Jul 12.
4. Haddad R.I., Lydiatt W.M., Ball D.W., Busaidy N.L., Byrd D., Callender G., Dickson P., Duh Q. Y., Ehya H., Haymart M., Hoh C., Hunt J.P., Iagaru A., Kandeel F., Kopp P., Lamonica D.M., McCaffrey J.C., Moley J.F., Parks L., Raeburn C.D., Hughes M., 2015. Anaplastic Thyroid Carcinoma, Version 2.2015. *Journal of the National Comprehensive Cancer Network: JNCCN*, 13, 1140–1150.
5. Hao, Z., Wang, P., 2019. lenwatynib in Management of Solid Tumors. *The oncologist, theoncologist.2019-0407*. Advance online publication.
6. Inoue K., Mizuo H., Kawaguchi S., Fukuda K., Kusano K. i Yoshimura T., 2014. Oxidative metabolic pathway of lenwatynib mediated by aldehyde oxidase. *Drug metabolism and disposition: the biological fate of chemicals*, 42, 1326–1333.
7. Iwasaki H., Yamazaki H., Takasaki H., Suganuma N., Nakayama H., Toda S., Masudo K., 2018. lenwatynib as a novel treatment for anaplastic thyroid cancer: A retrospective study. *Oncology letters*, 16, 7271–7277.
8. Keutgen X.M., Sadowski S.M., Kebebew E., 2015. Management of anaplastic thyroid cancer. *Gland Surgery*. 2015;4:44-51.
9. Kumar V., Abbas A.K., Aster J.C., 2017. *Patologia Robbins*. Wrocław: Edra Urban & Partner; 785-789
10. Limaiem F., Kashyap S., Giwa A.O., 2020. Cancer, Anaplastic Thyroid. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. 2020 Apr 21.
11. Ohkubo J.I., Takahashi A., Ikezaki S., Takenaga F., Ohkubo Y., Suzuki H., 2018. Anaplastic Thyroid Carcinoma Treated with lenwatynib. *The Kurume Medical Journal*. 2018;64:29-33.
12. Ryan L., Neff M.D., William B., Farrar M.D., Richard T., Kloos M.D. Kenneth D., Burman M.D., 2008. Anaplastic Thyroid Cancer. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*; June 2008, Pages 525-538.
13. Saini S., Tulla K., Maker A.V., Burman K.D., Prabhakar B.S., 2018. Therapeutic advances in anaplastic thyroid cancer: a current perspective. *Molecular cancer*, 17, 154.
14. Schlumberger M., Tahara M., Wirth L.J., Robinson B., Brose M.S., Elisei, R., Habra M.A., Newbold K., Shah M.H., Hoff A.O., Gianoukakis A.G., Kiyota N., Taylor M.H., Kim S.B., Krzyzanowska M.K., Dutcus C.E., de las Heras B., Zhu J., Sherman S.I., 2015. lenwatynib versus placebo in radioiodine-refractory thyroid cancer. *The New England journal of medicine*, 372, 621–630.



15. Smallridge R.C., Ain K.B., Asa S.L., Bible K.C., Brierley J.D., Burman K.D., Kebebew E., Lee N.Y., Nikiforov Y.E., Rosenthal M.S., Shah M.H., Shaha A.R., Tuttle R.M., & American Thyroid Association Anaplastic Thyroid Cancer Guidelines Taskforce, 2012. American Thyroid Association guidelines for management of patients with anaplastic thyroid cancer. *Thyroid: official journal of the American Thyroid Association*, 22, 1104–1139.
16. Suyama K., Iwase H., 2018. lenvatynib: A Promising Molecular Targeted Agent for Multiple Cancers. *Cancer control: Journal of the Moffitt Cancer Center*, 25.
17. Tahara M., Kiyota N., Yamazaki T., Chayahara N., Nakano K., Inagaki L., Toda K., Enokida T., Minami H., Imamura Y., Sasaki T., Suzuki T., Fujino K., Dutcus C.E., Takahashi S., 2017. lenvatynib for Anaplastic Thyroid Cancer. *Frontiers in oncology*, 7, 25.
18. Tavarelli, M., Malandrino, P., Vigneri, P., Richiusa, P., Maniglia, A., Violi, M. A., Sapuppo, G., Vella, V., Dardanoni, G., Vigneri, R., & Pellegriti, G., 2017. Anaplastic Thyroid Cancer in Sicily: The Role of Environmental Characteristics. *Frontiers in endocrinology*, 8, 277.

**Wykaz stron internetowych:**

19. [https://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2017/20170921138815/anx\\_138815\\_pl.pdf](https://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2017/20170921138815/anx_138815_pl.pdf) (dostęp na 06.06.2020r).

## 10. NIESWOISTE ZAPALENIE JELIT U PSÓW- ETIOPATOGENEZA, ROZPOZANIE ORAZ WSPÓŁCZESNE METODY LECZENIA

**Anna Chojnowska**

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wydział Medycyny Weterynaryjnej

Studenckie Koło Naukowe Technik Obrazowania w Diagnostyce Chorób Małych Zwierząt

ul. Oczapowskiego 14, 10-719 Olsztyn

E-mail: anna.chojnowska95@gmail.com

### 1. Wstęp

Nieswoiste zapalenie jelit u psów (inflammatory bowel disease - IBD) jest grupą przewlekłych enteropatii, charakteryzujących się długotrwałymi lub nawracającymi objawami ze strony przewodu pokarmowego o niewyjaśnionej przyczynie. Powiązane jest to ze zmianami strukturalnymi oraz histopatologicznymi na terenie błony śluzowej jelit cienkich oraz grubych, w postaci nacieków komórkowych błony śluzowej jelita w okolicy blaszki właściwej. Klasyfikacja nieswoistych zapaleń jelit jest uzależniona od dominującego typu komórek zapalnych występujących w blaszce właściwej (*lamina propria*) błony śluzowej jelit. Stan zapalny może obejmować obszar jelit od dwunastnicy do jelita grubego, choć u psów zmiany zapalne znacznie częściej, bo aż w 75% przypadków, lokalizują się w przednim odcinku jelita cienkiego [Kołodziejska-Sawerska i Rychlik, 2013]. Niestalona etiopatogeneza nieswoistego zapalenia jelit nastęrcza lekarzom klinicyzom znaczne trudności diagnostyczne i terapeutyczne. Rozpoznanie jest procesem żmudnym, wymagającym zastosowania wielu badań dodatkowych, w tym nowoczesnych technik laboratoryjnych i obrazowania [Rychlik, 2010].

### 2. Etiopatogeneza

Etiologia nieswoistych zapaleń jelit u psów pozostaje nie do końca zdefiniowana. Uważa się, że na rozwój nieswoistego zapalenia jelit u psów wpływają złożone interakcje między czynnikami środowiskowymi, bakteryjnymi, predyspozycje genetyczne, uboczne działanie niektórych leków i zaburzenia jelitowych mechanizmów odpornościowych [Kołodziejska-Sawerska i Rychlik, 2013].

W patogenezie choroby największą rolę przypisuje się utracie tolerancji na endogenną mikroflorę, antygeny pokarmowe lub antygeny własne, które powodują przewlekły stan zapalny na terenie przewodu pokarmowego. W rozwoju procesu zapalnego ważną rolę odgrywają immunologiczne uszkodzenia błony śluzowej jelit oraz cytokiny prozapalne i przeciwzapalne, które są charakterystyczne dla komórkowej i humoralnej odpowiedzi immunologicznej [Kołodziejska-Sawerska i Rychlik, 2013].

Badania nad etiologią nieswoistego zapalenia jelit u psów sugerują, iż wzajemne oddziaływanie pomiędzy czynnikami genetycznymi a mikroflorą bakteryjną jelit jest kluczowe dla rozwoju choroby z powodu nieprawidłowej odpowiedzi układu immunologicznego na bakterie komensalne bytujące na terenie przewodu pokarmowego [Jergens i Simpson, 2012]. Istnieje coraz więcej dowodów na to, jak ważną rolę pełni

mikroflora bakteryjna w patogenezie nieswoistego zapalenia jelit. Badania na modelach zwierzęcych wskazują, iż bakterie jelitowe odpowiadają za bardzo szybki rozwój zapalenia jelit. Zaobserwowano znaczną różnicę w składzie mikroflory jelitowej u psów z nieswoistym zapaleniem jelit a zdrowymi osobnikami tego gatunku [Suchodolski, Xenoulis, Paddock, Steiner, Jergens, 2010].

Mimo że bakterie jelitowe odgrywają kluczową rolę w rozwoju nieswoistych zapaleń jelit u ludzi i zwierząt, szczegółowa charakterystyka mikroflory bakteryjnej odpowiadającej za reakcję zapalną pozostaje nieznana. Dane badawcze wskazują, że zmieniony skład flory bakteryjnej jelit (dysbioza) odgrywa kluczową rolę w przebiegu procesu zapalnego u psów z nieswoistym zapaleniem jelit. Zaburzenia składu rezydentalnej flory jelita związane ze spadkiem ilości bakterii proteolitycznych (*Lactobacillus*, *Bifidobacterium*) i wzrostem liczby drobnoustrojów potencjalnie chorobotwórczych (*Escherichia coli*, *Bacteroides*) mogą indukować odczyn zapalny [Kołodziejska-Sawerska i Rychlik, 2013].

Wśród głównych czynników uczestniczących w etiopatogenezie nieswoistego zapalenia jelit (genetycznych, środowiskowych, immunologicznych) największe znaczenie przypisuje się zaburzeniom równowagi immunologicznej w obrębie układu limfatycznego błony śluzowej jelita (gut-associated lymphoid tissue- GALT) w kontekście ciągłego napływu ze światła jelita różnorodnych antygenów, a szczególnie cząsteczek PAMP (wzorców molekularnych związanych z patogenami- pathogen-associated molecular patterns) drobnoustrojów flory jelitowej. Chociaż nieznane są antygeny generujące odpowiedź immunologiczną w nieswoistym zapaleniu jelit, wydaje się, że rozwój procesu zapalnego wywołany jest zaburzoną pierwotnie funkcją układu immunologicznego wobec składników prawidłowej flory jelitowej, które przy zwiększonej przepuszczalności błony śluzowej mogą przełamywać stan tolerancji immunologicznej. Ponieważ znaczną część flory jelitowej stanowią bakterie urzęsione (*E. coli*, *Salmonella*, *Listeria*, *Clostridium*, *Pseudomonas*), a ponadto w nieswoistym zapaleniu jelit dochodzi do zmian w ilości i lokalizacji wielu różnych bakterii, można przypuszczać, że w patogenezie choroby istotną rolę mogą odgrywać flagelina i receptory TLR-5 [Kołodziejska-Sawerska i Rychlik, 2013].

Wykazano również, że istotną rolę w patogenezie NZJ u psów może odgrywać czynnik genetyczny. W rozwoju histiocytarnego zapalenia jelita grubego (HUC) duże znaczenie może mieć występowanie polimorfizmu pojedynczego nukleotydu (SNP) w genie związanym z autofagią NCF2, który koduje cząsteczki biorące udział w wewnątrzkomórkowym niszczeniu bakterii [Day, 2013]. Mutacje genów odporności wrodzonej w obecności mikroflory jelitowej mogą prowadzić do zwiększonej produkcji cytokin w błonie śluzowej jelita oraz spowolnić działanie bakteriobójcze, tym samym sprzyjając rozwojowi stanu zapalnego w jelitach. Predyspozycja genetyczna określonych ras psów oraz odpowiedź kliniczna na antybiotyki u owczarków niemieckich i bokserów wskazuje na istnienie podobnej zależności między podatnością gospodarza a mikroflorą jelitową u psów. Badania przeprowadzone na owczarkach niemieckich wykazały istnienie powiązanych z nieswoistym zapaleniem jelit polimorfizmów w receptorze odporności wrodzonej TLR-5 [Jergens i Simpson, 2012].

Najczęściej spotykanymi formami tego schorzenia są: limfocyтарно-plazmocyтарne zapalenie jelit cienkich (LPE), limfocyтарно-plazmocyтарne zapalenie jelit cienkich

i okrężnicy, limfocytarno-plazmocytarne zapalenie okrężnicy (LPC) oraz zapalenie żołądka, jelit cienkich i okrężnicy (EGE) [Kołodziejska-Sawerska i Rychlik 2013].

### **3. Rozpoznanie**

#### **3.1. Obraz kliniczny**

Do objawów klinicznych nieswoistego zapalenia jelit zalicza się występujące w dowolnym zestawieniu: wymioty, biegunkę, obecność strawionej krwi w kale, obecność świeżej krwi w kale, utratę masy ciała i pogorszenie łaknienia aż do całkowitej utraty apetytu. U niektórych pacjentów powodem wizyty w lecznicy mogą być również objawy postępowania choroby, takie jak obrzęk tkanki podskórnej, nagromadzenie płynu w jamie opłucnej lub wodobrzusze związane z hipoalbuminemią spowodowaną enteropatią białkogubną. Podstawą zaklasyfikowania zwierzęcia do grupy pacjentów z przewlekłą enteropatią jest wykazanie u niego obecności objawów klinicznych utrzymujących się ponad trzy tygodnie. Duże znaczenie ma zebranie dokładnego wywiadu, który powinien uwzględniać: charakterystykę objawów klinicznych, czas utrzymywania się objawów, dietę, leczenie oraz reakcję na leczenie. Zebranie pełnego wywiadu umożliwi uwzględnienie w rozpoznaniu różnicowym chorób o podobnym obrazie klinicznym i wprowadzenie właściwego planu diagnostycznego [Garraway, Allenspach, Jergens, 2019].

#### **3.2. Kliniczny wskaźnik aktywności nieswoistego zapalenia jelit u psów**

Na podstawie analizy najczęściej występujących objawów klinicznych, używając prostej punktacji numerycznej, stworzono system określany jako wskaźnik aktywności nieswoistego zapalenia u psów (canine inflammatory bowel disease activity index- CIBDAI). W ramach tego wskaźnika sześć głównie występujących objawów ze strony układu pokarmowego w przebiegu nieswoistego zapalenia jelit ocenia się w skali 0-3 w zależności od ich natężenia. Analizie poddawane są następujące objawy: aktywność zwierzęcia, apetyt, wymioty, konsystencja kału, częstotliwość oddawania kału oraz spadek masy ciała. Każdy z parametrów oceniany jest niezależnie, następnie punkty są sumowane odzwierciedlając stan kliniczny pacjenta oraz określając przebieg choroby jako łagodny, umiarkowany lub ciężki [Jergens i in. 2003]. Zaletą CIBDAI jest możliwość wstępnej klasyfikacji natężenia stanu zapalnego, monitorowanie leczenia i wczesne wykrywanie nawrotów choroby [Kołodziejska-Sawerska i Rychlik, 2012].

#### **3.3. Badania laboratoryjne**

Wyniki badania biochemicznego surowicy rzadko dostarczają informacji pozwalających na rozpoznanie nieswoistego zapalenia jelit, są jednak przydatne w diagnostyce zaburzeń dotyczących innych narządów, które mogą powodować objawy ze strony przewodu pokarmowego. W rutynowym badaniu morfologicznym krwi można wykazać niedokrwistość nieregeneratywną, która odzwierciedla przewlekły proces zapalny albo utratę krwi z przewodu pokarmowego. Neutrofilia z przesunięciem w lewo lub bez przesunięcia jest związana z nadżerkowymi bądź wrzodziejącymi uszkodzeniami ściany jelita. Z kolei eozynofilia obwodowa występuje w przypadku niektórych postaci nieswoistego zapalenia jelit, takich jak eozynofilowe zapalenie jelit [Garraway i in. 2019].

Oznaczenie białek ostrej fazy okazało się mało przydatne w diagnozowaniu nieswoistego zapalenia jelit u psów ze względu na ograniczony zasięg stanu zapalnego do błony śluzowej jelita (wyjątek stanowi histiocytarne zapalenie okrężnicy bokserów). Dopiero przy wskaźniku CIBDAI powyżej 5 (białko C reaktywne - CRP) lub 6 (kwaśna glikoproteina - AGF) stężenia białek ostrej fazy są na tyle wysokie, że mogą być przydatne w rozpoznawaniu choroby. Dodatkowo okazało się, że pewne białka ostrej fazy lepiej korelują z natężeniem zmian histopatologicznych (surowiczy amyloid A - SAA) a inne w monitoringu leczenia (haptoglobina - HPA) [Kołodziejska-Sawerska i Rychlik, 2012].

Markery zapalne, takie jak koncentracja białka S100A12 w kale (białko wiążące wapń), używane są w medycynie ludzkiego do monitorowania nieswoistego zapalenia jelit. Okazało się, że koncentracja tego białka u psów z nieswoistym zapaleniem jelit jest znacznie wyższa niż u psów zdrowych [Heilmann i in. 2014].

Badanie kału jest ważnym elementem w wykluczeniu inwazji pasożytniczej [Jergens i Simpson 2012].

### **3.4. Diagnostyka obrazowa**

W obrazie ultrasonograficznym przy nieswoistym zapaleniu jelit cienkich, zapaleniu limfocytarno-plazmocytarnym lub eozynofilowym, w zmienionej warstwie śluzowej zauważalne są liczne, rozsiane, nieregularne, drobne ogniska hiperechogenne, właściwe dla poszerzonego układu chłonnego, dla kępek Peyera w dwunastnicy. Echogeniczność warstwy śluzowej na ogół jest wzmożona, można także zauważyć pasmo silnie echogenne od strony światła wzdłuż linii warstwy śluzowej. Widoczne jest rozpulchnienie, obrzęk zapalny jelita, pogrubienie, zwłaszcza warstwy śluzowej i wyraźne jej pofałdowanie i obrzęk [Złot, 2019].

Brak charakterystycznych objawów klinicznych oraz niewielka przydatność badań laboratoryjnych czynią endoskopię najlepszą metodą diagnostyczną w rozpoznawaniu stanów zapalnych jelit u psów. Badanie endoskopowe pozwala na ocenę makroskopową poszczególnych odcinków przewodu pokarmowego oraz pobranie materiału biopsyjnego z błony śluzowej żołądka i jelit (dwunastnica, jelito czcze, okrężnica). Pobranie za pomocą endoskopu bioptatów z błony śluzowej jelita do oceny histopatologicznej umożliwia określenie stopnia zaawansowania procesu zapalnego oraz ocenę skuteczności zastosowania leczenia. [Kołodziejska-Sawerska i Rychlik, 2012].

### **3.5. Badania histopatologiczne**

Prawidłowe rozpoznanie nieswoistego zapalenia jelit, wobec braku charakterystycznych objawów klinicznych opiera się głównie na wynikach badania histologicznego wycinków tkanek uzyskanych za pomocą biopsji endoskopowej jelita i do obecnej chwili uznawane jest za tzw. złoty standard. Niestety, zmiany histopatologiczne nie są przydatne w rokowaniu i słabo korelują z kliniczną oceną zastosowanej terapii. Badanie histopatologiczne, podobnie jak wskaźniki kliniczne, nie różnicuje różnych form enteropatii np. nietolerancji pokarmowej (bez powikłań) czy enteropatii zależnej od antybiotyków od nieswoistego zapalenia jelit. Sekcja gastroenterologiczna WSAVA proponuje wprowadzenie standardu oceny histopatologicznej do oceny natężenia procesu chorobowego. Za jego podstawę posłużyły kryteria stosowane w tzw. klasyfikacji SYDNEY wprowadzone do oceny histopatologicznej nieswoistego zapalenia jelit u ludzi. Jednakże ze względu na pewne

różnice w obrazie histologicznym tego schorzenia u zwierząt został on nieco zmodyfikowany. Zgodnie z zaleceniami sekcji, w obrazie histopatologicznym powinno się analizować zmiany w budowie poszczególnych elementów błony śluzowej oraz określić liczbę komórek w okolicy blaszki właściwej. Analizując ciągłość struktury ocenia się, czy występuje nadmierne złuszczenie, ubytki, a zwłaszcza nadżerki, czyli świeże ubytki w błonie śluzowej bez otaczającego odczynu komórkowego. Ważna jest skala uszkodzeń nabłonka oraz liczba uszkodzonych kosmków [Rychlik, 2010]. W obrazie histopatologicznym można zwrócić uwagę na liczebność bakterii na powierzchni nabłonka [Kołodziejska-Sawerska i Rychlik, 2012]. Stopień nasilenia zmian zapalnych przewodu pokarmowego ocenia się za pomocą czteropunktowej skali 0-3 (od braku zmian do masywnych). Ujednolicone kryteria oceny histopatologicznej były konieczne, gdyż różne kryteria powodowały, że było niemożliwe porównywanie wyników badań histopatologicznych w poszczególnych publikacjach [Day i in. 2008].

### **3.6. Rozpoznanie różnicowe**

Kliniczne rozpoznanie nieswoistego zapalenia jelit ustala się w oparciu o: obecność utrzymujących się (powyżej trzech tygodni) objawów ze strony przewodu pokarmowego, niemożność wykazania obecności domonujących patogenów jelitowych lub innych przyczyn choroby układu pokarmowego oraz uzyskanie obrazu histopatologicznego wskazującego na zapalenie jelit. Rozpoznanie nieswoistego zapalenia jelit polega przede wszystkim na wykluczeniu innych chorób o podobnym obrazie klinicznym. Dokonuje się tego na podstawie informacji uzyskanych z pełnego badania klinicznego, badań laboratoryjnych oraz technik obrazowania. Po wykluczeniu czynników zakaźnych i pasożytniczych, przyczyn spoza układu pokarmowego tzw. chorób systemowych, niewydolności zewnątrzwydzielniczej trzustki oraz zaburzeń strukturalnych w obszarze jelit, które wymagałyby przeprowadzenia zabiegu chirurgicznego, postać przewlekłej enteropatii klasyfikuje na podstawie rozpoznania przez leczenie. Stosując u pacjenta dietę hypoalergiczną, antybiotyki i glikokortykoidy można zdiagnozować enteropatię dietozależną (FRE- food- responsive enteropathy), biegunkę reagującą na leczenie antybiotykami (ARD- antibiotic-responsive diarrhea) lub idiopatyczne nieswoiste zapalenie jelit [Garraway i in. 2019].

## **4. Leczenie**

Zasady terapii nieswoistego zapalenia jelit u psów polegają na łączeniu leczenia farmakologicznego z utrzymaniem odpowiedniej diety [Jergens i Simpson, 2012].

### **4.1. Dieta**

Uzasadnieniem dla dietetycznej terapii nieswoistego zapalenia jelit jest ograniczenie ekspozycji na antygeny (tj. białka zawarte w pokarmie), które mogą wywołać nadmierną odpowiedź immunologiczną organizmu. Innymi wskazaniem do specjalistycznego żywienia są: zmniejszenie apetytu, upośledzenie wchłaniania składników odżywczych lub utrata białek przy ciężkim natężeniu procesu zapalnego błony śluzowej jelit. Idealna dieta zawiera wprowadzenie nowego źródła białka (np. sieja, kaczka, dziczyzna) lub białka hydrolizowanego, wysokostrawnych węglowodanów, diety bezglutenowej, z małą zawartością laktozy i tłuszczu, dobrze zbilansowaną i smaczną [Jergens i Simpson, 2012].

Diety stosowane w przypadku zaburzeń żołądkowo-jelitowych zawierają fruktooligosacharydy (FOS), będące substancją odżywczą dla pożądaney flory jelitowej, i mannoooligosacharydy (MOS), ułatwiające usuwanie chorobotwórczych drobnoustrojów, mają obniżoną zawartość tłuszczu, optymalną proporcję kwasów tłuszczowych omega-3 do omega-6, łagodzących proces zapalny jelit, oraz zawierają pulpę ziemniaczaną, mającą właściwości odżywcze dla komórek błony śluzowej jelita grubego.

Dodatek glutaminy do karm leczniczych poprawia czynność przewodu pokarmowego wspomagając procesy naprawcze w obrębie komórek nabłonka przewodu pokarmowego i trzustki oraz zmniejsza ryzyko zaniku kosmków jelitowych, poprawiając regenerację błony śluzowej jelita cienkiego po zaburzeniach pokarmowych.

Stosowanie probiotyków (bakterii z rodzaju *Lactobacillus spp.*, *Enterococcus spp.*, *Bifidobacterium spp.*) u psów z niewielkim natężeniem procesu chorobotwórczego również może przyczynić się do poprawy stanu pacjenta [Kołodziejska-Sawerska, Rychlik, Wdowiak, Petrykowska, 2013].

#### 4.2. Terapia farmakologiczna

Rekomendacje w sprawie terapii nieswoistego zapalenia jelit zależą od stopnia zaawansowania choroby i przebiegu klinicznego, dostosowaniu możliwości finansowych właściciela oraz mając na uwadze ryzyko i skutki uboczne związane ze stosowaniem niektórych leków [Jergens i Simpson, 2012].

Alternatywą do stosowania probiotyków w leczeniu nieswoistego zapalenia jelit o lekkim i umiarkowanym natężeniu u psów może być zastosowanie immunomodulatorów. Można je podzielić na naturalne ( $\beta$ -glukany –  $\beta$ -1,3/1,6-D glukan) oraz syntetyczne ( $\beta$ -hydroksy- $\beta$ -metylomaślan – HMB i lewamizol). Aktywują one układ dopełniacza, pobudzając wytwarzanie cytokin prozapalnych i przeciwzapalnych oraz TNF- $\alpha$ , co w konsekwencji powoduje podwyższenie stanu gotowości układu odpornościowego do obrony organizmu przed infekcjami wirusowymi, bakteryjnymi, grzybiczymi i inwazjami pasożytniczymi. Zalecana dawka to 7 mg/kg m.c. przez 4-6 tygodni. Nie zaleca się stosowania preparatów immunomodulujących w ciężkiej postaci nieswoistego zapalenia jelit, ponieważ mogą zaostrzyć przebieg choroby [Kołodziejska-Sawerska i in. 2013].

Metronidazol okazał się nie tylko lekiem przeciwbakteryjnym, lecz również immunosupresyjnym, co tłumaczy szybszą poprawę u psów z nieswoistym zapaleniem jelit. Dawka metronidazolu dla psów wynosi 10-20 mg/kg m.c. 2 razy dziennie *per os* przez 10-14 dni, potem raz dziennie przez 10-14 dni. Możliwe objawy uboczne jego stosowania to utrata apetytu, nadmierne ślinienie, wymioty, niezdolność, oczopląs oraz drgawki. Powszechną terapią jest łączenie metronidazolu z glikokortykosteroidami [Craven, Simpson, Ridyard, Chandler, 2004].

Niesteroidowe leki przeciwzapalne znajdują zastosowanie w leczeniu nieswoistych zapaleń jelit u psów o lekkim lub umiarkowanym nasileniu [Kołodziejska-Sawerska i in. 2013]. Mesalazyna to najnowsza pochodna kwasu 5-aminosalicylowego. Uwalnianie leku rozpoczyna się już w żołądku i może oddziaływać na zmiany zapalne w jelicie cienkim oraz grubym. Mesalazyna przyczynia się do znacznej poprawy klinicznego stanu pacjentów, nie wykazuje efektów ubocznych w standardowym okresie leczenia oraz jest łatwa w stosowaniu (możliwość podzielenia tabletki na dobowe dawki). Fakt, iż działanie substancji czynnej

rozpoczyna się już w dwunastnicy świadczy o znacznej przydatności mesalazyny w leczeniu nieswoistego zapalenia jelit [Rychlik, Nieradka, Depta, Paluszewski, Sarti, 2008].

W przypadku bardziej zaawansowanej choroby lub pacjentów niereagujących na postępowanie dietetyczne i antybiotykoterapię wskazane jest włączenie glikokortykosteroidów [Nelson i Couto, 2016]. Z tej grupy leków najczęściej stosuje się prednizolon podawany w dawce immunosupresyjnej 1-2 mg/kg m.c. co 12 godzin przez 2-4 tygodnie. Następnie dawka ulega stopniowemu zmniejszeniu o 25% co 1-2 tygodnie, aż do uzyskania niskiej dawki podtrzymującej, podawanej co 48 godzin [Kołodziejka-Sawerska i in. 2013]. Inne badania wykazały, że 10-tygodniowe testowanie prednizolonu zmniejszyło wskaźnik CIBDAI u psów po terapii [Jergens i Simpson, 2012]. Chociaż glikokortykosteroidy są powszechnie stosowane w leczeniu nieswoistego zapalenia jelit u psów, efekty uboczne tych leków przewyższają ich wartość terapeutyczną, zwłaszcza przy długotrwałym stosowaniu, kiedy może dojść do jatrogennej hiperadrenokortykizmu [Tumulty, Broussard, Steiner, Peterson, Williams, 2004].

W terapii nieswoistego zapalenia jelit można również stosować budezonid-glikokortykosteroid miejscowo działający. Powoduje występowanie mniejszej liczby skutków ubocznych związanych z przyjmowaniem glikokortykosteroidów w przypadku krótkotrwałego stosowania [Tumulty i in. 2004]. Inne badania wykazały jednak, że u niektórych zwierząt, u których stosowana była terapia tym lekiem, obserwowano wzrost aktywności enzymów wątrobowych, rozwój hepatopatii steroidowej oraz supresję osi podwzgórzowo-przysadkowo-nadnerczowej (PPN). [Kołodziejka-Sawerska i in. 2013]. Zalecana dawka budezonidu dla psów z nieswoistym zapaleniem jelit to 3 mg/m<sup>2</sup>, co odpowiada dawce około 1 mg/10,7 kg.

U pacjentów z ciężkim natężeniem objawów można podawać też inne leki immunosupresyjne. Stosowane są u psów w przypadkach, gdy leczenie za pomocą glikokortykosteroidów nie jest skuteczne lub kiedy konieczne jest zmniejszenie dawki leków steroidowych ze względu na objawy uboczne. W tej grupie leków najczęściej stosowana jest azatiopryna, która jest strukturalnym analogiem substancji niezbędnych do syntezy DNA i RNA. Tkanką docelową dla azatiopryny w przebiegu nieswoistych zapaleń jelit są komórki układu immunologicznego na terenie przewodu pokarmowego. Psom podaje się lek codziennie (2 mg/kg m.c raz dziennie per os) przez 5 dni, później co drugi dzień na przemian z prednizolonem. Efekt jej działania obserwowany jest dopiero po 3 tygodniach. Lek należy podawać przez 3 do 9 miesięcy. W niektórych przypadkach obserwuje się jej toksyczne działanie na szpik kostny, dlatego należy co 2-4 tygodnie wykonać badanie hematologiczne. U psów często spotykanym objawem ubocznym stosowania tego leku są wymioty [Kołodziejka-Sawerska i in. 2013].

## 5. Rokowanie

Rokowanie dla psów z nieswoistym zapaleniem jelit jest często dobre, jeśli podejmie się leczenie, zanim pacjent będzie wyniszczony przez chorobę. Negatywnymi czynnikami rokowniczymi są zaawansowana hipoalbuminemia oraz bardzo zła ogólna kondycja. Wiele zwierząt wymaga podawania specjalistycznej diety przez resztę życia. Wiele z nich z chorobą umiarkowaną lub znacznego stopnia będzie potrzebowało długotrwałego podawania leków, które powinno się zmniejszać z zachowaniem ostrożności. Niektórzy pacjenci wymagają



jednak podawania leków do końca życia. Ciężko chore zwierzęta mogą początkowo odnosić korzyści z odżywiania dojelitowego lub pozajelitowego [Nelson i Couto, 2016].

## 6. Podsumowanie

Nieswoiste zapalenie jelit u psów jest schorzeniem nastrożającym wielu problemów diagnostycznych i terapeutycznych z uwagi na nie do końca poznaną etiologię. W przypadku rozpoznania tego schorzenia należy wdrożyć odpowiednią terapię uzależnioną od natężenia procesu chorobowego, aby zapewnić odpowiedni komfort życia pacjenta.

## Bibliografia:

1. Allenspach K., House A., Smith K., McNeill F.M., Hendricks A., Elson-Riggins J., Riddle A., Steiner J.M., Werling D., Garden O.A., Catchpole B., Suchodolski J.S. (2010). Evaluation of mucosal bacteria and histopathology, clinical disease activity and expression of Toll-like receptors in German Shepherd dogs with chronic enteropathies. *Veterinary Microbiology* 146, s. 326-335.
2. Craven M., Simpson J.W., Ridyard A.E., Chandler M.L. (2004). Canine inflammatory bowel disease: retrospective analysis of diagnosis and outcome in 80 cases (1995-2002). *Journal of Small Animal Practice* 45, s. 336-342.
3. Day M.J. (2013). An Update on Canine Inflammatory Bowel Disease. *World Small Animal Veterinary Association World Congress Proceedings*.
4. Day M.J., Minami T., Jergens A., Washabau R., Willard M., Mansell J., Bilzer T., Hall E.J., Wilcock B. (2008). Histopathological standards for the diagnosis of gastrointestinal inflammation in endoscopic biopsy samples from the dog and cat. A report from World Small Animal Veterinary Association Gastrointestinal Standardization Group. *J. Comp. Pathol.* 138, s.1-43.
5. Garraway K., Allenspach K., Jergens A. (2019). Nieswoiste zapalenie jelit u psów i kotów. *Weterynaria po Dyplomie* 01.
6. Heilmann R.M., Grellet A., Allenspach K., Lecoindre P., Day M.J., Priestnall S.L., Toresson L., Procoli F., Grützner N., Suchodolski J.S., Steiner J.M. (2014). Association between fecal S100A12 concentration and histologic, endoscopic, and clinical disease severity in dogs with idiopathic inflammatory bowel disease. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 158, s. 156-166.
7. Jergens A.E., Schreiner C.A., Frank D.E., Niyo Y., Ahrens F.E., Eckersall P.D., Benson T.J., Evans R. (2003). A Scoring Index for Disease Activity in Canine Inflammatory Bowel Disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 17, s. 291-297.
8. Jergens A.E., Simpson K.W. (2012). Inflammatory bowel disease in veterinary medicine. *Frontiers in Bioscience* (4), s. 1404-1419.
9. Kołodziejska-Sawerska A., Rychlik A. (2012). Przydatność badań klinicznych, laboratoryjnych, endoskopowych oraz histopatologicznych w rozpoznawaniu nieswoistych zapaleń jelit u psów. *Życie Weterynaryjne* 87(3), s. 201-205.
10. Kołodziejska-Sawerska A., Rychlik A. (2013). Etiopatogeneza nieswoistych zapaleń jelit u psów. *Życie Weterynaryjne* 88(4), s. 273-281.
11. Kołodziejska-Sawerska A., Rychlik A., Wdowiak M., Petrykowska K. (2013). Perspektywy leczenia nieswoistych zapaleń jelit u psów cz.I. *Magazyn Weterynaryjny* 06.

12. Kołodziejska- Sawerska A., Rychlik A., Wdowiak M., Petrykowska K. (2013). Perspektywy leczenia nieswoistych zapaleń jelit u psów cz.II. *Magazyn Weterynaryjny* 12.
13. Nelson R.W., Couto C.G. (2016). *Choroby wewnętrzne małych zwierząt. Tom 1.* Edra Urban & Partner, Wrocław, s. 525-527.
14. Rychlik A. (2010). Przydatność wybranych wskaźników klinicznych, histopatologicznych i laboratoryjnych w ocenie aktywności nieswoistych zapaleń jelit u psów. *Medycyna Weterynaryjna* 66(1), s. 27-31.
15. Rychlik A., Nieradka R., Depta A., Paluszewski A., Sarti K. (2008). Skuteczność różnych metod leczenia przewlekłej zapalnej choroby jelit u psów. *Medycyna Weterynaryjna* 64, s.796-799.
16. Suchodolski J.S., Xenoulis P.G., Paddock C.G., Steiner J.M., Jergens A.E. (2010). Molecular analysis of the bacteria microbiota in duodenal biopsies from dogs with idiopathic inflammatory bowel disease. *Veterinary Microbiology* 142, s. 394-400.
17. Tumulty J.W., Broussard J.D., Steiner J.M., Peterson M.E., Williams D.A. (2004). Clinical effects of short-term oral budesonide on the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in dogs with inflammatory bowel disease. *Journal of the American Animal Hospital Association* 40, s.120-123.
18. Zlot A. (2018). Obraz ultrasonograficzny w procesach zapalnych przewodu pokarmowego psów i kotów. *Magazyn Weterynaryjny* 11.

## **11. DZIAŁANIE PRZECIWSTRARZENIOWE FILTRÓW UV I ZAPOBIEGAWCZE, W POWSTAWANIU NOWOTWORÓW SKÓRY**

### **mgr Nicola Kubik**

ul. Obornicka 111/2a, 51-114 Wrocław

E-mail: nicola1230@wp.pl

### **mgr Agnieszka Łaska-Jesionowska**

Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii, Katedra Chemii Organicznej

ul. Tamka 12, 91-403 Łódź

E-mail: agnieszka.laska@chemia.uni.lodz.pl

### **mgr Bogusław Tymoniuk**

Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Klinika Immunologii i Alergii

ul. Pomorska 251, 92-213 Łódź

E-mail: boguslaw.tymoniuk@umed.lodz.pl

### **Paulina Muskala**

Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii

Koło Naukowe Chemii Kosmetycznej

ul. Tamka 12, 91-403 Łódź

E-mail: paulina.muskala@unilodz.eu

### **1. Wstęp**

Fotoprotekcja jest bardzo dobrze znanym i powszechnym zagadnieniem. Dotyczy ona ochrony skóry przed szkodliwym działaniem promieniowania słonecznego. W niniejszej rozprawie zostaną przedstawione korzystne właściwości filtrów UV w aspekcie profilaktyki przeciwstarzeniowej. Dodatkowo poruszony będzie również problem nowotworów skóry i ewentualnego wpływu stosowania fotoprotekcji na zmniejszenie ryzyka zachorowania. W głównej mierze referat traktować będzie o zmianach, jakie zachodzą w skórze na skutek fotostarzenia i możliwości zapobiegania temu zjawisku.

Skóra starzeje się na skutek spadku aktywności biologicznej, a proces ten ma charakter długotrwały. Upośledzona zostaje jej funkcja zarówno w obrębie poszczególnych warstw, jak i przydatków [Binic, Lazarevic, Ljubenic, Mojsa, Sokolovic, 2013]. Degradacji ulegają fibroblasty, odpowiedzialne m.in. za syntezę kolagenu i elastyny, z upływem czasu zmniejsza się zawartość kwasu hialuronowego, następuje fragmentacja kolagenu, zanikają warstwy rozrodcze naskórka, proces keratynizacji (przejścia komórek naskórka od najgłębszej, do najbardziej powierzchniowej warstwy) wydłuża się, spada produkcja NMF (naturalnego czynnika nawilżającego), zmniejsza się ilość spoiwa międzykomórkowego, a funkcje gruczołów potowych i łojowych osłabiają się [Mahwar, Patidar, Joshl, 2018]. Procesy te potęgują zmiany hormonalne np. menopauza w przypadku kobiet [Zegarska, Woźniak]. Skutkiem powyższego jest zwiększenie TEWL (przeznaskórkowa utrata wody), a co za tym idzie, spadek nawilżenia naskórka [Tobin, 2016], stanowiącego swoistą barierę

która przeciwdziała suchości skóry [Farage, Miller, Elsner, Maibach, 2008]. Suchość skóry jest pierwszym wyznacznikiem jej starzenia, a utrzymanie odpowiedniego nawilżenia warstwy rogowej sprawia, że proces złuszczenia przebiega prawidłowo. Zaburzenie w tym obszarze skutkuje problemami z właściwą keratynizacją, a to z kolei przyczynia się do problemów z zatrzymaniem wody w naskórku. Tworzy się wtedy błędne koło. Na skutek zmian biologicznych w przebiegu starzenia się skóry, jej nawilżenie spada, a wzrasta poziom transepidermalnej utraty wody, będące wyznacznikiem funkcji barierowej skóry. Jest to ogólnie znana zależność, jednak tylko nieliczne badania potwierdzają to w sposób obiektywny, za pomocą sprzętu umożliwiającego analizę porównawczą [Firooz, Sadr, Babakoohi i in., 2012]. Ten aspekt starzenia jest nierozdzielnie związany z kolejnym problemem, jakim są zmarszczki. Pojawiają się one znacznie szybciej na skórze przesuszonej i są o wiele głębsze. Dlatego też rozwiązanie kwestii odpowiedniego nawilżenia, wpływa na obie niedoskonałości wieku dojrzałego. Poza suchością, do typowych zmian starczych należą przebarwienia, powstałe na skutek nierównomiernego rozłożenia melaniny w naskórku. Ogromny wpływ ma na to ekspozycja na promieniowanie słoneczne, które pobudza proces melanogenezy. Zmiany barwnikowe nasilają się z wiekiem, a niezachowanie właściwej profilaktyki w tym zakresie przez lata, powoduje ogromną intensyfikację oraz dużą głębokość na jakiej objawia się problem, przez co zazwyczaj niemożliwym jest ich zupełne usunięcie.

W celu zniwelowania widoczności zmian skórnych typowych dla wieku dojrzałego, zalecana jest fotoprotekcja, która ogranicza negatywny wpływ promieniowania UV na komórki naskórka i skóry właściwej, a tym samym zapobiega powstawaniu problematycznych ognisk rogowacenia, przebarwień i zmarszczek. Tym samym pozwala to na zachowanie młodego wyglądu znacznie dłużej. Poza tym, odpowiednie filtry UV chronią komórki przed degradacją i zapobiegają w znacznym stopniu wystąpieniu nowotworów skórnych, w tym czerniaka złośliwego, który należy do grupy najtrudniejszych w leczeniu. Co prawda nie stanowi to całkowitej ochrony, w żadnych z tych dwóch aspektów, jednakże znacząco wpływa na rozwój obu procesów, co wykaże ta rozprawa.

## **2. Materiały i metody**

Omawiane zagadnienie zostało zrealizowane za pomocą badania retrospektywnego. Po zapoznaniu z dostępną literaturą i dokumentacją, a także przeglądzie obcojęzycznych publikacji, zestawiono teoretyczne rozważania z praktyką pracy kosmologicznej. Wykorzystano własne doświadczenia i nabytą wiedzę, w celu stworzenia kompleksowego artykułu na temat mechanizmów rządzących procesem starzenia się skóry, a także fotoprotekcji i jej wpływu hamującego wspomniane zjawisko. Dodatkowo wzbogacono rozprawę o wątek dotyczący skuteczności filtrów ochronnych w profilaktyce przeciwnowotworowej. Całość stanowi połączenie przeglądu literatury i teoretycznych rozważań, z praktycznymi uwagami.

## **3. Wyniki i dyskusja**

Przebieg procesu starzenia się skóry ma złożony charakter. Częściowo można mu zapobiegać, poprzez oddziaływanie na czynniki zewnętrzne, od których jest on zależny. Jednakże, na zmiany wynikające z upływu czasu nie mamy wpływu. Tak więc starzenie się dzielimy na zewnątrz i wewnątrzpochodne [Baumann, 2013]. Endogennie

(wewnątrzpochodnie), na poziomie komórkowym, telomery zapobiegające utracie materiału genetycznego przez chromosomy w trakcie podziału - ulegają skróceniu [The Nobel Prize]. W najnowszych doniesieniach naukowych możemy zapoznać się z badaniami, według których odpowiednie zmodyfikowanie trybu życia i zmiana diety, wpływa na spowolnienie skracania się telomerów, a nawet odwrócenie tego procesu i ich wydłużenie [Solway, McBride, Haq, Abdul, Miller, 2020]. Jest to niezwykle ciekawe zagadnienie i z pewnością w miarę postępu badań zjawisko to może okazać się przełomowym odkryciem, umożliwiającym zahamowanie procesu starzenia się organizmu. Jednakże, obecnie większość doniesień naukowych traktuje, iż z upływem czasu organizm ulega degradacji, czemu nie da się skutecznie zapobiec. Wewnątrzpochodne starzenie wiąże się ze scieńczeniem skóry i naskórka. Jedynie warstwa rogowa ulega pogrubieniu [Trojahn, Dobos, Lichterfeld, 2015]. Wpływa to na szorstkość i utratę gęstości, co jest wyczuwalne przy dotyku. Zmniejsza się liczba fibroblastów, a także układ włókien kolagenowych i elastynowych, co obniża jędrność i elastyczność skóry. Granica pomiędzy skórą właściwą, a naskórkiem spłaszcza się, czego efektem są zmarszczki. Towarzyszy temu zanik naczyń krwionośnych, a zmniejszone ukrwienie danych obszarów utrudnia ich odżywienie i powoduje błądność. Turn-over time, a więc czas przejścia komórek od najgłębszych do powierzchniowych warstw naskórka, wydłuża się, powodując nieprawidłowości w procesie złuszczenia [Baumann, 2007]. Nagromadzone w ten sposób korneocyty odpowiadają za suchość i wiotkość skóry. Wizualnie przyczynia się to do powstawania zmarszczek [Baumann, 2013].

Istnieje jednak druga grupa czynników, które wpływają na proces starzenia się skóry, a które to możemy kontrolować w pewnym stopniu. Są to zewnątrzpochodne przyczyny i najczęściej wymieniamy wśród nich: nadmierną ekspozycję na promieniowanie UV, niewłaściwe odżywianie oraz palenie tytoniu. Głównym sprawcą starzenia się skóry jest promieniowanie UV. Poza fotostarzeniem, a więc zmarszczkami, przebarwieniami, teleangiektazjami i ogniskami rogowacenia [Rabe, Mamelak, McElgunn, Morison, Sauder, 2006], przyczynia się do powstawania zmian nowotworowych. Jeśli chodzi o estetyczny aspekt, to odpowiedzialna jest tu głównie suchość skóry, która jak podane zostało we wstępie, stanowi główną przyczynę powstawania zrogowaceń i pogłębiania się zmarszczek. Jak widać, oba te problemy mają wspólny początek. Wysuszenie warstwy rogowej naskórka i dalej idące odwodnienie skóry właściwej, jest często wynikiem nadmiernej ekspozycji na promieniowanie słoneczne, które powoduje przesuszenie. Proces ten jest szczególnie widoczny u osób starszych, gdzie z wiekiem, skóra na odsłoniętych częściach ciała jak np. twarz, szyja, dekolant, dłonie, przedramiona, jest w znacznie gorszej kondycji niż rzadko ekspozowane uda, brzuch, czy plecy. Podobnie sytuacja wygląda w przypadku przebarwień. Komórki barwnikowe mają za zadanie chronić materiał genetyczny w jądrze. W tym celu wytwarzany jest barwnik – melanina – uniemożliwiający w znacznym stopniu dotarcie szkodliwego promieniowania słonecznego do wnętrza komórek. Częsta ekspozycja na UV nadmiernie stymuluje ten proces, a skutkiem tego jest nierównomierne rozłożenie barwnika, objawiające się na skórze w postaci nieestetycznych plam. Najczęściej zauważane są one, jak uprzednio, na odsłoniętych fragmentach skóry.

Większość, bo około 95% docierającego do nas promieniowania, to UV A, które penetruje w głąb skóry i uszkadza DNA komórek. To właśnie ono powoduje fotostarzenie. Jeśli zaś chodzi o UV B, to pomimo mniejszego stopnia narażenia, jest ono bardziej

intensywne i poza zaczerwienieniem i oparzeniem, może skutkować powstawaniem zmian przednowotworowych. Najprostszym, a zarazem najskuteczniejszym sposobem ochrony skóry jest stosowanie fotoprotekcji i ograniczenie ekspozycji na słońce. Promieniowanie UV jest składową widma światła słonecznego, które znane jest ze swoich pozytywnych właściwości, tj. zwiększanie produkcji hormonu szczęścia (serotoniny), co poprawia nastrój i ma właściwości przeciwdepresyjne, a także wzmaganie synezy witaminy D<sub>3</sub>. Jednakże ma ono również negatywny wpływ na zdrowie ludzi, ponieważ męczy soczewkę oka, wywołuje reakcje fotouczulające, odpowiada za fotostarzenie i rozwój nowotworów skóry. Organizm człowieka jest w stanie częściowo sam ochronić się przed tymi niedogodnościami poprzez wytworzenie melaniny, która jest barwnikiem chroniącym komórki. Nie jest to jednak pełna fotoprotekcja, w związku z czym konieczne jest stosowanie zewnętrznych metod wspomagających. Filtry przeciwsłoneczne, jak potocznie nazywa się substancje promienioochronne, to związki chemiczne chroniące skórę przed promieniowaniem słonecznym. Dzieli się one na filtry fizyczne, których zadaniem jest odbijanie szkodliwego promieniowania oraz filtry chemiczne, pochłaniające je. Do najczęściej stosowanych filtrów fizycznych zaliczamy tlenek cynku i dwutlenek tytanu. Nanosi się je na powierzchnię skóry, na której działają przez około 2h. Trudno jest osiągnąć przy ich pomocy wysoki współczynnik ochronny. Filtry chemiczne zaś, po nałożeniu wnikają w głąb skóry, gdzie absorbują promieniowanie. Po pewnym czasie rozpadają się i wytwarzają przy tym wolne rodniki, co uszczerbka okoliczne tkanki. Dlatego też powinno się po około 2h oczyścić z nich powierzchnie gdzie zostały zaaplikowane i ponownie je zastosować. Ze względu na wspomniane wady, preparaty fotoprotekcyjne najczęściej łączą w sobie oba rodzaje filtrów UV.

Stopień fotoprotekcji określany jest poprzez współczynnik ochrony przeciwsłonecznej SPF. Jest on odzwierciedleniem efektywności ochronnej danego filtra przed promieniowaniem UV. Określa jak długo można przebywać na słońcu, nie wywołując przy tym reakcji rumieniowej, w porównaniu do skóry niechronionej [Kaniewska, 2013], np. jeśli typowym dla naszej skóry jest zaczerwienienie po około 20min bez fotoprotekcji, to aplikacja filtra SPF 15 wydłuży ten czas do 15 x 20min, a więc 300min. Analogicznie SPF 50 będzie miał zastosowanie do 1000min. Przy tego typu wyliczeniach należy jednak zachować szczególną ostrożność. Jest to bowiem jedynie teoretyczne rozważanie, które nie ma pełnego odzwierciedlenia w rzeczywistości. W praktyce preparat jest częściowo wycierany o odzież, tekstylia, a także zmywany. Wtedy też traci swoje ochronne właściwości. Dodatkowo należy pamiętać o wspomnianym wcześniej czasie 2h, który gwarantuje pełną skuteczność filtrów UV. Kolejnym ważnym zagadnieniem jest stopień zatrzymania promieniowania. Dzięki zastosowaniu funkcji wykładniczej można obliczyć, że SPF 15 zatrzymuje zaledwie 93%, a przepuszcza 7% promieni słonecznych. SPF 30 podnosi wartość ochrony do 97%, a SPF 60 zapewnia jej aż 99% [Kępska, 2014]. Ta niewielka różnica pozwala wysnuć wniosek, że filtry o wyższym wskaźniku ochronnym SPF chronią nas na zbliżonym poziomie, a różnica jest jedynie w czasie działania preparatu. Wyraźnie należy jednak zaznaczyć, że aplikacja kosmetyków z filtrem poniżej SPF 30 zapewnia zbyt niską skuteczność zatrzymania szkodliwego promieniowania, dlatego też nie powinny być one używane w okresach wzmózonej ekspozycji na wysoce nasłonecznionych obszarach.

Fotoprotekcja jest niezwykle istotnym zagadnieniem zarówno z uwagi na fakt ochrony przed powstawaniem nowotworów skóry, jak i ze względu na zapobieganie procesowi zewnątrzpochodnego starzenia się skóry. Z tego powodu należy pamiętać o ochronie przeciwsłonecznej przez cały rok. Odpowiednio dobrany faktor i regularna aplikacja mają ogromne znaczenie zarówno zimą, jak i latem, bez względu na to czy wybieramy się na krótki spacer, czy piknik. Promieniowanie UV dociera do nas nawet przez chmury [Zalewski, 2016] i jego poziom jest wysoki przez cały rok [Krzyżostan, 2013]. Dodatkowe warunki pogodowe, tak jak typ karnacji, nie mogą zatem determinować zasadności korzystania z fotoprotekcji, a jedynie modyfikować wybrany przez nas współczynnik SPF. Tak więc, w okresie letnim, przy zwiększonej intensywności promieniowania, a także gdy naszą skórę cechuje jasny koloryt ze skłonnością do poparzeń, powinniśmy zastosować wysoki filtr ochronny [Kubis, 1996], taki jak SPF 50, w celu uniknięcia negatywnych konsekwencji.

Potencjał ochronny filtrów przeciwsłonecznych jest bardzo duży. Jego stosowanie zmniejsza ryzyko zachorowania na czerniaka nawet dwukrotnie [Kulik, 2016]. Zgodnie z doniesieniami naukowymi [Cancer Research UK, 2014], mechanizm jego powstawania nie jest do końca znany, ale poparzenie słoneczne skutkujące uszkodzeniem DNA komórek, przyczynia się do tego w znacznym stopniu [Kaniewska, 2013]. Prawdopodobnie nadprodukcja wolnych rodników, wywołana promieniowaniem UV A, zakłóca prawidłowe funkcjonowanie komórek i prowadzi do uaktywnienia czynników mutagennych [Głuszek, 2015]. Dzieje się tak, ponieważ drobne uszkodzenia komórek w dłuższym czasie kumulują się i mogą spowodować przekształcenie w komórki nowotworowe. Takie z kolei uprawdopodobniają powstanie raka skóry, tj. czerniaka złośliwy. Odpowiednia fotoprotekcja znacząco zmniejsza posłoneczne uszkodzenia DNA, dzięki czemu obniża ryzyko wystąpienia chorób skóry. Nie jest to jednak gwarancja zdrowia, gdyż nowotwory dotyczą także osoby, które nigdy nie narażały się na nadmierną ekspozycję na promieniowanie słoneczne. Jednakże dodatkowa profilaktyka może znacząco zmniejszyć odsetek zachorowań.

#### **4. Podsumowanie**

Podsumowując powyższe rozważania, odpowiednia fotoprotekcja jest niezwykle istotna z co najmniej dwóch powodów. Po pierwsze w celu zmniejszenia ryzyka wystąpienia nowotworów skóry, w szczególności czerniaka złośliwego. Narażenie się na promieniowanie UV, bez odpowiedniej ochrony, w istotny sposób przyczynia się do zachorowania, choć mechanizm ten nie jest uwarunkowany jedynie wspomnianym czynnikiem. Dodatkowo filtry przeciwsłoneczne zapobiegają powstawaniu zmian takich jak zmarszczki, przebarwienia, suchość i szorstkość skóry, znanych powszechnie jako skutki fotostarzenia. Jest to jeden z elementów zewnątrzpochodnych, przyczyniających się do przyspieszenia tego nieuchronnego procesu, jakim jest starzenie się skóry. W przeciwieństwie do wewnątrzpochodnych przyczyn, mamy możliwość zachowania odpowiedniej profilaktyki, w celu zniwelowania zmian zachodzących w skórze. Możliwość wpływu, nawet w niewielkim stopniu na zachowanie młodego i pięknego wyglądu, a przy tym zdrowia, powinna motywować wszystkich, do zachowania podstawowych zasad fotoprotekcji. Kluczowym elementem jest tu unikanie nadmiernej ekspozycji na promieniowanie słoneczne, szczególnie w okresach wzmorzonego naświetlenia, jak godziny południowe i letnia pora. Dodatkowo konieczne jest stosowanie zewnętrznych preparatów ochronnych. Należy przy

tym pamiętać, żeby stosować odpowiednie kosmetyki całorocznie oraz, aby współczynnik ochrony SPF dobrany był do warunków pogodowych i indywidualnej karnacji. Aplikacja powinna być powtarzana po upływie określonego czasu, nie rzadziej jednak niż co 2 godziny. Co prawda nie zapewni to całkowitego bezpieczeństwa, jednakże znacząco wpłynie na jego poprawę, a profilaktyka jest szczególnie istotna zarówno w aspekcie starzenia się skóry, jak i przy ewentualnych problemach onkologicznych.

### **Bibliografia:**

1. Baumann L. (2007). Skin ageing and its treatment. *Journal of Pathology*. 211. s. 241–251.
2. Baumann L. (2013). *Dermatologia estetyczna*. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL. s. 34-37.
3. Binic I., Lazarevic V., Ljubenovic M., Mojsa J., Sokolovic D. (2013). Skin Ageing: Natural Weapons and Strategies. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. art. ID 827248.
4. Cancer Research UK (2014). [http://www.cancerresearchuk.org/about-us/cancer-news/press-release/2014-06-11-new-clues-to-skin-cancer-development-show-sunscreen-is-not-enough?\\_ga=2.60608681.527306475.1497956787-2094685917.1497956787](http://www.cancerresearchuk.org/about-us/cancer-news/press-release/2014-06-11-new-clues-to-skin-cancer-development-show-sunscreen-is-not-enough?_ga=2.60608681.527306475.1497956787-2094685917.1497956787) (New clues to skin cancer development show sunscreen is not enough, 15.05.2020).
5. Farage M. A., Miller K. W., Elsner P., Maibach H.I. (2008). Intrinsic and extrinsic factors in skin ageing: a review. *International Journal of Cosmetic Science*. 30. s. 87-95.
6. Firooz A., Sadr B., Babakoohi S. i in. (2012) Variation of Biophysical Parameters of the Skin with Age, Gender, and Body Region. *The Scientific World Journal*. art. ID 386936
7. Głuszek E. (2015). <http://biotechnologia.pl/kosmetologia/rosliny-jako-potencjalne-zrodlo-filtrow-uv-w-ochronie-przed-promieniowaniem-slonecznym,15598> (Rośliny jako potencjalne źródło filtrów UV w ochronie przed promieniowaniem słonecznym, 21.05.2020).
8. Kaniewska M. (2013). *Podstawy anatomiczno-dermatologiczne w kosmetyce*. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne. s. 223, 260.
9. Kępska E. (2014). <http://biotechnologia.pl/kosmetologia/filtry-przeciwsloneczne-w-kosmetykach,13923> (Filtry przeciwsłoneczne w kosmetykach, 20.05.2020).
10. Krzyżostan M. (2013). <http://biotechnologia.pl/kosmetologia/negatywne-dzialanie-promieniowania-uv-na-skore,12712> (Negatywne działanie promieniowania UV na skórę, 22.05.2020).
11. Kubis A. A. (1996). Wpływ promieni ultrafioletowych na organizm ludzki i środki ochronne. *Roczniki Naukowe Wrocławskiego Oddziału PTFarm*. 1. s. 15 i 16.
12. Kulik N. (2016). <http://biotechnologia.pl/kosmetologia/zasady-skutecznej-ochrony-przed-promieniowaniem-uv,16226> (Zasady skutecznej ochrony przed promieniowaniem UV, 28.05.2020).
13. Mahawar V., Patidar K., Joshl N. (2018). Unmet Need and Challenges of Skin Aging by Herbal Anti-aging Cosmeceuticals: An Overview. *Asian Journal of Pharmaceutics*. 12 (2). s. 410-418.
14. Rabe J.H., Mamelak A.J., McElgunn P.J., Morison W.L., Sauder D.N. (2006). Photoaging: mechanisms and repair. *Journal of the American Academy of Dermatology*. s. 1–19.



15. Solway J., McBride M., Haq F., Abdul W., Miller R. (2020). Diet and Dermatology: The role of a whole-food, plant-based diet in preventing and reversing skin aging – a review. *Journal of clinical and aesthetic dermatology*. 13 (5). s. 38-43.
16. The Nobel Prize, [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/2009/](http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2009/) (The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2009, 17.03.2020).
17. Tobin D.J. (2016). Introduction to skin aging. *Journal of Tissue Viability*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtv.2016.03.002>.
18. Trojahn C., Dobos G., Lichterfeld A. i in. (2015). Characterizing Facial Skin Ageing in Humans: Disentangling Extrinsic from Intrinsic Biologic Phenomena. *Biomed Res. Int.* art. ID 318586.
19. Zalewski A. (2016). <http://biotechnologia.pl/kosmetologia/trendy-w-kosmetyce-2016-cz-5-kosmetyki-sloneczne,16352> (Trendy w kosmetyce 2016 – cz. 5. Kosmetyki słoneczne, 20.05.2020).
20. Zegarska B., Woźniak M. Przyczyny wewnątrzpochodnego starzenia się skóry. *Gerontologia Polska*. 14/4. ISSN 1425-4956. s. 153 – 159.

## **12. GDY LECZENIE CHIRURGICZNE ZAWODZI. KORTYKOTROPOWY INWAZYJNY MAKROGRUCZOLAK PRZYSADKI**

**Michał Obel<sup>1</sup>, Adrian Kuś<sup>2</sup>, Małgorzata Szyplowska<sup>2</sup>, Adrianna Gorecka<sup>2</sup>, Michał Siwek<sup>3</sup>**

<sup>1)</sup> Studenckie Koło Naukowe przy Katedrze Endokrynologii Uniwersytetu Medycznego w Lublinie

<sup>2)</sup> Studenckie Koło Naukowe przy Katedrze i Zakładzie Epidemiologii Uniwersytetu Medycznego w Lublinie

<sup>3)</sup> Studenckie Koło Naukowe przy Zakładzie Psychologii Stosowanej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie

E-mail kontaktowy: michalobel3@gmail.com

### **1. Wstęp**

Guzy przysadki to rzadko występujące, zazwyczaj łagodne nowotwory, mogące wydzielać w sposób niekontrolowany hormony. Większość z nich to gruczolaki, które są najczęstszą przyczyną zaburzeń czynności układu podwzgórzowo-przysadkowego. Należą do nowotworów łagodnych i stanowią około 10-15% wszystkich guzów wewnątrzczaszkowych [Lake, Krook, Cruz, 2013]. Ze względu na wielkość, dzielimy je na makrogruczolaki ( $\geq 10$  mm) i mikrogruczolaki ( $< 10$  mm). Zaburzenia związane z obecnością mikrogruczolaków wiążą się z nadprodukcją określonych hormonów. Duże guzy, poza nadmierną sekrecją hormonów, mogą powodować efekt „masy” w postaci zaburzeń pola widzenia – w przypadku ucisku na skrzyżowanie nerwów wzrokowych czy bólów głowy spowodowanych wzrostem ciśnienia śródczaszkowego. Ponadto ucisk wywołany przez rosnącego guza na zdrowy miąższ przysadki może prowadzić do niedoborów wydzielania innych hormonów [Bolanowski, 2012]. Pomimo ich łagodnego charakteru, mogą naciekać przylegające zatoki jamiste i ich struktury. Cecha ta jest prognostyczna co do skuteczności całkowitej resekcji [Brue i Castinetti, 2016]. Guzy czynne hormonalnie to najczęściej gruczolaki wydzielające prolaktynę (prolaktynoma 40%) prowadzące do hipogonadyzmu hipogonadotropowego z towarzyszącym mlekotokiem. Drugie co do częstości są gruczolaki wydzielające hormon wzrostu (somatotropinoma 20%) dające objawy akromegalii, następnie kortykotropinę (kortykotropinoma 10%) wywołujące chorobę Cushinga. Niespełna 30% guzów wydziela hormony glikoproteinowe (FSH, LH, TSH) lub ich wolne podjednostki ( $\alpha$ SU,  $\beta$ FSH,  $\beta$ LH,  $\beta$ TSH), prowadząc do objawów niedoczynności przysadki, a w przypadku wydzielania TSH – nadczynności tarczycy. Około 25% wszystkich gruczolaków przysadki to guzy mieszane, wydzielające więcej niż jeden hormon – najczęściej hormon wzrostu i prolaktynę [Zgliczyński, 2018]. Guzy nieczynne hormonalnie (GHN) mogą cechować się ukrytą zdolnością do sekrecji różnych hormonów, wykazaną w badaniu immunohistochemicznym tkanki usuniętego guza [Bolanowski, 2012]. Etiopatogeneza gruczolaków przysadki pozostaje nieznana. Są to w większości guzy występujące sporadycznie. Mutacja genetyczna rzadko odpowiada za powstanie gruczolaka przysadki. Rodzinne występowanie dotyczy 4-5% spośród nich. Udowodniono związek pomiędzy gruczolakami przysadki a mutacjami

następujących genów: genu supresowego MEN 1, genu zależnego od cyklin inhibitora kinazy 1B, genu PRKR1A, AIP [Vandeva i in., 2010].

Choroba Cushinga jest najczęstszą przyczyną endogennej hiperkortyzolemii i odpowiada za 80% przypadków wszystkich postaci endogennego zespołu Cushinga. Ponad 80% guzów przysadki wydzielających ACTH to mikrogruczolaki. Częstość występowania w populacji szacuje się na 40/mln, a roczna zapadalność wynosi 1.2-2.4/mln [Nishioka i Yamada, 2019]. Szczyt zapadalności przypada na 3-4 dekadę życia i występuje 2-8 razy częściej u kobiet niż mężczyzn [Lonser, Nieman, Oldfiel, 2017]. W zależności od przyczyny hiperkortyzolemii, endogenny zespół Cushinga dzielimy na ACTH-zależny lub ACTH-niezależny. Do pierwszej grupy należą guzy przysadki wydzielające ACTH, zespół ektopowego wydzielania ACTH lub CRH. Do drugiej grupy należą: gruczolak kory nadnercza, rak kory nadnerczy, obustronny przerost wielkoguzkowy oraz przerost mikroguzkowy kory nadnerczy. Głównym zaburzeniem obserwowanym w chorobie Cushinga jest zwiększenie amplitudy, jak i częstotliwości pulsacyjnego wydzielania ACTH. Konsekwencją tego jest zniesienie rytmu dobowego ACTH i kortyzolu. Nieadekwatne do potrzeb, autonomiczne wydzielanie ACTH prowadzi do przerostu warstwy siatkowatej i pasmowatej kory nadnerczy oraz nadmiernej produkcji kortyzolu i androgenów nadnerczowych. Hiperkortyzolemia powoduje niedostateczną reaktywność hormonu wzrostu, TSH i gonadotropin na czynniki pobudzające [Sworczak, Siekierska-Hellmann, Obołończyk, 2012; Zgliczyński, Witek, Zdunowski, 2011].

Objawy choroby Cushinga zależą od bezpośredniego wpływu hiperkortyzolemii na organizm. Do najczęstszych należą:

- Otyłość centralna z postępującym przyrostem masy ciała. Odkładanie się tkanki tłuszczowej na twarzy, karku, w okolicy międzyłopatkowej oraz jamie brzusznej, co powoduje otyłość centralną, twarz księżycowatą i bawoli kark.
- Zanik mięśni proksymalnych (uda, ramiona, pośladki). Osłabienie i miopatia
- Szerokie, czerwonosine rozstępy
- Ścieńczenie skóry, powodujące charakterystyczne zaczerwienienie twarzy – plethora
- Nadciśnienie tętnicze
- Nietolerancja glukozy/cukrzyca
- Powikłania zakrzepowo – zatorowe
- Obniżenie gęstości mineralnej kości
- Wzrost częstości infekcji [ Buliman, Tataranu, Paun, Mirica, Dumitrache, 2016; Castinetti, Morange, Conte-Devolx, Brue, 2012; Sworczak i in., 2012; Zgliczyński i in., 2011]

Chorobę Cushinga rozpoznaje się na podstawie objawów klinicznych i wykładników laboratoryjnych hiperkortyzolemii, oraz potwierdzeniu obecności gruczolaka przysadki w badaniach obrazowych. Należy pamiętać, że niewidocznienie w rezonansie zmiany ogniskowej przysadki nie wyklucza jednak choroby Cushinga. Tylko u 60 % pacjentów udaje się rozpoznać w badaniu MRI mikrogruczolaki [Titros i Biller, 2019; Zgliczyński i in., 2011]. Podstawą leczenia choroby Cushinga jest chirurgiczne usunięcie guza przez zatokę klinową. U pacjentów z nasiloną hiperkortyzolemią wskazane jest przygotowanie farmakologiczne inhibitorem steroidogenezy nadnerczowej. W sytuacji, gdy guz jest niewidoczny zarówno

w rezonansie jak i śródoperacyjnie, a zachowanie płodności nie jest istotne dla chorego należy rozważyć subtotalną hipofizektomię lub hemihipofizektomię [Sworczak i in., 2012]. W przypadku niedoszczętej operacji albo nawrotu choroby wskazane jest ponowne leczenie operacyjne. W przypadku nieskuteczności wyżej wymienionego postępowania należy wdrożyć radioterapię (GammaKnife, CyberKnife) lub farmakoterapię. Wyjątkowo, w przypadku braku efektów leczenia można rozważyć wykonanie obustronnej adenalektomii. Metoda ta w 100% pozwala na opanowanie hiperkortyzolemii, ale wiąże się z dożywotnią suplementacją gluko- i mineralokortykosteroidów oraz ryzykiem rozwinięcia zespołu Nelsona [Sworczak i in., 2012; Zgliczyński i in., 2011].

## 2. Materiały i metody

Przeanalizowano dokumentację medyczną pacjenta obejmującą lata 2013-2019.

Analizie poddano: badanie podmiotowe i przedmiotowe, wyniki badań laboratoryjnych i obrazowych oraz historię leczenia.

## 3. Opis przypadku

Pacjent, lat 57, pierwotnie hospitalizowany w Białej Podlaskiej (10.04.2013) z powodu nagłego wystąpienia bólu i zawrotów głowy z towarzyszącymi nudnościami. W wykonanym badaniu CT uwidoczniono guz przysadki, który następnie został potwierdzony w badaniu MRI układu podwzgórzowo-przysadkowego. Stwierdzono nieregularnego kształtu masę patologiczną w obrębie siodła tureckiego o wymiarach 24x33x28mm. Zmiana izointensywna, otorebkowana, ulegająca miernemu, jednorodnemu wzmocnieniu kontrastowemu. Zasadnicza masa guza penetrowała i wypełniała zatokę klinową, uwypuklała przeponę siodła, lecz bez cech modelowania skrzyżowania nerwów wzrokowych. Zmiana znajdowała się w bezpośredniej styczności ze strukturami zatok jamistych. Masa guza obejmowała prawą tętnicę szyjną wewnętrzną z zachowaniem jej prawidłowej średnicy i drożności.

Pacjenta przekazano do Kliniki Endokrynologii SPSK4 w Lublinie (19.04.2013) celem dalszej diagnostyki i leczenia. W wykonanych badaniach laboratoryjnych stwierdzono prawidłową funkcję osi tyreotropowej, somatotropowej, gonadotropowej oraz prawidłowe stężenie prolaktyny. Uwagę zwracało natomiast podwyższone stężenie porannego ACTH, rytm kortyzolemii z relatywnie wysokim stężeniem kortyzolu w godzinach nocnych przy prawidłowym wydalaniu kortyzolu z moczem. Zanotowano brak hamowania 1mg Dexamethasonu (kortyzol 8,6 µg/dl). Wykonano test Liddle'a, w którym nie uzyskano hamowania po dwóch, natomiast uzyskano po czterech dobach stosowania Dexamethasonu. W oparciu o przeprowadzone badania stwierdzono ACTH-zależny zespół Cushinga. W badaniu fizykalnym stwierdzono odkładanie tkanki tłuszczowej na twarzy objaw „twarzy księżycowatej”, ścięczałą skórę z prześwitującymi naczyniami krwionośnymi (plethora). Ponadto u pacjenta obserwowano nadciśnienie tętnicze (prawidłowo kontrolowane) oraz hipercholesterolemię. Z uwagi na mieszczące się w granicach norm referencyjnych stężenie kortyzolu w rytmie dobowym i prawidłowe wydalanie wolnego kortyzolu z moczem dobowym, pomimo nieprawidłowości w teście hamowania Dexamethasonem, nie zdecydowano się na włączenie do leczenia inhibitora steroidogenezy jako przygotowania do zabiegu operacyjnego.

**Tabela 1.**

Rytm dobowy wydzielania kortyzolu				
Godzina	8:00		24:00	
Badanie	ACTH	Kortyzol	ACTH	Kortyzol
Wynik	104,10 pg/ml	16,00 µg/dl	72,30 pg/ml	9,60 µg/dl
Norma	7,20 - 63,60	4,30 - 22,40	7,20 - 63,60	3,09 - 16,66

**Tabela 2.**

Kortyzol w moczu ze zbiórki dobowej		
Oznaczenie I	Oznaczenie II	Norma
213,00 µg/dobę	243,10 µg/dobę	55,50 – 286,00

Zabieg resekcji guza z dostępu przez zatokę klinową wykonano 19.07.2013 roku w Klinice Neurochirurgii WIM w Warszawie. Po zabiegu włączono substytucję hydrocortisonem w dawce 30mg na dobę. W badaniu histopatologicznym potwierdzono rozpoznanie gruczolaka adrenokortykotropowego, z odczynem immunohistochemicznym: GH(-), PRL(-), ACTH(+), TSH(-), FSH(-), LH(-), podj. Alfa(-), MIB1 < 3%, KI67 > 5%, w mikroskopie elektronowym ultrastrukturalne cechy skąpoziarnistego kortykotropowego gruczolaka przysadki. Guz usunięto niedoszczętnie.

Po dwóch miesiącach, oceniono funkcję hormonalną przysadki, po odstawieniu terapii substytucyjnej hydrocortisonem, nie stwierdzono nieprawidłowości. W związku z tym zrezygnowano z leczenia substytucyjnego. Zalecono ocenę poziomu hormonów.

Kontrolne badania hormonalne oceniające funkcję układu podwzgórzowo-przysadkowego (2014 i 2015) znajdowały się z w zakresie norm referencyjnych. Pacjent czuł się dobrze, nie zgłaszał dolegliwości bólowych głowy ani zaburzeń pola widzenia. W kontrolnych badaniach MRI głowy opisano część lewobocznej zatoki klinowej z obecnością komponenty płynowej - zmiany związane z przebyłym zabiegiem. W prawej części zatoki klinowej uwidoczniono obszar tkankowy wzmacniający się po podaniu maramagnetyku, o morfologii jak pierwotny guz- resztkowa masa gruczolaka. Badanie MRI z grudnia 2015r. ujawniło progresję resztkowej masy guza 18x17x17mm.

Podczas hospitalizacji (czerwiec 2016) rozpoznano nawrót subklinicznego ACTH-zależnego zespołu Cushinga. W wykonanych badaniach stwierdzono nieprawidłowy rytm kortyzolemii oraz ACTH, a także brak hamowania 2mg i prawidłowe hamowanie 8mg Dexamethasonu. W badaniu obrazowym MRI głowy opisano progresję rozmiarów resztkowego guza do wymiarów 21x21x23mm. Guz znajdował się w bezpośrednim sąsiedztwie t. szyjnej wewnętrznej prawej obejmując ponad 50% jej obwodu, przy czym światło tętnicy było zachowane, drożne. Pacjent nie zgłaszał żadnych dolegliwości. Dodatkowo był konsultowany pod względem możliwości leczenia metodą GammaKnife, jednak ze względu na lokalizację zmiany został zdyskwalifikowany z powyższego leczenia.

**Tabela 3.**

Rytm dobowy wydalania kortyzolu				
Godzina	8:00		24:00	
Badanie	ACTH	Kortyzol	ACTH	Kortyzol
Wynik	108,50 pg/ml	15,10 µg/dl	111,10 pg/ml	11,10 µg/dl
Norma	7,20 - 63,60	4,30 - 22,40	7,20 - 63,60	3,09 - 16,66

**Tabela 4.**

Kortyzol w moczu ze zbiórki dobowej		
Oznaczenie I	Oznaczenie II	Norma
262,00 µg/dobę	257,40 µg/dobę	55,50 – 286,00

W styczniu 2018 pacjenta hospitalizowano w Klinice Endokrynologii, z powodu nasilających się dolegliwości bólowych głowy. Badaniem fizykalnym stwierdzono objawy nadciśnienia tętniczego (RR:165/110, 150/100, 150/95 mmHg). Zmodyfikowano terapię hipotensyjną, z dobrym efektem włączono preparat lerkanidypiny. W badaniu MRI opisano progresję wymiarów guza (25x23x26mm). Zalecono konsultację w Poradni Neurochirurgicznej. W wyniku której pacjenta zakwalifikowano do leczenia operacyjnego.

Wykonano przezklinową adenomektomię. Guz usunięto niedoszczętnie. W badaniu MRI wykonanym 3 miesiące po zabiegu stwierdzono zmianę o wymiarach 31x29x25mm. Ponadto u pacjenta pojawiły się dolegliwości bólowe oraz osłabienie siły mięśniowej kończyn dolnych. Powiększenie obwodu brzucha oraz wzmożona męczliwość.

W wykonanych badaniach potwierdzono aktywność gruczolaka przysadki w zakresie osi adrenokorykotropowej. Stwierdzono wtórną do hiperkortyzolemii dyslipidemię, nieprawidłową glikemię na czczo, oraz nadciśnienie. Zdecydowano o włączeniu leczenia inhibitorem steroidogenezy nadnerczowej. Z uwagi na fakt niedostępności ketokonazolu, zastosowano leczenie flukonazolem 100mg w protokole „label off” dwa razy na dobę.

**Tabela 5.**

Rytm dobowy wydzielenia kortyzolu				
Godzina	8:00		24:00	
Badanie	ACTH	Kortyzol	ACTH	Kortyzol
Wynik	204,40 pg/ml	18,20 µg/dl	191,10 pg/ml	18,80 µg/dl
Norma	7,20 - 63,60	4,30 - 22,40	7,20 - 63,60	3,09 - 16,66

**Tabela 6.**

Kortyzol w moczu ze zbiórki dobowej		
Oznaczenie I	Oznaczenie II	Norma
751,80 µg/dobę	439,20 µg/dobę	55,50 – 286,00

Po upływie miesiąca dokonano oceny skuteczności leczenia flukonazolem, wykazując nieznaczne zmniejszenie stężenia kortyzolu w dobowych zbiórkach moczu w stosunku do wartości wyjściowych. Jednocześnie stwierdzono utrzymujący się sztywny rytm dobowy wydzielenia kortyzolu z jego wysokimi stężeniami w godzinach nocnych. Jednocześnie nie wykazano niepożądanych działań. Wobec tego zwiększono dawkę do 400mg/d – z dobrą

tolerancją. Oceniono funkcję wydzielniczą przysadki w zakresie osi tyreo-, gonado-, somatotropowej nie wykazując nieprawidłowości. Wobec dyskwalifikacji z ponownego leczenia operacyjnego podjęto decyzję o skierowaniu Pacjenta na radioterapię stereotaktyczną metodą CyberKnife. Zabieg wykonano 06.05.2019r. w Zakładzie Radioterapii w Instytucie Onkologii w Gliwicach, dodatkowo kontynuowano terapię flukonazolem.

W trakcie kolejnej hospitalizacji (sierpień 2019) oceniono funkcję wydzielniczą przysadki, nie stwierdzając nieprawidłowości w zakresie osi somato- oraz gonadotropowej, stężenie PRL w normie. W osi kortykotropowej stwierdzono nadal utrzymywanie się podwyższonego stężenia ACTH, jednak w porównaniu z wynikami z poprzedniej hospitalizacji odnotowano znaczący spadek. Obserwowano sztywny rytm wydzielania kortyzolu z niskimi stężeniami w godzinach porannych.

Po upływie miesiąca, Pacjent zgłaszał objawy w postaci postępującego osłabienia, zawrotów głowy oraz braku apetytu. Z uwagi na obniżony poziom kortyzolu, przy jego niskim wydalaniu, wdrożono Hydrocortison w dawce dobowej 10 mg, a następnie w obliczu wtórej niedoczynności tarczycy preparat L-tyroksyny.

**Tabela 7.**

Rytm dobowy wydzielania kortyzolu				
Godzina	8:00		24:00	
Badanie	ACTH	Kortyzol	ACTH	Kortyzol
Wynik	71,89 pg/ml	7,50 µg/dl	56,49 pg/ml	3,20 µg/dl
Norma	7,20 - 63,60	4,30 - 22,40	7,20 - 63,60	3,09 - 16,66

**Tabela 8.**

Kortyzol w moczu ze zbiórki dobowej		
Oznaczenie I	Oznaczenie II	Norma
69,60 µg/dobę	74,40 µg/dobę	55,50 – 286,00

**Tabela 9.**

Badanie	Wynik	Norma
Tyreotropina (TSH)	0,725 mIU/L	0,55 – 4,78
Wolna trijodotyronina (FT3)	3,60 pg/ml	2,30 – 4,20
Wolna tyroksyna (FT4)	0,74 ng/dl	0,89 – 1,76

#### 4. Dyskusja

Rozpoznanie choroby Cushinga jest trudne i złożone. Nie zawsze objawy kliniczne są charakterystyczne; dodatkowo nie ma optymalnego, jednego badania, które cechowałoby się odpowiednią czułością i swoistością do rozpoznania pochodzenia hiperkortyzolemii [Castinetti i in., 2012]. W pierwszej kolejności należy wykluczyć egzogenne pochodzenie hiperkortyzolemii, które daje takie same objawy kliniczne jak choroba Cushinga i uniemożliwia przeprowadzenie badań przesiewowych [Hopkins i Leinung, 2005].

Testy przesiewowe stosuje się w celu rozpoznania hiperkortyzolemii, potwierdzenia utraty dobowego rytmu wydzielania ACTH i kortyzolu oraz zaburzeń sprzężeń zwrotnych w osi podwzgórze-przysadka [Buliman i in., 2016]. Przyjęte wytyczne w diagnozowaniu choroby Cushinga do wykrywania hiperkortyzolemii zalecają wykonanie co najmniej dwóch

wybranych badań przesiewowych [Lonser i in., 2017]. Testy należy przeprowadzać w warunkach bezstresowych oraz po odstawieniu leków - takich jak witamina D3, estrogeny i androgeny, które mogłyby zaburzać wyniki. Wydzielanie kortyzolu jest zmienne i zależne od pulsacyjnego wydzielania ACTH. Najwyższe stężenie kortyzolu obserwuje się w godzinach porannych, natomiast najniższa wartość jest o północy. Wedle niektórych autorów wynosi ona mniej 100 nmol/L [Buliman i in., 2016]. Inne źródła podają, że najniższa wartość powinna być mniejsza niż 50 nmol/l [Castinetti i in., 2012]. U pacjentów z chorobą Cushinga rytm dobowy zanika. A stężenie kortyzolu przekraczające 200 nmol/l o północy pozwala z dużą pewnością rozpoznać chorobę. Jednak nie różnicuje ACTH- zależnego od ACTH-niezależnego zespołu Cushinga. Stężenie wolnego kortyzolu w dobowej zbiorce moczu przekraczające 3-4 krotnie górną granicę normy z dużym prawdopodobieństwem wskazuje na zespół Cushinga [Cieszyński, Berendt-Obołończyk, Szulc, Sworczak, 2016]. Jednak u 8-15% pacjentów wartości te mogą być prawidłowe [Castinetti i in., 2012]. Poziom kortyzolu w surowicy o północy po przebudzeniu większy niż 7,5 µg/dl jest charakterystyczny w hiperkortyzolemii. Natomiast stężenie w ślinie powyżej 0,2 ng/ml w dwóch niezależnych pomiarach jest w 95% swoiste i czułe w rozpoznaniu zespołu Cushinga [Castinetti i in. 2012]. Oznaczenie stężenia kortyzolu w ślinie jest pomiarem frakcji wolnej kortyzolu, w związku z tym rzadziej daje wyniki fałszywie dodatnie. Ponadto jest metodą nieinwazyjną, wszystkie powyższe cechy sprawiają, że oznaczanie kortyzolu w ślinie jest najlepszym testem przesiewowym w kierunku zespołu Cushinga. Jednak w Polsce badanie to nie jest powszechnie dostępne [Cieszyński i in. 2016]. Wartościowym badaniem przesiewowym służącym do wykrycia hiperkortyzolemii jest test hamowania 1mg deksametazonu. Zmniejszenie poziomu kortyzolu poniżej 1,8 ug/dl (50 nmol/l) wyklucza rozpoznanie zespołu Cushinga. Do niedawna wartość progowa była wyższa – 5 ug/dl jednak zmniejszenie tej wartości zdecydowanie zwiększyło czułość testu, którą ocenia się na 98% , ale przy stosunkowo niskiej swoistości 88%. Badania przeprowadzone w Holandii pokazały że najwyższą czułość (100%) i swoistość (94%) uzyskuje się przyjmując wartość odcięcia na 3,4 ug/dl [Karczewska-Kupczewska, Myśliwiec, Górską, 2006]. Badaniem różnicującym etiologię hiperkortyzolemii jest oznaczenie kortykotropiny (ACTH) w osoczu. W związku z rytmem dobowym wydzielania ACTH, najwyższe jego stężenie powinno być w godzinach porannych (8-9). W przypadku niskiego stężenia ACTH (<10 pg/ml) rozpoznaje się niezależny od ACTH zespół Cushinga, natomiast gdy stężenie ACTH jest powyżej 20 pg/ml należy rozpoznać zespół Cushinga zależny od ACTH. Kolejnym etapem jest wykonanie klasycznego testu hamowania kortyzolu według Liddle'a 2 i 8 mg deksametazonu. Test ten pozwala na różnicowanie ACTH zależnego zespołu Cushinga w przebiegu gruczolaka przysadki od ektopowych guzów produkujących ACTH czy CRH. Ektopowe wydzielanie ACTH stanowi 10-15 %. Zmniejszenie wydalania kortyzolu z moczem lub stężenia kortyzolu w surowicy do wartości mniejszej niż 50% wartości wyjściowej wskazuje na chorobę Cushinga [Karczewska i in., 2006; Zgliczyński i in., 2011; Sworczak i in., 2012]

W przypadku stwierdzenia ACTH-zależnego zespołu Cushinga należy wykonać rezonans magnetyczny z użyciem gadolinu jako środka kontrastowego. Tylko u 60 % pacjentów udaje się rozpoznać w badaniu MRI mikrogruczolaki poniżej 10mm, które stanowią 90% przypadków [Tritos i Biller, 2019]. U naszego pacjenta objawy hiperkortyzolemii były słabo zaznaczone, natomiast dominowały objawy neurologiczne (ból,



zawroty głowy, nudności i wymioty). W związku z tym chory w pierwszej kolejności miał wykonane CT a następnie MRI głowy, w którym potwierdzono obecność guza okolicy podwzgórzowo-przysadkowej. Dopiero w następnej kolejności przeprowadzono diagnostykę hormonalną, która ujawniła subkliniczny ACTH-zależny zespół Cushinga.

Leczeniem z wyboru jest operacja przezklinowego usunięcia guza kortykotropowego (adenomektomia), z zachowaniem prawidłowej funkcji przysadki w zakresie pozostałych osi tropowych [Witek, Zieliński, Szamotulska, Maksymowicz, Kamiński, 2016]. Powodzenie leczenia chirurgicznego ocenia się na podstawie oznaczenia stężenia porannego kortyzolu we krwi. W pierwszej lub drugiej dobie powinno być mniejsze niż 1,8 ug/dL (50nmol/l) [Juszczak i Grossman 2014; Witek i in., 2016]. Inni autorzy uważają, że za remisję biochemiczną odpowiada stężenie kortyzolu poniżej 5 ug/dL oceniane w okresie 6-12 tygodni po zabiegu operacyjnym [Buliman i in. 2016]. O chorobie przetrwałej mówi się wówczas, gdy stężenie kortyzolu w surowicy przekracza 300 nmol/l. Odsetek remisji w przypadku mikrogruczolaków wynosi 65-90% a w przypadku makrogruczolaków tylko 35-60%. Do nawrotu dochodzi najczęściej w pierwszych 2 latach od operacji [Juszczak i Grossman, 2014]. Tak było w przypadku naszego pacjenta. Po dwóch latach obserwowano nawrót hiperkortyzolemii oraz stałą progresję wymiarów masy resztkowej guza w MRI.

W uzyskanym wyniku badania histopatologicznego stwierdzono skąpoziarnistego kortykotropowego gruczolaka przysadki z indeksem Ki67 powyżej 5 %. Guzy skąpoziarniste mają mniejszą aktywność wydzielniczą, natomiast większe tempo wzrostu i zwykle są rozpoznawane jako makrogruczolaki i rzadziej wiążą się z remisją choroby Cushinga w porównaniu do guzów bogatoziarnistych [Maksymowicz i Olszewski, 2010; Witek i in. 2016]. Ponadto niektórzy autorzy wykazali istotną zależność pomiędzy wzrostem objętości gruczolaka kortykotropowego i wyższą kategorią ekspresji antygenu Ki67% [Witek i in. 2016].

U naszego pacjenta, po dwóch latach obserwowano nawrót subklinicznego zespołu Cushinga. Stopniowe narastanie objawów hiperkortyzolemii oraz objawów neurologicznych. W związku z tym chorego zakwalifikowano do powtórnej operacji (2018r.). Jednak nie uzyskano remisji, a wręcz bardzo szybką progresję rozmiarów guza oraz nasilenie się objawów klinicznych i biochemicznych hiperkortyzolemii.

W przypadku nieskuteczności leczenia operacyjnego, terapią drugiego rzutu jest radioterapia. Aktualnie stosuje się radioterapię stereotaktyczną frakcjonowaną lub stereotaktyczną radiochirurgię (GammaKnife, CyberKnife) [Buliman i in., 2016]. Choć za pomocą radioterapii można uzyskać skuteczną kontrolę hiperkortyzolemii, to często pierwsze zmiany świadczące o jej skuteczności pojawiają się ze znacznym opóźnieniem. W związku z tym, w międzyczasie konieczne jest stosowanie farmakoterapii [Juszczak i Grossman, 2014]. Ze względu na lokalizację guza chory został zdyskwalifikowany z leczenia metodą GammaKnife, natomiast zdecydowano o możliwości leczenia metodą CyberKnife. W przygotowaniu do zabiegu włączono inhibitor steroidogenezy i kontynuowano jego podawanie w oczekiwaniu na efekty radioterapii. Ze względu na trudności z uzyskaniem ketokonazolu, zdecydowano się na podanie flukonazolu po uzyskaniu zgody pacjenta na zastosowanie leku na zasadzie „off label”. Ketokonazol jest lekiem pierwszego wyboru w leczeniu hiperkortyzolemii w przebiegu choroby Cushinga, jednak w przypadku trudności z dostępnością alternatywną opcją jest zastosowanie flukonazolu. Dostępne piśmiennictwo

podkreśla mniejszą efektywność tego leczenia w stosunku do ketokonazolu [Burns, Christie-David, Gunton, 2016]. W naszym przypadku obserwowaliśmy niewielkie obniżenie się wykładników biochemicznych hiperkortyzolemii. W wyniku zastosowania radiochirurgii opisuje się uzyskanie kontroli biochemicznej w chorobie Cushinga u 42-54% pacjentów w ciągu 45-55 miesięcy od zastosowania tej metody, przy czym początek remisji opisywany jest po 13-22 miesiącach [Juszczak i Grossman, 2014]. W przypadku pacjenta leczonego w Klinice Endokrynologii obserwowano wcześniejsze efekty radioterapii, już po 5 miesiącach rozpoznano niedoczynność w osi adrenokortykotropowej co związane było z włączeniem substytucji hydrokortyzonem. Ponadto stwierdzono również niedoczynność w osi tyreotropowej, w związku z czym do leczenia substytucyjnego włączono L-tyroksynę.

Nawet pacjenci z wyleczoną chorobą Cushinga wymagają dożywotniej obserwacji gdyż nawet po wielu latach możliwy jest nawrót choroby. Zaleca się coroczne badania kontrolne [Juszczak i Grossman, 2014]. Opisany powyżej chory pozostaje pod stałą opieką Poradni Endokrynologicznej.

## 5. Wnioski

1. Choroba Cushinga powinna być diagnozowana i leczona w specjalistycznym ośrodku endokrynologicznym, a powodzenie terapii zależy od wielodyscyplinarnego zespołu lekarzy złożonego z endokrynologa, neurochirurga i neuroradiologa.
2. Około 50% nieleczonych chorych umiera w ciągu 5 lat trwania choroby z powodu powikłań hiperkortyzolemii.
3. Leczenie chirurgiczne jest skuteczne w przypadku mikrogruczolaków, natomiast w przypadku makrogruczolaków może okazać się nieskuteczne przy dużej inwazyjności guza.
4. W przypadku nieskuteczności kolejnych operacji, należy zastosować leczenie radioterapią lub farmakoterapią.

## Bibliografia:

1. Bolanowski M. Guzy przysadki (2012) W: A. Milewicz (red.) Endokrynologia Kliniczna tom 2. Praca zbiorowa (s. 148-150) Wrocław: PTE.
2. Brue T., Castinetti F. (2016) The risks of overlooking the diagnosis of secreting pituitary adenomas. *J. Rare Dis.* 2016; 11: 135. doi: 10.1186/s13023-016-0516-x.
3. Buliman A., Tataranu LG., Paun DL., Mirica A., Dumitrache C. (2016). Cushing's disease: a multidisciplinary overview of the clinical features, diagnosis, and treatment. *J. Med. Life* Jan-Mar; 9(1): 12-18.
4. Burns K., Christie-David D., Gunton J. (2016) Fluconazole in the treatment of Cushing's disease *Endocrinol Diabetes Metab* 2016; 150115 doi: 10.1530/EDM-15-0115.
5. Castinetti F., Morange I., Conte-Devolx B., Brue T. (2012). Cushing's disease *Orphanet J. Rare Dis.* 2012; 7:41 Online 2012 Jun 18 doi: 10.1186/1750-1172-7-41.
6. Cieszyński Ł., Berendt-Obołończyk M., Szulc M., Sworczak K. (2016) Zespół Cushinga w przebiegu ektopowego wydzielania ACTH W: *Endokrynologia Polska* nr.4 tom 67 (s. 465-471). WM Media doi: 10.1530/EDM-15-0115.
7. Hopkins RL, Leinung MC. (2005) Exogenous Cushing's syndrome and glucocorticoid withdrawal. *Endocrinol Metab Clin North Am.* 34:371–384. IX.

8. Juszcak A., Grossman A. (2014) Postępowanie w chorobie Cushinga – od testu diagnostycznego do leczenia. *Endokrynologia Polska* Tom 65 zeszyt edukacyjny I s. 2-12
9. Karczewska-Kupczewska M., Myśliwiec J., Górka M. (2006) Aktualne poglądy na diagnostykę zespołu Cushinga. *Endokrynologia Polska*. Tom 57 Numer 5 (s.546-558) WM Media.
10. Lake M., Krook L., Cruz S. (2013) Pituitary Adenomas: An Overview. *Am Fam Physician* 2013 Sep 1;88(5): 319-327.
11. Lonser RR., Nieman L., Oldfield E. (2017) Cushing's disease: pathobiology, diagnosis, and management. *JNS Journal of Neurosurgery* Volume 126 Issue 2 online 2017: <https://doi.org/10.3171/2016.1.JNS152119>.
12. Maksymowicz M., Olszewski W. (2010) Przydatność mikroskopii elektronowej w diagnostyce gruczolaków przysadki. *Folia Medica Lodziensia* 37/1: 151-173
13. Nishioka H., Yamada S. (2019) Cushing's Disease. *J Clinic Med*. 2019 Nov;8(11):1951 doi: 10.3390/jcm8111951.
14. Sworczak K., Siekierska-Hellmann M., Obołończyk Ł. Kortykotropinoma-ACTH – zależny zespół Cushinga (2012) W: A. Milewicz (red.) *Endokrynologia Kliniczna* tom 2. Praca zbiorowa (s.163-167). Wrocław: PTE.
15. Tritos N.A., Biller B.M.K. (2019) Current management of Cushing's disease *JIM* Volume 286, Issue 5 s.526-541.
16. Vandeva S., Jaffrain-Rea M., Daly A., Tichomirowa M., Zacharieva S., Beckers A. (2010) The Genetics of Pituitary Adenomas. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 2010 Jun;24(3): s.461-476.
17. Witek P., Zieliński G., Szamotulska K., Maksymowicz M., Kamiński G. (2016). Clinicopathological predictive factors in early remission of corticotroph pituitary macroadenomas in a tertiary referral centre. *European Journal of Endocrinology* 174:4, s 539-549.
18. Zgliczyński W. (2018) Guzy przysadki. W: *Interna Szczeklika*. Praca zbiorowa (s. 1278-1288) Kraków: Medycyna Polska.
19. Zgliczyński W., Witek P., Zdunowski P. (2011). Guzy przysadki W: W. Zgliczyński (red.), *Endokrynologia część 1 Wielka Interna*. Praca zbiorowa (s. 65-91) Warszawa 2011 Medical Tribune.

## 13. METODY GENETYCZNE DIAGNOSTYKI INFEKCJI WIRUSEM SARS-COV-2

### **Bogusław Tymoniuk**

Klinika Immunologii i Alergii Uniwersytetu Medycznego w Łodzi

ul. Pomorska 251, 92-213 Łódź

E-mail: boguslaw.tymoniuk@umed.lodz.pl

### **Agnieszka Łaska-Jesionowska**

Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii

Katedra Chemii Organicznej, 91-403 Łódź, ul. Tamka 12

E-mail: agnieszka.laska@chemia.uni.lodz.pl

### **Nicola Kubik**

51-114 Wrocław, ul. Obornicka 111/2a

E-mail: nicola1230@wp.pl

### **1. Wstęp**

Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) zakażenia dróg oddechowych stanowią drugą, co do częstości występowania przyczyną zgonów u dzieci do 5 roku życia (Murray C.J., 2011). Roczna śmiertelność z powodu grypy wyłącznie z przyczyn oddechowych wynosi od 290 000 do 650 000 zgonów (Paget et al., 2019). Przypadki ciężkich zakażeń występują najczęściej u osób z grup wysokiego ryzyka bez względu na wiek, dzieci do 24 miesiąca, a także osoby starsze. Ponadto osłabiony zakażeniem wirusowym organizm staje się podatny na inwazję innymi patogenami, co może prowadzić do różnego rodzaju zakażeń wtórnych (Ilona Stefańska, 2012). Wirusy wywołujące zakażenia układu oddechowego są jedną z najczęstszych przyczyn zachorowań u ludzi. Do najważniejszych i najbardziej rozpowszechnionych należą m.in. wirus grypy A i B (IV-A, -B), wirus RS typu A i B (RSV-A, -B), wirus paragrypy 1, 2, 3 i 4 (PIV-1, -2, -3, -4), metapneumowirusy (hMPV), adenowirusy (hAdV), koronawirusy (hCoV), rinowirusy (hRV), enterowirusy (EV) oraz bokawirus (hBoV) (Ilona Stefańska, 2012). Poważnym zagrożeniem dla zdrowia i życia człowieka są różnego rodzaju powikłania wynikające nie tylko z działania samego wirusa, lecz mogące powstawać na skutek reakcji układu immunologicznego gospodarza oraz zakażeń wtórnych. Do najczęstszych powikłań należą: zapalenie płuc i oskrzeli (w tym wywołane wtórnymi zakażeniami wirusowymi bądź bakteryjnymi np. przez *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*, *Mycoplasma pneumoniae*, *Legionella* sp.), zwłóknienie płuc, zapalenie oskrzelików płucnych u niemowląt i u dzieci, zapalenie mięśnia serca i osierdzia, odrzuty przeszczepów, zapalenie ucha środkowego, zapalenie mięśni, a także powikłania ze strony układu nerwowego i moczowego itp. (Jones, 1976) (Kearney, Cotton, Richardson, & Shah, 2001). W ostatnim kwartale 2019 roku wykryto pierwsze przypadki infekcji wirusem SARS-CoV-2 u ludzi, wirusy te charakteryzuje duża chorobotwórczość oraz łatwa transmisja, dzięki czemu mogą szybko rozprzestrzeniać się, zwłaszcza w miejscach o znacznym zagęszczeniu ludzi, takich jak środki lokomocji, urzędy,

szkoły czy przedszkola. Istotnym i odróżniającym SARS-CoV-2 od wirusa grypy jest fakt, że pamięć immunologiczna pojawiająca się podczas infekcji nie zabezpiecza organizm przed reinfekcją w tym samym sezonie. Wirusy RNA charakteryzują się wysokim wskaźnikiem mutacji. Zdolność mutagenna wirusa zależy od kilku czynników, w tym od enzymów wirusowych replikujących kwasy nukleinowe, jako polimerazy RNA zależnej od RNA SARS-CoV-2 (RdRp). Współczynnik mutacji napędza ewolucję wirusów i zmienność genomu, umożliwiając wirusom ucieczkę od mechanizmów odporności gospodarza i rozwój oporności na leki (Pachetti et al., 2020).

SARS-CoV-2 nosił nazwę 2019-nCoV, jednak ze względu na związki taksonomiczne i genomowe z gatunkiem wprowadzono obecną nazwę (Gorbalenya et al., 2020). Wybuch ostrej choroby układu oddechowego związanego z koronawirusem jest nazwany przez WHO chorobą koronawirusa 19 (COVID-19). Od czasu epidemii COVID-19 ponad 332 930 osób ze 147 krajów i terytoriów zostało uznanych za chorych, a ponad 14 510 zmarło z powodu szybko rozprzestrzeniającego się wirusa SARS-CoV-2 od 23 marca 2020 r. (WHO, 2020a). Koronawirusy (CoV) to rodzina otoczonych wirusami RNA o dodatniej nici infekujących kręgowce, nazwanych od koronopodobnych kolców na ich powierzchni. Koronawirus (CoV) należy do rodziny Coronaviridae i rzędu Nidovirales. Koronawirus jest szeroko rozpowszechniony u ludzi, innych ssaków i ptaków i może powodować choroby układu oddechowego, jelit, wątroby i układu nerwowego. Ludzkie koronawirusy (HCoV) zidentyfikowano po raz pierwszy w połowie lat 60. XX wieku. Siedem powszechnych HCoV to CoV-229E (alfa koronawirus), CoV-NL63 (alfa koronawirus), CoV-OC43 (beta koronawirus), CoV-HKU1 (beta koronawirus), koronawirus zespołu ostrej niewydolności oddechowej (SARS-CoV), układu oddechowego na Bliskim Wschodzie (MERS-CoV) i aktualny SARS-CoV-2. CoV-229E i CoV-OC43 są przyczyną przeziębienia u dorosłych w połowie lat 60 XX wieku. Objawy chorobowe związane z CoV-HKU1 i CoV-NL63 obejmują przeziębienie i przewlekłe zapalenie płuc. Coronavirus-HKU1 zgłaszano głównie u dzieci w Stanach Zjednoczonych, ale rzadziej u dorosłych. Trzy wysoce patogenne koronawirusy, SARS-CoV, MERS-CoV i SARS-CoV-2, które pojawiły się odpowiednio w 2002, 2012 i 2019 r., Spowodowały ciężką chorobę układu oddechowego i tysiące zgonów na całym świecie (J. Chen, 2020). Genom SARS-CoV-2 składa się z sekwencji nukleotydów otwartej ramki odczytu ORF1ab do replikacji RNA oraz genów dla białek niestrukturalnych (nps) i białek strukturalnych. Genomowa sekwencja startowa o wielkości około 265 pz jest unikalną cechą replikacji koronawirusa i odgrywa kluczową rolę w ekspresji genów koronawirusa podczas jego nieciągłej replikacji subgenomowej (T. Li et al., 2005). ORF1ab koduje poliproteiny replikazy wymagane do replikacji i transkrypcji wirusowego RNA (Y. Chen, Liu, & Guo, 2020). Ekspresja C-proksymalnej części ORF1ab wymaga (-1) rybosomalnego przesunięcia ramki. Pierwszym niestrukturalnym białkiem (nsp) kodowanym przez ORF1ab jest proteinaza podobna do papainy (proteinaza PL, nsp3). Nsp3 jest niezbędnym i największym składnikiem kompleksu replikacji i transkrypcji. Proteaza PL w nsp3 rozszczepia nsp3 1-3 i blokuje wrodzoną odpowiedź immunologiczną, promując ekspresję cytokin (Serrano et al., 2009) (Lei, Kusov, & Hilgenfeld, 2018). Nsp4 kodowany w ORF1ab jest odpowiedzialny za tworzenie pęcherzyków z podwójną błoną (DMV). Innymi nsp są proteaza 3CLPro (3-chymotrypsyna-likeproteinaza, 3CLpro) i nsp6. Proteaza 3CLPro jest niezbędna do replikacji RNA. Proteaza 3CLPro jest odpowiedzialna za przetwarzanie

C-końca nsp4 do nsp16 we wszystkich koronawirusach (Anand, Ziebuhr, Wadhwani, Mesters, & Hilgenfeld, 2003). Dlatego zachowana struktura i miejsca katalityczne 3CLpro mogą służyć jako atrakcyjne cele dla leków przeciwwirusowych (Kim et al., 2012). Razem nsp3, nsp4 i nsp6 mogą indukować DMV (Angelini, Akhlaghpour, Neuman, & Buchmeier, 2013).

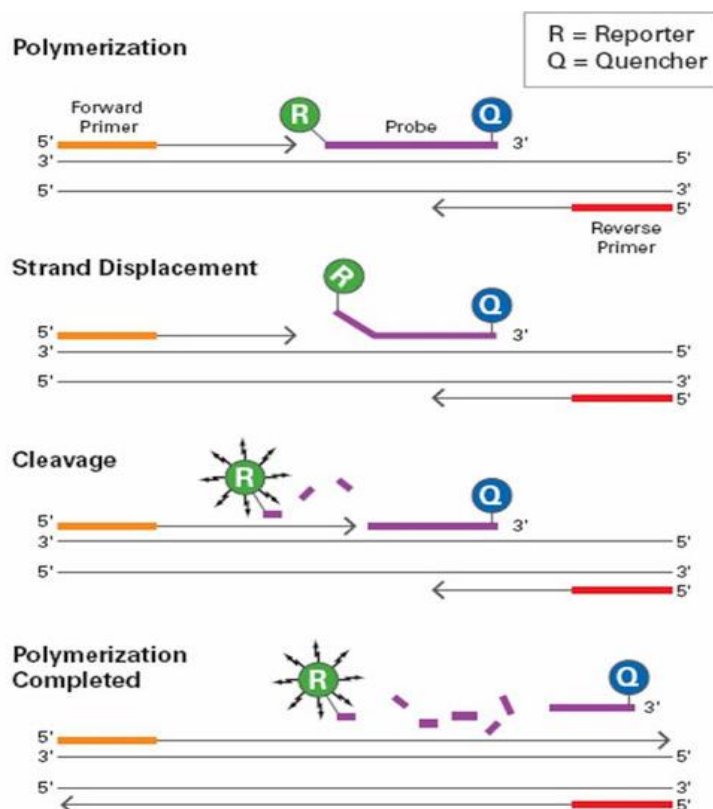
Replikacja RNA koronawirusa SARS jest unikalna i obejmuje dwie zależne od RNA polimerazy RNA (RNA pol). Pierwsza polimeraza RNA jest zależnym od startera niestrukturalnym białkiem 12 (nsp12), a druga polimeraza RNA to nsp8. W przeciwieństwie do nsp12, nsp8 ma zdolność primazy do inicjacji replikacji de novo bez starterów (te Velthuis, van den Worm, & Snijder, 2011). Nsp7 i nsp8 są ważne w replikacji i transkrypcji SARS-CoV-2. Kompleks koronawirusa SARS nsp7 i nsp8 jest multimeryczną polimerazą RNA zarówno do inicjacji de novo, jak i wydłużania startera (Prentice, McAuliffe, Lu, Subbarao, & Denison, 2004) (te Velthuis et al., 2011) Nsp8 oddziałuje również z białkiem pomocniczym ORF6. Białko replikazy Nsp9 koronawirusa SARS wiąże RNA i oddziałuje z nsp8 w zakresie jego funkcji (Sutton et al., 2004). Ponadto genom SARS-CoV-2 koduje cztery białka strukturalne. Białka strukturalne wykazują znacznie wyższą immunogenność dla odpowiedzi komórek T niż białka niestrukturalne (C. K. Li et al., 2008). Białka strukturalne biorą udział w różnych procesach wirusowych, w tym w tworzeniu cząstek wirusa. Białka strukturalne obejmują kolec (S), otoczkę (E), białko błonowe (M) i nukleoproteinę (N), które są wspólne dla wszystkich koronawirusów (Marra et al., 2003) (Ruan et al., 2003). Białko S jest glikoproteiną, która ma dwie domeny S1 i S2. Białko szczytowe S1 przyłącza wirion do błony komórkowej poprzez interakcję z receptorem gospodarza ACE2, inicjując infekcję (Wong, Li, Moore, Choe, & Farzan, 2004). Po internalizacji wirusa do endosomów komórek gospodarza glikoproteina S jest indukowana przez zmiany konformacji. Białko S jest następnie cięte przez katepsynę CTSL i demaskuje peptyd fuzyjny S2, dlatego aktywuje fuzję błon wewnątrz endosomów. Domena białka S2 pośredniczy w fuzji wirionu i błon komórkowych, działając jako wirusowe białko fuzyjne klasy I. W szczególności glikoproteina S2 koronawirusa SARS-CoV-2 zawiera miejsce cięcia podobne do furiny (Coutard et al., 2020). Miejsce rozpoznawania furiny jest ważne dla rozpoznania przez pirolizę, a zatem przyczynia się do zoonotycznej infekcji wirusem. Białko otoczki (E) oddziałuje z białkiem błonowym M w cytoplazmie komórki gospodarza. Białko M ma dominującą immunogenność komórkową (Liu et al., 2010). Nukleoproteina (ORF9a) pakuje wirusowy genom RNA o dodatniej nici do helikalnego rybonukleokapsydu (RNP) podczas tworzenia wirionu poprzez jego interakcje z genomem wirusowym i białkiem błonowym M (He et al., 2004). Nukleoproteina odgrywa ważną rolę w zwiększaniu wydajności subgenomowej transkrypcji wirusowego RNA, a także replikacji wirusa. Rosnące dowody epidemiologiczne i kliniczne sugerują, że SARS-CoV-2 ma większą moc przenoszenia niż SARS-CoV i niższą patogenność (Guan et al., 2020). Zakażenia wywołane tym samym wirusem mogą prowadzić do wystąpienia zróżnicowanych objawów, w zależności np. od wieku czy stanu pacjenta, co przekłada się na rokowanie. W sytuacji gdy pojawia się w środowisku coraz więcej lekoopornych szczepów bakterii, nieuzasadnione stosowanie antybiotyków tylko na podstawie różnicowania klinicznego chorób o etiologii wirusowej i bakteryjnej kończy się coraz częściej niepowodzeniem terapii. Przy zakażeniach układu oddechowego wywołanych przez różne wirusy mogą występować podobne i mało swoiste objawy kliniczne, co utrudnia

rozpoznanie na ich podstawie czynnika etiologicznego i postawienie właściwej diagnozy, dlatego bardzo ważna jest diagnostyka laboratoryjna pozwalająca na dokładną identyfikację patogenu wywołującego chorobę i umożliwiającą podjęcie właściwej decyzji o sposobie leczenia chorego.

## 2. Materiały i metody

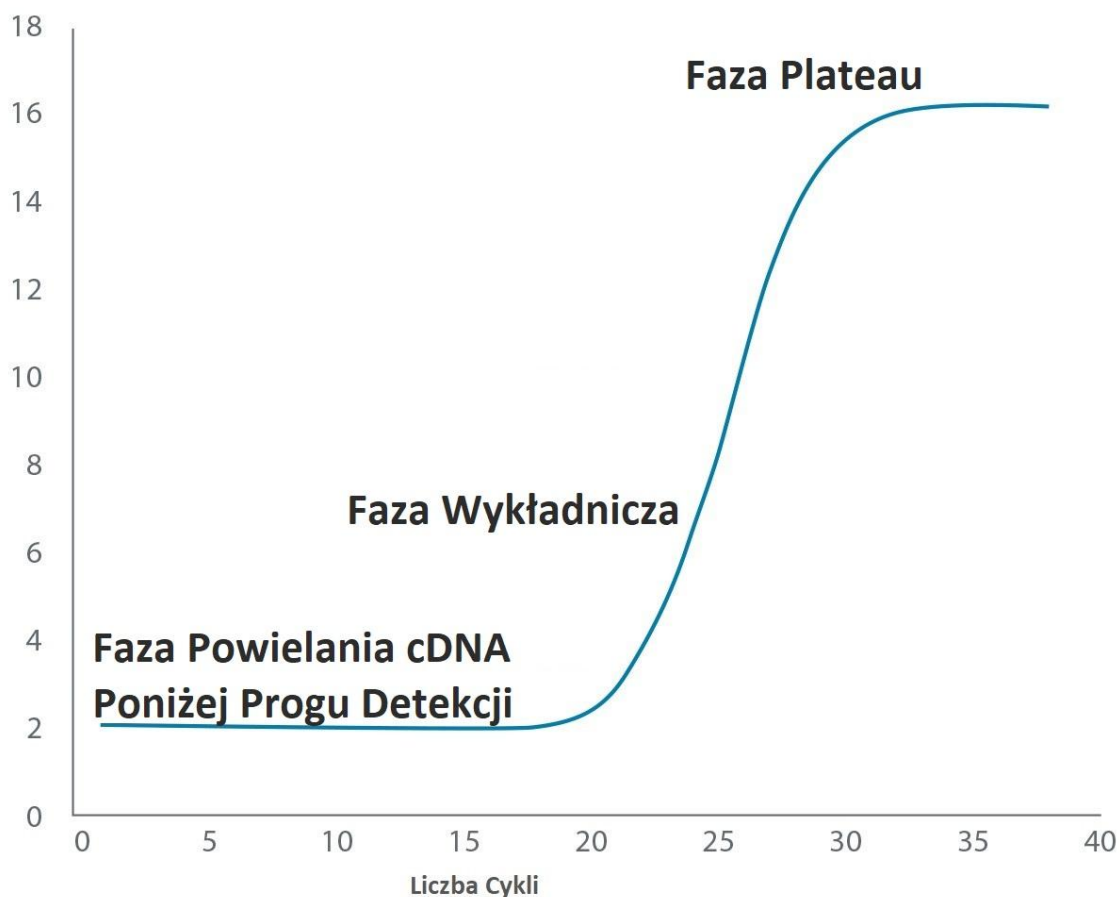
Z uwagi na niewystarczającą ilość danych, dotyczących m.in. dynamiki odpowiedzialności immunologicznej na zakażenie oraz wartości diagnostycznej dostępnych testów do wykrywania przeciwciał w klasie IgM/IgG (w tym: czułości, swoistości, wartości predykcyjnej dodatniej i ujemnej) obecnie nie zaleca się stosowania testów serologicznych w celach diagnostycznych, dotychczasowe doświadczenia z diagnostyką serologiczną zakażeń innymi ludzkimi koronawirusami wskazują na potencjalne ryzyko reakcji krzyżowych z pozostałymi beta-koronawirusami.

Zgodnie z obowiązującą definicją na potrzeby nadzoru nad zakażeniami ludzi nowym koronawirusem tylko zastosowanie metod molekularnych pozwala na spełnienie laboratoryjnego kryterium potwierdzenia przypadku COVID-19. Metodą referencyjną wykrywania obecności wirusa SARS-CoV-2 jest metoda qPCR, dlatego obecnie na całym świecie wykorzystuje się tę właśnie metodę. Najczęściej stosowane sondy hydrolizujące typu TaqMan wyznakowane są na końcu 5' fluorochromem (reporterem; R), natomiast na końcu 3' wygaszaczem (quencher; Q). Bliska obecność wygaszacza w natywnej formie sondy pochłania energię fluorescencji barwnika reporterowego. Jeżeli w mieszaninie reakcyjnej znajduje się swoisty produkt PCR, następuje hybrydyzacja sondy do komplementarnej nici DNA. Podczas wydłużania produktu reakcji sonda ulega degradacji przez zmodyfikowaną polimerazę Taq o właściwościach 5'-egzonukleazy, w wyniku czego fluorochrom zostaje oddzielony od wygaszacza (Rysunek 1).



Rysunek 23.

Proces ten powoduje emisję fluorescencji, której natężenie mierzone jest po każdym cyklu reakcji. Do najpowszechniejszych wygaszaczy należą: TAMARA, DABCYL, BHQ, natomiast wśród reporterów wyróżnia się FAM, VIC, NED oraz pochodne fluoresceiny (np. izotiocyjanian fluoresceiny, 6-karboksyfluoresceina). Jeżeli w miejscu hybrydyzacji na amplikonach występują niepożądane zmiany, wtedy sondy są związane słabiej do cząsteczki DNA i oddysocjują w niższej temperaturze. Zmiany te można zatem łatwo obserwować dzięki analizie krzywej dysocjacji (Rysunek 2).



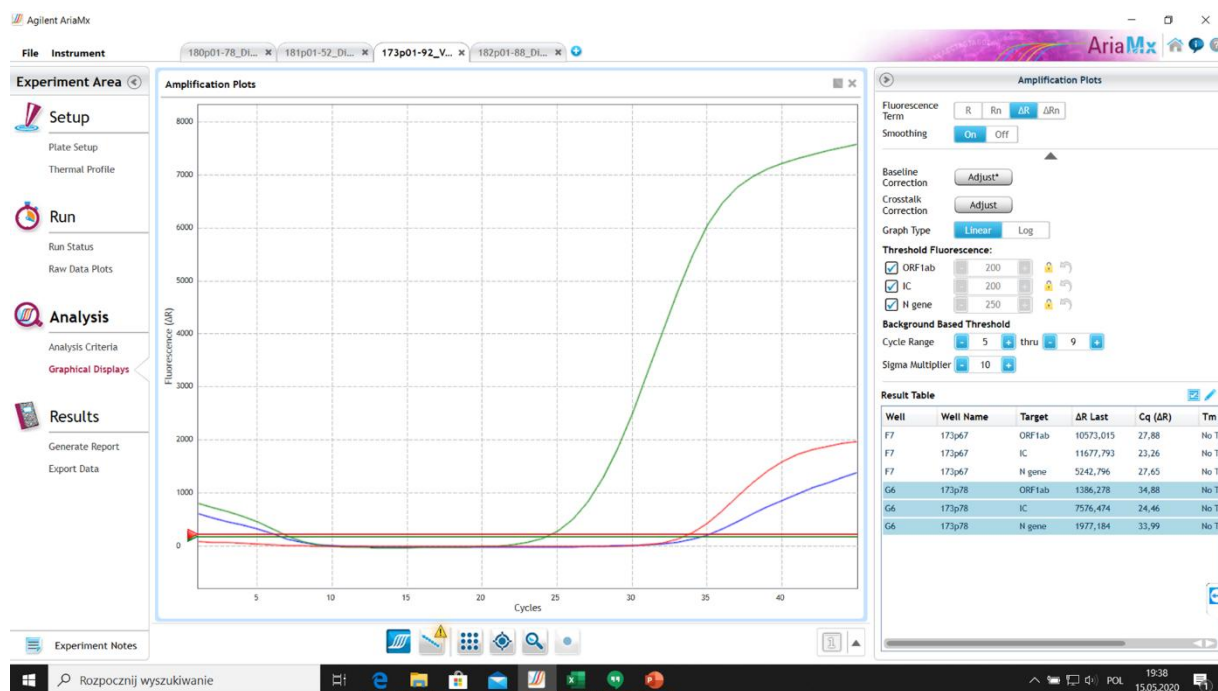
**Rysunek 2.**

Porównywaliśmy testy dwugenowe, oparte na amplifikacji w czasie rzeczywistym specyficznych, zakonserwowanych fragmentów genów ORF1ab i N, kodowanych przez SARS-CoV-2. Wyizolowany wirusowy RNA był transkrybowany do cDNA przy użyciu specyficznego startera na drodze odwrotnej transkrypcji, a następnie w tej samej studzience na drodze reakcji łańcuchowej polimerazy. Obecność SARS-CoV-2 jest wykrywana była przez wzrost obserwowanej fluorescencji podczas reakcji po hydrolizie sondy fluorescencyjnej. W celu identyfikacji 2019-nCoV WHO pobierano próbki z górnych dróg oddechowych (zgodnie z zaleceniami WHO) (WHO, 2020b). Z racji niskiej specyficzności do porównania nie zostały użyte testy jednogenu charakteryzujące się niską specyficznością. Niska specyficzność wiąże się z wykrywaniem innych koronawirusów poza SARS-CoV-2 i potencjalnym uzyskaniem fałszywie dodatnich wyników.

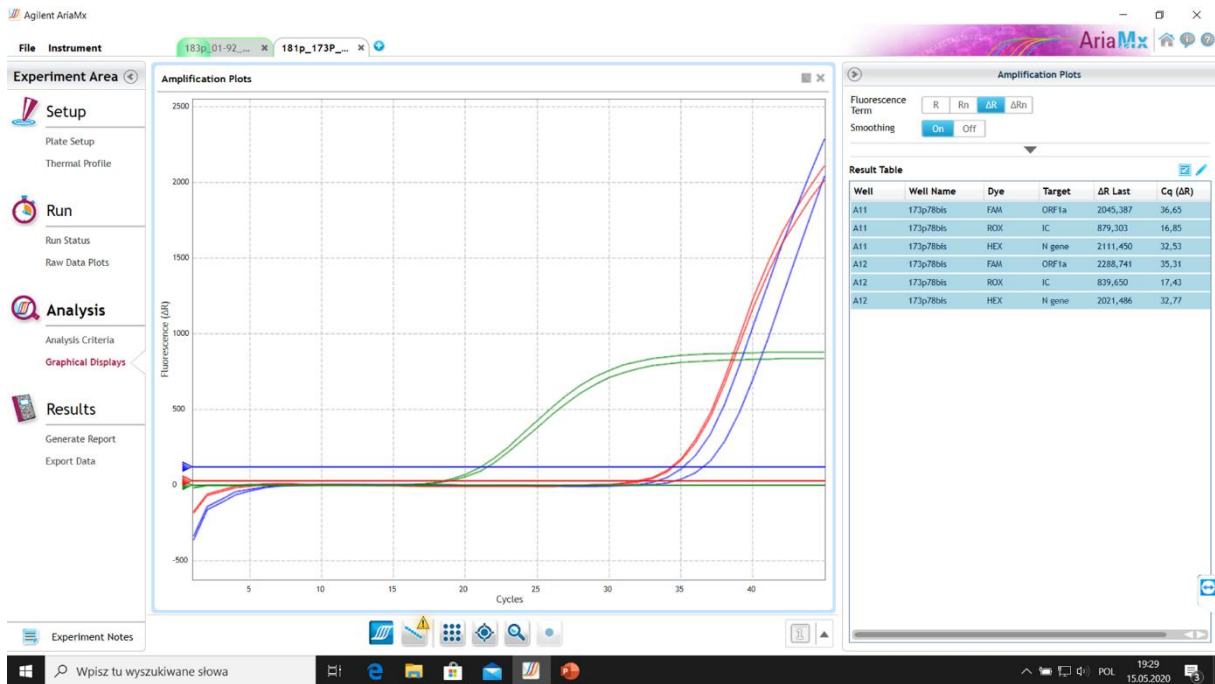


### 3. Wyniki i dyskusja

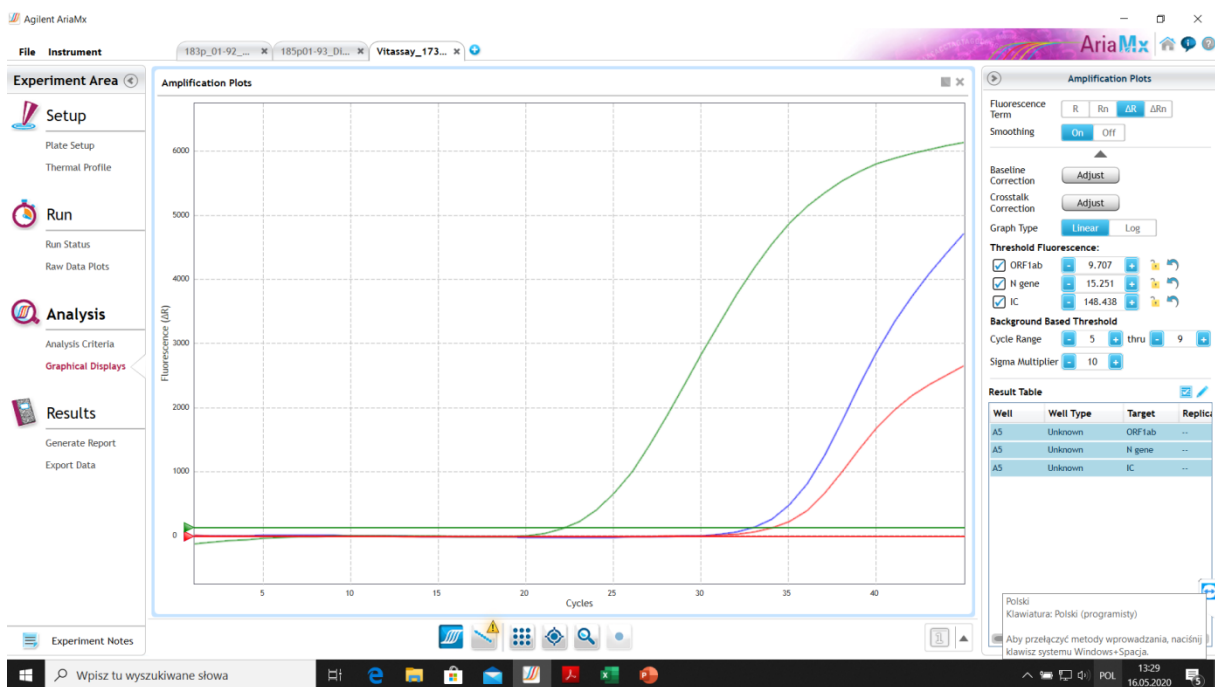
Fluorescencja odczytywana była w kanałach FAM/Green, JOE/HEX/VIC/Yellow oraz ROX/Red, do każdych 94 próbek stosowana była kontrola pozytywna i negatywna, obie w dwóch powtórzeniach. Wyniki przedstawione zostały w postaci obrazów z Aparatu AriaMx Real-Time PCR (qPCR) Instrument (Agilent Headquarters 5301 Stevens Creek Blvd. Santa Clara, CA 95051 United States). Oznaczenia wykonywane były dla najczęściej wykonywanych testów wykrywających obecność wirusa w materiale badanym SARS-CoV-2: Vazyme 200kopi/ml 45 cykli, DiaPlexQ 10kopi/ul 45 cykli, Vitassay 10kopi/rnx 45cykli, Viassure 10kopi/rnx 45cykli oraz Bosphore 45 cykli (specyfikacja producenta nie zawierała liczby wykrywanych kopii).



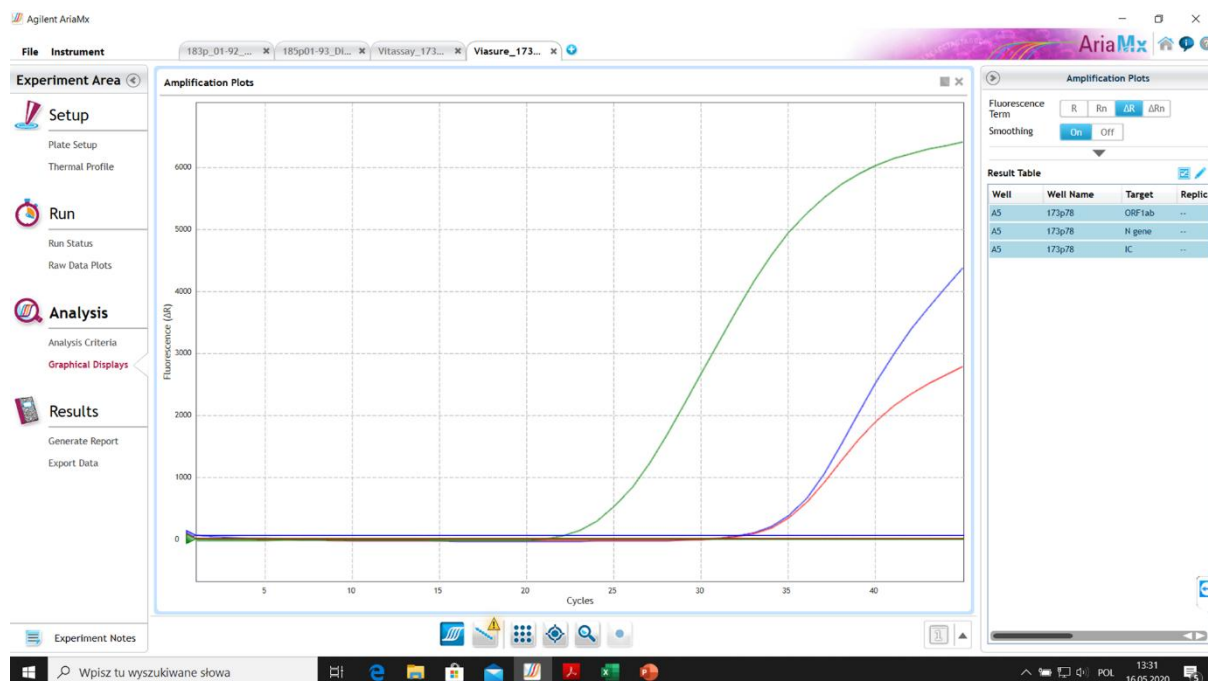
Rysunek 25. Vazyme 200kopi/ml CKD 45 cykli



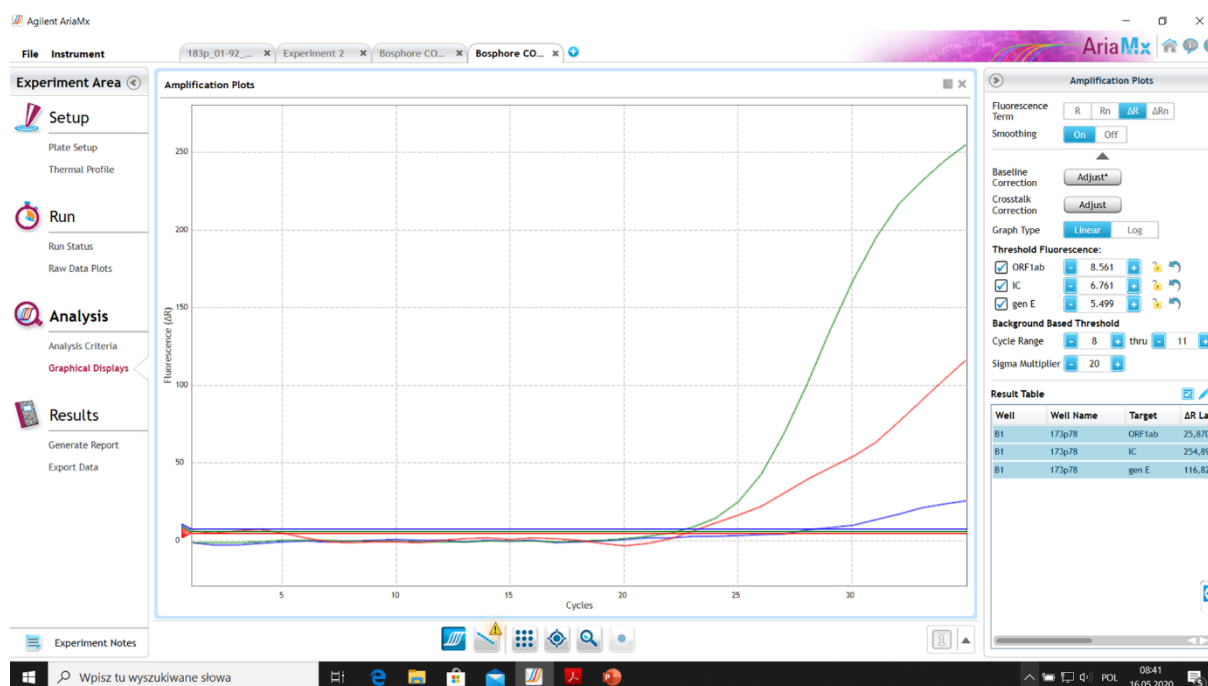
Rysunek 26. DiaPlexQ 10kopi/ul CKD 45cykli



Rysunek 27. Vitassay 10kopi/rnx 45cykli



Rysunek 28. Viassure 10kopi/rnx CKD 45cykli



Rysunek 29. Bosphore 35 cykli

#### 4. Wnioski

Kluczem do uzyskania prawidłowego wyniku jest wysoka czułość testu wykrywającego wirusa SARS-CoV-2 mierzona możliwościami detekcji jak najmniejszej ilości kopii wirusa obecnego w badanym materiale. Testy DiaPlexQ, Vitassay i Viassure cechowały się podobnymi parametrami i faza wykładnicza pojawiała się przy zbliżonej liczbie cykli, testy te cechowała również też taka sama ilość kopii wykrywanego wirusa w przeciwieństwie do testu Bosphore, w którego przypadku przejście do fazy wykładniczej odbywało się o kilka cykli później. Test Vazym do wykrycia wirusa potrzebował o 190 kopii

więcej co kompensowane było koniecznością użycia do reakcji 4 razy większej objętości wyizolowanego RNA, skutkowało to jednak pojawianiem się fazy wykładniczej w końcowych cyklach reakcji sugerując wynik fałszywie pozytywny. Weryfikacja tych samych próbek na innych używanych przez nas testach nie potwierdzała wyniku dodatniego. Odcięcie branych pod uwagę w analizie liczby cykli eliminowało w przypadku testu Vazym przejście do fazy logarytmicznej jednak wątpliwości co do wydania wyniku fałszywie ujemnego nadal pozostawały. Zastosowanie testu Bosphore budziło również wątpliwości co do wydania wyniku fałszywie ujemnego tym bardziej że producent w specyfikacji nie podawał ilości kopii wykrywanego wirusa. Pomimo że wszystkie testy wykrywały dwa geny wirusa jednak DiaPlexQ, Vitassay i Viassure budziły większe zaufanie co do uzyskania prawidłowego wyniku.

### **Bibliografia:**

1. Anand, K., Ziebuhr, J., Wadhwani, P., Mesters, J. R., & Hilgenfeld, R. (2003). Coronavirus Main Proteinase (3CLpro) Structure: Basis for Design of Anti-SARS Drugs. *Science*, *300*(5626), 1763-1767. doi:10.1126/science.1085658.
2. Angelini, M. M., Akhlaghpour, M., Neuman, B. W., & Buchmeier, M. J. (2013). Severe acute respiratory syndrome coronavirus nonstructural proteins 3, 4, and 6 induce double-membrane vesicles. *mBio*, *4*(4). doi:10.1128/mBio.00524-13.
3. Chen, J. (2020). Pathogenicity and transmissibility of 2019-nCoV—A quick overview and comparison with other emerging viruses. *Microbes and Infection*, *22*(2), 69-71. doi:https://doi.org/10.1016/j.micinf.2020.01.004.
4. Chen, Y., Liu, Q., & Guo, D. (2020). Emerging coronaviruses: Genome structure, replication, and pathogenesis. *Journal of Medical Virology*, *92*(4), 418-423. doi:10.1002/jmv.25681.
5. Coutard, B., Valle, C., de Lamballerie, X., Canard, B., Seidah, N. G., & Decroly, E. (2020). The spike glycoprotein of the new coronavirus 2019-nCoV contains a furin-like cleavage site absent in CoV of the same clade. *Antiviral Research*, *176*, 104742. doi:https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2020.104742.
6. Gorbalenya, A. E., Baker, S. C., Baric, R. S., de Groot, R. J., Drosten, C., Gulyaeva, A. A., Coronaviridae Study Group of the International Committee on Taxonomy of, V. (2020). The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nature Microbiology*, *5*(4), 536-544. doi:10.1038/s41564-020-0695-z.
7. Guan, W.-j., Ni, Z.-y., Hu, Y., Liang, W.-h., Ou, C.-q., He, J.-x., Zhong, N.-s. (2020). Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *New England Journal of Medicine*, *382*(18), 1708-1720. doi:10.1056/NEJMoa2002032.
8. He, R., Leeson, A., Ballantine, M., Andonov, A., Baker, L., Dobie, F., Li, X. (2004). Characterization of protein-protein interactions between the nucleocapsid protein and membrane protein of the SARS coronavirus. *Virus Res*, *105*(2), 121-125. doi:10.1016/j.virusres.2004.05.002.
9. Ilona Stefańska, M. R., Lidia B. Brydak. (2012). Metody wykrywania wybranych wirusów wywołujących zakażenia układu oddechowego. *Postepy Hig Med Dosw (online)*.

10. Jones, S. R. (1976). Potential complications of influenza A infections. *West J Med*, 125(5), 341-346.
11. Kearney, M. T., Cotton, J. M., Richardson, P. J., & Shah, A. M. (2001). Viral myocarditis and dilated cardiomyopathy: mechanisms, manifestations, and management. *Postgrad Med J*, 77(903), 4-10. doi:10.1136/pmj.77.903.4.
12. Kim, Y., Lovell, S., Tiew, K. C., Mandadapu, S. R., Alliston, K. R., Battaile, K. P., Chang, K. O. (2012). Broad-spectrum antivirals against 3C or 3C-like proteases of picornaviruses, noroviruses, and coronaviruses. *J Virol*, 86(21), 11754-11762. doi:10.1128/jvi.01348-12.
13. Lei, J., Kusov, Y., & Hilgenfeld, R. (2018). Nsp3 of coronaviruses: Structures and functions of a large multi-domain protein. *Antiviral Research*, 149, 58-74. doi:https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2017.11.001.
14. Li, C. K., Wu, H., Yan, H., Ma, S., Wang, L., Zhang, M., Xu, X. N. (2008). T cell responses to whole SARS coronavirus in humans. *J Immunol*, 181(8), 5490-5500. doi:10.4049/jimmunol.181.8.5490.
15. Li, T., Zhang, Y., Fu, L., Yu, C., Li, X., Li, Y., Chang, Z. (2005). siRNA targeting the Leader sequence of SARS-CoV inhibits virus replication. *Gene Therapy*, 12(9), 751-761. doi:10.1038/sj.gt.3302479.
16. Liu, J., Sun, Y., Qi, J., Chu, F., Wu, H., Gao, F., Gao, G. F. (2010). The membrane protein of severe acute respiratory syndrome coronavirus acts as a dominant immunogen revealed by a clustering region of novel functionally and structurally defined cytotoxic T-lymphocyte epitopes. *J Infect Dis*, 202(8), 1171-1180. doi:10.1086/656315.
17. Marra, M. A., Jones, S. J., Astell, C. R., Holt, R. A., Brooks-Wilson, A., Butterfield, Y. S., Roper, R. L. (2003). The Genome sequence of the SARS-associated coronavirus. *Science*, 300(5624), 1399-1404. doi:10.1126/science.1085953.
18. Murray C.J., L. A. D., Mathers C.D., Stein C. (2011). The Global Burden of Disease 2000 project: aims, methods and data sources. <https://www.who.int/healthinfo/paper36.pdf>.
19. Pachetti, M., Marini, B., Benedetti, F., Giudici, F., Mauro, E., Storici, P., . . . Ippodrino, R. (2020). Emerging SARS-CoV-2 mutation hot spots include a novel RNA-dependent-RNA polymerase variant. *Journal of Translational Medicine*, 18(1), 179. doi:10.1186/s12967-020-02344-6.
20. Paget, J., Spreeuwenberg, P., Charu, V., Taylor, R. J., Iuliano, A. D., Bresee, J., Teams, G. C. (2019). Global mortality associated with seasonal influenza epidemics: New burden estimates and predictors from the GLaMOR Project. *Journal of Global Health*, 9(2). doi:ARTN 02042110.7189/jogh.09.020421.
21. Prentice, E., McAuliffe, J., Lu, X., Subbarao, K., & Denison, M. R. (2004). Identification and characterization of severe acute respiratory syndrome coronavirus replicase proteins. *J Virol*, 78(18), 9977-9986. doi:10.1128/jvi.78.18.9977-9986.2004.
22. Ruan, Y. J., Wei, C. L., Ee, A. L., Vega, V. B., Thoreau, H., Su, S. T., Liu, E. T. (2003). Comparative full-length genome sequence analysis of 14 SARS coronavirus isolates and common mutations associated with putative origins of infection. *Lancet*, 361(9371), 1779-1785. doi:10.1016/s0140-6736(03)13414-9.
23. Serrano, P., Johnson, M. A., Chatterjee, A., Neuman, B. W., Joseph, J. S., Buchmeier, M. J., Wüthrich, K. (2009). Nuclear magnetic resonance structure of the nucleic acid-binding

- domain of severe acute respiratory syndrome coronavirus nonstructural protein 3. *J Virol*, 83(24), 12998-13008. doi:10.1128/jvi.01253-09.
24. Sutton, G., Fry, E., Carter, L., Sainsbury, S., Walter, T., Nettleship, J., Stuart, D. I. (2004). The nsp9 Replicase Protein of SARS-Coronavirus, Structure and Functional Insights. *Structure*, 12(2), 341-353. doi:https://doi.org/10.1016/j.str.2004.01.016.
  25. te Velthuis, A. J. W., van den Worm, S. H. E., & Snijder, E. J. (2011). The SARS-coronavirus nsp7+nsp8 complex is a unique multimeric RNA polymerase capable of both de novo initiation and primer extension. *Nucleic Acids Research*, 40(4), 1737-1747. doi:10.1093/nar/gkr893.
  26. WHO. (2020a). Coronavirus disease 2019 (COVID-19) situation report – 63. Coronavirus Disease (COVID-2019) Situation Reports 00, 00–00.
  27. WHO. (2020b). Laboratory testing of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) in suspected human cases: interim guidance, 17 January 2020.
  28. Wong, S. K., Li, W., Moore, M. J., Choe, H., & Farzan, M. (2004). A 193-amino acid fragment of the SARS coronavirus S protein efficiently binds angiotensin-converting enzyme 2. *J Biol Chem*, 279(5), 3197-3201. doi:10.1074/jbc.C300520200.

## 14. MOTYWY I BARIERY PODEJMOWANIA AKTYWNOŚCI FIZYCZNEJ PRZEZ WSPÓŁCZESNĄ MŁODZIEŻ

### **Mgr Marzanna Herzig**

Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie  
Al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków  
E-mail: marzanna.herzig@awf.krakow.pl

### **Patryk Blachnicki, Ignacy Dobija, Patrycja Jaskierska**

Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie  
Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu  
Studenckie Koło Naukowe Azymut  
Al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków  
E-mail: pjaskierska97@gmail.com

### **Karolina Miązek**

Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie  
Wydział Turystyki i Rekreacji  
Studenckie Koło Naukowe Azymut  
Al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków  
E-mail: k.miazek@yahoo.pl

**Abstrakt:** Aktywność fizyczna, jako nierozłączny element życia człowieka niesie za sobą wiele korzyści zdrowotnych, takich jak: profilaktyka cukrzycy, przeciwdziałanie otyłości, poprawa samopoczucia fizycznego i psychicznego. Jest także jedną z metod spędzania czasu wolnego przez młodzież. [Borek, Eider, Mynarski, Rozpara i Puciato, 2011; Wojtyła, 2016; Zapolska, Zarębska i Ostrowska, 2010]. Celem pracy było określenie motywów i barier podejmowania aktywności fizycznej przez współczesną młodzież w wieku 15-19 lat. W badaniu udział wzięło 117 uczniów w tym 76 dziewcząt i 41 chłopców z różnych regionów Polski. Prace badawcze przeprowadzono w okresie od kwietnia do maja 2020 roku za pomocą autorskiego kwestionariusza ankiety. Wykazały one, iż badana młodzież niezależnie od płci, najchętniej podejmowała aktywność fizyczną z własnej woli. Najczęstszymi motywami jej podejmowania przez nastolatków była: poprawa własnego wyglądu, satysfakcja jaką daje wysiłek fizyczny oraz zainteresowanie wybraną formą aktywności fizycznej. Z kolei rodzice, jako częsty wzorzec do naśladowania, w niewielkim stopniu wpływali na aktywność fizyczną młodego pokolenia. Z drugiej strony, największą barierę w jej podejmowaniu stanowiło zdrowie oraz kontuzje jakich doświadczyli badani.

**Słowa kluczowe:** aktywność fizyczna, bariery, motywów, młodzież.

### **1. Wstęp**

W czasach prężnie rozwijającej się technologii, wśród badaczy naukowych szczególnym zainteresowaniem cieszy się czas wolny młodzieży, a w szczególności formy, treść, uwarunkowania oraz motywów podejmowania w tym czasie aktywności fizycznej [Borek, Eider, Mynarski, Rozpara, Puciato, 2011]. Definiując termin czasu wolnego, mówimy o czasie pozostałym po wykonaniu czynności związanych z życiem codziennym - takich jak

higiena osobista oraz z życiem zawodowym [Winiarski, 2011]. Współcześnie czas wolny jest związany z odpoczynkiem i regeneracją sił po pracy czy nauce, uznawany jest także za jeden z wiodących czynników wpływających na funkcjonowanie człowieka w środowisku społecznym, szczególnie w wieku młodzieńczym. Do głównych funkcji czasu wolnego należą: odnowa sił psychofizycznych, odpoczynek, rozwój osobowości oraz umacnianie podmiotowości [Borek i in., 2011].

Jedną z ważniejszych form spędzania czasu wolnego jest dobrowolnie podejmowana aktywność fizyczna, która korzystnie wpływa na zdrowie, psychofizyczną równowagę oraz funkcjonowanie człowieka [Borek i in., 2011]. Stanowi także jedną z podstawowych potrzeb człowieka przez całe jego życie [Zapolska, Zarębska, Ostrowska, 2010]. Systematyczne podejmowanie aktywności fizycznej nie tylko pomaga w zapobieganiu powstawania chorób takich jak cukrzyca czy otyłość, ale także obniża stres, pomaga panować nad emocjami i poprawia nastrój. Zwracając uwagę na estetyczne korzyści z niej płynące, można zauważyć poprawę sylwetki czy sposobu poruszania się [Giłka, Napierała, Cieślicka, Muszkieta, Zukow, 2013; Wojtyła 2016].

Aktywność fizyczną najczęściej ujmuje się, jako wszelkie czynności związane z pracą mięśni powodujące przyśpieszenie oddechu, wzmożenie czynności serca, pojawienie się potu i uczucia ciepła [Napierała, Szark-Eckardt, Żukowska, Kuska, Zukow, 2014]. Z kolei Józef Drabik [2010] termin ten definiuje, jako pracę zaplanowaną i wielokrotnie powtarzaną przez mięśnie szkieletowe, powodującą ponad spoczynkowe wydatkowanie energii. Ze względu na szerokie spectrum, jakie obejmuje definicja aktywności fizycznej dzieli się ją na: codzienną - spontaniczną (np. chodzenie, koszenie trawnika, bieganie) oraz zaplanowaną, ukierunkowaną na osiągnięcie określonego celu (np. poprawa kondycji fizycznej) - związaną ze sportem oraz pracą zawodową [Jodkowska, 2013].

Według zaleceń Światowej Organizacji Zdrowia dzieci i młodzież pomiędzy 5-17 rokiem życia powinni przeznaczać minimum 60 minut dziennie na aktywność fizyczną. Natomiast zdrowym osobom dorosłym w wieku 18 – 64 lata zaleca się, co najmniej 150 minut umiarkowanej aktywności fizycznej, bądź 75 minut intensywnego wysiłku w tygodniu (skutkujących między innymi pogłębieniem i przyśpieszeniem oddechu, silniejszym biciem serca oraz szybszą jego pracą) [<https://www.who.int/...>].

Według aktualnych badań zarówno chłopcy jak i dziewczęta chętnie ćwiczą podczas zajęć z gier i zabaw ruchowych. Chłopcy chętniej od dziewcząt grają w siatkówkę, natomiast dziewczęta częściej od swoich kolegów wybierają pływanie i gimnastykę [Giłka i in., 2013]. Kaczor-Szkodny i in. [2016] odnotowała, że młodzież najchętniej wybierała aktywności takie jak: jazda na rowerze, gry zespołowe oraz spacer. Z kolei badania przedstawione przez Pławińską, Szczepanowską i Repecką [2015] dowodzą, że wśród młodzieży zamieszkującej aglomeracje miejskie dużym zainteresowaniem cieszył się jogging, natomiast chłopcy mieszkający na wsi częściej wybierali gry zespołowe, a dziewczęta jazdę na rowerze.

Jako powody podejmowania aktywności fizycznej, młode osoby często podają: wpływ koleżanek i kolegów czy większą ilość czasu wolnego (np. podczas weekendów) [Dudzik, 2011]. Dziewczęta ponadto najczęściej motywuje zrzucenie zbędnej tkanki tłuszczowej lub utrzymanie masy ciała, chłopcy natomiast zwracają uwagę na radość płynącą z uprawiania aktywności fizycznej. Czynnikiem zwiększającym częstość uprawiania aktywności fizycznej wśród uczniów zamieszkujących wioski jest dostęp do infrastruktury sportowej, natomiast



wśród młodzieży miejskiej odpowiednia ilość czasu wolnego [Kozłowska, Kowalczyk, Rząca, Kocka, 2015].

Celem prezentowanej pracy było zebranie, analiza i prezentacja wyników badań dotyczących motywów oraz barier podejmowania aktywności fizycznej w czasie wolnym przez współczesną młodzież w wieku 15 -19 lat pochodzącą z różnych rejonów Polski.

Inspiracją do przeprowadzenia badań była chęć poznania determinantów oraz przeszkód, jakimi kieruje się współczesna młodzież podejmując dowolną aktywność fizyczną. W pracy postawiono następującą hipotezę: Młodzież podejmuje aktywność fizyczną głównie z własnej inicjatywy. W celu weryfikacji hipotezy postawiono następujące pytania badawcze:

1. Czy rodzice motywują młodzież do uprawiania aktywności fizycznej?
2. Czy młodzież podejmuje aktywność fizyczną dla własnej przyjemności?
3. Czy główną barierą podejmowania aktywności fizycznej wśród młodzieży była demotywacja ze strony środowiska?

## 2. Materiał i metody

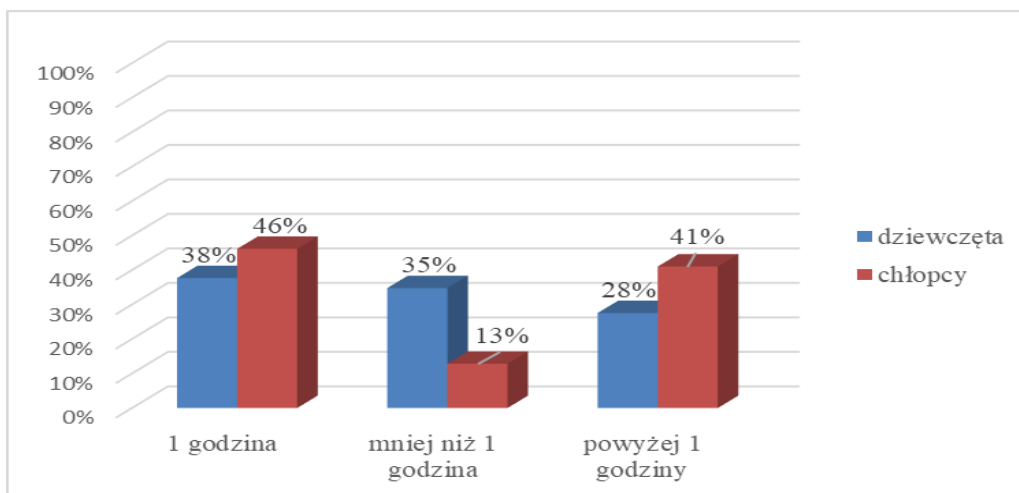
Badania ankietowe przeprowadzono w okresie od kwietnia do maja 2020 roku, w których łącznie udział wzięło 117 młodych osób w wieku 15-19 lat pochodzących z różnych regionów Polski. Najwięcej respondentów zamieszkiwało obszary wiejskie (53%), miasto powyżej 250 tysięcy. (22%), miasto od 100 do 250 tysięcy. (11%). Z kolei nieznaczna ilość osób ankietowanych wywodziła się z miasta do 20 tysięcy. (7%), miasta od 20 do 50 tysięcy. (4%) oraz miasta od 50 do 100 tysięcy. (3%). Grupa respondentów składała się z 76 dziewcząt oraz 41 chłopców. Średni wiek badanej grupy wynosił 17 lat.

Metodą wykorzystaną w przeprowadzonych badaniach był sondaż diagnostyczny, w którym posłużono się autorskim kwestionariuszem ankiety. Narzędzie badawcze stanowiło anonimową formę uzyskania odpowiedzi na 25 pytań, wśród których znalazły się pytania zamknięte, półotwarte i jedno pytanie otwarte. Dotyczyły one aktualnie uprawianej aktywności fizycznej, motywów, barier oraz częstotliwości jej podejmowania. Na początku kwestionariusza została zamieszczona metryczka zbierająca informacje takie jak: płeć, miejsce zamieszkania, wykształcenie rodziców oraz wiek. Zebrane dane poddano analizie w programie Excel 2010 i przedstawiono w formie tabel oraz wykresów zawierających wartości procentowe.

## 3. Wyniki i dyskusja

Aby wyłonić motyw, jakimi kieruje się współczesna młodzież w podejmowaniu aktywności fizycznej najpierw należało zadać sobie pytanie jak dużo młodych osób spędza aktywnie swój czas wolny i dlaczego? Analizując zgromadzone dane wynika, że 95% ankietowanych chłopców oraz 91% dziewcząt biorących udział w badaniach deklarowało podejmowanie aktywności fizycznej w czasie wolnym od zajęć. Pomimo tak wysokich wyników prawie 40% ankietowanych dziewcząt nie uważała swojej aktywności fizycznej za wystarczającą. Większa część respondentów (48% dziewcząt i 72% chłopców) była przeciwnego zdania, natomiast pozostała część osób nie opowiedziała się po żadnej ze stron (14% uczennic i 15% uczniów). Z kolei badania wykazały, że chłopcy (46%) zarówno jak i dziewczęta (38%) na aktywność fizyczną poświęcali najczęściej 1 godzinę czasu wolnego w ciągu dnia. Natomiast najmniejsza grupa badanych dziewcząt (28%) zadeklarowała, że ich

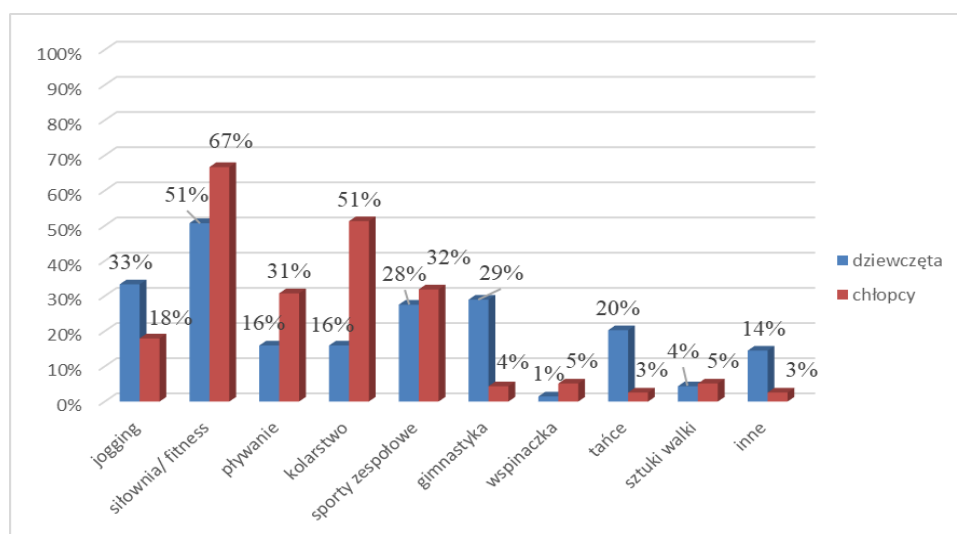
codzienna dawka ruchu trwa ponad 1 godzinę, wśród chłopców najrzadziej wybraną opcją było poświęcenie niespełna 1 godziny czasu na aktywność ruchową w ciągu dnia (13%), co zostało ukazane na wykresie 1.



**Wykres 1. Podział badanych ze względu na płeć i czas podejmowania przeznaczony na aktywność fizyczną**

Źródło: opracowanie własne.

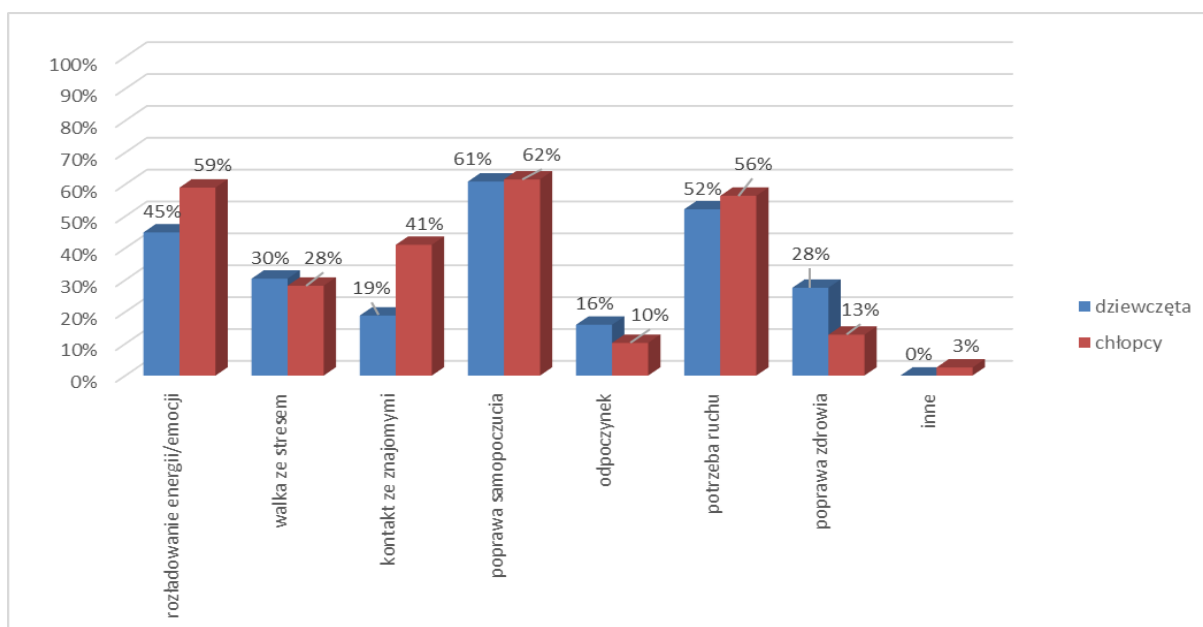
Badania pokazują, iż najczęściej wybraną aktywnością fizyczną wśród badanych dziewcząt (51%) jak i chłopców (67%) były ćwiczenia na siłowni czy w klubie fitness. Można również zauważyć, że chłopcy często wybierali kolarstwo (51%), sporty zespołowe (32%) i pływanie (31%). Natomiast dziewczęta jogging (33%), sporty zespołowe (28%) i tańce (20%). Najmniejszym zainteresowaniem wśród płci żeńskiej cieszyła się wspinaczka (1%), a męskiej tańce (3%). Pewna grupa dziewcząt (14%) wybrała inne sporty takie jak: jazda konna, joga czy jazda na rolkach. Udział badanych w deklarowanej aktywności fizycznej przedstawiono na wykresie 2.



**Wykres 2. Udział respondentów w deklarowanej aktywności fizycznej**

Źródło: opracowanie własne.

Ponad 40% uczestników sondażu opowiedziało się za podejmowaniem wysiłku fizycznego od dziecka. Pozostali respondenci wybierali odpowiedzi: mniej 1 rok (9%), 1 rok (8%), 2-3 lata (11%), 4-5 lat (10%), 6-7 lat (1%). Niewielki procent badanych (11%) stanowiły osoby, które nie były w stanie określić rozpoczęcia swojej przygody z aktywnością fizyczną. Uzyskane dane wskazują na to, iż osoby ankietowane najczęściej podejmowały aktywność ruchową od 2 do 3 dni w tygodniu niezależnie od stażu podejmowanej aktywności fizycznej. Natomiast najrzadziej wybieraną opcją było poświęcanie 1 dnia w ciągu całego tygodnia na trening. Zależność ta może wskazywać na potrzeby, jakie wśród przebadanej młodzieży zaspokajała aktywność fizyczna. Biorąc pod uwagę odpowiedzi badanych najwięcej osób wskazało na poprawę samopoczucia (61% dziewcząt i 62% chłopców) oraz rozładowanie emocji (59% uczniów i 45% uczennic). Kolejną najczęściej wybieraną odpowiedzią okazała się potrzeba ruchu (52% dziewcząt i 56% chłopców), a najmniej popularną wśród obu płci okazał się odpoczynek (16% dziewcząt i 10% chłopców). Potrzeby ankietowanych zaspokajane przez aktywność fizyczną przedstawiono na wykresie 3.



**Wykres 3. Potrzeby jakie w opinii ankietowanych zaspokajane są przez aktywność fizyczną**

Źródło: opracowanie własne.

Analizując opinię respondentów pod względem zadowolenia ze swojej sprawności fizycznej na tle rówieśników oraz aktywności fizycznej stwierdzono, że największy odsetek uczennic (58%) ocenił swoją sprawność fizyczną na przeciętną, a najwięcej uczniów (56%) udzieliło odpowiedzi „ponad przeciętna”. Oznacza to, że ponad połowa badanych była zadowolona ze swojej sprawności fizycznej. Natomiast nawiązując do aktywności fizycznej okazuje się, iż respondenci w znacznej większości uważali, że była wystarczająca (dziewczeta 48%, chłopcy 72%), lecz duży odsetek dziewcząt (38%) miał przeciwne zdanie. Szczegółowe wyniki przedstawione są w tabeli 1.i tabeli 2.

**Tabela. 1. Opinia ankietowanych na temat ich sprawności fizycznej na tle rówieśników**

Płeć	Poniżej przeciętnej	Przeciętnie	Ponad przeciętnie
Dziewczęta	6%	58%	33%
Chłopcy	5%	36%	56%

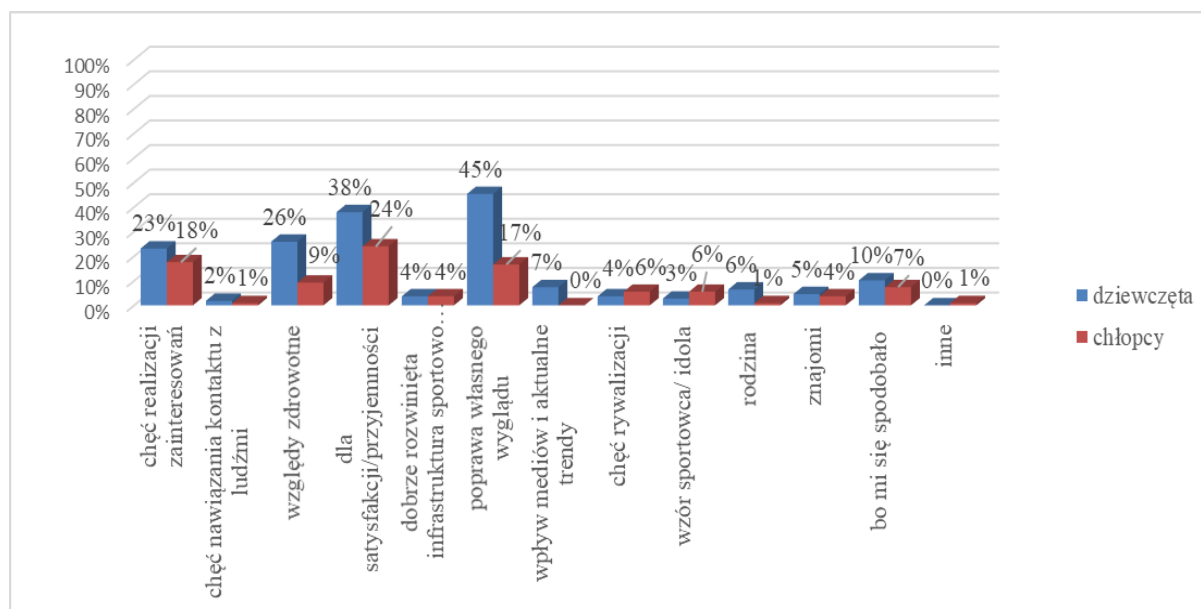
Źródło: opracowanie własne.

**Tabela. 2. Zestawienie odpowiedzi osób ankietowanych dotyczących ich opinii na temat własnej aktywności fizycznej**

Czy uważasz swoją aktywność fizyczną za dobrą/wystarczającą?			
	TAK	NIE	NIE MAM ZDANIA
dziewczęta	48%	38%	14%
chłopcy	72%	13%	15%

Źródło: opracowanie własne.

Badania skierowane były na ustalenie motywów i barier w podejmowaniu aktywności fizycznej przez współczesną młodzież. Najczęstszymi powodami podejmowania aktywności fizycznej wśród badanych dziewcząt była poprawa własnego wyglądu (45%) oraz satysfakcja i przyjemność z uprawianej dyscypliny sportu (38%). Z kolei chłopcy najczęściej podejmowali aktywność fizyczną dla poczucia satysfakcji/przyjemności z wysiłku (24%) oraz aby realizować swoje zainteresowania (18%). Z analizy wynika, że rodzina i znajomi nie mieli znacznego wpływu na podejmowanie aktywności fizycznej przez młodzież. Natomiast najmniej istotnym czynnikiem według obu płci okazała się chęć nawiązania kontaktu z ludźmi. Motywy, jakimi kierowali się badani w podejmowaniu aktywności fizycznej przedstawiono na wykresie 4.

**Wykres 4. Motywy podejmowania aktywności fizycznej przez ankietowaną młodzież**

Źródło: opracowanie własne.

Rozpatrując pytania zawarte w tabeli 3 można stwierdzić, iż jednym z wielu czynników, który powodował wzrost aktywności fizycznej u dziewcząt były zachęty płynące

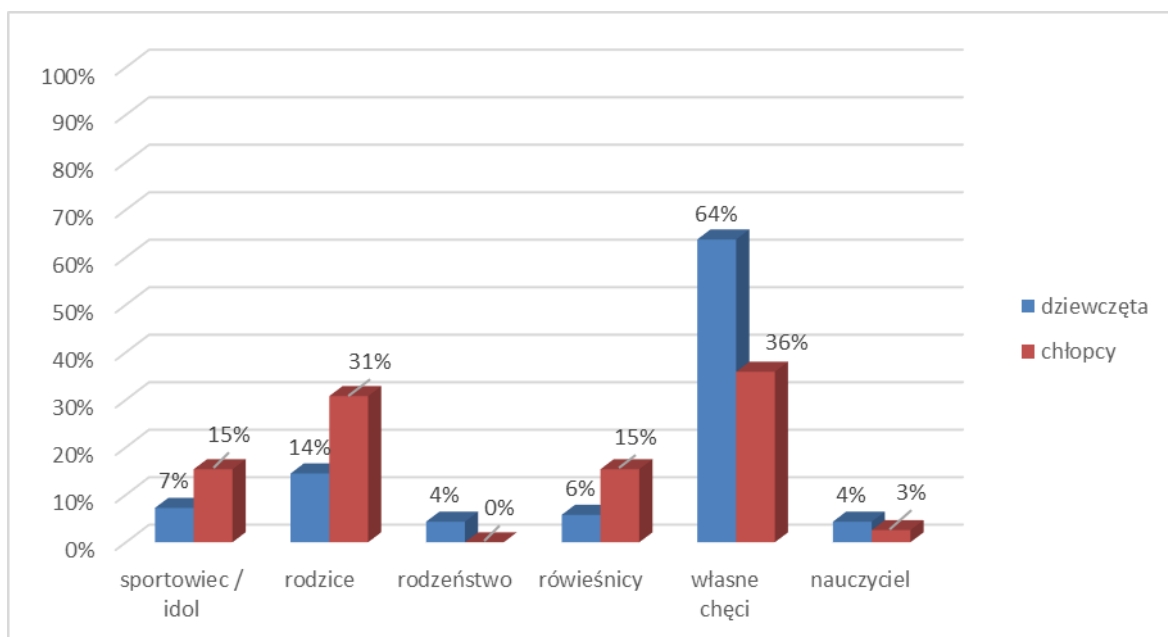
od nauczyciela edukacji fizycznej. Natomiast na aktywność fizyczną młodzieży nie miało wpływu uczestnictwo w zajęciach wychowania fizycznego, dobrze rozwinięta infrastruktura sportowo-rekreacyjna ani miejsce pobytu.

**Tabela 3. Zestawienie opinii badanych na temat zajęć i nauczyciela wychowania fizycznego, miejsca zamieszkania oraz dostępnej infrastruktury sportowo-rekreacyjnej**

			Czy uczęszczasz na zajęcia wychowania fizycznego w szkole?		Czy nauczyciel wychowania fizycznego zachęca cię do uprawiania aktywności fizycznej?		Czy w twojej okolicy była rozwinięta infrastruktura sportowo-rekreacyjna?		Czy twoja okolica/miejscowość to dobre miejsce do uprawiania aktywności fizycznej?	
			tak	nie	tak	nie	tak	nie	tak	nie
Czy podejmujesz aktywność fizyczną w czasie wolnym ?	tak	dziewczęta	96%	4%	67%	29%	49%	29%	71%	7%
		chłopcy	95%	5%	79%	15%	64%	23%	87%	8%
	nie	dziewczęta	86%	14%	29%	57%	57%	29%	86%	14%
		chłopcy	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%

Źródło: opracowanie własne.

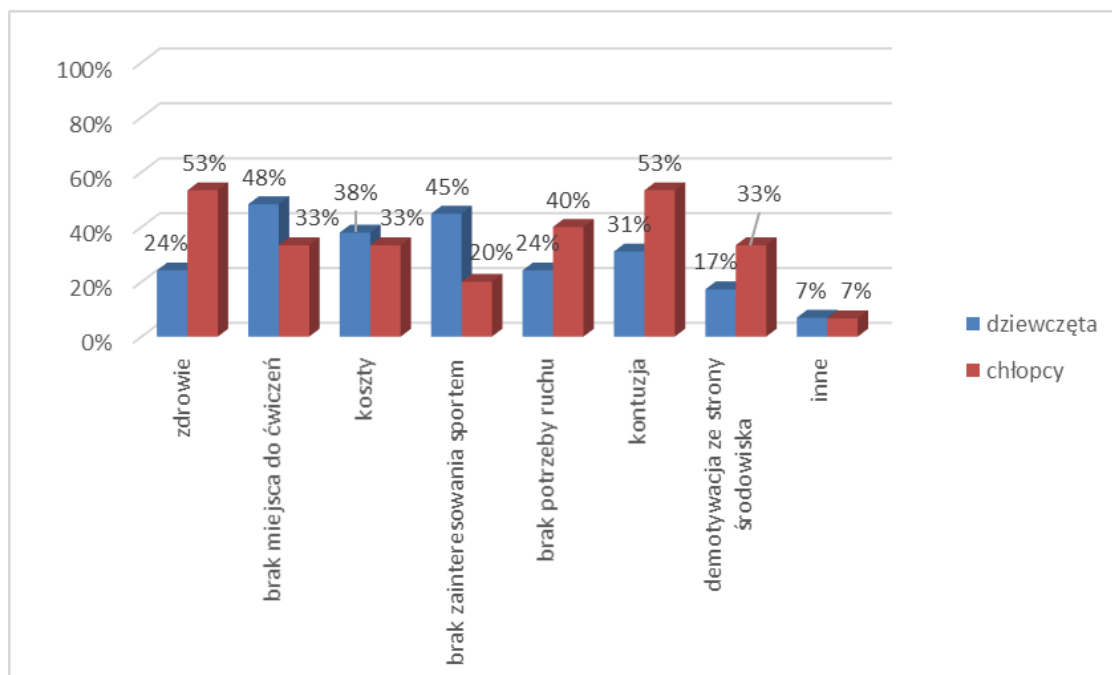
Uwzględniając wpływ osób ze środowiska młodzieży na ich aktywność fizyczną można zauważyć, iż najczęściej była ona podejmowana z własnych chęci zarówno u chłopców (36%) jak i u dziewcząt (64%). Z kolei wpływ na aktywny wypoczynek młodzieży mieli rodzice, wśród płci męskiej daną odpowiedź zaznaczyło 31% respondentów, a żeńskiej 14%. Najrzadziej wskazywaną odpowiedzią był nauczyciel. Wpływ poszczególnych osób na podjęcie aktywności fizycznej przez ankietowanych przedstawiono na wykresie 5.



**Wykres 5. Wpływ osób na podjęcie aktywności fizycznej przez ankietowanych**

Źródło: opracowanie własne.

Analizując wyniki pod kątem przeszkód w podejmowaniu aktywności fizycznej przez młodzież najczęściej wskazywaną odpowiedzią przez chłopców okazało się zdrowie i kontuzje (53%) natomiast wśród badanych dziewcząt największą przeszkodą okazał się brak odpowiedniej ilości miejsca do ćwiczeń (48%) oraz niewielkie zainteresowanie sportem (45%). Bariery w podejmowaniu aktywności fizycznej przez respondentów ukazano na wykresie 6.



**Wykres 6. Procentowy udział poszczególnych barier w podejmowaniu aktywności fizycznej**

Źródło: opracowanie własne.

Aktywność fizyczna najczęściej definiowana była, jako wszelkie ruchy wykonywane przez mięśnie szkieletowe człowieka, powodujące ponad spoczynkowe wydatkowanie energii [<https://www.who.int/...>]. Odgrywa ona ważną rolę w utrzymaniu prawidłowego stanu zdrowia i sprawności fizycznej człowieka przez całe jego życie. Powszechnie wiadomo iż bierność ruchowa czyli hipokineza była podłożem chorób nękających dzisiejsze społeczeństwo jak np. cukrzyca, otyłość, nadciśnienie tętnicze czy osteoporoza [Borek i in., 2011]. Regularna aktywność fizyczna przeciwdziała powyższym schorzeniom, a oprócz tego wpływa na poprawę sylwetki, pewności siebie, czy relacji międzyludzkich [Gilka i in. 2013]. Powody i motywy podejmowania aktywności fizycznej przez osoby młode są często uzależnione od wpływów środowiska, w którym żyją np. znajomi, rodzina, dysponowana ilość czasu wolnego, dostęp do infrastruktury sportowej czy płęć [Dudzik 2011]. Dziewczęta głównie kierowały się możliwością redukcji zbędnej tkanki tłuszczowej lub utrzymaniem aktualnej masy ciała. Natomiast Chłopcy stawiali na przyjemność i satysfakcję, jaką odczuwają z uprawiania danej dyscypliny sportu [Kozłowska i in. 2015]. Z kolei biorąc pod uwagę zajęcia ruchowe i wychowania fizycznego nastolatkomie zgodnie twierdzą, iż chętnie uczestniczyli w tych zajęciach [Borek i in., 2011]. Następnie według badań przeprowadzonych przez Gilkę i in. [2013], wybór uprawianych sportów była zależny od płci.

Dziewczęta najchętniej wybierały pływanie i gimnastykę, tymczasem chłopcy preferowali gry zespołowe takie jak siatkówka i piłka nożna.

Wśród badanej młodzieży więcej czasu na aktywność fizyczną poświęcali chłopcy (41% chłopców przeznacza w ciągu jednego dnia ponad 1 godzinę na aktywność fizyczną, przy czym tyle samo czasu w ciągu dnia na aktywność poświęca jedynie 28% dziewcząt). Najchętniej uprawianą dyscypliną sportu przez obie płcie były ćwiczenia na siłowni i w klubach fitness (67% chłopców i 51% dziewcząt), ponadto wśród uczniów dużym zainteresowaniem cieszyło się również kolarstwo (51%) oraz gry zespołowe (32%), a wśród uczennic jogging (33%) i gimnastyka (29%). Sportem najrzadziej uprawianym zarówno przez chłopców jak i dziewczęta były sporty walki i wspinaczka. Respondenci jednoznacznie wskazali, iż za pomocą aktywności fizycznej mogli poprawić swoje samopoczucie, zaspokoić potrzebę ruchu oraz rozładować stres i negatywne emocje, które często pojawiają się w życiu młodych ludzi. W subiektywnej opinii, ankietowani w większości uznali swoją sprawność fizyczną za przeciętną (36% chłopców i 58% dziewcząt) oraz ponad przeciętną (56% chłopców i 33% dziewcząt) w porównaniu do reszty swoich rówieśników. Warto zauważyć, iż niewielka ilość osób uznała swoją sprawność fizyczną, jako poniżej przeciętnej.

Badanymi kierowały nieco inne motywy podejmowania aktywności fizycznej. Dziewczęta najczęściej rozpoczynały swoją przygodę z ruchem głównie ze względu na poprawę wyglądu (45%), satysfakcję i przyjemność z podejmowania aktywności fizycznej (38%) oraz względy zdrowotne (26%). Chłopcy z kolei, jako główny motywator wskazywali satysfakcję i radość, jaką dawała im aktywność fizyczna (24%), możliwość realizacji zainteresowań (18%) oraz poprawa wyglądu (17%). Różnice te mogły być spowodowane różnicami w zainteresowaniach i innym podejściem do ćwiczeń fizycznych przez obie płcie. Młodzież jest grupą społeczną, dość podatna na wpływy innych osób i środowiska, w którym żyją. Na podjęcie aktywności fizycznej przez respondentów największy wpływ miały ich własne chęci (64% dziewcząt i 36% chłopców), a nie jak to była często kojarzone otoczenie rówieśników czy rodzice. Może to świadczyć o asertywności badanych, bądź też o przynajmniej dostatecznym ich poziomie świadomości związanej z korzyściami, jakie niesie aktywność fizyczna.

Brak uczestnictwa w kulturze fizycznej może być spowodowany wieloma czynnikami, np. stanem zdrowia, dostępnością infrastruktury sportowej, stanem emocjonalnym, brakiem zainteresowania sportem, kosztami związanymi z aktywnością fizyczną itp. Dla badanych chłopców główną przeszkodą w uprawianiu sportu były przebyte przez nich kontuzje (53%), stan zdrowia (53%) oraz brak potrzeby ruchu (40%). Dziewczęta jednakże uznały, iż nie są aktywne fizycznie z powodu braku odpowiedniego miejsca do ćwiczeń (48%), jako kolejny powód podały, że sport ich nie interesuje (45%), a następnie, że ponoszą zbyt duże koszty finansowe w związku z wykonywaniem aktywności fizycznej (38%).

Potrzeba zapewnienia młodzieży odpowiedniej do ich potrzeb rozwojowych dawki ruchu jest niezwykle istotnym aspektem wpływającym na poprawę, jakości życia przyszłych pokoleń Polek i Polaków. Dlatego niezbędne jest prowadzenie dalszych badań z zakresu motywów oraz barier podejmowania aktywności fizycznej przez współczesną młodzież w różnych regionach Polski.

#### 4. Wnioski

Na podstawie analizy wyników badań sformułowano następujące wnioski ogólne:

1. Rodzice nie są głównymi motywatorami młodzieży w podejmowaniu aktywności fizycznej, jednakże w przypadku chłopców ich wpływ był ponad dwukrotnie wyższy niż u dziewcząt.
2. Chłopcy podejmują aktywność fizyczną głównie dla przyjemności i satysfakcji związanej z uprawianiem danej dyscypliny sportu. Dziewczęta natomiast motywuje głównie możliwość poprawy własnego wyglądu.
3. Główną barierą w podejmowaniu aktywności fizycznej wśród chłopców były kwestie związane ze zdrowiem i przebytymi kontuzjami, dziewczęta uznały brak miejsca do ćwiczeń, jako największą przeszkodę w uprawianiu sportu.
4. Podejmowanie aktywności fizycznej przez młodzież była podyktowane w znacznej mierze własną inicjatywą i chęciami, a nie wpływem osób z ich środowiska.

#### Bibliografia:

1. Borek Z., Eider J., Mynarski W., Rozpara M., Puciato D. (2011). Zakres i motywy podejmowania aktywności turystycznej przez młodzież w wieku 15-17 lat. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Ekonomiczne problemy usług, 78 Sport i rekreacja a wyzwania współczesnej cywilizacji, 285-299.
2. Drabik J. (2010). Aktywność fizyczna jako przejaw patriotyzmu. Antropomotoryka, 50, 141-145.
3. Dudzik I. (2011). Determinanty zachowań rekreacyjnych młodzieży w średnim wieku szkolnym. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Ekonomiczne problemy usług, 78 Sport i rekreacja a wyzwania współczesnej cywilizacji, 257-270.
4. Gilka M., Napierała M., Cieślicka M., Muszkieta R., Zukow W. (2013). Aktywność fizyczna młodzieży z gimnazjum nr 52 w Bydgoszczy. Journal of Health Sciences, 3(12), 11-20.
5. Jodkowska M. (2013). Aktywność fizyczna i jej uwarunkowania. W: Mazur J (red), Aktywność fizyczna młodzieży szkolnej w wieku 9-17 lat-aktualne wskaźniki, tendencje ich zmian oraz wybrane zewnętrzne i wewnętrzne uwarunkowania (s. 11-16). Warszawa. Instytut Matki i Dziecka.
6. Kaczor-Szkodny P., Horoch A., Kulik T., Pacian A., Kawiak-Jawor E., Kaczoruk M. (2016). Aktywność fizyczna i formy spędzania czasu wolnego wśród uczniów w wieku 12-15 lat. Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu, 22(2), 113-119.
7. Kozłowska E., Kowalczyk A., Rząca M., Kocka K. (2015). Uczestnictwo w lekcjach wychowania fizycznego a rozwój kultury fizycznej po zakończeniu etapu edukacyjnego. Journal of Education, Health and Sport, 5(4), 355-365.
8. Napierała M., Szark-Eckardt M., Żukowska H., Kuska M., Zukow W. (2014). Aktywność fizyczna w zdrowym stylu życia bydgoskich gimnazjalistów. Journal of Health Sciences, 4(11), 11-32.
9. Pławińska L., Szczepanowska E., Repecka M. (2015). Aktywne formy spędzania czasu wolnego przez gimnazjalistów. Aktywność ruchowa ludzi w różnym wieku, 3, 53-63.



10. Winiarski R. (2011). Wprowadzenie do zagadnień rekreacji i czasu wolnego. W: Winiarski R (red), Rekreacja i czas wolny. praca zbiorowa (s. 13-28). Warszawa. Łośgraf.
11. Wojtyra K. (2016). Zachowania zdrowotne dzieci szkół podstawowych i ich rodziców na przykładzie uczniów klas V i VI z powiatu miasta Kalisz i powiatu kaliskiego, Rozprawa doktorska. Poznań. Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu Katedra i Zakład Fizjologii.
12. Zapolska J., Zarębska A., Ostrowska L.(2010). Fitness w leczeniu nadwagi i otyłości. Forum Zaburzeń Metabolicznych, 1(2), 100-105.

**Wykaz stron internetowych:**

13. World Health Organization, <https://www.who.int/> (news room: fact-sheets, detail, physical activity, 20.04.2020).

## 15. OCENA WPLYWU DIETY DOKTOR DĄBROWSKIEJ NA ORGANIZM W ZALEŻNOŚCI OD DŁUGOŚCI JEJ TRWANIA

**Kinga Ochmańska**

Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach

Collegium Medicum

Al. IX Wieków Kielc 19A, 25-317 Kielce

E-mail: kingaochmanska@wp.pl

### 1. Wstęp

Dieta dr Dąbrowskiej (inaczej post Daniela) jest to dwuetapowy program odchudzania, którego głównym celem jest oczyszczenie organizmu z toksyn, ale przede wszystkim przywrócenie równowagi wewnętrznej organizmu. Opiera się na włączeniu tzw. odżywiania wewnętrznego. Utrata masy ciała jest tylko efektem ubocznym kuracji oczyszczającej.

Dieta została opracowana na podstawie wieloletnich badań przez Ewę Dąbrowską. Pani Dąbrowska jest doktorem nauk medycznych. Pierwszy raz post został przeprowadzony na pacjencie ciężko chorym na serce. Jego kuracja odżywcza polegała na spożywaniu tartej marchwi oraz wody. Szybko okazało się, iż pacjent zaczął chudnąć, ale też dieta bardzo pozytywnie wpłynęła na funkcjonowanie innych narządów. Co było zaskakujące, pacjent nie odczuwał głodu. Z czasem do diety leczonego Pana wprowadzane zostały kolejne warzywa i tak powstała pierwotna wersja diety warzywno-owocowej dr Dąbrowskiej. Zdaniem autorki, kuracji można przypisać właściwości ozdrowieńcze. Dieta zwiększa zdolności organizmu do jego samoleczenia. Warunkiem tego jest wcześniejsze dokładne go oczyszczenie ze wszelakich toksyn. Zalecane do spożycia warzywa i owoce pomagają w procesie oczyszczenia organizmu, ponieważ są bogate w przeciwutleniacze.

Dieta jest programem dwuetapowym. Etap pierwszy, czyli tak zwany etap odtruwania może trwać, w zależności od potrzeby 7, 14, 21, 28, 32 lub 42 dni. Podczas diety je się ok. 600 kcal dziennie. W trakcie tego etapu można spożywać wyłącznie warzywa ubogie w skrobię, takie jak: rośliny cebulowe (np. cebula, por), dyniowate (np. kabaczek, ogórki), liściaste (np. sałata, wszelkiego rodzaju zioła), korzeniowe (np. marchew, buraki, rzodkiew), kapustne (np. kalafior, brokuły), psiankowate (pomidory, papryka-z wyjątkiem ziemniaków) oraz niskocukrowe owoce: jabłka, grejpfruty, jagody (jednak te w ograniczonej ilości). Ponadto należy spożywać 2-3 litry wody dziennie. Podczas tego etapu, szczególnie na początku mogą pojawiać się tak zwane kryzysy ozdrowieńcze, podczas których mogą pojawić się wymioty, biegunki, senność, bóle głowy, osłabienie. Takie dolegliwości nie powinny trwać dłużej niż 3 dni. Ponadto należy pomagać organizmowi w usuwaniu toksyn poprzez wykonywanie raz w tygodniu lewatywy oczyszczającej lub poprzez spożywanie naparów z ziół wspomagających perystaltykę jelit. Etap drugi (tak zwany etap wychodzenia) powinien trwać tyle samo lub dwa razy dłużej niż etap odtruwania. Jeżeli zdecydujemy się na przeprowadzenie diety sześciotygodniowej, wówczas każdego tygodnia będziemy rozszerzać nasze menu. I tak w pierwszym tygodniu wychodzenia możemy włączyć wszystkie owoce i warzywa zabronione w etapie odtruwania tj. ziemniaki, banany, brzoskwinie, bataty itd.

W drugim można zacząć jeść zboża, pestki nasion i orzechy. W trzecim tygodniu powraca się do jedzenia nabiału, zaś w czwartym tygodniu zaczyna się jeść chude mięso, ryby, a w piątym tygodniu pełnowartościowe zdrowe jedzenie (łącznie dziennie do 1800 kcal). Natomiast w ostatnim tygodniu (szóstym), można jeść już wszystkie produkty według zapotrzebowania. Po zakończeniu etapu wychodzenia, w każdym kolejnym tygodniu po zakończeniu diety należy odbywać tak zwaną „przypominajkę” czyli jeden dzień, w którym należy spożywać wyłącznie warzywa dozwolone w czasie diety podczas etapu odtruwania [ewadabrowska.pl, dostęp 15.04.2020]

#### *Cel i założenia pracy naukowo-badawczej*

Określenie wpływu diety opracowanej przez doktor Dąbrowską na organizm człowieka w zależności od długości jej trwania.

## **2. Materiały**

#### *Materiał i metoda badawcza*

Badania zostały przeprowadzane metodą sondażową, na podstawie autorskiej ankiety, na gronie stu pięćdziesięciu pięciu (100%) losowo wybranych kobiet i mężczyzn z czego 153 osoby (98,7%) stanowiły kobiety, zaś 2 osoby (1,3%) stanowili mężczyźni. Dokonano również przeglądu literatury. Wykorzystano następujące bazy: Pubmed, Google Scholar i Elsevier. Do wyszukiwania użyto haseł takich jak: „diet”, „healthy eating”, „fallow deer”, „internal nutrition”. Spośród uzyskanych wyników wyselekcjonowano artykuły o dostatecznej wiarygodności, które opisywały przypadki, wpływu żywienia na funkcjonowanie organizmu. Ponadto przeszukano internet, specjalistyczne książki naukowe oraz wyżej wymienione bazy o tematyce medyczno-dietetycznej w celu znalezienia literatury, która opisuje wpływ żywienia na organizm człowieka.

#### *Miejsce badań*

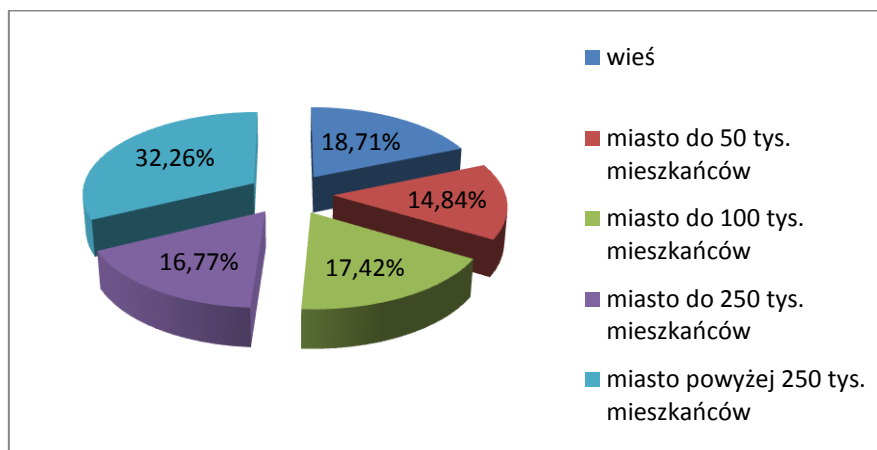
Badanie zostało przeprowadzone na przełomie lutego/marca 2020 roku metodą sondażu diagnostycznego, w postaci autorskiej ankiety, z wykorzystaniem Internetu. Elektroniczna forma formularza została wykonana na stronie internetowej [www.google.com](http://www.google.com). Po uzyskaniu zgody przez portal społecznościowych Facebook, ankieta została opublikowana na grupach skupiających osoby, które ukończyły cykl lub różne cykle diety.

#### *Budowa formularza*

Kwestionariusz ankiety składał się z 18 pytań podzielonych na cztery grupy. Pytania opierały się na klasyfikacji wpływu postu leczniczego na organizm człowieka w zależności długości jego trwania. Pierwsza seria pytań miała na celu zebranie głównych informacji takich jak płeć, wiek, miejsce zamieszkania oraz wykształcenie. W drugiej serii pytań respondenci odpowiadali o powodzie przejścia na dietę, zaś w części trzeciej: o długości trwania postu Daniela. W ostatniej części ankietowani byli pytani o efekty jakie spostrzegli po odbyciu kuracji. Obliczenia statystyczne wykonane zostały przy pomocy pakietu statystycznego kalkulacyjnego Excel 2007.

### Miejsce zamieszkania

Wśród badanych 29 osób (18,7%) zamieszkiwało wieś, 23 osoby (14,8%) było zameldowanych w mieście do 50 tys. mieszkańców. 27 osób (17,4%) znajdowało się w mieście do 100 tys. mieszkańców, zaś 26 osób (16,8%) zamieszkiwało miasto do 250 tys. mieszkańców. Największa grupa 50 osób, co stanowi 32,3% badanych, zameldowana była w mieście powyżej 250 tys. mieszkańców.

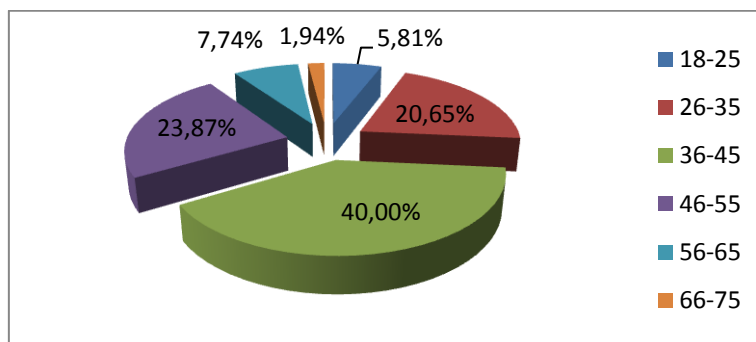


**Wykres 1. Miejsce zamieszkania ankietowanych**

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

### Przedział wiekowy badanych

Rozpiętość wiekowa responderów waha się między 18, a 75 rokiem życia. Największą grupę stanowiły osoby w przedziale wiekowym 36-45 lat (40%, n=62), zaś najmniejszą grupę stanowili badani w wieku 66-75 lat (1,9%, n=3).

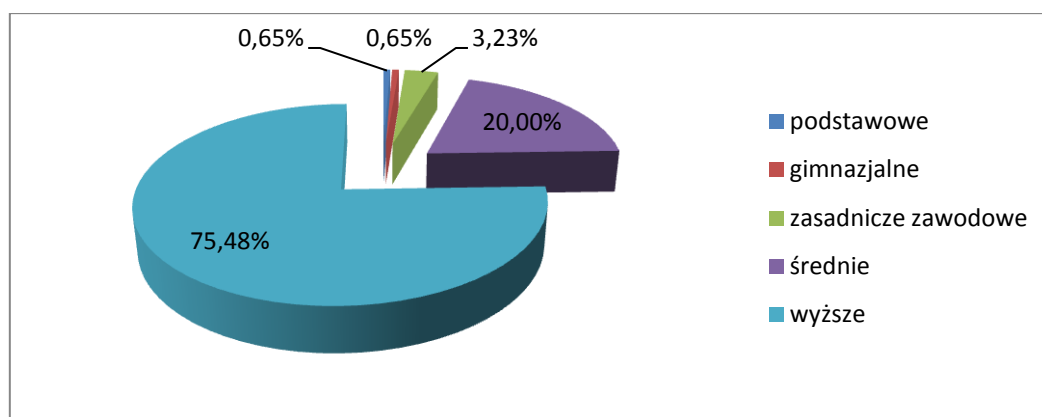


**Wykres 2. Przedział wiekowy ankietowanych**

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

### Wykształcenie osób ankietowanych

Pośród ankietowanych dominującą grupą były osoby z wykształceniem wyższym, stanowili oni 75,5% badanych (n=117), druga co do wielkości grupą były osoby z wykształceniem średnim- 20% (n=31). Znacznie mniej liczne były osoby o wykształceniu zasadniczym zawodowym- 3,2% (n=5), gimnazjalne- 0,6% (n=1), podstawowe- 0,6% (n=1).

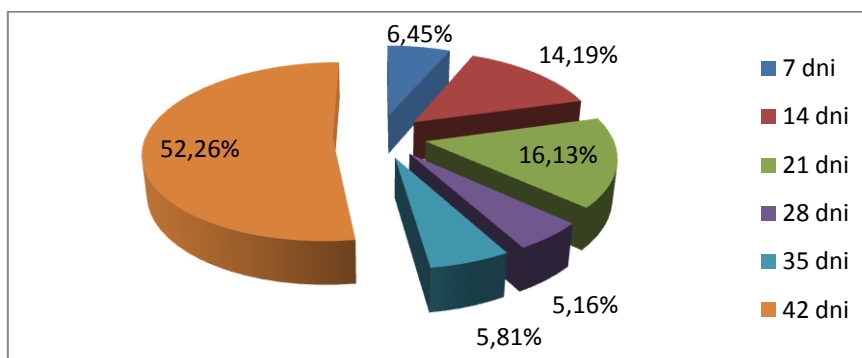


**Wykres 3. Wykształcenie osób ankietowanych**

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

#### *Długość przeprowadzonego postu Daniela*

Badani przeprowadzili różnej długości kuracje opracowane przez dr Dąbrowską. Najdłuższy okres trwania (42-dniowy) przeprowadziło 52,3% badanych (n=81), post 35- dniowy odbyło 5,2% (n=8), 28-dniowy post odbyło 5,8% (n=9), zaś 21-dniową kurację odbyło 16,1% (n=25). Podobną grupę- 14,2% (n=22) stanowiły osoby, które odbyły 14- dniowy post. 6,5% (n=10) to grupa osób, które odbyły jednotygodniową kurację odżywczą.



**Wykres 4. Długość przeprowadzonego postu dr Dąbrowskiej**

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

### **3. Wyniki i dyskusja**

Ankieta wypełniona przez responderów była podzielona na pytania odnoszące się do układu pokarmowego, układu immunologicznego, skóry oraz układu hormonalnego.

#### *Układ pokarmowy*

Pokarm składa się z wielu części. Biodostępność składników pokarmowych jest istotnym wskaźnikiem do oceny wpływu żywienia człowieka na jego zdrowie (Neumann, 2006). Badania z 2014 wykazały, iż dieta z zawartością dużej ilości błonnika wpływa korzystnie na przewód pokarmowy. Błonnik zawarty jest w takich warzywach jak burak, marchew, pietruszka (Platta, 2014).

Ankietowani zapytani zostali o wpływ postu leczniczego Daniela na metabolizm, ustąpienia nietolerancji pokarmowych pod wpływem diety dr Dąbrowskiej, o efekty kuracji

odnoszące się do dolegliwości żołądkowo-jelitowe: zgaga, zaparcia, biegunki, wzdęcia, zespół jelita nadwrażliwego i inne, a także o wpływ diety na zespoły metaboliczne np. cukrzyca, nadciśnienie, zaburzenia poziomu lipidów, choroba wieńcowa.

W formularzu ankietowani mieli wybrać wpływ diety warzywno-owocowej opracowanej przez doktor Dąbrowską na ich metabolizm. Zdecydowana większość (ponad 50%) w każdej z 6 grup odbywającej post wykazała pozytywny wpływ kuracji na przemianę materii. Najlepsze efekty uzyskały osoby przeprowadzające post 35-dniowy- 62,5% badanych (n=5) jest pewna, co do pozytywnego wpływu diety dr Dąbrowskiej na ich eliminację. 77,78% osób (n=7) z grupy przeprowadzającej post 28-dniowy, spostrzegło pozytywny wpływ na metabolizm (odpowiadając na pytanie „Zdecydowanie tak” oraz „Raczej tak”).

**Tabela 1. Po odbyciu diety dr Dąbrowskiej: (Proszę zaznaczyć, która odpowiedź najbardziej charakteryzuje Pani/Pana przypadek) [Wzrósł mój metabolizm]**

	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Raczej nie	Zdecydowanie nie	Nie dotyczy
7 dni	40,00%	10,00%	50,00%	0,00%	0,00%
14 dni	22,73%	36,36%	13,64%	4,55%	22,73%
21 dni	48,00%	16,00%	32,00%	0,00%	4,00%
28 dni	33,33%	44,44%	11,11%	0,00%	11,11%
35 dni	62,50%	12,50%	12,50%	0,00%	12,50%
42 dni	34,57%	25,93%	24,69%	9,88%	4,94%

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

Jednym ze wskazań do przeprowadzenia Postu Daniela, są licznie nietolerancje pokarmowe. Zapytaliśmy ankietowanych o wpływ diety na dolegliwości pokarmowe. Około 1/3 z badanych nie miała problemu przed dietą z dolegliwościami ze strony układu pokarmowego. Najmniej pozytywnych efektów 30% (n=3) spostrzegły osoby odbywające post 7-dniowy, zaś najwięcej osoby odbywające post 28-dniowy (w sumie 55,56% badanych (n=5)). Jednak należy podkreślić, iż 44,44% (n=4) nie jest pewna zaobserwowanych efektów. Największa grupa będąca pewna zaobserwowanych zmian to osoby, które odbyły 35-dniowy post- 37,5% badanych (n=3).

**Tabela 2. Po odbyciu diety dr Dąbrowskiej: (Proszę zaznaczyć która odpowiedź najbardziej charakteryzuje Pani/Pana przypadek) [Ustąpiły nietolerancje pokarmowe]**

	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Raczej nie	Zdecydowanie nie	Nie dotyczy
7 dni	0,00%	30,00%	50,00%	0,00%	20,00%
14 dni	18,18%	36,36%	22,73%	4,55%	18,18%
21 dni	16,00%	28,00%	28,00%	0,00%	28,00%
28 dni	11,11%	44,44%	11,11%	0,00%	33,33%
35 dni	37,50%	12,50%	0,00%	0,00%	50,00%
42 dni	18,52%	22,22%	25,93%	9,88%	23,46%

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

W ankiecie respondenci mieli określić wpływ diety dr Dąbrowskiej na dolegliwości żołądkowo-jelitowe. U 100% osób przeprowadzających post 28-dniowy (n=9) zmniejszyły się

dolegliwości żołądkowo-jelitowe między innymi: zgaga, zaparcia, biegunki, wzdęcia, zespół jelita nadwrażliwego (na pytanie o to odpowiedziały „Zdecydowanie tak” lub „Raczej tak”. Jednak największy odsetek osób, które są pewne pozytywnych skutków wpływu diety na dolegliwości żołądkowo-jelitowe to osoby, które odbyły post 35-dniowy- 62,5% badanych (n=5).

**Tabela 3. Po odbyciu diety dr Dąbrowskiej: (Proszą zaznaczyć, która odpowiedź najbardziej charakteryzuje Pani/Pana przypadek) [Zmniejszyły się dolegliwości żołądkowo-jelitowe: zgaga, zaparcia, biegunki, wzdęcia, zespół jelita nadwrażliwego i inne.]**

	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Raczej nie	Zdecydowanie nie	Nie dotyczy
7 dni	40,00%	40,00%	0,00%	10,00%	10,00%
14 dni	50,00%	31,82%	9,09%	0,00%	9,09%
21 dni	32,00%	44,00%	8,00%	4,00%	12,00%
28 dni	55,56%	44,44%	0,00%	0,00%	0,00%
35 dni	62,50%	0,00%	0,00%	0,00%	37,50%
42 dni	49,38%	20,99%	7,41%	3,70%	18,52%

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

Respondenci określili również wpływ diety Daniela na zmniejszenie dolegliwości ze strony zespołów metabolicznych (inaczej zespół X), które charakteryzują liczne zaburzenia metaboliczne, które stopniowo wyniszczają organizm. Znaczna część badanych nie obserwowała dolegliwości metabolicznych przed dietą. Osoby, które miały objawy zespołów metabolicznych w wyniku diety, najlepsze efekty osiągały, przeprowadzając post 35-dniowy 50% (n=4).

**Tabela 4. Po odbyciu diety dr Dąbrowskiej: (Proszą zaznaczyć, która odpowiedź najbardziej charakteryzuje Pani/Pana przypadek) [Ustały zespoły metaboliczne np. cukrzyca, nadciśnienie, zaburzenia poziomu lipidów, choroba wieńcowa.]**

	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Raczej nie	Zdecydowanie nie	Nie dotyczy
7 dni	0,00%	50,00%	0,00%	10,00%	40,00%
14 dni	22,73%	13,64%	18,18%	4,55%	40,91%
21 dni	16,00%	16,00%	20,00%	4,00%	44,00%
28 dni	22,22%	33,33%	22,22%	0,00%	22,22%
35 dni	25,00%	25,00%	12,50%	0,00%	37,50%
42 dni	29,63%	19,75%	8,64%	2,47%	39,51%

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

### Skóra

W pokarmie, którym spożywamy znajduje się wiele składników mineralnych, które wpływają na naszą skórę. Badania wykazały, iż magnez zawarty między innymi w szpinaku czy brokułach zmniejsza ilość występowania alergii skóry (Błach i in. 2007). Głównym z efektów ubocznych kuracji warzywno-owocowej jest wchłonięcie się błizn, poprawienie elastyczności skóry oraz redukcja ilości zmarszczek. Największy odsetek osób, którzy

zaobserwowali pozytywny wpływ diety na redukcję ilości blizn to badani, którzy przeprowadzili post 28- dniowy- 55,56% osób z tej grupy (n=5).

**Tabela 5. Po odbyciu diety dr Dąbrowskiej: (Proszą zaznaczyć, która odpowiedź najbardziej charakteryzuje Pani/Pana przypadek) [Blizny wchłonęły się]**

	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Raczej nie	Zdecydowanie nie	Nie dotyczy
7 dni	0,00%	20,00%	40,00%	10,00%	30,00%
14 dni	4,55%	22,73%	4,55%	13,64%	54,55%
21 dni	12,00%	24,00%	20,00%	4,00%	40,00%
28 dni	22,22%	33,33%	22,22%	0,00%	22,22%
35 dni	25,00%	25,00%	0,00%	25,00%	25,00%
42 dni	11,11%	20,99%	19,75%	17,28%	30,86%

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

Najlepszy skutek w poprawieniu elastyczności skóry został osiągnięty wśród osób przeprowadzających post 7-dniowy- 50% (n=5) badanych. 77,27% (n=17) badanych, którzy odbyli post 14-dniowy, 84,00% (n=17) osób stosujących kurację 21-dniową, oraz 88,89% (n=8) post 28-dniowy, potwierdziło pozytywny efekt diety na elastyczność skóry. 62,50% (n=5) osób z grupy badawczej, którzy przeprowadzili dietę dr Dąbrowskiej trwającą 35 dni, jest zadowolona z efektów. Zaś 72,84% (n=59) osób z grupy przeprowadzającej post 42- dniowy wykazuje pozytywny efekt postu Daniela. Łącznie 115 osób tj. 74,19% ankietowanych zauważa dobry wpływ kuracji na elastyczność skóry.

**Tabela 6. Po odbyciu diety dr Dąbrowskiej: (Proszą zaznaczyć, która odpowiedź najbardziej charakteryzuje Pani/Pana przypadek) [Poprawiła się elastyczność skóry]**

	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Raczej nie	Zdecydowanie nie	Nie dotyczy
7 dni	40,00%	10,00%	40,00%	10,00%	0,00%
14 dni	50,00%	27,27%	9,09%	4,55%	9,09%
21 dni	40,00%	44,00%	12,00%	0,00%	4,00%
28 dni	44,44%	44,44%	11,11%	0,00%	0,00%
35 dni	37,50%	25,00%	25,00%	0,00%	12,50%
42 dni	46,91%	25,93%	17,28%	6,17%	3,70%

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

Jeśli zapytamy o wpływ kuracji warzywno-owocowej na redukcję ilości zmarszczek to u ponad połowy ankietowych uległa zmniejszeniu z wyjątkiem grupy, która odbyła post 14 dniowy.



**Tabela 7. Po odbyciu diety dr Dąbrowskiej: (Proszą zaznaczyć, która odpowiedź najbardziej charakteryzuje Pani/Pana przypadek) [Ilość zmarszczek zmniejszyła się.]**

	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Raczej nie	Zdecydowanie nie	Nie dotyczy
7 dni	10,00%	40,00%	30,00%	20,00%	0,00%
14 dni	22,73%	22,73%	27,27%	4,55%	22,73%
21 dni	40,00%	16,00%	24,00%	8,00%	12,00%
28 dni	11,11%	55,56%	22,22%	0,00%	11,11%
35 dni	12,50%	50,00%	12,50%	0,00%	25,00%
42 dni	24,69%	27,16%	19,75%	11,11%	17,28%

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

#### *Układ immunologiczny*

Duża ilość komórek układu immunologicznego występuje w przewodzie pokarmowym. W związku z tym spożywane posiłki mają bardzo duży wpływ na kształtowanie odporności. Zawarte w warzywach witaminy A, D, E, K mają znaczący wpływ na układ odpornościowy. Retinol zawarty w marchwi, papryce zapobiega atrofii grasicy, śledziony i innych. Witamina C zawarta w brokułach zmniejsza ilość reaktywnych form tlenu (Kościej i in., 2017). W ankiecie poruszona była także kwestia wpływu kuracji na układ immunologiczny, a mianowicie na częstość występowania infekcji wirusowych oraz alergii. Zdecydowana większość osób przeprowadzająca post 42-dniowy była przekonana o pozytywnych efektach diety- 55,56% osób z tej grupy (n=45). Najlepsze efekty w zmniejszeniu intensywności alergii uzyskała grupa odbywająca post 35-dniowy- 37,50% osób z tej grupy (n=3). Należy jednak zauważyć, iż blisko połowa osób z każdej z grup nie miała problemów z astmą, jak również nie zaobserwowała objawów astmy po zastosowaniu diety.

**Tabela 8. Po odbyciu diety dr Dąbrowskiej: (Proszą zaznaczyć, która odpowiedź najbardziej charakteryzuje Pani/Pana przypadek) [Rzadziej choruje na infekcje wirusowe]**

	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Raczej nie	Zdecydowanie nie	Nie dotyczy
7 dni	30,00%	30,00%	10,00%	10,00%	20,00%
14 dni	45,45%	13,64%	18,18%	4,55%	18,18%
21 dni	32,00%	24,00%	24,00%	4,00%	16,00%
28 dni	44,44%	44,44%	0,00%	0,00%	11,11%
35 dni	50,00%	37,50%	0,00%	0,00%	12,50%
42 dni	55,56%	19,75%	9,88%	6,17%	8,64%

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

**Tabela 9. Po odbyciu diety dr Dąbrowskiej: (Proszę zaznaczyć, która odpowiedź najbardziej charakteryzuje Pani/Pana przypadek) [Intensywność przebiegu alergii/astmy zmniejszyła się.]**

	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Raczej nie	Zdecydowanie nie	Nie dotyczy
7 dni	20,00%	10,00%	40,00%	10,00%	20,00%
14 dni	18,18%	18,18%	4,55%	13,64%	45,45%
21 dni	12,00%	20,00%	12,00%	8,00%	48,00%
28 dni	0,00%	22,22%	22,22%	0,00%	55,56%
35 dni	37,50%	12,50%	0,00%	0,00%	50,00%
42 dni	19,75%	19,75%	4,94%	6,17%	49,38%

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

#### *Układ hormonalny*

Dieta ma znaczący wpływ na nasz układ nerwowy i hormonalny. Związki takie jak żelazo zawarte w porze, pomidorze, pokrzywie, mają istotny wpływ na układ nerwowy, który oddziałuje na układ hormonalny. Żelazo zapewnia prawidłowe dotlenienie organizmu. Zaś witamina D modeluje neurogenezę (Chłopicka, 2020). 42-dniowy post zastosowało 81 osób i zdecydowaną poprawę zaobserwowano u 37,04% osób z tej grupy (n=30). Najwięcej pozytywnych efektów związanych z zaburzeniami hormonalnymi wykazano u osób, którzy zastosowali dietę 21-dniową- 64,00% tej grupy (n=16).

**Tabela 10. Po odbyciu diety dr Dąbrowskiej: (Proszę zaznaczyć, która odpowiedź najbardziej charakteryzuje Pani/Pana przypadek) [Ustąpiły problemy natury hormonalnej, np. zaburzenia miesiączkowania, dolegliwości związane z menopauzą, niedoczynność i guzki tarczycy, nadmiar estrogenów czy prolaktyny, torbiele jajników, mięśniaki macicy]**

	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Raczej nie	Zdecydowanie nie	Nie dotyczy
7 dni	10,00%	10,00%	60,00%	10,00%	10,00%
14 dni	36,36%	18,18%	13,64%	4,55%	27,27%
21 dni	36,00%	28,00%	4,00%	4,00%	28,00%
28 dni	22,22%	22,22%	11,11%	0,00%	44,44%
35 dni	25,00%	12,50%	25,00%	0,00%	37,50%
42 dni	37,04%	16,05%	13,58%	7,41%	25,93%

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przeprowadzonej ankiety.

#### **4. Wyniki**

Według analizy wtórnych źródeł empirycznych, zaczerpnięte ze statystyki ogólnej (stat.gov.pl) wśród ludzi rośnie tendencja na dania wegetariańskie, niskotłuszczowe i dietetyczne. Wpływ diety ma znaczący wpływ na organizm człowieka. Stosowanie diety doktor Dąbrowskiej wykazało pozytywny wpływ we wszystkich sferach, na których skupiała się ankieta. U badanych nastąpiła poprawa w funkcjonowaniu układu pokarmowego, zaobserwowano wzrost tempa metabolizmu, zmniejszenie nietolerancji pokarmowych, zmniejszenie dolegliwości żołądkowo-jelitowych, zmniejszenie objawów zespołów metabolicznych. Najbardziej zadowoloną grupą były osoby przeprowadzające post

28-dniowy. U tej samej grupy osób wykazano największy pozytywny wpływ kuracji na skórę. Funkcjonowanie układu immunologicznego również zmieniło się pod wpływem stosowania postu Daniela. Grupa odbywająca post 35-dniowy zauważyła najwięcej pozytywnych efektów odnoszących się do zmniejszenia objawów astmy, zaś osoby przechodzące post 28-dniowy w zmniejszeniu infekcji wirusowych. Odnosząc do układu hormonalnego osoby odbywające post 21-dniowy wykazały najwięcej pozytywnych efektów. Należy jednak zwrócić uwagę, iż grupa przechodząca post 28-dniowy liczyła tylko 9 osób. Najbardziej wiarygodne wyniki dotyczą osób przechodzący post 42-dniowy, gdyż grupa badawcza liczyła 81 osób. W tej grupie najlepsze efekty ponad 70% badanych wykazano w zmniejszeniu dolegliwości żołądkowo-jelitowych, spadek infekcji wirusowych oraz wzrost elastyczności skóry. Najmniej osób w tej grupie spostrzegło zmniejszenie się blizn jednak należy podkreślić, iż u 30% responderów nie występowały one wcześniej.

### **Bibliografia:**

1. Błach, Joanna, Wojciech Nowacki, and Andrzej Mazur. 2007 "Wpływ magnezu na reakcje alergiczne skóry. [Magnesium in skin allergy]." *Post. Hig. Med. Doæw* 61: 548-557.
2. Chłopicka, Joanna. 2020, "CZY DIETA I SUPLEMENTY MOGĄ WSPOMÓC PRACĘ MÓZGU?." *Wszechświat* 121.1-3; 30-39
3. Kościej Anna, Urszula Skotnicka-Graca, and Iwona Ozga. 2007. "Rola wybranych czynników żywieniowych w kształtowaniu odporności dzieci." *Probl Hig Epidemiol* 98.2; 110-117.
4. Neumann Małgorzata, 2006, et al. "Modele przewodu pokarmowego in vitro do badań nad biodostępnością składników odżywczych." *Żywność Nauka Technologia Jakość* 13.; 30-45.
5. Platta, Anna. 2014, "Rola diety bogatoresztkowej w profilaktyce i leczeniu zaparc, otyłości, cukrzycy i chorób układu sercowo-naczyniowego." *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni* 86 154-166.

### **Wykaz stron internetowych:**

6. ewadabrowska.pl, (dostęp 15.04.2020).
7. stat.gov.pl Mały Rocznik Statystyczny 2019. GUS Warszawa 2019., Budżety gospodarstw domowych w 2019r.GUS (dostęp 27.05.20).

## **16. WSPÓLPRACA LOGOPEDY I TERAPEUTY INTEGRACJI SENSORYCZNEJ W BUDOWANIU EFEKTYWNYCH METOD TERAPEUTYCZNYCH WOBEC ZABURZEŃ NEUROMOTORYCZNYCH**

**mgr Kamila Urbaniak**

Uczelnia Łazarskiego w Warszawie

**Streszczenie:** Rozwój mowy dziecka zależny jest od wielu czynników. Coraz częściej spotyka się korelację występującą pomiędzy dziedziną logopedii i fizjoterapii oraz integracji sensorycznej. Implikuje się, że współuczestniczą one w procesie występującym w prawidłowym funkcjonowaniu organizmu w różnych jego sferach. Zauważa się, że niezintegrowane obszary wpływają na czynności realizacyjne człowieka, dlatego też terapia integracji sensorycznej jest istotna i wspomagająca podczas budowania efektywnych metod terapeutycznych- przede wszystkim dla dzieci z wyzwaniami rozwojowymi.

**Słowa kluczowe:** dziecko, terapia integracji sensorycznej, logopedia, terapia, zaburzenia neuromotoryczne

### **1. Wstęp**

Bazując na najnowszych badaniach, zauważa się intensywny związek występujący pomiędzy funkcjonalnością narządu artykulacyjnego- który stanowi podstawę budowania komunikatów, a przetwarzaniem bodźców sensorycznych, pochodzących ze środowiska zewnętrznego. Implikuje się, że te dwie dziedziny mają do siebie ambiwalentny stosunek- to znaczy, mogą na siebie działać lub przeciwdziałać. Z jednej strony trudności wynikające z zaburzeń integracji sensorycznej w dużej mierze przyczyniają się do powstawania trudności na tle motoryki ustno- twarzowej; z drugiej strony- w przypadku takiej sytuacji- integracja sensoryczna jest istotnym wsparciem w stymulacji rozwoju mowy. Praca logopedy polega nie tylko na wywoływaniu głosek czy usuwaniu wad wymowy. Coraz częściej wprowadza się w terapii metody holistyczne, całościowe. Z doświadczenia wynika, że nieprawidłowości te są wielopłaszczyznowe i, co ważne patomechanizmów doszukuje się w elementach, na pierwszy rzut oka, ze sobą niepowiązanych. Dlatego też postanowiono rozstrzygnąć związek pomiędzy dziedzinami w znaczeniu funkcjonowania dziecka, a wobec tego komponenty terapeutyczne, które wchodzi w ten skład. Skoncentrowano się przede wszystkim na działaniach występujących po stronie logopedy i terapeuty integracji sensorycznej.

### **2. Charakterystyka mowy dziecka- występujące zaburzenia**

Oprócz wspomnianych wyżej wad wymowy, istnieje szereg innych zaburzeń, którymi zajmuje się logopeda. Coraz częściej zwraca się uwagę na to, iż wszelkiego rodzaju dysfunkcje mają podłoże funkcjonalno- anatomiczne- kierując się całościowym klinicznym obrazem dziecka i determinując postawę ciała, a także rozwój psychoruchowy i motoryczny, jako etiologię powstających nieprawidłowości. Zwraca się uwagę na patomechanizmy, które często zakorzenione są w zaburzeniach integracji sensorycznej. Nieprawidłowości te dotyczą

dużego grona dzieci- mając tu na uwadze te, u których można zauważyć opóźnienie rozwoju mowy, jak również z chorobami neurologicznymi, genetycznymi, ze spektrum zaburzeń neurorozwojowych. Do grupy podwyższonego ryzyka zalicza się także te z porodów przedwczesnych. W większości przypadków zauważa się dysfunkcje integracji sensorycznej, która wykształca się i wpływa bezpośrednio na rozwój mowy dziecka i jego komunikację. Trudności w sferze oralnej często determinuje miano wrażliwości- które można skategoryzować jako nadwrażliwość lub podwrażliwość. Komponenty są o tyle istotne, bowiem wpływają na jakość wymawianych głosek oraz implikują innym sferom, które bezpośrednio łączą się z tym procesem- uszczegóławiając- na czynności prymarne. Omawiając zaburzenia w wytwarzaniu dźwięków mowy, warto także mieć na uwadze przetrwałe lub niezintegrowane odruchy niemowlęce, które także wpływają na proces realizacyjny mowy. Odruchy są reakcją na bodźce, które napływają z otoczenia. Jedne występują tylko w konkretnym okresie życia, inne zostają przez cały czas. Ich przetrwanie- czyli wydłużenie czasu trwania, w miejscu, gdzie powinien już zaniknąć lub niezintegrowanie, charakteryzujące się nieprawidłową pracą neurofizjologiczną lub niedojrzałością neuromotoryczną są konsekwencją nieprawidłowości pojawiających się w obszarze mowy.

### 3. Systemy zmysłowe implikujące integrację sensoryczną

Opisując integrację sensoryczną warto skoncentrować się na bodźcach zmysłowych, poprzez które możliwe jest przetwarzanie informacji płynących ze środowiska. Układy zmysłowe są ze sobą połączone i w takiej korelacji, przy prawidłowych warunkach oraz funkcjonowaniu mogą odpowiednio dostarczać organizmowi istotne bodźce, które są przetwarzane z otoczenia. Bodźcowanie jest bardzo ważne w życiu każdego człowieka. Stanowi istotny element w prawidłowej pracy układu nerwowego. Wymieniając- mięśnie, stawy, organy, skórę i właśnie zmysły, są odpowiedzialne za wysyłanie informacji sensorycznych do mózgu. Na tej podstawie tworzone są reakcje, które noszą miano *odpowiedzi*, korelując ciało i umysł do przyjmowania tego typu wiadomości. Prawidłowy rozwój mózgu w dużej mierze zależny jest od przyjmowania różnorodnych typów bodźcowania.

Kora motoryczna jest bazą, w której przekazywane są sygnały neuronalne, docierające do poszczególnych ruchów ciała oraz mowy, jak również odbiorem informacji, pochodzących z narządów zmysłów [Sonnenschmidt, 2020, s. 164].

Zanim zostaną omówione systemy zmysłowe, warto wspomnieć także o trzech filarach, których zadaniem jest dostarczanie informacji przede wszystkim w obrębie samoświadomości ciała i otaczającego środowiska. Korelują one z występującymi zmysłami, mianowicie:

1. **wzrok i słuch**- determinuje o przekazach znajdujących się w odległości; **dotyk**, który decyduje o tym, co znajduje się na ciele oraz o tym, co w nie wnika, czyli **powonienie i smak**;
2. **zmysły przedsionkowe i proprioceptywne**- które są odpowiedzialne za reakcje ruchowe, grawitację i pozycję ciała;
3. **wisceroreceptory**- znajdujące się w narządach wewnętrznych.

Oprócz tego, wymienia się także eksteroreceptory, czyli bodźce dochodzące do organizmu z zewnątrz. Wymienia się w tym miejscu, takie zmysły jak:

1. zmysł wzroku- widzenie;
2. zmysł słuchu- dźwięk;
3. zmysł smaku- smak;
4. zmysł powonienia- zapach;
5. zmysł dotyku- dotyk.

Bodźce odpowiedzialne za czucie ułożenia ciała w przestrzeni oraz za sposób poruszania się (czyli proprioceptory), to:

1. zmysł proprioceptywny- pozycja i ruch;
2. zmysł przedsionkowy- grawitacja, ruchy głowy i równowaga.

Wymienia się także systemy bodźcowe, które przekazują informację o tym, co dzieje się wewnątrz ciała i do tej kategorii zalicza się:

1. czucie trzewne [Ayres, 2015, s. 51].

#### **4. Integracja sensoryczna a rozwój mowy**

Dojrzałość i sprawność ośrodkowego układu nerwowego jest jednym z komponentów wpływających na prawidłowy proces rozwojowy mowy. Do tych determinantów bardzo ważne jest także dodanie rozwoju ruchowego, a szczególnie koordynację oraz prakcję w zakresie ruchów rąk. Jest to o tyle istotne, ponieważ funkcje anatomiczne znajdujące się w korze mózgowej, skorelowane w ośrodku mowy, który jest odpowiedzialny za sprawność językową wraz z ruchami rąk tworzą wyraźną zależność. Wobec tego, podczas widocznych dysfunkcji w obrębie narządu artykulacyjnego, wyodrębnia się stymulowanie motoryki małej. Za determinanty przyczyniające się do występowania nieprawidłowości podczas rozwoju mowy zalicza się także dysfunkcje organiczne występujące w obrębie struktur nerwowych, jak również komplikacje wynikające podczas przepływu informacji sensorycznych i koordynacji oddechowo- fonacyjno- artykulacyjnej. Ośrodkowy układ nerwowy przyczynia się do przetwarzania, kojarzenia i integracji impulsów nerwowych, które korelują do usprawniania i funkcjonowania prawidłowego procesu mowy. Występujące zaburzenia mowy lub jej opóźnienie bardzo często można utożsamić z dysfunkcjami w obrębie integracji sensorycznej, to znaczy zarówno z odbiorem, jak i przetwarzaniem bodźców zmysłowych. Przybierająca postać takiego zjawiska jest najczęściej uogólniona i implikuje dezorganizację sensorycznej. Dotyczy to odbierania ich ze zbyt dużą intensywnością (nadwrażliwość) lub zbyt małą (podwrażliwość) [Odowska- Szlachcic, 2016, s. 56-59]. Trudności objawiające się w zachowaniu lub przyswajaniu wiedzy szkolnej mogą być spowodowane zaburzeniami w zakresie integracji sensorycznej. Dysfunkcje występują również podczas rozwoju społecznego i emocjonalnego dziecka [Odowska- Szlachcic, 2018, s. 7]. U dzieci zauważa się także dysfunkcje w obrębie rejestracji bodźców sensorycznych, a także modulacji impulsów sensorycznych [Wasilewski, 2018, s. 27]. Procesy, które zachodzą w ośrodkowym układzie nerwowym polegają na organizacji informacji zmysłowych, dzięki którym możliwe jest utworzenie odpowiednich reakcji w obrębie przystosowania [Wasilewski, 2015, s. 14].

## **5. Współwystępowanie odruchów w procesie realizacyjnym mowy**

Mówiąc o procesach, które przyczyniają się do rozwoju mowy, nie można zapomnieć o odruchach występujących w życiu człowieka. Przede wszystkim można podzielić je na niezintegrowane i przetrwałe. Pierwsza kategoria odnosi się do niedojrzałości układu nerwowego, charakteryzującego się nieprawidłową pracą odruchów, druga zaś o występowaniu ich w miejscu, w którym powinny być one wygaszone. Znaczenie ich prawidłowego występowania, implikuje zarówno w zakresie integracji sensorycznej, jak i logopedii- to znaczy w rozwoju psychomotorycznym. Do odruchów pierwotnych należą Asymetryczny toniczny odruch szyjny (ATOS), Symetryczny toniczny odruch szyjny (STOS), Toniczny odruch błędnikowy (TOB) oraz Odruch Moro. Są one związane z funkcjonowaniem układu przedsionkowego. Ich dysfunkcje tworzą barierę w przyswajaniu wiedzy i uczeniu się oraz rozwijaniu stanów lękowych [Goddard Blythe, 2015, s. 29-30]. O odruchach mówi się już w okresie prenatalnym, w sytuacji, gdy pojawiają się i zaczynają funkcjonować narządy odpowiedzialne za nadawanie i odbieranie mowy, a także za korelację występującą pomiędzy nimi. Rozwój mowy w dużej mierze zależny jest od prawidłowej budowy narządów artykulacyjnych, jak również ich dojrzałością. Jest to o tyle istotne, ponieważ praca poszczególnych elementów kompleksu ustno- twarzowego, bierze czynny udział podczas funkcjonowania odruchów [Kondraciuk i wsp., 2014, s. 189].

## **6. Zaburzenia kompleksu ustno- twarzowego**

W związku z nieprawidłowym przetwarzaniem bodźców sensorycznych z otoczenia, występują różnorodne zaburzenia w obrębie twarzoczaszki. Oscylując najpopularniejszą kategoryzacją- wymienia się nadwrażliwość i podwrażliwość. Dysfunkcje objawiające się w motoryce dużej, korelują z motoryką małą oraz obszarem mowy. Trudności te wiążą się także z artykułowaniem głosek, jak również z tworzeniem komunikacji i nawiązywaniu relacji [Kranowitz, 2012, s. 46]. Z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego wiąże się także nieprawidłowa fizjologia i praca narządu artykulacyjnego, a także czynności prymarnych- zbyt duże przyjmowanie bodźców, może powodować nadmierne używanie tych struktur, co w konsekwencji przyczynia się do zwiększenia napięcia między innymi w stawie skroniowo- żuchwowym, obrębie warg i języka oraz niesprawności w zakresie ssania, żucia i połykania, czasem także oddychania. Znaczące różnice zauważalne są także w wymowie- występuje chaotyczność wypowiedzeniowa, częściej zdarza się nie płynność mówienia, ton głosu jest zazwyczaj podniesiony. Mowa taka charakteryzuje się tak zwaną „gonitwą myśli”. Sprawności gramatyczne i językowe ulegają nieprawidłowościom. W sytuacji odwrotnej- występuje opóźnienie rozwoju mowy. Praca narządu artykulacyjnego jest nieprawidłowa, zaburzona jest także prakcja oralna. Napięcie mięśniowe często ulega obniżeniu, co skutkuje niedomykalnością warg, nieprawidłowej pozycji spoczynkowej języka oraz w wielu przypadkach braku pionizacji języka, ewidentnie implikującego prawidłową wymowę głoskową. Tworzone zdania są krótkie, a ich wymowność jest zniekształcona.

## **7. Zastosowanie metody Integracji Sensorycznej w procesie stymulowania rozwoju mowy**

Jak wcześniej wspomniano, dziedzina integracji sensorycznej, fizjoterapii i logopedii są ze sobą blisko związane. Oddziałowując na siebie w różnych sferach, mogą powodować

poprawę w rozwoju psychomotorycznym dziecka. Terapia integracji sensorycznej jest bardzo mocno osadzona w usprawnianiu ośrodkowego układu nerwowego. Dzięki temu, poprawa „kondycji” mowy, także ulega polepszeniu. Warto jest wspomnieć, aby ćwiczenia były odpowiednio dostosowane do aktualnego poziomu dziecka, ponieważ dzięki nowym wzorcom ruchowym możliwe jest kształtowanie się przetwarzania informacji sensorycznych. Ćwiczenia powinny być także uzupełniane stymulacją słuchową, różnorodnymi zabawami ortofonicznymi, a także fonacyjnymi, artykulacyjnymi, oddechowymi, jak również stymulacją dotykową i wibracyjną [Odowska- Szlachcic, 2016, s. 81-82]. Zauważa się także różnice w zakresie dotykowym. Dziecko podczas procesu regulacji przetwarzania bodźców sensorycznych, inaczej postrzega zajęcia usprawniające mowę. Zdecydowanie lepsza jest koordynacja narządów artykulacyjnych oraz lepiej reaguje na dotyk masażu terapeuty. Dołączenie do tego innowacyjnych metod, jak na przykład MNRI® według koncepcji dr Swietłany Masgutovej, pozwala uzyskać efekty na różnych poziomach. Przykłady te pokazują, jak ważne jest holistyczne podejście do pacjenta i jak całościowo trzeba oceniać każde zaburzenie. Procesy odbywające się w jednoczesnym czasie u terapeutów, mają szansę na szybsze usprawnienie i polepszenie sfer społeczno- emocjonalnych oraz anatomiczno-funkcjonalnych. W wielu przypadkach integracja sensoryczna przyczynia się do wspomagania w opóźnieniach rozwoju mowy- poprzez stymulowanie motoryki dużej, wpływającej na inne obszary człowieka.

Integracja sensoryczna charakteryzuje się czterema filarami, będąc korelacją z rozwojem mowy:

1. Pierwszy etap objawia się kształtowaniem właściwego napięcia mięśniowego w obszarze ciała oraz sfery ustno- twarzowej. W tym czasie usprawnia się także zmysł dotyku, jak również równowaga i antygravitacja. Występują funkcjonalne odruchy, które są niezbędne do rozwoju artykulacji. W okresie tym, można także zauważyć współpracę mięśni odpowiedzialnych za ruchy gałek ocznych. Oprócz tego, istotne są systemy bodźców sensorycznych i ich rozwój- mianowicie zmysł dotyku, propriocepcji oraz układ przedsionkowy. Zauważa się także ich korelację, która oddziałuje na rozwój napięcia mięśniowego, postawy ciała oraz skoordynowania ruchów. Etap ten obejmuje okres noworodkowy wraz z pierwszymi miesiącami życia.
2. Etap drugi dotyczy 1. roku życia. W czasie tym kształtują się umiejętności odpowiedzialne za poczucie schematu ciała, skoordynowania ruchów po obu stronach linii środkowej ciała, zauważyć można także planowanie ruchów oraz automatyzmy związane z tym procesem. W rozwoju psychomotorycznym występuje czworakowanie, usprawnianie percepcji wzrokowej i słuchowej, a w wyniku doświadczeń somatosensorycznych kształtuje się mowa. Wymienia się także kolejną korelację różnorodnych układów zmysłowych- narządu równowagi, czucia głębokiego i powierzchniowego oraz zmysłu dotyku.
3. Filar trzeci odpowiada korelacji układu przedsionkowego i proprioceptywnego, a także sprawności motorycznej, dzięki którym usprawnia się ruchomość narządu artykulacyjnego, pamięci słuchowej i wzrokowej. W tym czasie kształtuje się także ekspresja werbalna oraz prakcja oralna. Etap ten występuje w 3. roku życia.
4. Ostatni poziom koncentruje się na zakończeniu rozwoju kinestezji artykulacyjnej. Głoski, które są wypowiedane- brzmią prawidłowo, natomiast tworzone komunikaty



są gramatycznie i leksykalnie poprawne. W związku z zakończeniem integracji układów systemów zmysłowych zauważyć można całkowitą organizację w obszarze sensorycznym. Kształtuje się także lateralizacja i usprawnia zdolność do nauki- w tym gotowość szkolna. Wydłuża się koncentracja i uwaga, rozwija abstrakcyjne i logiczne myślenie [Romaniec, 2018, s. 681-683].

### **8. Wsparcie funkcjonowania sfery ustno- twarzowej w ujęciu sensomotorycznym**

Wczesne wspomaganie dziecka, zagrożonego dysfunkcjami w zakresie rozwoju psychomotorycznego jest istotnym elementem poprawiającym jego funkcjonowanie. Bardzo ważną składową są zintegrowane odruchy oraz wspieranie motoryki ustno- twarzowej. W ten sposób proces usprawnia się dwutorowo- z jednej strony wzmacnia się umiejętności już występujące, a z drugiej- szuka nowych możliwości, które można skorelować z pozostałymi. Wprowadzenie wsparcia pozwala zapobiec rozwinięciu symptomatycznych dysfunkcji. Warto zainteresować się podstawami sfery ustno- twarzowej, bowiem, jeśli dziecko wykazuje neurofizjologiczne trudności, objawiające się między innymi przyjmowaniem pokarmu- to znaczy- nie domyka warg, ssanie przebiega w sposób nieprawidłowy, występują dysfunkcje żywieniowe- odzwierciedla to późniejsze konsekwencje właśnie w czynnościach prymarnych, takich jak gryzienie, żucie czy połykanie. W związku z tym, wiążą się także inne trudności. Zaburzenia czynności prymarnych implikują przetrwałymi odruchami, niedomykalnością warg, fizjologiczną biernością języka, co charakteryzuje się wyraźnymi nieprawidłowościami w obszarze twarzoczaszki. W ten sposób tworzy się etiologiczny obszar kliniczny charakteryzujący niepoprawny proces wymawianiowy głosek. Wobec tego, istotna wydaje się praca ze schematami odruchów, która koreluje ze sobą aspekt funkcjonalny oraz strukturalny [Masgutowa, Regner, 2018, s. 51-23]. Podczas pracy z pacjentem można wykonywać różnorodne wspomaganie sfery ustno- twarzowej. Wymienia się między innymi terapię taktylną; regulowanie napięcia mięśniowego; stymulowanie łańcuchów mięśniowych, odpowiedzialnych za pracę obszaru twarzoczaszki; integrowanie organizacji dysfunkcji zmysłów sensorycznych; usprawnianie w sposób manualny nerwów czaszkowych; kształtowanie prawidłowego funkcjonowania percepcji wzrokowej i słuchowej; manualne usprawnianie czaszkowo- twarzowe; rozwijanie obszarów neuromotorycznych znajdujących się na twarzy; ćwiczenia prawidłowego toru oddechowego; kształtowanie neurofizjologicznych czynności prymarnych [Regner, 2019, s. 9].

### **9. Podsumowanie i wnioski**

Wyżej opracowane zagadnienia w sposób syntetyczny przedstawiają korelację pomiędzy integracją sensoryczną a logopedią. Wybrane zagadnienia wskazują na ścisły związek pomiędzy neurofizjologicznymi czynnościami znajdującymi się w obszarze motoryki ustno- twarzowej, a procesami przetwarzania sensorycznego oraz postawą ciała i koordynacją wraz z równowagą. Artykuł ma na celu przedstawienie sposobu holistycznej terapii skierowanej na pacjenta, wobec której istotne wydaje się zbudowanie efektywnych metod terapeutycznych, skierowanych na jak najbardziej pomocną terapię. Skorelowanie takich działań jest obecne przy różnorodnych dysfunkcjach z zakresu psychomotorycznego, obejmującego deficyty dwóch współistniejących dziedzin. Oddziaływanie na siebie takich dwóch perspektyw, znacznie szybciej spowoduje wzrost efektów terapeutycznych.

Współpraca logopedy i terapeuty integracji sensorycznej staje się coraz bardziej zgłębianą i ulepszaną. Szuka się coraz więcej połączeń i badań, skierowanych na zasobność tych dwóch pojęć.

### **Bibliografia:**

1. Ayres A. J. (2015). Dziecko a integracja sensoryczna. Wydawnictwo Harmonia Universalis. Gdańsk. (s. 51).
2. Goddard Blythe S. (2015). Niedojrzałość motoryczna dzieci i dorosłych. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa. (s. 29-30).
3. Kondraciuk A. i wsp. (2014). Impact of the orofacial area reflexes on infant's speech development. W: Progress in Health Sciences. 4, 1. (s. 189).
4. Kranowitz C. S. (2012). Nie- zgrane dziecko. Zaburzenia przetwarzania sensorycznego- diagnoza i postępowanie. Wydawnictwo Harmonia Universalis. Gdańsk. (s. 46).
5. Masgutowa S., Regner A. (2018). Rozwój mowy dziecka w świetle integracji sensomotorycznej. Wydawnictwo Continuo. Wrocław. (s. 51-53).
6. Odowska- Szlachcic B. (2016). Metoda integracji sensorycznej we wspomaganiu rozwoju mowy u dzieci z uszkodzeniami ośrodkowego układu nerwowego. Wydawnictwo Harmonia Universalis. Gdańsk (s. 56-59).
7. Odowska- Szlachcic B. (2018). Terapia integracji sensorycznej. Ćwiczenia usprawniające bazowe układy zmysłowe i korygujące zaburzenia planowania motorycznego. Zeszyt 1. Wydawnictwo Harmonia Universalis. Gdańsk (s. 7).
8. Regner A. (2019). Wybrane techniki manualne wspomagające terapię ustno- twarzową. Wydawnictwo Continuo. Wrocław. (s. 9).
9. Romaniec M. (2018). Integracja Sensoryczna. W: Metody terapii logopedycznej. Red. A. Domagała, U. Mirecka. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie- Skłodowskiej. Lublin. (s. 681-683).
10. Sonnenschmidt R. (2020). Układ nerwowy. Pamięć, koncentracja i równowaga psychiczna. Wydawnictwo Vital. Białystok (s. 164).
11. Wasilewski T. P. (2015). Założenia integracji sensorycznej a zaburzenia mowy u dzieci z autyzmem. W: Hygeia Public Health. 50, 1. (s. 14).
12. Wasilewski T. P. (2018). Integracja sensoryczna i jej znaczenie dla funkcjonowania i rozwoju mowy dziecka. W: Pediatria i Medycyna Rodzinna. 14, 1. (s. 27).



# KONFERENCJE NAUKOWE

Jesteś studentem, doktorantem, młodym naukowcem? Chcesz publikować w profesjonalnym piśmie naukowym, brać udział w konferencjach? Firma Konferencje Naukowe Piotr Rachwał umożliwi Ci start w świecie nauki za przystępną cenę. Organizujemy konferencje interdyscyplinarne, jak i specjalistyczne. Wydajemy monografie pokonferencyjne oraz współpracujemy z czasopismami z listy ministerialnej. Pomagamy w publikacji artykułów.

**Piotr Rachwał**

**Konferencje Naukowe**

ul. Gen Leopolda Okulickiego 51D/20

31-637 Kraków

NIP: 573-272-51-36

REGON: 365643034

E-mail: [rachwal.konferencjenaukowe@gmail.com](mailto:rachwal.konferencjenaukowe@gmail.com)

[www.konferencjenaukowe.com.pl](http://www.konferencjenaukowe.com.pl)