

Tworzywa Sztuczne Przemysle

ISSN 2082-6877

DWUMIESIĘCZNIK

TWORZYWA POLIMEROWE W NAUCE I PRAKTYCE

**NIEZAWODNI NA RYNKU WYTŁACZANIA
(więcej od s. 16–54)**

P.P.H.U.
EI-term

ECON

ICHEMAD
P R O F A R B

OBR
JASŁO

Plastoplan
Tworzywa

POL-SERVICE MAJCHER

Rossi
Habasit Group

vot Polska

WW
EKO-CHEM

www.freeplik.com

REKLAMA

- Doradztwo techniczne i wdrożenia technologii wytłaczania i recyklingu tworzyw sztucznych
- Doradztwo personalne - Praca w Niemczech dla branży tworzyw sztucznych
- Urządzenia laboratoryjne do badania tworzyw

Dr Magdalena Laabs - Grupa Rolbatch Laabs

www.rolbatch-laabs.de/praca
www.guliwer.de



SPIS TREŚCI

MARZEC/KWIECIEŃ 2023 r.

ŁĄCZENIE TWORZYW SZTUCZNYCH

- 4 Metody łączenia włókien
- 12 Zgrzewanie tworzyw termoplastycznych

WYTLĄCZARKI ORAZ GRANULATY DO WYTLĄCZANIA

- 16 Metoda szybkiego szacowania przydatności nowych związków do plastyfikacji poli(chloru winylu)
- 22 Linie do recyklingu tworzyw
- 24 Właściwości wytrzymałościowe oraz palnodymowe polilaktydu
- 27 Tworzywa to Plastoplan
- 28 Elastyczne portfolio do szerokiego zakresu zastosowań
- 29 Badania wpływu napełniaczy mineralnych na strukturę i właściwości piezoelektryczne elektretów z poliolefin krystalicznych
- 33 ECON – austriacka jakość w granulowaniu i nie tylko
- 34 Stan wiedzy w zakresie modelowania przepływów ślimakowych tworzyw polimerowych
- 38 Specjalność firmy El-term
- 39 Analiza procesu wytłaczania narzędziem elastycznym
- 44 OMNIPLAST – konkurs o znajomości branży z nagrodami!
- 45 Rozwiązanie technologiczne ślimaka do przetwórstwa tworzyw sztucznych
- 50 Niezawodne i innowacyjne urządzenia
- 52 Wytłaczarki, linie do wytłaczania i układy uplastyczniające
- 54 Przekładnie ROSSI – sprawdzone rozwiązania do napędu wytłaczarek

MASZYNY I URZĄDZENIA

- 55 Plastometr do badania MFI – niezbędne urządzenie w branży przetwórstwa tworzyw sztucznych
- 56 Niemcy poszukują wykwalifikowanych specjalistów – szansa dla polskich pracowników
- 57 Targi PLASTPOL 2023
- 58 Monitorowanie vs. wzrost wydajności

RECYKLING

- 62 Recykling chemiczny tworzyw sztucznych – część 2
- 67 Rewolucja materiałowa i redukcja odpadów

GUMA I KOMPOZYTY

- 68 Bezpieczeństwo nasypów z antropogenicznym wypełnieniem gumowym z recyklingu opon
- 74 Laserowy pomiar szerokości i grubości w procesie produkcji płyt i wykładzin gumowych na kalandrze
- 76 Możliwość zastosowania odpadów gumowych w mieszankach BBTM
- 79 Radioliza kompozytów polipropylen/włókna konopne
- 82 Właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych

Tworzywa Sztuczne
Przemysle

www.tworzywasztuczne.biz

Redaktor naczelna

Ewa Majewska
ewa.majewska@tworzywasztuczne.biz
tel. kom. 797 125 418

Dyrektor marketingu i reklamy

Katarzyna Mazur
katarzyna.mazur@tworzywasztuczne.biz
tel. kom. 797 125 417

Dział prenumeraty

prenumerata@tworzywasztuczne.biz

Wydawca

Media Tech s.c.
mediatech@tworzywasztuczne.biz

Adres redakcji

ul. Żorska 1/45
47-400 Racibórz
redakcja@tworzywasztuczne.biz
tel./faks 32 733 18 01

www.tworzywasztuczne.biz

Rada Programowa

dr inż. **Wojciech Głuszewski**
dr hab. inż. **Adam Gnatowski** *prof. PCz*
dr inż. **Jacek Iwko**
dr inż. **Tomasz Jaruga**
prof. dr hab. inż. **Jacek W. Kaczmar**
dr inż. **Jacek Nabiątek**
dr inż. **Paweł Palutkiewicz**
dr inż. **Marta Piątek-Hnat**
prof. nadzw. dr hab. inż.
Andrzej Pusz
prof. dr hab. inż. **Janusz Sikora**
dr inż. **Łukasz Wierzbicki**
dr inż. **Piotr Żach**

Każdy z członków Rady Programowej dwumiesięcznika „Tworzywa Sztuczne w Przemysle”, który podczas dwóch kolejnych lat nie opublikuje żadnego artykułu, potraktowany zostanie jako rezygnujący z członkostwa.

Redakcja nie odpowiada za treść reklam oraz artykułów promocyjnych. Zastrzegamy sobie prawo do skracania i adiustacji tekstów. Przedruk i rozpowszechnianie artykułów i reklam opracowanych przez redakcję są zabronione bez zgody wydawcy.

Wszystko do obróbki tworzyw sztucznych

- spawarki
- zgrzewarki
- ekstrudery
- piły
- otwornice
- koronki
- akcesoria
- szkolenia

Dowiedz się więcej:

www.plastprotools.pl | www.leister.pl

EKSTRUDERY DO SPAWANIA



PIŁY DO RUR TWORZYWOWYCH I GRP



ZGRZEWARKI DOCZOŁOWE

Zapraszamy na targi



WODKAN
30.05-01.06.2023



PLASTPOL
23-26.05.2023

Twój doradca techniczny



Artur Kuna
+48 735 922 843
kuna@heisslufttechnik.pl

Badanie procesów łączenia włókien bez stosowania dodatków pomocniczych dla uzyskania kompozytów filtracyjnych o wysokiej wytrzymałości

Metody łączenia włókien

Beata Paprowicz-Nęcza, Ewelina Paprowicz, Jan Paprowicz, Dawid Polar, Piotr Wojnar, Michałina Falkiewicz-Dulik

W pracy badawczej przedstawiono badania wykonane w ramach projektu badawczego RPPK.01.02.00-18-0028/17 pt.: „Opracowanie technologii wytwarzania wysoko skutecznych kompozytów włókninowych filtropochłaniających do usuwania zanieczyszczeń z powietrza”. Zadanie obejmuje próby łączenia różnych włókien filtracyjnych jedno- i wielowarstwowych, wykonane metodami ultradźwiękowymi. W pracy określono optymalne parametry dla procesów zgrzewania różnych kompozytów włókninowych, worków i rękawów filtracyjnych. Przedstawiono wyniki i ocenę wytrzymałości połączeń pomiędzy warstwami włókien w kompozytach. Także wyniki badania siły rozrywającej połączenia włókninowych worków i rękawów dla wykonanych układów wielowarstwowych. Ultradźwiękowa technologia zgrzewania kompozytów włókninowych, worków i rękawów filtropochłaniających jest procesem przydatnym i dającym skuteczne połączenia w przypadku syntetycznych materiałów włókninowych.

Ultradźwięki są to fale o wysokiej częstotliwości, których człowiek nie słyszy, lecz mogą je emitować i słyszeć niektóre zwierzęta, np. pies, szczur, delfin, wieloryb, chomik czy nietoperz. Za górną granicę słyszalnych częstotliwości, jednocześnie dolną granicę ultradźwięków, uważa się częstotliwość 20 kHz. Za umowną, górną granicę ultradźwięków przyjmuje się częstotliwość 1 GHz. Fale akustyczne rozchodzą się w ośrodkach sprężystych (ciało stałe, ciecz, gaz) w postaci fali podłużnej, której towarzyszą drgania cząstek ośrodka. Zaburzenia te polegają na przenoszeniu energii mechanicznej przez drgające cząstki ośrodka (zagęszczenia i rozrzedzenia) bez zmiany ich średniego położenia [1].

Zgrzewanie ultradźwiękowe jest to nowoczesna, przemysłowa metoda łączenia materiałów, w której fale dźwiękowe o wysokich częstotliwościach są wykorzystywane jako nośnik energii. Metoda ta jest powszechnie stosowana do łączenia elementów polimerowych, szczególnie przydatna jest przy łączeniu materiałów różniących się składem. Technologia pikowania ultradźwiękowego ma zastosowanie przy łączeniu tkanin syntetycznych o zawartości włókien sztucznych powyżej 65%, m.in. poliestru, poliamidu, polietylenu, poliwęglanu itp. Jest skuteczna do łączenia materiałów z polipropylenu. Technologia ultradźwiękowa umożliwia łączenie, cięcie, wycinanie oraz wytłaczanie wzorów na materiałach syntetycznych w zależności od rodzaju narzędzia zastosowanego w zgrzewarce. Procesy łączenia ultradźwiękowego nie wymagają igieł, także nici jako dodatkowego spoiwa oraz klejów poprawiających adhezję. Lokalnie oddziałująca fala ultradźwiękowa na dociśnięte do siebie fragmenty łączonych materiałów powoduje ich uplastycznienie i stopienie, co w efekcie daje trwałe połączenie zgrzewanych materiałów. W tym procesie materiały zostają trwałe połączone, a struktura włókien, tkanin nie zostaje naruszona, przy czym cały cykl zgrzewania jest ekologiczny i przyjazny dla środowiska.

Maszyny ultradźwiękowe do tworzyw sztucznych umożliwiają szybkie ich łączenie poprzez zgrzewanie. Wykorzystywane są podczas produkcji artykułów higienicznych, różnego rodzaju filtrów, opakowań czy zamykania torebek na świeżą żywność. Ich szerokie zastosowanie sprawia, że wykorzystywane są w rozmaitych działach przemysłu. Specjalistyczne maszyny ultradźwiękowe do zgrzewania są to urządzenia o wysokich parametrach,

w których wykorzystywane są najnowocześniejsze technologie. Ekologiczne rozwiązania w zakresie łączenia materiałów wielowarstwowych stosowane jest do zgrzewania materiałów technicznych, połączenia włókniny spunbond (S) i meltblown (M) w określonej konfiguracji np.: SMS, SMMS, SS.

Przykłady zastosowania materiałów łączonych za pomocą ultradźwięków:

- przemysł filtracyjny: filtry powietrza, filtry kieszeniowe stosowane w klimatyzacji;
- przemysł medyczny: jednorazowa odzież medyczna, podkłady medyczne, prześcieradła higieniczne;
- przemysł motoryzacyjny: pokrowce, tapicerki, foteliki samochodowe;
- przemysł meblarski: meble tapicerowane, materace, pokrowce na materace;
- materiały wielowarstwowe SMS, SSMS, SSMSS – wykorzystywane do produkcji worków do odkurzaczy, pokrowców, osłon, agrowłókien, geowłókien, technicznych włókien wielowarstwowych itp. [2, 3, 4, 5, 6].

Dzięki zastosowaniu technologii ultradźwiękowej maszyny pikujące zapewniają wysoką jakość gotowego wyrobu. W tej metodzie łączenia materiałów nie używa się igieł oraz nici. Dodatkowo technologia umożliwia zgrzewanie kilku warstw materiałów z dużą wydajnością sięgającą do 20 m/min. Dzięki połączeniu kilku warstw w jeden kompozyt uzyskuje się większą wytrzymałość materiału, co jest bardzo ważne przy włókninach technicznych, m.in. stosowanych do filtrów powietrza, kieszeni filtracyjnych, materiałów wielowarstwowych, SMS, SSMS, SSMSS oraz worków do odkurzaczy.

Szerokość pikowanych włókien syntetycznych zależy od modelu maszyny i może wynosić od 1600 mm do 2500 mm. Wzory pikowanych materiałów uzyskuje się poprzez docisk wałka do materiału i przenikanie ultradźwięków. Proces łączenia warstw materiałów polega na odkształceniu struktury materiału określonym wzorem przy jednoczesnym zespojeniu warstw materiałów włókninowych [3, 5].

CEL I ZAKRES BADAŃ

Zakres pracy obejmował badania nad opracowaniem kompozytów włókninowych o wysokiej skuteczności filtracji do zastosowania na worki i rękawy filtracyjne do klimatyzacji, filtry kie-

szeniowe, filtry płaskie. W tym celu koniecznym było wykonanie wielu prób łączenia różnych włókien filtracyjnych jedno- i wielowarstwowych metodami ultradźwiękowymi bez użycia substancji klejących oraz wyznaczenie optymalnych parametrów dla procesów zgrzewania różnych kompozytów włókninowych.

Badania procesów łączenia prowadzono poprzez rejestrowanie parametrów takich jak:

- częstotliwość ultradźwiękowego zgrzewania włókien, włókninowych worków i rękawów w zależności od rodzaju włókien i liczby warstw zgrzewanych;
- czas zgrzewania (wymaga ścisłej kontroli, ponieważ mogą wystąpić przegrzania, przepalenia włókien, co osłabia złącze);
- rozmieszczenie powierzchniowe punktów zgrzewanych oraz odległości między punktami zgrzewanymi w celu określenia wzoru pikowania ultradźwiękowego włókien (można zastosować np. połączenie ciągłe, przerywane, połączenie pojedyncze lub podwójne, istotne są szerokość zgrzewanego łączenia, odległości pomiędzy powierzchniami zgrzewanymi).

Zasadniczym celem zadania było wyznaczenie optymalnych parametrów prowadzenia procesu zgrzewania zapewniających najlepszą jakość wyrobu włókienniczego, potwierdzoną przez wyznaczenie parametrów jakościowych wykonanych połączeń włókien i włókninowych kompozytów filtracyjnych:

- określenie wytrzymałości połączeń pomiędzy warstwami włókien w kompozycie - badanie siły zrywającej kompozytów,
- określenie mechanicznej wytrzymałości łączenia włókien

w worki i rękawy filtracyjne - badanie siły rozrywającej połączenia włókninowych worków i rękawów.

PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Metodyka łączenia włókien w kompozyty wielowarstwowe

W ramach pracy badawczej wykonano pięć układów wielowarstwowych poprzez łączenie włókien w kompozyty za pomocą zgrzewania ultradźwiękowego w kombinacji z 20 seriami włókien spunbond dla każdego układu różniących się gramaturą co 5 g/m², zaczynając od 15 g/m² a kończąc na 60 g/m².

Metodykę łączenia włókien w układy podczas przeprowadzonych prób w procesie technologii ultradźwiękowej oraz listę uzyskanych kompozytów przedstawiają tabele 1–5. Uzyskano 5 serii różnych kompozytów włókninowych, każda w 20 wersjach różniących się gramaturą spunbond. Włókniny spunbond stanowiły pierwszą warstwę układu. W ten sposób wykonano 100 prób kompozytów włókninowych filtropochłaniających, są to:

- 1) **Seria I:** kompozyt 2-warstwowy SM (spunbond/meltblown) – 20 prób;
- 2) **Seria II:** kompozyt 3-warstwowy SMS (spunbond/meltblown/spunbond) – 20 prób;
- 3) **Seria III:** kompozyt 3-warstwowy SMP (spunbond/meltblown/spunbond 3D pyłochłonna) – 20 prób;
- 4) **Seria IV:** kompozyt 4-warstwowy SMPS (spunbond/meltblown/spunbond 3D pyłochłonna/spunbond) – 20 prób;

Tabela 1. Wykaz warstw włókien wchodzących w skład kompozytu SM - kompozyt 2-warstwowy [7].

W układach 2-warstwowych drugą warstwę stanowią włókniny meltblown o gramaturze 30 g/m² lub 40 g/m²

Lp.	Spunbond [g/m ²]	Meltblown [g/m ²]	Lp.	Spunbond [g/m ²]	Meltblown [g/m ²]
Kolejność warstw	I	II	Kolejność warstw	I	II
1.	15	30	11.	15	40
2.	20		12.	20	
3.	25		13.	25	
4.	30		14.	30	
5.	35		15.	35	
6.	40		16.	40	
7.	45		17.	45	
8.	50		18.	50	
9.	55		19.	55	
10.	60		20.	60	

Tabela 2. Wykaz warstw włókien wchodzących w skład kompozytu SMS - kompozyt 3-warstwowy [7].

Komponując układy 3-warstwowe, jako trzecią warstwę użyto włókninę spunbond o gramaturze 20 g/m²

Lp.	Spunbond [g/m ²]	Meltblown [g/m ²]	Spunbond [g/m ²]	Lp.	Spunbond [g/m ²]	Meltblown [g/m ²]	Spunbond [g/m ²]
Kolejność warstw	I	II	III	Kolejność warstw	I	II	III
1.	15	30	20	11.	15	40	20
2.	20			12.	20		
3.	25			13.	25		
4.	30			14.	30		
5.	35			15.	35		
6.	40			16.	40		
7.	45			17.	45		
8.	50			18.	50		
9.	55			19.	55		
10.	60			20.	60		

Tabela 3. Wykaz warstw włókien wchodzących w skład kompozytu SMP - kompozyt 3-warstwowy [7]. Seria III obejmuje układy 3-warstwowe, jako trzecią warstwę zastosowano włókninę pyłochłonną o gramaturze 30 g/m², oznaczoną symbolem Spunbond 3D

Lp.	Spunbond [g/m ²]	Meltblown [g/m ²]	Pyłochłonna (3D Spunbond) [g/m ²]	Lp.	Spunbond [g/m ²]	Meltblown [g/m ²]	Pyłochłonna (3D Spunbond) [g/m ²]
Kolejność warstw	I	II	III	Kolejność warstw	I	II	III
1.	15	30	30	11.	15	40	30
2.	20			12.	20		
3.	25			13.	25		
4.	30			14.	30		
5.	35			15.	35		
6.	40			16.	40		
7.	45			17.	45		
8.	50			18.	50		
9.	55			19.	55		
10.	60			20.	60		

Tabela 4. Wykaz warstw włókien wchodzących w skład kompozytu SMPS - kompozyt 4-warstwowy [7]. W kompozytach 4-w. dodano czwartą warstwę - włókninę spunbond 20 g/m²

Lp.	Spunbond [g/m ²]	Meltblown [g/m ²]	Pyłochłonna (3D Spunbond) [g/m ²]	Spunbond [g/m ²]	Lp.	Spunbond [g/m ²]	Meltblown [g/m ²]	Pyłochłonna (3D Spunbond) [g/m ²]	Spunbond [g/m ²]
Kolejność warstw	I	II	III	IV	Kolejność warstw	I	II	III	IV
1.	15	30	30	20	11.	15	40	30	20
2.	20				12.	20			
3.	25				13.	25			
4.	30				14.	30			
5.	35				15.	35			
6.	40				16.	40			
7.	45				17.	45			
8.	50				18.	50			
9.	55				19.	55			
10.	60				20.	60			

Tabela 5. Wykaz warstw włókien wchodzących w skład kompozytu SSMS - kompozyt 4-warstwowy z warstwą węglową [7]. Seria V obejmuje 4-warstwowe kompozyty, w której drugą warstwę stanowi włóknina spunbond 3D nawęglana o gramaturze 45 g/m²

Lp.	Spunbond [g/m ²]	Spunbond 3D węglowy 45 [g/m ²]	Meltblown [g/m ²]	Spunbond [g/m ²]	Lp.	Spunbond [g/m ²]	Spunbond 3D węglowy 45 [g/m ²]	Meltblown [g/m ²]	Spunbond [g/m ²]
Kolejność warstw	I	II	III	IV	Kolejność warstw	I	II	III	IV
1.	15	45	30	20	11.	15	45	40	20
2.	20				12.	20			
3.	25				13.	25			
4.	30				14.	30			
5.	35				15.	35			
6.	40				16.	40			
7.	45				17.	45			
8.	50				18.	50			
9.	55				19.	55			
10.	60				20.	60			

Tabela 6. Wykaz warstw włóknin wchodzących w skład kompozytu wielowarstwowego na worki i rękawy filtracyjne [7]

Lp.	Założona klasa filtracji	Symbol	Spunbond [g/m ²]	Meltblown płaski [g/m ²]	Meltblown płaski [g/m ²]	Meltblown puszysty [g/m ²]	Meltblown puszysty [g/m ²]	Pyłochłonna (3D Spunbond) [g/m ²]	Spunbond [g/m ²]
			Kolejność warstw	I	II	III	IV	V	VI
1.	M6	A	30	30	-	-	-	-	20
2.	F7	B	30	40	-	-	-	30	20
3.	F8	C	30	40	40	-	-	-	20
4.	F8	D	30	-	-	40	-	-	20
5.	F9	E	30	-	-	40	40	-	20

5) **Seria V:** kompozyt 4-warstwowy SSMS (spunbond/spunbond 3D nawęglana/meltblown/spunbond) – 20 prób.

Próby łączenia włóknin w kompozyty przeprowadzono na maszynie ultradźwiękowej. Parametry techniczne maszyny ultradźwiękowej:

- Częstotliwość: 20 [kHz];
- Zasilanie: 220V/3P/27 [kW];
- Prędkość pracy: 10-20 [m/min.];
- Maks. moc jednostki ultradźwiękowej: 1400 [W/jednostkę];
- Szerokość wzoru: 1600 [cm];
- Sprężone powietrze: 8 [kg/cm²].

Metodyka łączenia włóknin w kompozyty wielowarstwowe na worki i rękawy filtracyjne do klimatyzacji, filtry kieszeniowe, filtry płaskie itp.

Zakres wykonanych prób łączenia włóknin obejmował 5 układów wielowarstwowych, których sposób wykonania obrazuje tabela 6.

Otrzymano następujące kompozyty wielowarstwowe połączone w rękawy filtracyjne:

- 1) S30/M30/S20 – rękaw filtracyjny (M6) – „A”;
- 2) S30/M40/Spył30/S20 – rękaw filtracyjny (F7) – „B”;
- 3) S30/M40/M40/S20 – rękaw filtracyjny (F8) – „C”;
- 4) S30/M40/S20 – rękaw filtracyjny (F8) – „D”;
- 5) S30/M40/M40/S20 – rękaw filtracyjny (F9) – „E”.

Proces łączenia włókninowych kompozytów wielowarstwowych na worki i rękawy filtracyjne do klimatyzacji (filtry kieszeniowe, filtry płaskie itp.) przeprowadzono na linii do ultradźwiękowego zgrzewania materiałów.

Metodyka badawcza – siły rozwarstwiania (siły rozrywającej)

W celu wyznaczenia wytrzymałości połączeń nowo opracowanych kompozytów włókninowych filtropochłaniających wykonano badania siły rozrywającej oraz wydłużenia względnego różnych połączeń włókninowych układów według normy PN-EN ISO

Tabela 7. Czas punktowego zgrzewania włóknin na kompozyty filtropochłaniające [7]

Kompozyt	Prędkość przesuwu wstęgi włókniny [m/min]	Czas punktowego zgrzewania [s]
Seria I: kompozyt 2-warstwowy SM	20	0,090
Seria II: kompozyt 3-warstwowy SMS	18	0,099
Seria III: kompozyt 3-warstwowy SMP	16	0,112
Seria IV: kompozyt 4-warstwowy SMPS	14	0,129
Seria V: kompozyt 4-warstwowy SSMS	14	0,129

29073-3:1994 Tekstylika. Metody badania włóknin. Wyznaczanie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia [8].

Próbki do badań miały kształt paska o wymiarach 50x200 mm, pobrano po 3 próbki wzdłuż i w poprzek wstęgi kompozytu. Zgodnie z normą podczas badania rejestrowano siłę zrywającą oraz wydłużenie względne przy zrywaniu dla każdej próbki roboczej i obliczono średnie z trzech próbek zarówno w kierunku wzdłuż (w kierunku wytwarzania), jak i w poprzek (w kierunku poprzecznym do wytwarzania). Zgodnie z normą podano średnią siłę zrywającą i średnie procentowe wydłużenie przy zerwaniu.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Określenie częstotliwości i czasu zgrzewania ultradźwiękowego włóknin w zależności od rodzaju włóknin i liczby warstw zgrzewanych

Podczas łączenia włóknin w kompozyty za pomocą zgrzewania ultradźwiękowego rejestrowano parametry procesu łączenia włóknin, tj. częstotliwość dźwięków oraz czas zgrzewania niezbędny dla uzyskania dobrego połączenia.

W próbach zgrzewania włóknin zastosowano następujące parametry:

- a) częstotliwość ultradźwięków wynosiła 20 kHz dla włóknin polipropylenowych,
- b) prędkość pracy maszyny zgrzewającej wynosiła 10-20 m/min w zależności od ilości warstw włóknin w układzie. W przypadku układów 2-warstwowych maszyna pracowała z prędkością 20 m/min, co daje czas zgrzewania 3,0 s dla 1 m wstęgi oraz 0,09 s dla punktowego połączenia za pomocą zgrzewania (wzdłuż 1 m występują 33,3 punkty zgrzewane). Dla poszczególnych układów w zależności od warstw składowych uzyskano różny czas punktowego zgrzewania. Wyniki zamieszczono w tabeli 7.

Określenie wzoru pikowania ultradźwiękowego włóknin (powierzchniowego rozmieszczenia punktów zgrzewanych oraz odległości między punktami zgrzewanymi w celu łączenia włóknin w trwałe kompozyty filtracyjne)

Do łączenia włóknin w kompozyty wybrano:

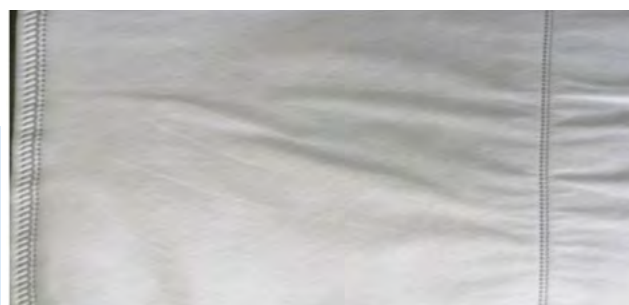
- wał ze wzorem, gdzie miejsca zgrzewania mają kształt punktu (kropki) o średnicy 1 mm;
- punkty te są rozmieszczone w odległości 30 mm, zarówno w rzędach, jak i kolumnach. Wzór i rozmiar punktów przedstawiono na rys. 1.

Określenie częstotliwości i czasu zgrzewania ultradźwiękowego włókninowych worków i rękawów filtracyjnych w zależności od rodzaju włóknin i liczby warstw zgrzewanych

Próby zgrzewania rękawów filtracyjnych przeprowadzono przy zastosowaniu ultradźwięków o częstotliwości wynoszącej 20 kHz. Czas zgrzewania włóknin filtropochłaniających dla poszczególnych wykonanych prób zależy od grubości oraz gramatury ▶



Rys. 1. Wzór powierzchniowego rozmieszczenia punktów zgrzewanych oraz zwiarytowanie [7]



Rys. 2. Rękaw filtracyjny F7 (S30/M40/S20) - lewa strona [7]



Rys. 3. Rękaw filtracyjny F7 (S30/M40/S20) - prawa strona [7]

warstw układu włókien i prędkości przesuwu wstęgi na maszynie, która przesuwana się z prędkością w granicach 8–12 m/min. Prędkość przesuwu wstęgi włókniny, czyli rękawa, w danej konfiguracji na maszynie jest zależna od grubości warstw włókniny, im grubszy rękaw filtracyjny tym dłuższy czas przesuwu i dłuższy proces łączenia ultradźwiękowego.

Przykłady rękawów filtracyjnych uzyskanych na maszynie – linia do ultradźwiękowego zgrzewania materiałów przedstawiono na rys. 2–3.

Określenie wzoru ultradźwiękowego zgrzewanego połączenia

Każdy z kompozytów wielowarstwowych połączono za pomocą zgrzewania ultradźwiękowego przy wykorzystaniu 3 wzorów zgrzewanego połączenia.

Wykorzystano:

- zgrzew przerywany podwójny – środek;
- zgrzew przerywany potrójny – prawa strona;
- zgrzew przerywany pojedynczy z równoległym połączeniem ciągłym w postaci wzoru utworzonego przez łączenie symbolu S – lewa strona.

Parametry połączeń zgrzewanych: szerokość wzoru, długość pojedynczego punktu zgrzewanego, odległość pomiędzy punktami zgrzewanymi dla zastosowanych wzorów ultradźwiękowego zgrzewanych połączeń przedstawiono w tabeli 8.

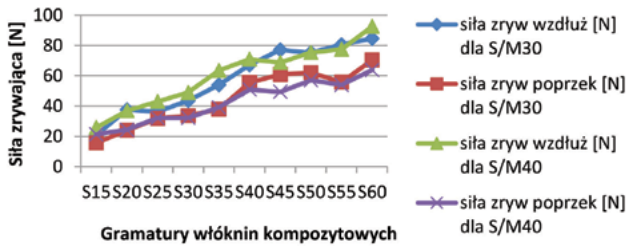
Określenie wytrzymałości połączeń pomiędzy warstwami włókien w kompozycie – badanie siły rozwarstwienia kompozytów dla wykonanych układów wielowarstwowych

Podczas łączenia włókien w kompozyty wielowarstwowe technologią ultradźwiękową w miejscu zgrzewania – przenikania ultradźwięków przez kompozyt – powstaje jednolita warstwa utworzona ze stopionych włókien wszystkich warstw składowych układu włókien. W prawidłowo przeprowadzonym procesie, przy odpowiednio dobranych parametrach częstotliwości i czasu zgrzewania powstaje miejscowe trwałe połączenie materiałów - złącze niemożliwe do rozwarstwienia na pojedyncze włókienki. Uzyskane dane, znajdujące się na wydrukach z badań wytrzymałości połączeń, zostały zamieszczone na wykresach 1–5.

Tabela 8. Parametry połączeń zgrzewanych [7]

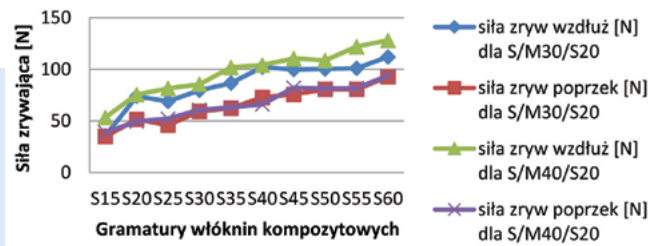
Lp.	Wzór zgrzewanego połączenia	Opis wzoru	Szerokość wzoru [mm]	Długość pojedynczego punktu zgrzewanego [mm]	Odległość pomiędzy punktami zgrzewanymi [mm]
1.		połączenie przerywane podwójne	2,5	2,0	1,0
2.		połączenie przerywane potrójne	6,0	3,0	1,0
3.		połączenie przerywane pojedyncze z równoległym połączeniem ciągłym w postaci wzoru utworzonego przez łączenie symbolu S	7,0	3,0 (w połączeniu przerywanym) 5,0 (powtórzenie wzoru tworzącego ciągłą krzywą)	1,0 (w połączeniu przerywanym)

Siła zrywająca w zależności od gramatury włóknin kompozytowych



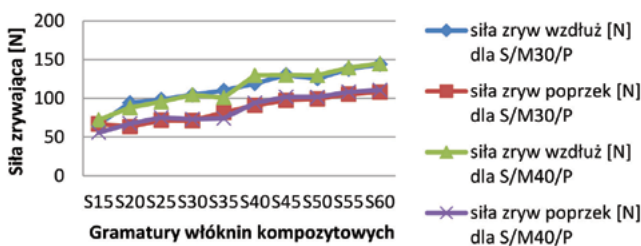
Wykres 1. Mechaniczna wytrzymałość połączeń kompozytów włókninowych SM (w zależności od gramatury włóknin kompozytowych spunbond połączonych z meltblown 30 g/m² lub meltblown 40 g/m²) [7]

Siła zrywająca w zależności od gramatury włóknin kompozytowych



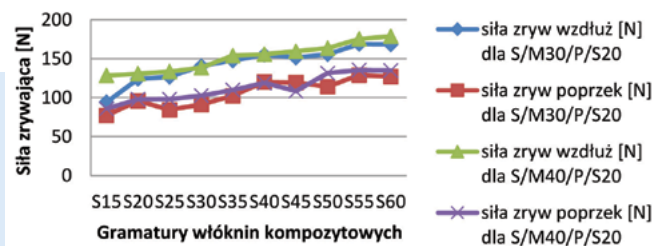
Wykres 2. Mechaniczna wytrzymałość połączeń kompozytów włókninowych SMS (w zależności od gramatury włóknin kompozytowych spunbond połączonych z meltblown 30 g/m² i spunbond 20 g/m² lub meltblown 40 g/m² i spunbond 20 g/m²) [7]

Siła zrywająca w zależności od gramatury włóknin kompozytowych



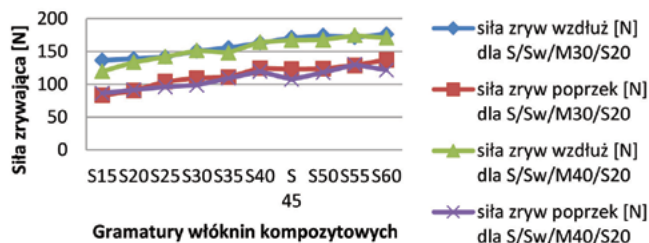
Wykres 3. Mechaniczna wytrzymałość połączeń kompozytów włókninowych SMP (w zależności od gramatury włóknin kompozytowych spunbond połączonych z meltblown 30g/m² i spunbond pyłochłonna 30 g/m² lub meltblown 40 g/m² i spunbond pyłochłonna 30 g/m²) [7]

Siła zrywająca w zależności od gramatury włóknin kompozytowych



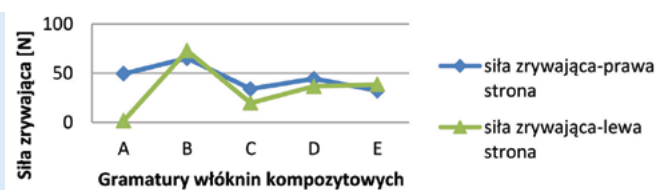
Wykres 4. Mechaniczna wytrzymałość połączeń kompozytów włókninowych SMPs (w zależności od gramatury włóknin kompozytowych spunbond połączonych z meltblown 30 g/m² i spunbond pyłochłonna 30 g/m² lub meltblown 40 g/m² i spunbond pyłochłonna 30 g/m² i spunbond 20 g/m²) [7]

Siła zrywająca w zależności od gramatury włóknin kompozytowych



Wykres 5. Mechaniczna wytrzymałość połączeń kompozytów włókninowych SSMS (w zależności od gramatury włóknin kompozytowych spunbond połączonych z spunbond nawęglanym 45 g/m² i meltblown 30 g/m² oraz spunbond 20 g/m² lub spunbond nawęglanym 45 g/m² i meltblown 40 g/m² i spunbond 20 g/m²) [7]

Siła zrywająca w zależności od gramatury włóknin kompozytowych



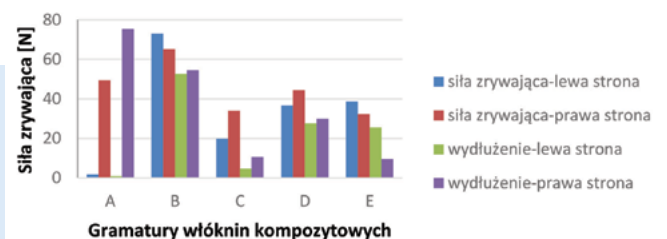
Wykres 6. Siła zrywająca [N]- połączeń kompozytów włókninowych na worki i rękawy [7]

Określenie mechanicznej wytrzymałości łączenia włóknin w worki i rękawy filtracyjne - badanie siły rozrywającej połączenia włókninowych worków i rękawów dla wykonanych układów wielowarstwowych

Wyniki wykonanych badań siły rozrywającej połączenia włókninowych worków i rękawów, które zostały wykonane z nowo opracowanych kompozytów wielowarstwowych są przedstawione na wykresach 6 i 7.

Porównano wartości siły rozrywającej rękawów łączonych ultradźwiękowo połączeniem przerywanym potrójnym (prawa strona) i połączeniem przerywanym pojedynczym z równoległym połączeniem ciągłym w postaci wzoru utworzonego przez łączenie symbolu S (lewa strona).

Siła zrywająca w N i wydłużenie % w zależności od gramatury włóknin kompozytowych



Wykres 7. Mechaniczna wytrzymałość - siła zrywająca [N] i wydłużenie [%] połączeń kompozytów włókninowych na worki i rękawy [7]

Spośród 5 badanych kompozytów łączonych dwoma sposobami w czterech przypadkach stwierdzono tylko nieznaczną różnicę wartości siły zrywającej w zależności od wzoru zgrzewania ultradźwiękowego. Dla 4 z nich niezależnie od wzoru zgrzewania ultradźwiękowego uzyskano wartości siły zrywającej na porównywalnym poziomie. Natomiast dla układu włókninowego „A” o najniższej gramaturze spośród badanych, wartość siły zrywającej była znacząco wyższa w przypadku zgrzewania tego kompozytu połączeniem przerywanym potrójnym w odniesieniu do łączenia go połączeniem przerywanym pojedynczym z równoległym połączeniem ciągłym w postaci wzoru utworzonego przez łączenie symbolu S. Na podstawie wykonanych badań oraz przeprowadzonej analizy uzyskanych wyników można stwierdzić, że:

- 1) Zastosowana technologia ultradźwiękowego łączenia włóknin w kompozyty filtropochłaniające okazała się bardzo przydatna ze względu na uzyskanie wysokiej trwałości połączeń dla poszczególnych układów:
 - SM dla układu o gramaturze $\geq 60 \text{ g/m}^2$ (spunbond $\geq 30 \text{ g/m}^2$ i meltblown 30 g/m^2 lub 40 g/m^2) – siła zrywająca kształtuje się na poziomie 43,5–92,6 N;
 - SMS dla układu o gramaturze $\geq 70 \text{ g/m}^2$ (spunbond $\geq 15 \text{ g/m}^2$, meltblown 30 g/m^2 lub 40 g/m^2 i spunbond 20 g/m^2) – siła zrywająca kształtuje się na poziomie 53,2–128,0 N;
 - SMP dla wszystkich wykonanych układów $\geq 75 \text{ g/m}^2$ (spunbond $\geq 15 \text{ g/m}^2$, meltblown 30 g/m^2 lub 40 g/m^2 i spunbond pyłochłonna 30 g/m^2) – siła zrywająca kształtuje się na poziomie 66,9–145,2 N;
 - SMPS dla wszystkich wykonanych układów $\geq 95 \text{ g/m}^2$ (spunbond $\geq 15 \text{ g/m}^2$, meltblown 30 g/m^2 lub 40 g/m^2 i spunbond pyłochłonny 30 g/m^2 , spunbond 20 g/m^2) – siła zrywająca kształtuje się na poziomie 94,1–178,6 N;
 - SSwMS dla wszystkich wykonanych układów $\geq 110 \text{ g/m}^2$ (spunbond $\geq 15 \text{ g/m}^2$, spunbond węglowy 45 g/m^2 , meltblown 30 g/m^2 lub 40 g/m^2 i spunbond 20 g/m^2) – siła zrywająca kształtuje się na poziomie 119,7–176,4 N.
- 2) Również korzystne wyniki parametru siły zrywającej uzyskano w przypadku łączenia kompozytów filtropochłaniających technologią ultradźwiękową (stosując połączenie przerywane potrójne) w worki i rękawy filtracyjne (prawa strona). Siła zrywająca kształtowała się na poziomie 32,3–65,2 N.
- 3) W przypadku łączenia kompozytów filtropochłaniających technologią ultradźwiękową (połączenie przerywane pojedyncze z równoległym połączeniem ciągłym w postaci wzoru utworzonego przez łączenie symbolu S) w worki i rękawy filtracyjne (lewa strona) dla prób: B,C,D,E uzyskano wysokość parametru siły zrywającej na poziomie 38,6–73,0 N.

Natomiast dla - rękawa filtracyjnego S30/M30/S20, oznaczonego jako próby A, średnia siła zrywająca kształtowała się na poziomie 1,7 N, a dla poszczególnych próbek 0,7–2,5 N, co okazało się niewystarczającą wytrzymałością połączenia [7].

WNIOSKI

- 1) W próbach zgrzewania włóknin polipropylenowych na kompozyty filtropochłaniające wykazano, że częstotliwość ultradźwięków 20 kHz jest korzystna dla uzyskania dobrych połączeń.
- 2) Prędkość przesuwu wstęgi włókniny lub rękawa w danej konfiguracji na maszynie ultradźwiękowej jest zależna od grubości i ilości warstw włókniny, im więcej warstw filtracyjnych tworzących dany kompozyt, tym mniejsza prędkość, dzięki czemu uzyskuje się dłuższy czas oddziaływania na powierzchnię zgrzewaną.
- 3) Wytrzymałość połączeń włóknin syntetycznych w kompozytach filtropochłaniających, wykonanych technologią ultradźwięko-

wą, niezależnie od zastosowanej metody (wzoru zgrzewania – pikowania) jest proporcjonalna do gramatury układu włóknin i rodzaju włóknin kompozytowych. Wytrzymałość (wartość siły zrywania) wzrasta wraz ze wzrostem gramatury układu.

- 4) Ultradźwiękowa technologia zgrzewania kompozytów włókninowych filtropochłaniających jest procesem przydatnym i dającym skuteczne połączenia w przypadku syntetycznych materiałów włókninowych.
- 5) Proces technologicznego łączenia ultradźwiękami jest czysty i ekologiczny, a także ekonomicznie uzasadniony, gdyż działanie za pomocą fal ultradźwiękowych na włókniny jest krótkotrwałe, ponieważ zgrzewanie kilku warstw materiałów na maszynie ultradźwiękowej odbywa się z dużą wydajnością sięgającą 20 m/min.
- 6) Większą wytrzymałość materiału uzyskuje się poprzez połączenie kilku warstw włóknin w kompozyty, co jest bardzo ważne w przypadku włóknin technicznych o właściwościach filtropochłaniających, m.in. stosowanych do filtrów powietrza jako rękawy i kieszenie.

LITERATURA

- [1] S.S. Volkov et al.: Ultrasound welding of synthetic fabric for technical purposes, *Welding International* 23, 10, 2009, str. 789-795.
- [2] M. Jaworowska: Ultradźwięki w przemyśle. Przegląd zastosowań, Technika, 2021.
- [3] Z. Kiss, T. Temesi, E. Bitay, T. Bárány, T. Czigány: Ultrasonic welding of all-polypropylene composites., *Journal of Applied Polymer Science* 137, 2020, str. 48799.
- [4] L. Nafalski: Zastosowanie technologii zgrzewania ultradźwiękowego w motoryzacji, *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie* 3, 30, 2010.
- [5] S. Khashirova, A. Zhansitov, A. Vindizheva: Concerning the Application Possibility of Ultrasonic Welding of Textile Materials on the Basis of Synthetic Fibres in the Manufacturing Processes of Parachute Systems, *Key Engineering Materials* 869, 2020, str. 56-60.
- [6] Ultradźwiękowe zgrzewanie tworzyw sztucznych, *Mini Informator, SonicArts, Warszawa, 2020, str. 1-19.*
- [7] J. Paprowicz i inni.: pt.: „Opracowanie technologii wytwarzania wysokoskutecznych kompozytów włókninowych filtropochłaniających do usuwania zanieczyszczeń z powietrza”, Projekt badawczy RPPK.01.02.00-18-0028/17 realizowany w latach 2017-2020. Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2014 – 2020, *Eko-Karpaty, Tarnowiec, 2020.*
- [8] PN-EN ISO 29073-3:1994 *Tekstyliia. Metody badania włóknin. Wyznaczanie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia.*

Artykuł został zamieszczony w czasopiśmie „Technologia i Jakość Wyrobow” 66, 2021, s. 90-110.

mgr Beata Paprowicz-Nęcza

mgr Ewelina Paprowicz

dr inż. Jan Paprowicz

mgr inż. Dawid Polar

mgr Piotr Wojnar

Podkarpackie Centrum Produkcyjno-Wdrożeniowe „Eko-Karpaty”

mgr Michalina Falkiewicz-Dulik

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Przemysłu Skórzanego

Jeden z tysięcy
produktów, które
Klienci wykonują
na naszych
maszynach.

zemat.com



Najlepsze
**ZGRZEWARKI
WYSOKICH
CZĘSTOTLIWOŚCI**
do tworzyw sztucznych
i tekstyliów technicznych!

 **zemat**
TECHNOLOGY
GROUP

Skontaktuj się z nami,
doradzimy w doborze
maszyn i technologii:

☎ 42 632 84 84
✉ sales@zemat.com
📍 Łódź, ul. Brukowa 26

Eksperymentalne badanie wpływu zjawiska fali stojącej na jakość zgrzewu materiałów termoplastycznych w metodzie zgrzewania wysoką częstotliwością

Zgrzewanie tworzyw termoplastycznych

Anton Los, Dariusz Kobylarz, Gabriela Sobolewska, Paulina Kotula

W odniesieniu do dielektryków polarnych metoda zgrzewania tworzyw sztucznych polem elektrycznym wysokiej częstotliwości jest obecnie najskuteczniejszą metodą pod względem prędkości zgrzewania, wydajności procesu, oraz jakości otrzymywanych połączeń. Niemniej jednak, producenci maszyn opartych na tej zasadzie działania muszą brać pod uwagę efekty falowe, które mają bezpośredni wpływ na proces zgrzewania, a które nie występują w innych metodach zgrzewania. Efekt fali stojącej, będący jednym z takich efektów, ma bezpośredni wpływ na proces zgrzewania tworzyw sztucznych. W pracy przedstawiono metody wizualizacji tego efektu i badanie jego wpływu na jakość zgrzewu.

Z względu na szerokie zastosowanie tworzyw termoplastycznych we współczesnym przemyśle, kluczowe znaczenie mają badania nad metodami ich przetwarzania. Szczególną uwagę należy zwrócić na zgrzewanie tworzyw termoplastycznych, jako jedną z najczęściej stosowanych metod. Istnieje wiele metod przetwarzania tworzyw sztucznych opisanych w licznych przeglądach [1, 2], wśród których wyróżnia się metoda zgrzewania wysoką częstotliwością ze względu na szybkość procesu i jakość otrzymywanych zgrzewów.

Podstawy fizyczne procesu zgrzewania wysoką częstotliwością częściowo figurują w zakresie teorii elektromagnetyzmu. Ciepło niezbędne do zgrzewania termoplastu wydziela się bezpośrednio w zgrzewanym materiale i jest skutkiem dyssypacji energii w trakcie procesów polaryzacyjnych w strukturze molekularnej materiału, które odbywają się przy każdej zmianie kierunku pola elektrycznego. Charakterystyką prędkości zmian kierunku pola elektrycznego jest częstotliwość pracy urządzenia zgrzewającego, ograniczona pasmem ISM – najczęściej jest to 27,12 MHz lub 40,68 MHz. Ze względu na fizykę procesu, do efektywnego zgrzewania metodą wysokiej częstotliwości dedykowane są materiały, które posiadają grupy polarne w strukturze molekularnej, co przekłada się na wysokie wartości stałej elektrycznej ϵ i tangensa kąta strat $\tan \delta$. Takimi materiałami są: polichlorek winylu (PVC), poliuretan (PU), politereftalan etylenu (PET) oraz wiele innych.

Opis fizyczny zgrzewania tworzyw termoplastycznych wysoką częstotliwością w przypadku ogólnym jest złożonym problemem interdyscyplinarnym: do precyzyjnego opisu procesu należy stosować zagadnienia z elektromagnetyzmu, termodynamiki oraz mechaniki. W związku z tym istnieje dużo zjawisk, które należy brać pod uwagę podczas projektowania zgrzewarek dielektrycznych. Ważnym jest również zrozumienie, że zjawiska elektromagnetyczne występujące w zgrzewarkach wysokiej częstotliwości mogą skutkować zjawiskami termicznymi, które z kolei mogą w istotny sposób wpływać na proces zgrzewania i na jakość otrzymanych zgrzewów. Jednym z takich zjawisk jest efekt fali stojącej – przedmiot niniejszej pracy.

GLĘBOKOŚĆ WNIKANIA FALI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

Rozkład pola elektrycznego ma duży wpływ na rozkład temperatury w zgrzewanym materiale. To podkreśla niezbędność

oszacowania wpływu zjawisk, które występują podczas zgrzewania termoplastów równoległe ze zjawiskiem fali stojącej. W celu obserwacji tego efektu oraz determinacji jego wpływu na jakość zgrzewu konieczna jest eliminacja, albo co najmniej oszacowanie wpływu współistniejących z nim zjawisk. Jednym z nich, które może mieć wpływ na rozkład pola, jest tłumienie pola elektrycznego przez zgrzewany materiał.

Głębokość wnikania fali elektromagnetycznej do materiału opisuje się wzorem:

$$1/\alpha = \frac{\lambda_0}{2\pi} \left[\frac{2}{\kappa'(\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1)} \right]^{1/2} \quad (1)$$

gdzie: $1/\alpha$ – odległość tłumienia, na której amplituda pola zmniejsza się do $1/e = 0,368$ od swojej wartości przy powierzchni, λ_0 – długość padającej fali, $\kappa' = \epsilon'/\epsilon_0$ i $\tan \delta = \epsilon''/\epsilon'$ – zespolone współczynniki dielektryczne materiału.

Analiza wzoru (1) w przypadku częstotliwości 27,12 MHz pokazuje, że głębokość wnikania pola jest bardzo duża relatywnie do grubości materiału, i nie może wносить widocznego wkładu do niejednorodności pola elektrycznego. Ponadto pozwala to stwierdzić, że niejednorodności pola powiązane z tłumieniem mogą być pominięte w niniejszej pracy poświęconej badaniu zjawiska fali stojącej.

ZJAWISKO FALI STOJĄCEJ

Innym zjawiskiem falowym, które ma bezpośredni wpływ na jednorodność pola na długości elektrody, jest efekt fali stojącej. Zjawisko to jest powszechnie znane w inżynierii radiowej oraz w budowie długich linii zasilania i polega na tym, że w niedopasowanej do obciążenia długiej linii transmisyjnej, wymiary której są rzędu długości fali, pojawiają się lokalne maksima i minima napięcia. W rzeczywistości układ doprowadzenia energii wysokiej częstotliwości w zgrzewarkach dielektrycznych jest analogiczny do długiej linii transmisyjnej otwartej [3]. Rozkład napięcia w takim układzie jest schematycznie pokazany na rysunku 1. Na końcu linii długiej, który to w przypadku urządzenia zgrzewającego jest końcem elektrod (punkt C), powstaje maksimum napięcia. Wraz z oddalaniem się od końca elektrody napięcie maleje i osiąga minimum w środkowej części jej długości, gdzie zwykle

jest wykonane połączenie elektryczne (punkt B). To minimum w środku długości elektrody jest istotne z punktu widzenia stosowanej technologii zgrzewania, ale trzeba zaznaczyć, że układ doprowadzania energii też jest częścią linii długiej (między punktami A i B), i może zawierać sekcje z jeszcze niższym napięciem. Symetria elektrody względem połączenia elektrycznego powoduje, iż maksima napięcia powstają na obu końcach elektrody. Różnica napięcia między końcem a środkiem elektrody (ΔU_1 i ΔU_2) jest zależna od długości fali w układzie i długości elektrod; osiąga wartość maksymalną, gdy odległość od połączenia zasilającego jest równa L długości fali. Z uwagi na fakt, iż zgrzewarki dielektryczne pracują w trybie niedopasowanym, ze względu na zależne od temperatury parametry dielektryczne wsadu, wartość minimum zależy od współczynnika fali stojącej w układzie.

EKSPERYMENT

Głównym zagadnieniem opisującym generację, transport i rozkład ciepła w zgrzewanym materiale jest niestacjonarne równanie transportu ciepłego z wewnętrznymi źródłami ciepła:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \Omega \nabla^2 T + \frac{P}{\rho c} \quad (2)$$

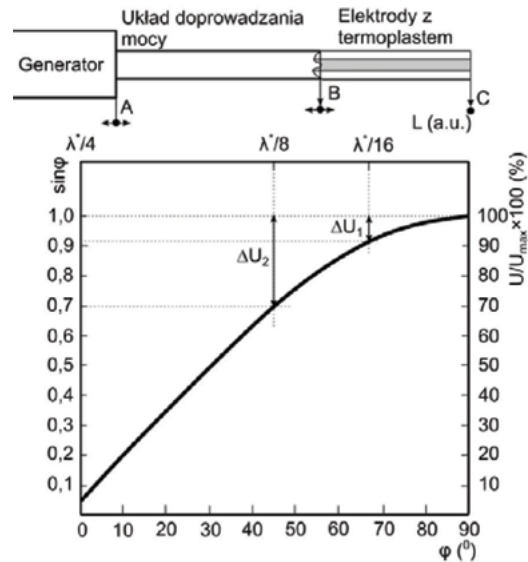
gdzie: T – temperatura, τ – czas, Ω – współczynnik przewodnictwa temperaturowego, ρ – gęstość, c – ciepło właściwe i P – gęstość mocy wewnętrznych źródeł ciepła.

Generacja ciepła w materiale jest włączona w równanie (2) poprzez gęstość mocy P , którą z kolei opisuje się równaniem:

$$P = \frac{2\pi f \varepsilon_0 \varepsilon'(T) \operatorname{tg} \delta(T) U^2}{d^2} \quad (3)$$

gdzie: f – częstotliwość, ε_0 – przenikalność elektryczna próżni, $\varepsilon'(T)$ – zależna od temperatury część rzeczywista przenikalności elektrycznej materiału, $\operatorname{tg} \delta(T)$ – zależny od temperatury współczynnik strat dielektrycznych, d – odległość między elektrodami zgrzewającymi.

Zależność (3) charakteryzuje moc strat ciepłych w płaskim kondensatorze, przy czym parametrami odpowiedzialnymi za rozkład pola elektrycznego wzdłuż elektrod są napięcie z uwzględnionym efektem fali stojącej oraz odległość pomiędzy elektrodami. Z tego wynika, że w celu obserwacji, jaki wpływ ma zjawisko fali stojącej na jakość zgrzewu, należy zminimalizować wpływ wkładu materiału zgrzewanego wynikającego z różnic odległości pomiędzy elektrodami. Warto również pamiętać o zależnych

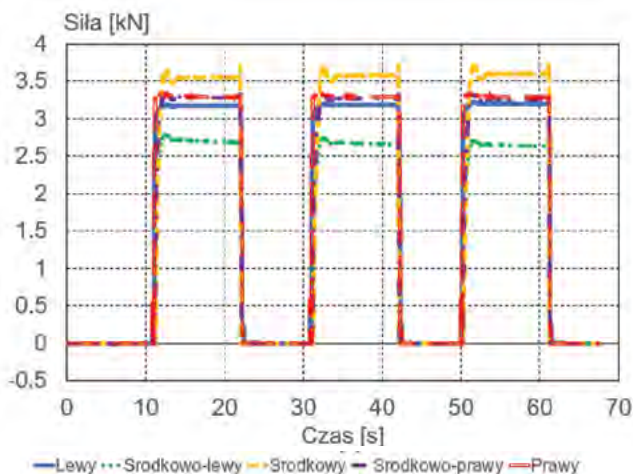


Rys. 1 Przykładowy rozkład napięcia w układzie transmisji energii w zgrzewarce dielektrycznej (L - długość linii transmisyjnej, U - napięcie, φ - faza, λ^* - długość fali w ośrodku)

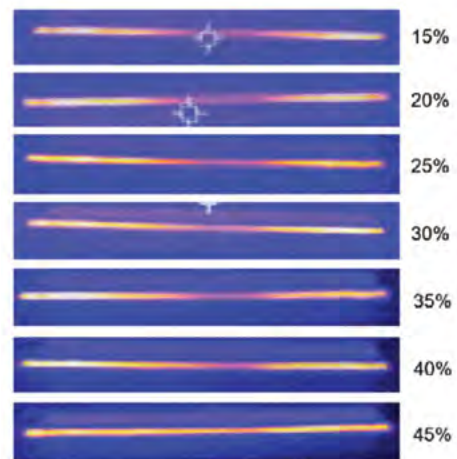
od temperatury parametrów dielektrycznych, których wartości wzrastają wraz ze wzrostem temperatury, co z kolei powoduje zwiększenie mocy generowanego ciepła w obszarach o większej temperaturze, a to skutkuje wzmocnieniem wpływu efektu fali stojącej na rozkład temperatury.

Badane urządzenie zgrzewające posiadało prasę dociskającą górną elektrodę o wymiarach 1500x50 mm z siłą 15 kN do materiału, dlatego konwencjonalne metody pomiaru odległości okazały się mało użytecznymi. W celu minimalizacji różnic odległości pomiędzy elektrodami na ich długości została wykonana specjalna procedura poziomowania elektrod. Zastosowano pięć identycznych czujników tensometrycznych do pomiaru siły docisku w pięciu punktach na całej długości elektrody. Dostosowując położenie odpowiednich elementów poziomujących maszyny osiągnięto równomierność docisku względem wartości otrzymanych z czujników tensometrycznych. Wyniki pomiaru siły docisku po procedurze poziomowania są zaprezentowane na rysunku 2.

Po procedurze poziomowania zostały wykonane zgrzewy dwóch warstw materiału termoplastycznego elastomeru poliuretanowego (TPU, typ TPU2007) przy różnych ustawieniach maszyny



Rys. 2 Wyniki pomiaru rozkładu siły docisku przy użyciu czujników tensometrycznych po procedurze poziomowania elektrody (w legendzie zaznaczono pozycje czujników)



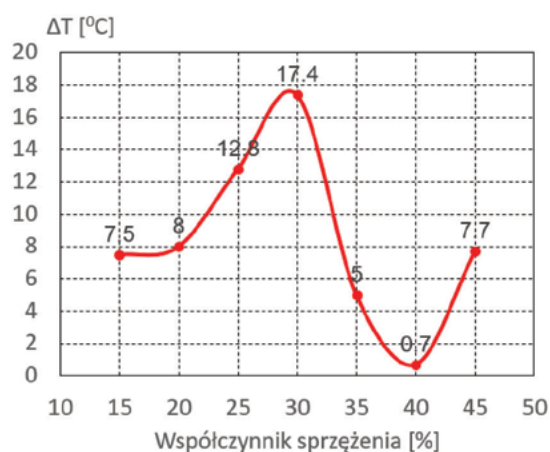
Rys. 3 Zdjęcia zgrzewów wykonane kamerą termowizyjną (z prawej strony jest zaznaczony wskaźnik sprężenia w procentach)

zgrzewającej. Zgrzewy różniły się wskaźnikiem sprężenia wyrażonym w procentach, który w rzeczywistości zależał od pojemności kondensatora sprzęgającego generator z obciążeniem w postaci elektrod i wsadu dielektrycznego. Badanie wstępne, które pozwoliło szybko zwizualizować rozkład temperatury wzdłuż elektrody oraz zweryfikować obecność wpływu zjawiska fali stojącej, zostało przeprowadzone przy użyciu kamery termowizyjnej. Zdjęcia wykonywano dwie sekundy po zakończeniu zgrzewania, tuż po podniesieniu prasy urządzenia. Rozkład temperatury otrzymany z kamery termowizyjnej dla zgrzewów o czasie zgrzewania 5 s, i dla różnych wskaźników sprężenia, są pokazane na rys. 3.

Na rysunku 3 dobrze widać, że rozkład temperatury nie jest jednorodny: w środku długości elektrody występuje minimum, co potwierdza obecność zjawiska fali stojącej. Przy wyższych wartościach wskaźnika sprężenia rozkład temperatury jest bardziej jednorodny, niż przy niższych. Może być to powiązane z tym, że przy wyższym wskaźniku sprężenia do materiału dostarczana jest większa moc, co powoduje osiągnięcie temperatury płynięcia również w środkowej części długości zgrzewu. Jednocześnie na końcach długości zgrzewiny temperatura płynięcia zostaje osiągnięta wcześniej, a nadwyżka energii cieplnej powoduje kontynuację transformacji fazowej materiału, a nie jego dalsze nagrzewanie (ciepło utajone przemiany w przejściach fazowych pierwszego rodzaju). Ponadto, współczynnik strat dielektrycznych wzrasta wraz ze wzrostem temperatury [4], aż nie osiągnie maksimum w temperaturze płynięcia, po czym następuje zmniejszenie prędkości nagrzewania się materiału zgodnie ze wzorem (3).

W celu sprawdzenia wyżej opisanej koncepcji przeprowadzono pomiary temperatury używając termometru na podczerwień. Pomiar temperatury materiału został wykonany w dwóch punktach odpowiadających środkowi i końcu elektrody. Wartości temperatur mierzone w czasie rzeczywistym były rejestrowane w trybie automatycznym, co pozwoliło zredukować błędy powiązane z czasem reakcji operatora. Zaprezentowano wyniki pomiarów w postaci zależności różnicy temperatur pomiędzy dwoma punktami kontrolnymi od współczynnika sprężenia (rys. 4).

Zależność przedstawiona na rysunku 4 wykazuje najpierw wzrost różnicy temperatur, powiązany z szybszym wzrostem parametrów dielektrycznych w gorących obszarach, co z kolei skutkuje szybszym nagrzewaniem się materiału. Maksimum pojawia się w momencie, gdy energii dostarczonej do materiału jest wystarczająco dużo do osiągnięcia temperatury płynięcia w punkcie pomiarowym na końcu zgrzewu, po czym różnica temperatur zaczyna ulegać redukcji. Kolejny wzrost różnicy tempe-



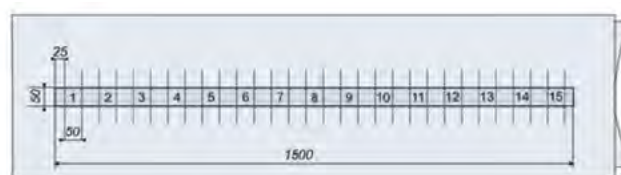
Rys. 4 Zależność różnicy temperatur między środkiem a końcem zgrzewu od współczynnika sprężenia

ratyr może być powiązany z zakończeniem przemiany fazowej i dalszym nagrzewaniem się materiału na końcu długości zgrzewu w czasie, gdy temperatura w środku osiąga wartości temperatury płynięcia.

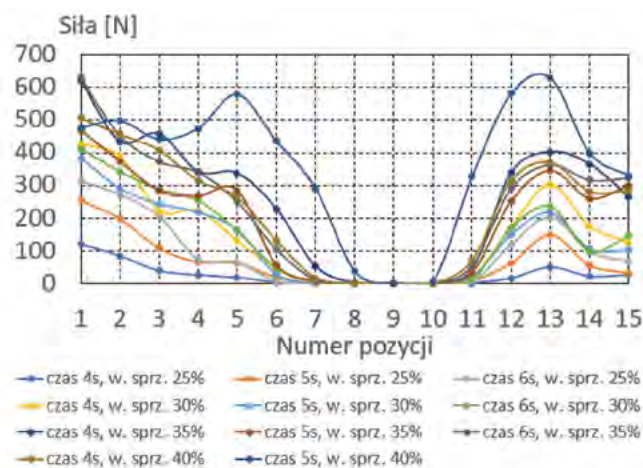
Przedstawiona metodyka pozwala na pomiar temperatury wyłącznie powierzchni zgrzanego materiału, tuż po podniesieniu prasy, co nie pozwala na całkowite uniknięcie odpływu ciepła z powierzchni przed pomiarem samego zgrzewu. W takich pomiarach często stosuje się termopary [5], ale ich skuteczność nie została jeszcze sprawdzona w badaniach na maszynach zgrzewających o większej mocy. Dlatego, biorąc pod uwagę wszystkie wady metodyki pomiaru temperatury zgrzewu termometrem na podczerwień, zostaje ona jedną z niewielu metod użytecznych w danym przypadku.

Jednym z najskuteczniejszych sposobów badania jakości zgrzewów jest test na oddzieranie przeprowadzony przy użyciu maszyny wytrzymałościowej [5]. Ten rodzaj testu jest znany i szeroko stosowany w praktyce. Modele zawierające fizyczny opis procesów mechanicznych zachodzących w materiale podczas testu zostały dobrze opisane w pracy [6]. W celu przeprowadzenia badań wytrzymałościowych wykonano zgrzewy dwóch warstw TPU (typ TPU2012). Materiał ten różnił się nieco od materiału wykorzystanego do pomiarów temperatury. Ze względu na szybszy odpływ ciepła został wybrany cieńszy materiał, co odpowiada najbardziej niekorzystnej sytuacji w zgrzewaniu wysokoczęstotliwościowym ze względu na szybkie odprowadzanie ciepła przez elektrody zgrzewające. Z drugiej strony, dla badań bazujących na opisanym wyżej pomiarze temperatury po ukończeniu procesu zgrzewania, grubsza warstwa materiału pozwala na otrzymanie dokładniejszego wyniku: ilość akumulowanej energii cieplnej jest większa niż w przypadku cienkiej warstwy i proces odpływu ciepła przez powierzchnie ma mniejszy wpływ na dokładność wyników.

Próbki do badań wytrzymałościowych zostały wycięte ze zgrzewin wykonanych przy różnych współczynnikach sprężenia i cza-



Rys. 5 Schemat numeracji wyciętych ze zgrzewiny próbek



Rys. 6 Wyniki pomiarów maksymalnej siły oddzierania przy różnych parametrach zgrzewania w zależności od lokalizacji na zgrzewinie

sach zgrzewania. Z każdego zgrzewu wycięto 15 pasków o szerokości $50 \pm 0,5$ mm, tak jak to pokazano na rysunku 5. Próbki ponumerowano zgodnie z ich pierwotnym umiejscowieniem na długości zgrzeiny, od lewej do prawej (od 1 do 15).

Na otrzymanych próbkach przeprowadzono badania wytrzymałości na oddzieranie, podczas których mierzono siłę i wydłużenie próbki. Prędkość trawersu szczęk maszyny wytrzymałościowej wynosiła 25 mm/min. Na podstawie wyników pomiarów otrzymano zależność maksymalnej siły w trakcie oddzierania od lokalizacji próbki na długości zgrzeiny, co zaprezentowano na rysunku 6.

na skutek zjawiska fali stojącej warstwy materiału, znajdujące się pod środkową częścią długości elektrody, nie zostały zgrzane. Zasięg obszaru, w którym siła oddzierania jest bliska zeru, jest zależny od parametrów zgrzewania: im dłuższy jest czas zgrzewania i czym większy jest wskaźnik sprzężenia, tym węższy jest ten obszar. Warto zaznaczyć, że w tym przypadku niska jakość połączenia jest skutkiem nieosiągnięcia temperatury płynięcia w środkowej części materiału, na co miał wpływ szybszy odpływ ciepła w porównaniu do grubszego materiału, na którym przeprowadzono badania temperatury. Powoduje to jeszcze większą różnicę prędkości wzrostu temperatury pomiędzy środkiem zgrzeiny a jej krawędzią, ze względu na większą różnicę parametrów dielektrycznych. Skutkuje to zwiększeniem wpływu zjawiska fali stojącej na jednorodność zgrzeiny wraz ze zmniejszeniem grubości zgrzewanych warstw.

PODSUMOWANIE

W przedstawionej pracy zaprezentowano mechanizm oddziaływania zjawiska fali stojącej na jakość zgrzewu wykonanego metodą wysokiej częstotliwości. Zaproponowano kilka metod eksperymentalnych, pozwalających zwiualizować i ocenić wpływ tego efektu na proces zgrzewania materiału. Otrzymano zależność pomiędzy parametrami zgrzewania (czas trwania zgrzewania i współczynnik sprzężenia), a wpływem efektu na wartość siły oddzierania zgrzewu. Ponadto zaobserwowana została korelacja pomiędzy grubością warstw zgrzewanego materiału, a niekorzystnym wpływem efektu na jakość zgrzewu.

Badania przeprowadzono w związku z projektem pn. „Badanie i modyfikacja maszyn ze względu na emisję pola elektro-



foto Redakcja

magnetycznego” realizowanym w ramach dofinansowania z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, 2-ga oś priorytetowa „Wsparcie otoczenia i potencjału przedsiębiorstw do prowadzenia działalności B+R+I”, Działanie 2.1 „Wsparcie inwestycji w infrastrukturę B+R przedsiębiorstw”.

LITERATURA

- [1] A.P. da Costa, E.C. Botelho, M.L.Costa, N.E. Narita, J.R. Tarpani: A Review of Welding Technologies for Thermoplastic Composites in Aerospace Applications, *Journal of Aerospace Technology and Management* 4 (2012), 255-265.
- [2] A. Yousefpour, M. Hojjati, J.-P. Immarigeon, F. Bonding: Welding of thermoplastic Composites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 17 (2004), 303-341.
- [3] Z. Urbaniak: Zgrzewanie tworzyw sztucznych, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa (1997), 99-120.
- [4] S. Hollande, J.-L. Laurent, T. Lebey: High-frequency welding of an industrial thermoplastic polyurethane elastomer-coated fabric, *Polymer* 39 (1998), 5343-5349.
- [5] Y. Yang, P. Zeng, L. Lei: High-frequency dielectric heating and the strength of flexible polymer seams, *Journal of Materials Processing Technology* 215 (2015), 105-113.
- [6] Y. Wei, J.W. Hutchinson: Interface strength, work of adhesion and plasticity in the peel test, *International Journal of Fracture* 93 (1998), 315-333.

Artykuł był zamieszczony w czasopiśmie „Przegląd Elektrotechniczny”, ISSN 0033-2097, R. 94 NR 12/2018.

mgr Anton Los

mgr inż. Dariusz Kobylarz

mgr inż. Gabriela Sobolewska

mgr inż. Paulina Kotula

Centrum Badawczo-Rozwojowe FIAB

Laboratorium Pól Elektromagnetycznych

i Kompatybilności Elektromagnetycznej (PEM/EMC)



www.pixabay.pl

Metoda szybkiego szacowania przydatności nowych związków do plastyfikacji poli(chlorku winylu)

Joanna Czogała, Roman Turczyn, Mieczysław Łapkowski, Krzysztof Kozieł, Sebastian Jurczyk, Patryk Dziendziot, Ewa Pankalla

Plastyfikatory są najpopularniejszymi, ale również niezbędnymi dodatkami do tworzyw, które nadają im elastyczności i ułatwiają przetwarzanie. W celu oceny skuteczności plastyfikacji porównano dwie różne metody przygotowania plastyfikowanych tworzyw: metodę tradycyjną, najczęściej stosowaną w przemyśle (polegającą na mieszaniu, wytłaczaniu i granulacji) oraz metodę wylewania filmu z roztworu, powszechnie stosowaną w jednostkach badawczych. Do badań porównawczych przygotowano plastyfikowany poli(chlorek winylu) (PVC), zawierający 50 cz. mas. w przeliczeniu na 100 cz. polimeru (*phr, parts per hundred rubber*) dwóch powszechnie stosowanych plastyfikatorów (tereftalan bis(2-etyloheksylu) (TFDO) oraz trimelitan tris(2-etyloheksylu) (TMTO)). Przeprowadzono badania w celu oceny skuteczności plastyfikacji na podstawie oceny kluczowych właściwości: właściwości mechanicznych, w tym wydłużenia przy zerwaniu i wytrzymałości na rozciąganie, odporności na ługowanie, stabilności termicznej i temperatury zeszklenia.

Polimery są grupą materiałów znajdujących wiele zastosowań w życiu codziennym. W celu zwiększenia ich funkcjonalności modyfikuje się je różnymi dodatkami, nadając im nowe właściwości lub polepszając te dotychczasowe (stabilność termiczna, elastyczność, izolacyjność elektryczna, niepalność) [1]. Jedną z najważniejszych grup dodatków do polimerów w procesie ich przetwórstwa i otrzymywania wyrobów są plastyfikatory, zwane również zmiękczacami. Są one substancjami stosowanymi w celu obniżenia temperatury zeszklenia tworzywa polimerowego, np. PVC. Zwykle dąży się do obniżenia temperatury zeszklenia poniżej temperatury pokojowej. Dzięki temu możliwe jest wykorzystanie tak zmodyfikowanego tworzywa w szerszym spektrum zastosowań [2].

Najpopularniejszym plastyfikatorem PVC, stosowanym od wielu lat, jest ftalan bis(2-etyloheksylu). Jednakże w ciągu ostatnich lat zidentyfikowano poważne zagrożenia związane z jego stosowaniem, m.in. w ochronie środowiska lub dla zdrowia ludzi. Naukowcy wykryli obecność tego plastyfikatora w glebach, wodach śródlądowych i wodzie morskiej, osadach, w wielu organizmach żywych, a nawet w mleku kobiet karmiących [3–6]. W związku z rosnącą świadomością ekologiczną, plastyfikatory te jako szkodliwe zostały poddane restrykcjom prawnym w wielu państwach, a co za tym idzie, konieczne jest ich zastąpienie w przemyśle nowymi, mniej szkodliwymi substancjami. Sytuacja ta powoduje zwiększenie zainteresowania badaniami nad nowymi plastyfikatorami oraz ich właściwościami, w tym również ocenę zdolności do plastyfikacji PVC [7].

Do oceny skuteczności uplastyczniania tworzywa stosuje się trzy główne metody przygotowania materiału: wytłaczanie [8], kalandrowanie [9, 10] i wylewanie folii [11–13]. W metodzie tradycyjnej, stosowanej przez przetwórców PVC, m.in. do produkcji kabli, w pierwszym etapie polimer jest mieszany z plastyfikatorem oraz ewentualnie innymi dodatkami. W drugim etapie otrzymana sucha mieszanka jest wytłaczana za pomocą wytłaczarki, a otrzymane tworzywo jest granulowane. Granulki tworzywa są już gotową próbką do badań, mogą być również prasowane w arkusze, z których wycinane są odpowiednie kształtki do badań.

Istnieje wiele metod otrzymywania plastyfikowanego PVC, jednakże na rynku istnieje potrzeba spełnienia oczekiwań producentów w zakresie badania skuteczności plastyfikacji, a tym samym przydatności nowego związku chemicznego jako plastyfikatora. Opisanie metody różni się sposobem przygotowania próbek plastyfikowanego PVC do badań. Metoda wylewania folii z roztworu jest metodą szybką i nie wymaga specjalnego sprzętu laboratoryjnego. Próbką plastyfikowanego PVC przygotowuje się w kolbie na mieszadle magnetycznym. Jako rozpuszczalnik stosowano tetrahydrofuran (THF), po odparowaniu którego plastyfikator pozostaje w matrycy polimerowej, zapewniając jej miękkość i elastyczność. Istotną zaletą tej metody jest możliwość przygotowania próbek plastyfikowanego PVC z niewielkiej ilości plastyfikatora, co jest niezwykle ważne w przypadku badań nowych związków otrzymywanych w skali laboratoryjnej. Drugą z opisanych metod polega na ogrzaniu polimeru do temperatury powyżej temperatury zeszklenia (w przypadku PVC to ok. 80°C). W tej temperaturze łańcuchy polimeru stają się bardziej mobilne i ulegają rozluźnieniu, a dodany plastyfikator może łatwo dyfundować do matrycy polimeru. Tak powstała sucha mieszanka polimeru z plastyfikatorem zostaje następnie wytloczona, a tworzywo zgranulowane. Proces ten jest bliskim odwzorowaniem wielu procesów produkcyjnych, w których przygotowuje się plastyfikowany PVC. Metoda ta wymaga specjalistycznego sprzętu w postaci wydajnych mieszalników, wytłaczarek i granulatorów, które często są niedostępne w akademickich laboratoriach badawczych [14, 15]. W przypadku tej metody wielkość próbek jest uzależniona od wielkości sprzętu. W przypadku wytłaczarki dwuślimakowej i mieszalnika, stosowanych w przedstawionej pracy, wynosiła ona 2 kg mieszanki. Taka wielkość próbki stanowi znaczące wyzwanie, uwzględniając, że ok. 1/3 tej ilości stanowi badany plastyfikator.

W ramach przeprowadzonych prac badawczych zastosowano sposób szybkiego szacowania skuteczności nowych plastyfikatorów metodą wylewania cienkich folii z roztworu oraz porównano ją z „klasyczną” metodą plastyfikacji PVC poprzez przygotowanie suchej mieszanki i wytłaczanie. Metoda szybka jest szeroko stoso-

wana w laboratoriach badawczych. Polega ona na wylewaniu cienkich filmów z roztworu polimeru. Metoda ta nie wymaga stosowania specjalistycznego sprzętu, takiego jak wytłaczarki. Polimer rozpuszcza się wraz z plastyfikatorem w odpowiednim rozpuszczalniku, np. tetrahydrofuranie, wlewa na płaską powierzchnię, np. szalkę, a następnie pozostawia do odparowania rozpuszczalnika.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Surowce

W badaniach stosowano handlowy PVC typ S-70 (Anwil SA) oraz tereftalan bis(2-etyloheksylu) (TFDO) i trimelitan tris(2-etyloheksylu) (TMT0), plastyfikatory produkowane przez Grupę Azoty ZAK SA. Do przygotowania próbek użyto również węgla wapnia jako wypełniacza (Kreda Extra, Piotrowice Sp. z o.o.) oraz preparatu Baeropan R 8890 KA/2 (Baerlocher) jako stabilizatora termicznego. W celu przygotowania próbek w postaci folii wszystkie składniki zostały rozpuszczone w tetrahydrofuranie (THF, czystość 99,9%, Honeywell). Badania ługowania plastyfikatorów prowadzono w *n*-heksanie (czystość 97%, Avantor VWR).

Metodyka badań

Badania polegały na przygotowaniu próbek plastyfikowanego PVC dwoma metodami, a następnie na zbadaniu ich pod kątem efektywności procesu plastyfikacji tworzywa, poprzez oznaczenie ich właściwości mechanicznych (wytrzymałość na rozciąganie oraz wydłużenie przy zerwaniu), temperatury zeszklenia metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej, odporności na ługowanie plastyfikatora z tworzywa *n*-heksanem oraz stabilności termicznej metodą termograwimetryczną.

Przygotowanie tworzywa metodą konwencjonalną polegało na tym, że suchą mieszankę o składzie podanym w tabeli 1 przygotowano w mieszalniku grzewczo-chłodzącym High Power Jacketed High-Speed Laboratory Mixer (LabTech Engineering Ltd.). Masa wsadu do mieszalnika wynosiła 2 kg. Po 24 h mieszanka została wytłoczona przy użyciu wytłaczarki dwuślimakowej (Zamak Mercator Sp. z o.o., średnica ślimaka $D = 24$ mm, $L/D = 40$) z wanną chłodzącą i granulatorem. Zakres temperatur w poszczególnych strefach cylindra wytłaczarki ustalono w zakresie 140–170°C, a temperaturę głowicy ustalono na 150°C. Prędkość obrotową ślimaków ustalono na poziomie 35 rpm. Część granulatu została wyprasowana w prasie hydraulicznej w postaci arkuszy o grubości 2 mm (The Micro Scientific Bench Top Hydraulic Press Type LP30-B, LabTech Engineering Ltd.). Warunki procesu prasowania: temp. 170°C, ciśnienie 16 MPa, czas prasowania 7,5 min (cykl grzania 3,5 min, cykl chłodzenia 4 min).

W celu otrzymania plastyfikowanego tworzywa metodą wylewania folii do 100 mL THF umieszczonego w kolbie z chłodnicą zwrotną dodano 7,66 g PVC oraz 3,83 g plastyfikatora. Całość mieszano przez ok. 6 h za pomocą mieszadła magnetycznego w temp. 50°C, aż do otrzymania jednorodnej mieszaniny. Następnie roztwór przelewano na wypoziomowaną szalkę Petriego o średnicy 165 mm i suszono w temperaturze pokojowej przez 48 h. Po wstępnym odparowaniu rozpuszczalnika folię suszono w suszarce próżniowej w temp. 35°C przez 24 h celem pozbycia się resztek rozpuszczalnika. W ten sposób otrzymano przezroczyste

ste folie o grubości ok. 0,5 mm, które przechowywano w eksikatorze pomiędzy arkuszami folii aluminiowej [16–18].

Oznaczenie temperatury zeszklenia

Temperaturę zeszklenia (T_g) wyznaczano metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej w aparacie DSC 3 (Mettler Toledo). Próbkę o masie 5–12 mg umieszczano w zamykanych naczynkach aluminiowych o pojemności 40 μ L. Próbkę poddawano dwóm cyklom grzania w zakresie od -60°C do 120°C przy szybkości grzania 10°C/min w atmosferze azotu (szybkość przepływu 50 mL/min). Temperaturę zeszklenia identyfikowano jako punkt przegięcia na termogramie i wyznaczano z krzywej otrzymanej w drugim cyklu grzania próbki [19, 20]. Dla badanych próbek folii i wytłoczonego tworzywa temperaturę zeszklenia wyznaczono jako wartość średnią z co najmniej trzech niezależnych pomiarów.

Badanie właściwości wytrzymałościowych

Próbki do badań wytrzymałościowych zostały wycięte w typie 1BA z 2 mm arkuszy zgodnie z normą [21] przy użyciu prasy pneumatycznej (Pneumatic Cutting Press Zwick 7108 series, ZwickRoell GmbH). Właściwości mechaniczne próbek (wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie przy zerwaniu) badano w temperaturze pokojowej przy użyciu maszyny wytrzymałościowej (Allround table top universal testing machine ZwickRoell 10kN, ZwickRoell GmbH). Próbkę badano przy prędkości trawersy równej 50 mm/min z głowicą 10 kN (próbki przygotowane metodą tradycyjną) oraz z głowicą 100 N (próbki w postaci filmów wylewanych z roztworu). Wyniki przedstawiono jako wartość średnią z co najmniej pięciu pomiarów, a jako błąd podano odchylenie standardowe próbki [22].

Analiza termograwimetryczna

Analizę termograwimetryczną przeprowadzono, stosując aparat TGA 2 (Mettler Toledo). Próbkę o masie ok. 10 mg ogrzewano w temp. 25–650°C, z szybkością 10°C/min i przy przepływie azotu równym 50 mL/min. Z otrzymanego termogramu wyznaczono ubytki masy w poszczególnych etapach [23].

Badanie odporności na ługowanie

Odporność na ługowanie oznaczano, zanurzając próbkę tworzywa w *n*-heksanie. Do badań użyto próbek o wymiarze 10×10 mm, które po uprzednim zważeniu zanurzano w 50 mL *n*-heksanu. Po upływie ustalonego czasu (10 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, 24 h lub 48 h) próbki wyjęto z rozpuszczalnika, osuszono i pozostawiono w temperaturze pokojowej na 24 h w celu odparowania pozostałości rozpuszczalnika. Po tym czasie próbki ważono [23, 24].

Stopień migracji części ekstrahowalnych z filmów (e_{df}) otrzymanych metodą wylewania obliczono zgodnie z równaniem (1):

$$e_{df} = \frac{(m_0 - m_t)}{m_0 \times \frac{50}{150}} \times 100, \% \quad (1)$$

w którym: m_0 to masa początkowa próbki, mg; m_t to masa próbki po badaniu, mg.

Stopień migracji części ekstrahowalnych z próbek tworzywa przygotowanego metodą tradycyjną (e_{dt}) obliczono zgodnie z równaniem (2):

$$e_{dt} = \frac{(m_0 - m_t)}{m_0 \times \frac{50}{164,5}} \times 100, \% \quad (2)$$

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Temperatura zeszklenia

Temperatura zeszklenia T_g jest jednym z głównych parametrów charakteryzujących tworzywa termoplastyczne. Jest to temperatura, w której następuje przejście ze stanu plastycznego w stan szklisty, czego przejawem jest skokowy wzrost lepkości substancji. Na wykresie zależności pojemności cieplnej od temperatury ▶

Tabela 1. Skład mieszanki do konwencjonalnej plastyfikacji PVC

Nazwa składnika	Zawartość w mieszance, phr
PVC	100
Plastyfikator	50
Węgiel wapnia	10
Stabilizator termiczny	4,5

rejestrowanym metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej T_g można zaobserwować ją jako nagłą zmianę pojemności cieplnej próbki [25, 26].

Wyznaczone temperatury zeszklenia badanych próbek plastyfikowanego PCW w postaci folii i wytłoczonego tworzywa zestawiono w tabeli 2. W zależności od metody przygotowania próbki z danym plastyfikatorem otrzymano różne wartości T_g . W obu przypadkach wyznaczone wartości temperatury zeszklenia były niższe dla próbek plastyfikowanego PVC przygotowanego metodą tradycyjną, a różnica ta wynosiła 2,3°C. Otrzymane wyniki wskazują, że podniesienie temperatury tworzywa podczas plastyfikacji powyżej temperatury zeszklenia czystego PCW, które obserwuje się podczas przygotowania tworzywa metodą tradycyjną, korzystnie wpływało na efektywność procesu plastyfikacji. Rozluźnienie struktury polimeru i zwiększenie mobilności jego łańcuchów powyżej temperatury zeszklenia umożliwiało wniknięcie plastyfikatora w głąb matrycy polimerowej PVC i efektywną plastyfikację tworzywa. W efekcie dostarczania energii do układu w sposób mechanochemiczny tworzyły się odpowiednie oddziaływania pomiędzy cząsteczkami plastyfikatora a poszczególnymi fragmentami łańcucha polimerowego. Grupy estrowe obecne w plastyfikatorze umożliwiały tworzenie oddziaływań wodorowych oraz dyspersyjnych elektrostatycznych i van der Waalsa ze spolaryzowanymi wiązaniami C-Cl polimeru. Pierścień aromatyczny kwasowego fragmentu plastyfikatora działał jako kompatybilizator, a łańcuchy alifatyczne działały jako fragmenty separujące łańcuchy polimeru i zwiększające dystans pomiędzy nimi [2].

Rozpuszczanie polimerów jest procesem dwuetapowym. W pierwszym etapie polimer przechodzi z fazy stałej do fazy ciekłej, a następnie w drugim etapie następuje powolna dyfuzja makrocząsteczki polimeru do wnętrza roztworu. Etap dyfuzji jest etapem najwolniejszym, determinującym szybkość procesu rozpuszczania polimeru. W trakcie procesu rozpuszczania rozpuszczalnik ma za zadanie zrównoważyć siły oddziaływań dyspersyjnych pomiędzy skłębionymi łańcuchami polimeru, co pozwala na rozsuniecie i wyprostowanie makrocząsteczek [26].

W metodzie wylewania folii z roztworów wspólne rozpuszczenie polimeru i plastyfikatora w rozpuszczalniku również powodowało rozluźnienie łańcuchów PVC, co z kolei umożliwiało penetrację czą-

stek plastyfikatora i ich oddziaływanie z polimerem. Zależnie od warunków powstawania roztworu (rodzaj rozpuszczalnika, stężenie i temperatura) polimer mógł występować w postaci kłębków polimerowych o różnej strukturze i średnicy hydrodynamicznej, co wpływało na dostępność polimeru dla cząsteczek plastyfikatora. W metodzie tej na efektywność plastyfikacji miał wpływ etap odparowania rozpuszczalnika i powstawania filmu polimerowego. W trakcie tego procesu wraz ze zmianą stężenia zmieniały się warunki termodynamiczne, co wpływało na stan równowagi pomiędzy polimerem a plastyfikatorem i na strukturę układu [26].

Różnice w wartościach T_g były takie same dla próbek obu plastyfikatorów. By na podstawie T_g próbki otrzymanej metodą wylewania folii wyznaczonej metodą DSC oszacować, jaka byłaby wartość T_g tworzywa otrzymanego z wytłoczonego plastyfikowanego granulatu przygotowanego metodą tradycyjną z użyciem tego samego plastyfikatora, niezbędne byłoby przeprowadzenie szerszych badań dla większej gamy plastyfikatorów. Jednakże już teraz można stwierdzić, że metoda wylewania folii dała niedoszacowane wartości temperatury zeszklenia o kilka stopni względem metody tradycyjnej.

Badanie właściwości wytrzymałościowych

Jednymi z głównych parametrów charakteryzujących elastyczność tworzywa są jego wytrzymałość na rozciąganie oraz wydłużenie przy zerwaniu [27, 28]. Wyniki oznaczeń tych właściwości zestawiono w tabeli 3 i przedstawiono na rys. 1 i 2. W przypadku PVC plastyfikowanego metodą wylewania folii z roztworu uzyskano wyższe wartości zarówno wytrzymałości na rozciąganie, jak i wydłużenia przy zerwaniu. Wpływ na taki wynik badania miał sposób przygotowania tworzywa oraz jego skład. Folie wylewane z roztworu charakteryzowały się mniejszą gęstością niż próbki tworzywa wytłoczonego i prasowanego pod wysokim ciśnieniem. Ponadto pozostałości nieodparowanego rozpuszczalnika w tych próbkach dodatkowo uplastyczniały tworzywo, polepszając jego właściwości mechaniczne [29, 30]. Jednocześnie próbki otrzymywane metodą wylewania folii nie zawierały wypełniacza (kreda), którego obecność powodowała zmniejszenie elastyczności materiału plastyfikowanego metodą konwencjonalną.

Analiza termogravimetryczna

Analizę termogravimetryczną przeprowadzono w celu porównania krzywych rozkładu tworzyw plastyfikowanych różnymi me-

Tabela 2. Wartości temperatury zeszklenia próbek plastyfikowanego PVC otrzymanych metodą wylewania folii i wytłaczania; temperaturę zeszklenia wyznaczono jako wartość średnią co najmniej trzech pomiarów

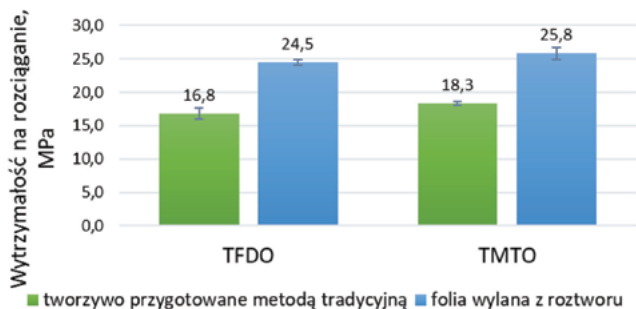
Metoda plastyfikacji	Temperatura zeszklenia próbek plastyfikowanych, °C	
	TFDO	TMTO
Wylewanie folii	-14,4 ± 1,4	-8,1 ± 0,6
Wytłaczanie	-16,7 ± 1,2	-10,4 ± 0,3
Różnica temperatur zeszklenia wyznaczonych obiema metodami, $T_{gf} - T_{gt}$	2,3	2,3

Tabela 3. Właściwości wytrzymałościowe próbek PVC plastyfikowanych TFDO i TMTO otrzymanych metodą wylewania folii i wytłaczania

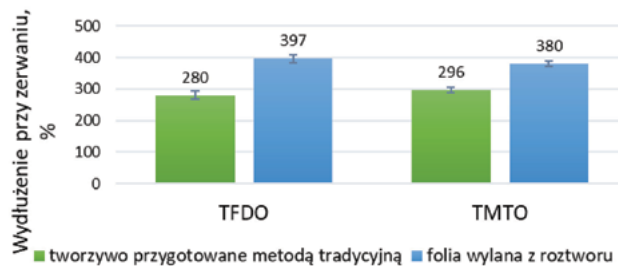
		Plastyfikator	
		TFDO	TMTO
Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	próbka z wylewania folii	24,5 ± 0,4	25,8 ± 0,9
	próbka z wytłaczania	16,8 ± 0,9	18,3 ± 0,3
Wydłużenie przy zerwaniu, %	próbka z wylewania folii	397 ± 13	380 ± 9
	próbka z wytłaczania	280 ± 13	296 ± 8

Tabela 4. Charakterystyczna temperatura, w której ubytek masy próbki plastyfikowanego PVC podczas ogrzewania w atmosferze obojętnej wynosi 5% mas.

Plastyfikator	Temperatura, w której ubytek masy początkowej próbki wynosi 5% mas., °C	
	plastyfikacja metodą wylewania folii	plastyfikacja metodą wytłaczania
TMTO	275 ± 0,8	268 ± 1,2
TFDO	258 ± 1,15	258 ± 0,95



Rys. 1. Wytrzymałość na rozciąganie próbek PVC plastyfikowanych tereftalanem bis(2-etyloheksylu) (TFDO) i trimelitanem tris(2-etyloheksylu) (TMTO) przygotowanych metodą wytłaczania oraz wylewania folii z roztworu



Rys. 2. Wydłużenie przy zerwaniu próbek plastyfikowanego PVC

rodami. Kluczowym parametrem była tu temperatura, w której rozpoczynał się proces rozkładu próbki tworzywa. W tabeli 4 porównano wartości temperatury, w których nastąpił 5-proc. ubytek początkowej masy próbki badanego tworzywa.

W przypadku plastyfikacji TMTO temperatury, w których następował 5-proc. ubytek masy początkowej próbki, różniły się nieznacznie dla obu metod plastyfikacji i wynosiły 7°C. Krzywe termogravimetryczne próbek PVC plastyfikowanych TFDO miały bardzo podobny przebieg w początkowym etapie pomiaru. W tym przypadku 5% ubytku masy początkowej próbki obserwowano w temp. 258°C, zarówno dla próbek plastyfikowanych metodą wylewania folii, jak i metodą wytłaczania.

Badanie odporności na ługowanie

Trwałość układu plastyfikator-polimer w tworzywie zależy od wielu czynników (budowa, skład chemiczny, masa cząsteczkowa, polarność). Cząsteczka plastyfikatora zwykle nie jest połączona z łańcuchem polimeru wiązaniem chemicznym, dlatego też z biegiem czasu może uwalniać się np. podczas procesu przetwarzania tworzywa i później podczas użytkowania wyrobu wyprodukowanego z plastyfikowanego tworzywa. Czynnikiem przyspieszającym migrację plastyfikatora może być kontakt tworzywa z innym ośrodkiem, zarówno ciałem stałym, cieczą lub gazem, do którego plastyfikator będzie migrował [31–33].

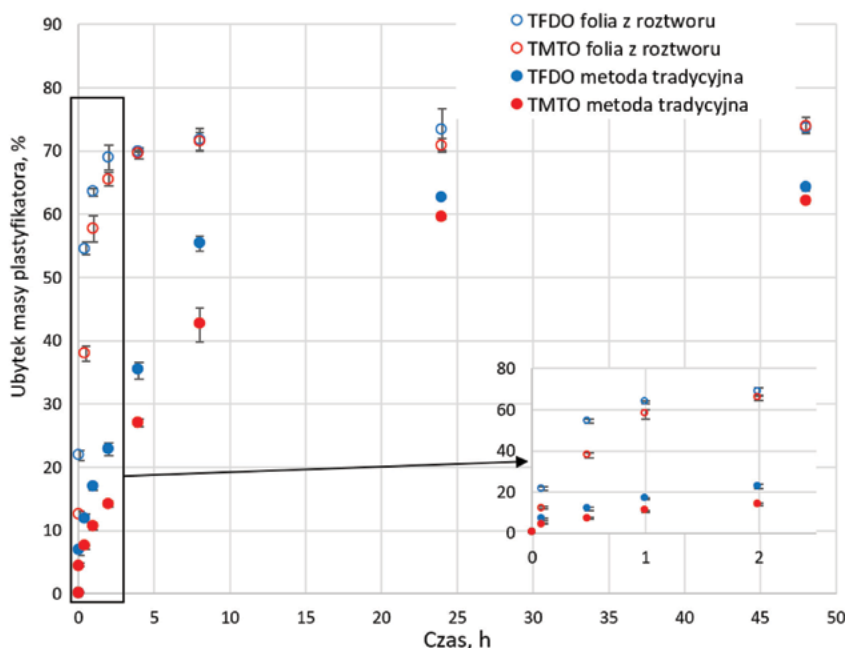
Badanie odporności na ługowanie prowadzono przy założeniu, że jedynym składnikiem tworzywa, który ulega ługowaniu do roz-

puszczalnika (*n*-heksan) jest plastyfikator. Wyniki badania przedstawiono na wykresach zależności ubytku masy plastyfikatora od czasu (rys. 3), wyznaczonych zgodnie z równaniami 1 i 2.

W stałej temperaturze na szybkość ekstrakcji wpływała wielkość powierzchni próbki oraz szybkość dyfuzji plastyfikatora w macierzy PVC. Ponadto na szybkość dyfuzji plastyfikatora wpływała zdolność przenikania rozpuszczalnika do próbki plastyfikowanego PVC. W badaniach zastosowano *n*-heksan jako rozpuszczalnik ze względu na dobrą rozpuszczalność obu plastyfikatorów [34]. Na proces migracji plastyfikatora do cieczy wpływ miała grubość próbki [35]. Migracja plastyfikatora w plastyfikowanym PVC składała się z etapu migracji w tworzywie, zachodzącej zgodnie z prawem Ficka, oraz z etapu dyfuzji w rozpuszczalniku (jeśli nie był on mieszany mechanicznie) z powierzchni polimeru do wnętrza roztworu, kontrolowanego zjawiskiem mieszania konwekcyjnego.

Na styku powierzchni polimeru i rozpuszczalnika występowała nieciągłość stężenia, gdyż plastyfikator był podzielony między dwie fazy. W obu etapach szybkość przemieszczania się cząsteczek plastyfikatora zmniejszała się w miarę osiągnięcia przez układ stanu równowagi [36].

W przedstawionych badaniach całkowity czas badania dla tworzyw przygotowanych różnymi metodami był ten sam (48 h). W przypadku migracji plastyfikatora z folii proces ten był znacznie szybszy niż z tworzywa przygotowanego metodą tradycyjną. Wynikało to z dyfuzji plastyfikatora z wnętrza próbki na jej powierzchnię. Droga, jaką musiał przebyć plastyfikator w tworzywie przygotowanym metodą tradycyjną, była czterokrotnie dłuższa



Rys. 3. Względny ubytek plastyfikatora z próbki w zależności od czasu ługowania

niż w przypadku folii. Zarówno w przypadku próbek PVC plastyfikowanych metodą wylewania folii z roztworu, jak i próbek tworzywa plastyfikowanego konwencjonalną metodą wytłaczania większą odporność na ługowanie *n*-heksanem wykazał plastyfikator TMTO. Po 4 h w przypadku folii oraz po ok. 24 h w przypadku tworzywa tradycyjnego stopień migracji z obu próbek był prawie równy, a więc można było przypuszczać, że w badanym układzie ustaliła się równowaga. Stan równowagi ustalił się na innym poziomie dla folii z roztworu i dla tworzywa z dodatkami ze względu na różnice w masie próbki, a co za tym idzie w masie plastyfikatora wprowadzonego do określonej objętości rozpuszczalnika.

PODSUMOWANIE

Zgodnie z założoną hipotezą otrzymane wyniki badań próbek plastyfikowanego PVC różnią się w zależności od zastosowanej metody przygotowania tworzywa. Badania odporności na migrację wykazały, że migracja plastyfikatora z tworzywa jest znacznie szybsza z folii wylewanej z roztworu niż z materiału przygotowanego metodą tradycyjną. Z kolei wyższe wartości wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia przy zerwaniu uzyskano dla próbek przygotowanych metodą wylewania folii. Zaobserwowane różnice mogą być konsekwencją trudności w całkowitym usunięciu THF z folii. Pozostałości rozpuszczalnika pełnią funkcję plastyfikatora drugorzędowego i mają duży wpływ na właściwości testowanego tworzywa, zawiązując otrzymane wyniki. Różnice w wyznaczonej temperaturze zeszklenia są niewielkie. Wartości te były nieco niższe dla materiałów przygotowanych metodą tradycyjną, co oznaczało lepszą skuteczność uplastyczniania. Ogrzewanie PVC do temperatury zeszklenia zapewniało zintensyfikowane oddziaływanie między łańcuchami polimeru a cząsteczkami plastyfikatora. Wyniki stabilności termicznej były porównywalne dla obu stosowanych metod plastyfikacji.

Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że powszechnie stosowana w laboratoriach badawczych metoda wylewania roztworów może służyć jedynie do wstępnej oceny przydatności nowo zsyntezowanego plastyfikatora. Substancje, które przejdą ocenę wstępną, muszą zostać poddane ponownej ocenie metodą konwencjonalną, bliższą warunkom przetwarzania przemysłowego.

LITERATURA

- [1] F. Chiellini, M. Ferri, A. Morelli, L. Dipaola, G. Latini: Prog. Polym. Sci. 2013, 38, 1067.
- [2] M. Bocqué, C. Voirin, V. Lapinte, S. Caillol, J.-J. Robin: J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem. 2016, 54, 11.
- [3] Y.-M. Lee, J.-E. Lee, W. Choe, T. Kim, J.-Y. Lee, Y. Kho, K. Choi, K.-D. Zoch: Environ. Int. 2019, 126, 635.
- [4] N. Lemke, A. Murawski, R. Lange, T. Weber, P. Apel, M. Dębiak, H.M. Koch, M. Kolossa-Gehring: Int. J. Hyg. Environ. Health 2021, 236, 113780.
- [5] H.B. Patisaul, M. Behl, L.S. Birnbaum, A. Blum, M.L. Diamond, S.R. Fernández, H.T. Hogberg, C.F. Kwiatkowski, J.D. Page, A. Soehl, H.M. Stapleton: Environ. Health Perspect. 2021, 129, 1.
- [6] C.M. Shaha, R.S. Pandit: Ecotoxicology 2022, 31, 385.
- [7] J. Czogała, E. Pankalla, R. Turczyn: Materials 2021, 14, 844.
- [8] J. Tan, S. Zhang, T. Lu, R. Li, T. Zhong, X. Zhu: J. Clean Prod. 2019, 229, 1274.
- [9] J. Tan, B. Liu, Q. Fu, L. Wang, J. Xin, X. Zhu: Polymers 2019, 11, 779.
- [10] H. Miao, H. Zhao, P. Jiang: J. Vinyl Addit. Technol. 2017, 23, 321.
- [11] J. Yuan, B. Cheng: Sci. Rep. 2017, 7, 9277.
- [12] S. Ji, C. Gao, H. Wang, Y. Liu, D. Zhang, S. Zhang, X. Lu, Y. Wu, Z. Hu: Polym. Adv. Technol. 2019, 30, 1126.

- [13] G. Feng, L. Hu, Y. Ma, P. Jia, Y. Hu, M. Zhang, C. Liu, Y. Zhou: J. Clean Prod. 2018, 189, 334.
- [14] W. Gao, P. Jiang, Q. Gu, H. Zhang, P. Zhang, A. Haryono: New J. Chem. 2021, 45, 123.
- [15] Y. Li, M. Guo, Y. Li: J. Mater. Chem. C, 2019, 7, 12991.
- [16] T.P. Nguyen, Y.J. Kim, S.-K. Park, K.-Y. Lee, J. Park, J. K. Cho, S. Shin: ACS Omega. 2020, 5, 197.
- [17] Y. Huang, E. Yu, Y. Li, Z. Wei: J Appl. Polym. Sci. 2018, 135, 46542.
- [18] A. Lindström, M. Hakkarainen: J Appl. Polym. Sci. 2006, 100, 2180.
- [19] I.N. Vikhareva, G.K. Aminova, A.K. Mazitova: Polymers 2022, 14, 1888.
- [20] V.A. Pereira, A.C. Fonseca, C.S.M.F. Costa, A. Ramalho, J.F.J. Coelho: A.C. Serra, Polym. Test. 2020, 85, 106406.
- [21] PN EN ISO 527-2:2012, Plastics. Determination of tensile properties. Part 2. Test conditions for moulding and extrusion plastics.
- [22] S. Lee, M.S. Park, J. Shin, Y.W. Kim: Polym. Degrad. Stab. 2018, 147, 1.
- [23] F. Wang, S. Pan, P. Zhang, H. Fan, Y. Chen: J. Yan, Fibers Polym. 2018, 19, 1057.
- [24] H. Zhu, J. Yang, M. Wu, Q. Wu, J. Liu, J. Zhang: ACS Omega 2021, 6, 13161.
- [25] P.H. Daniels: J. Vinyl Addit. Technol. 2009, 15, 219.
- [26] J.F. Rabek, Współczesna wiedza o polimerach, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
- [27] H. Hosney, B. Nadiem, I. Ashour, I. Mustafa, A. El-Shibiny: J. Appl. Polym. Sci. 2018, 135, 46270.
- [28] N.V.G.R. Santos, B.G.R. Silva: J. Polym. Environ. 2019, 27, 703.
- [29] J. Maláč, E. Šimunková, J. Zelinger: J. Polym. Sci. Part A-1 Polym. Chem. 1969, 7, 1893.
- [30] P. Jia, M. Zhang, L. Hu, Y. Zhou: Korean J. Chem. Eng. 2016, 33, 1080.
- [31] A. Marcilla, S. Garcia, J.C. Garcia-Quesada: Polym. Test. 2008, 27, 221.
- [32] Y. Ma, S. Liao, Q. Li, Q. Guan, P. Jia, Y. Zhou: React. Funct. Polym. 2020, 147, 104458.
- [33] J.-M. Vergnaud: Polym. Plast. Technol. Eng. 1983, 20, 1.
- [34] M. Messori, M. Toselli, F. Pilati, E. Fabbria, P. Fabbria, L. Pasqualia, S. Nannarone: Polymer 2004, 45, 805.
- [35] G. Wypych: Handbook of plasticisers, ChemTec Publishing, Toronto 2017.
- [36] D.E. Till, R.C. Reid, P.S. Schwartz, K.R. Sidman, J.R. Valentine, R.H. Whelan: Fd. Chem. Toxic. 1982, 20, 95.

Artykuł został zamieszczony w czasopiśmie
„Przemysł Chemiczny” 2022, T. 101, nr 10, s. 803-809.

Joanna Czogała

Patryk Dziendziół

Grupa Azoty Zakłady Azotowe Kędzierzyn SA, Kędzierzyn-Koźle
Politechnika Śląska w Gliwicach

dr inż. Roman Turczyn

prof. dr hab. inż. Mieczysław Łapkowski

dr inż. Krzysztof Koziół

Politechnika Śląska w Gliwicach

dr Ewa Pankalla

Grupa Azoty Zakłady Azotowe Kędzierzyn SA, Kędzierzyn-Koźle

dr Sebastian Jurczyk

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów
Polimerowych i Barwników, Toruń

GRANULATY PLASTYFIKOWANE NA BAZIE PCW

- granulaty (związki) do zastosowań kablowych (izolujące i ochronne polichlorki winylu)
- granulaty (związki) do ogólnego zastosowania (wtryskiwanie i wytłaczanie)



OBSZARY ZASTOSOWANIA

Uniwersalne kable i przewody



wysoka odporność
na warunki atmosferyczne



odporność w niskich
temperaturach (do -40°C)



temperatura robocza
rdzenia $70-80^{\circ}\text{C}$



wysoka
rezystywność



szeroki zakres
twardości



dobre właściwości
mechaniczne

Specjalne kable i przewody



zwiększona wytrzymałość
termiczna



dobra odporność
olejowa



dobra odporność
ogniowa – LO do 32



odporność
na promieniowanie UV



niska emisja
dymu

GRANULATY TECHNICZNE I MIESZANKI NA BAZIE PCW

Rodzaje granulatów technicznych i mieszanek:

- związki twarde do wytłaczania
- związki twarde do wtryskiwania
- związki twarde spienione
- suche mieszanki do wytłaczania
- suche mieszanki spienione



OBSZARY ZASTOSOWANIA

Elektrotechnika

- kanały i korytka elektroinstalacyjne
- rury elektroinstalacyjne, rury karbowane typu peszel
- łączniki, gniazda i włączniki
- obudowy

Przemysł meblarski

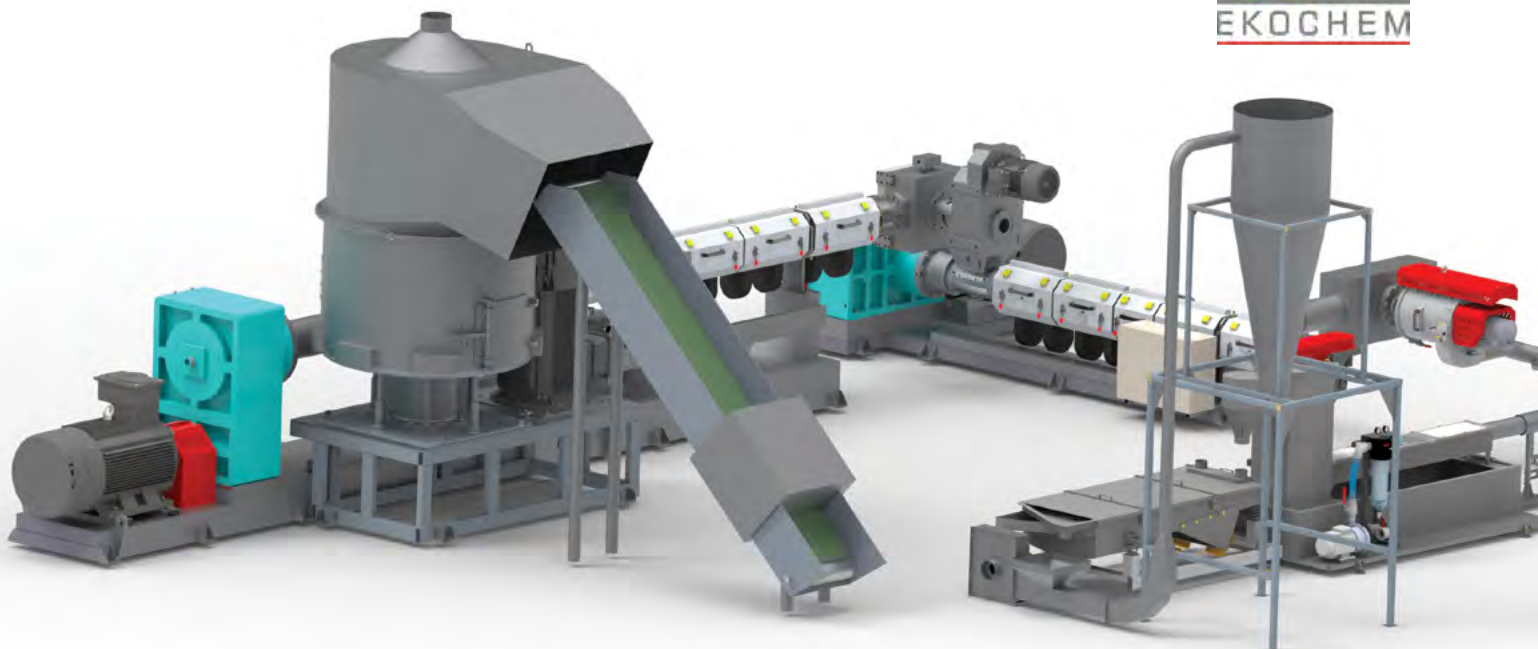
- obrzeża i listwy meblowe
- profile meblowe (lite i spienione)

Konstrukcja

- profile okienne
- panele ścienne, panele sufitowe, panele roletowe
- listwy do glazury, listwy przypodłogowe lite i spienione, listwy stolarki okiennej i drzwiowej
- rury do wody pitnej, elementy armatury i zawory
- elementy ogrodzeń
- fittingi

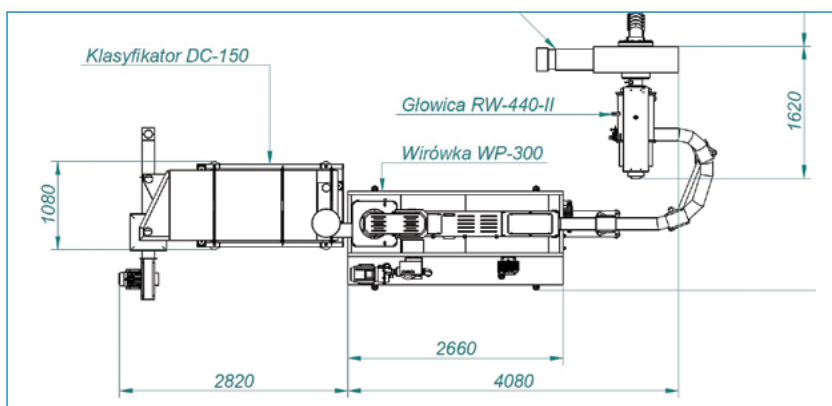
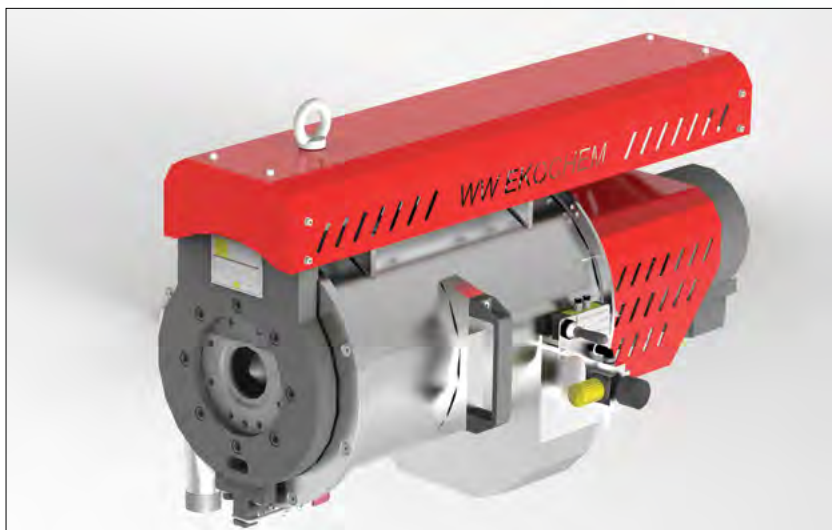
Systemy do granulacji

Linie do recyklingu tworzyw



Systemem cięcia w płaszczu wodnym z dociskiem pneumatycznym to szeroko stasowany w branży PTS system granulacji do różnych materiałów polimerowych. Model głowicy RW oraz wirówki WP to w całości projekt oraz wykonanie firmy Ekochem. Głowica wyposażona jest w pneumatyczny system docisku noży tnących. Powietrze dostarczane jest w pierwszej kolejności do bloku przygotowania powietrza mającego za zadanie oczyszczenie sprężonego powietrza z zanieczyszczeń poprzez zastosowaną wkładkę filtracyjną oraz do nastawiania i utrzymywania stałej wartości ciśnienia. Sterowanie elektrozaworem następuje przez główną szafę sterowniczą. Układ pneumatyczny połączony jest ze sterowaniem głowicy, w momencie uruchomienia głowicy następuje automatyczne uruchomienie instalacji pneumatycznej.

W skład systemu cięcia wchodzi również wirówka odśrodkowa, produkowana w dwóch wielkościach WP-200 i WP-300, w zależności od wymaganej wydajności. Wysokowydajna wirówka o wysokiej sprawności suszenia wraz z głowicą RW pracują w zamkniętym systemie obiegu wody. Charakteryzują się niskim zużyciem prądu, łatwą obsługą i wymianą podzespołów.



Szymon Ostrowski
Koordynator techniczno/handlowy
tel. kom. 503914200
s.ostrowski@wwekochem.com
www.wwekochem.com



Przedstawiamy sortery optyczne przeznaczone do separacji wszelkich zanieczyszczeń z materiałów sypkich



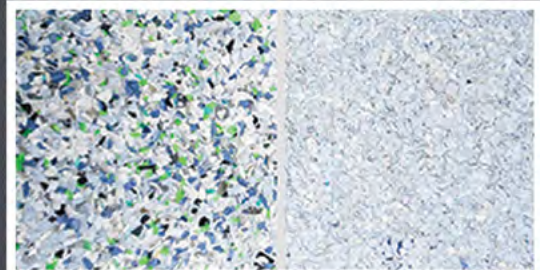
Nasze maszyny dzięki najwyższym parametrom technicznym są w stanie odseparować praktycznie każde zanieczyszczenie z dowolnego materiału. Rozróżniają odcienie i najdrobniejsze różnice w barwie, doskonale sprawdzają się w recyklingu gdzie rozdzielanie na pojedyncze kolory ma coraz większe znaczenie. Zastosowana najnowsza zaawansowana technologia, najwyższa jakość przy utrzymaniu bardzo wysokiej wydajności procesu separacji.

Naszym klientom zapewniamy pełne szkolenie operatorów, sprawnie działający serwis i wsparcie techniczne również w okresie pogwarancyjnym. Zapraszamy do kontaktu z nami, chętnie odpowiemy na wszystkie pytania, zachęcamy jednocześnie do wykonania prób na naszych maszynach testowych.



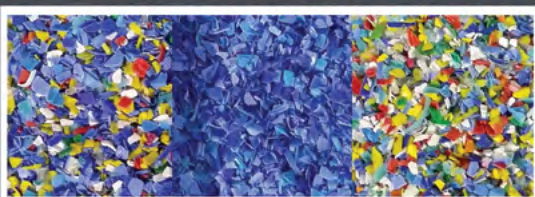
materiał wejściowy

materiał oczyszczony



materiał wejściowy

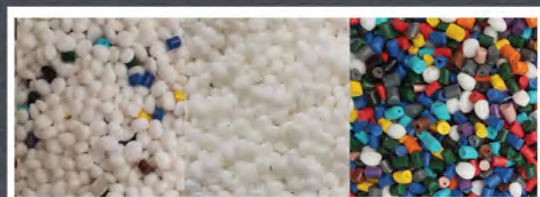
materiał oczyszczony



materiał wejściowy

materiał oczyszczony

materiał odpadowy



materiał wejściowy

materiał oczyszczony

materiał odpadowy

Właściwości wytrzymałościowe oraz palnodymowe polilaktydu

Mariusz Fabijański

Wzastosowaniach materiałów polimerowych coraz więcej uwagi poświęca się na tworzywa przyjazne środowisku naturalnemu [1]. Zadaniem ich jest zmniejszenie obciążenia ekosystemu. Materiały takie mogą być biodegradowalne, ulegające rozkładowi w warunkach naturalnych oraz nierozkładalne, ale otrzymywane z surowców odnawialnych [2]. Takie postępowanie powoduje bardziej zrównoważone podejście do całego cyklu życia gotowego wyrobu i niejednokrotnie wydłużenie go. Kolejnym ważnym argumentem przemawiającym za stosowaniem takich materiałów jest wzrost ich kosztów surowców kopalnych i energii [3]. To wszystko znacznie przyspieszyło tempo rozwoju tworzyw pochodzących z surowców naturalnych, które z powodzeniem mogą konkurować pod względem właściwości mechanicznych z tradycyjnymi materiałami [4].

Biodegradowalne tworzywa polimerowe wytwarzane są przy użyciu naturalnej celulozy i skrobi. W trakcie użytkowania rozkładają się do wody i dwutlenku węgla [4–9]. Wśród kilku materiałów ulegających degradacji w naturalnym środowisku (np.: adypinian butylenu – PBA, polihydroksyalkanianu – PHA) polilaktyd – PLA jest jednym z najbardziej ciekawych biopolimerów termoplastycznych ze względu na dobre właściwości mechaniczne [3, 4]. PLA ogólnie wytwarzany jest na drodze fermentacji biomasy (ziemiaki, kukurydza) lub z produktów odpadowych powstających w procesie przetwórstwa mleka [1–5].

Materiały biodegradowalne, podobnie jak te otrzymywane z surowców kopalnych, posiadają szereg wad, wśród nich łatwopalność. Aby poszerzyć krąg zastosowań PLA, niezbędna jest poprawa jego trudnopalności i właściwości mechanicznych [9–21].

Celem niniejszej pracy było oznaczenie podstawowych właściwości wytrzymałościowych oraz palno-dymowych PLA.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Surowce

W pracy został wykorzystany PLA firmy NatureWorks (USA) dostarczany pod nazwą IngeoBiopolymer 3251D przeznaczony do przetwarzania metodą wtrysku. Odznacza się dobrą przezroczystością, barierowością na tlen, małym skurczem przetwórczym. Jego wskaźnik płynięcia MFR (210°C/2,16 kg) waha się w granicy 70–85 g/10 min.

Metodyka badań

Przed przystąpieniem wykonania próbek do badań granulaty PLA był najpierw suszony w celu usunięcia z niego wody. Próbkę do badań wytrzymałościowych w postaci znormalizowanych wiósełek wg normy [22] wykonano metodą wtrysku, wykorzystując poziomą wtryskarkę ślimakową UT90 firmy Ponar Żywiec serii UT posiadającą układ plastyfikujący do tworzyw termoplastycznych, wyposażoną w formę wtryskową z wymiennymi wkładkami na wiósełka i beleczkę oraz formę na płytki o gr. 4 mm. Urządzeniami peryferyjnymi niezbędnymi do przygotowania próbek do badań był: termostat, waga elektroniczna DARwag oraz suszarka KC 100/200.

Badanie cech wytrzymałościowych w próbie statycznego rozciągania przeprowadzono zgodnie z normą [22] na maszynie wytry-

małościowej Fu1000e firmy Heckert (Niemcy) z głowicą pomiarową do 10kN. Pomiar polegał na statycznym rozciąganiu ze stałą prędkością 2 mm/min znormalizowanych próbek zgodnie z obowiązującymi w tym zakresie normami przedmiotowymi. W trakcie próby rejestrowano zmianę naprężenia oraz odkształcenia.

Oznaczenie udarności prowadzono metodą Charpy'ego, na młocie wahadłowym zgodnie z normą [23]. Twardość wyznaczono za pomocą metody wciskania kulki zgodnie z normą [24].

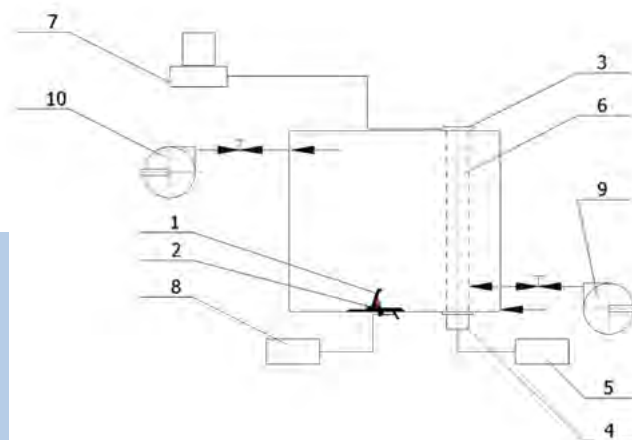
Określenie właściwości dymotwórczych wykonano zgodnie z normą [25] stosowaną dla materiałów używanych w taborze kolejowym. Pomiar ten polegał na rejestracji spadku wartości natężenia oświetlenia (Ix, w luksach) w czasie trwania eksperymentu. Natężenie oświetlenia rejestruje się w sposób ciągły. Całkowity pomiar trwa cztery minuty. Kolejnym parametrem określającym dymotwórczość jest naświetlenie (S), które określa się jako całkę

$$S = \int_0^t E \cdot dt$$

gdzie: E – natężenie oświetlenia luksach (lx), t – czas trwania eksperymentu w sekundach.

Naświetlenie odpowiada polu pod krzywą $E = f(t)$ wyrażone w luksosekundach. Im pole pod krzywą jest mniejsze, tym ilość wydzielonego dymu podczas spalania jest większa. Schemat ideowy stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1 [12, 25].

Badaną próbkę, w postaci znormalizowanej płytki, umieszcza się w uchwycie zamykanej szczelnie komory o znanej objętości (0,56 m³). Na próbkę działa płomień z palnika gazowego o zdefiniowanych parametrach przez czas czterech minut [12, 25]. Badanie to jest dosyć agresywne z uwagi na fakt, że płomień palnika działa bezpośrednio na testowaną próbkę. Dym z palącego się materiału przepływa pomiędzy źródłem światła a sondą luksomierza, powodując zmianę wartości natężenia oświetlenia rejestrowa-



Rys. 1. Schemat stanowiska do określenia intensywności dymienia. 1 - ramka z badaną próbką, 2 - płomień palnika, 3 - sonda luksomierza, 4 - źródło światła, 5 - regulator napięcia, 6 - strumień światła, 7 - komputer rejestrujący, 8 - układ zasilania palnika, 9 - wentylator nadmuchowy, 10 - wentylator wyciągowy

Tabela 1. Zestawienie wyników właściwości mechanicznych PLA

Parametr	Naprężenie α , MPa	Odształcenie ϵ , %	Udarność, kJ/m ²	Twardość HK, MPa
Wartość	74,7	5,7	19,1	112,8

nego przez sondę. Każdorazowo stanowisko jest tak kalibrowane, aby początkowa wartość natężenia oświetlenia wynosiła 100 lx.

Kolejnym parametrem określającym palność polilaktydu było oznaczanie wskaźnika (indeksu) tlenowego zgodnie z normą [26]. Wskaźnik tlenowy jest to najmniejsza wyrażona w procentach objętościowych zawartość tlenu w mieszaninie tlenu i azotu, która podtrzymuje stałe palenie się badanej próbki. Metodę tę stosuje się do wszystkich tworzyw sztucznych w celu porównawczej oceny ich zapalności. Stosuje się ją również przy ocenie modyfikacji tego samego rodzaju tworzywa oraz ocenie wpływu dodatku wypełniaczy i plastyfikatorów na spalanie tworzyw [12].

Wyniki badań

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych próbek PLA przygotowanych w technologii wtrysku.

Materiał ten odznacza się przeciętnymi parametrami wytrzymałościowymi. Pomimo iż posiada on znaczną wytrzymałość, to jednak odkształcalność tego materiału jest niewielka. W trakcie statycznej próby rozciągania wszystkie próbki ulegały kruchemu pęknięciu bez wyraźnej granicy płynięcia materiału. Takie zachowanie potwierdza udarność, której wartość wynosząca 19,1 kJ/m² jest porównywalna do czystego polistyrenu. Pod wpływem uderzania młota w pomiarze udarności część próbek uległa złamaniu na kilka fragmentów.

PLA użyty w badaniach odznacza się stosunkowo dużą twardością w porównaniu do części tradycyjnych tworzyw, z którymi mógłby konkurować. Jest ona na poziomie 112,8 MPa, można uznać ten materiał za twardy.

PLA może być stosowany z powodzeniem na wyroby użytkowe, które nie są specjalnie obciążalne mechanicznie. To ogranicza jego zakres stosowania. Pomocna może być tu modyfikacja tego materiału poprzez wprowadzanie napełniaczy. Ważne jest, aby one były również pochodzenia naturalnego i ulegały biodegradacji razem z tworzywem.

Wyniki badań palno-dymowych przedstawiono w tabeli 2. Wartość wskaźnika tlenowego PLA wynosi 23,5%. W porównaniu do innych podobnych tworzyw (między innymi: PE -18,5%, PS - 18,0%, PMMA - 17,5%) jest to wynik, który można poprawić poprzez zastosowanie odpowiednich dodatków w postaci niepalniaczy. Na rynku są dostępne zarówno związki pochodzenia organicznego, jak i mineralnego. Poprawiać ten parametr należałoby tak, aby dobrać niepalniacz, który nie powodowałby pogorszenia parametrów mechanicznych.

Wyniki z oznaczenia dymotwórczości (intensywność wydzielania dymu podczas spalania) przedstawiono w tabeli 2, natomiast przebieg natężenia oświetlenia na rysunku 2.

PLA posiada bardzo dobre właściwości dymowe, tzn. wydziela się podczas spalania mała ilość dymu, o czym świadczy przebieg krzywej natężenia oświetlenia (rys. 2.) Wartość natężenia w czwartej minucie wynosi 95,2 lx (wartość początkowa 100 lx). Jest to bardzo dobry wynik. Tym samym wartość naświetlenia jest bardzo wysoka i wynosi 23795 lxs. Można stwierdzić, że materiał praktycznie nie dymił. Na rysunku 3. przedstawiono zdjęcie próbki po badaniu.

REKLAMA



Walk on the
green side of life.



Zastosowanie tworzyw sztucznych pochodzących z recyklingu oraz źródeł biopochodnych oferowanych przez firmę ALBIS sprawi, że Państwa wyroby staną się bardziej ekologiczne, lżejsze oraz oparte o zrównoważony rozwój przy jednoczesnym zachowaniu najwyższej jakości.

Szerokie portfolio zrównoważonych rozwiązań ALBIS przyczynia się do budowania gospodarki cyrkulacyjnej, pomagając chronić cenne zasoby oraz redukując powstawanie odpadów, a co za tym idzie zmniejszając ślad węglowy produktu.

W oparciu o wymagania stawiane wobec Państwa wyrobu pomożemy w doborze najlepszego rozwiązania materiałowego, które pozwoli zmaksymalizować wpływ na realizację Państwa celów w zakresie zrównoważonego rozwoju.

Porozmawiaj z nami, aby omówić przejście na zrównoważone rozwiązania ALBIS

ALBIS POLSKA Sp. z o.o.
T +48 61 8425861 · biuro@albis.com









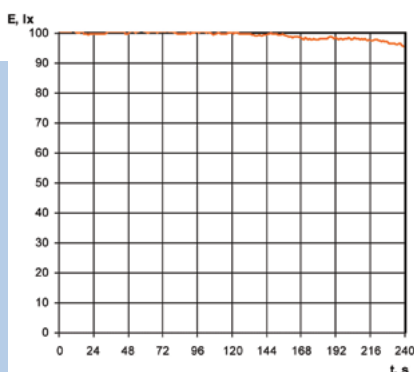




Tabela 2. Właściwości palno-dymowe PLA

Parametr	Wskaźnik tlenowy OI, %	Natężenie oświetlenia w czwartej minucie E_4 , lx	Naświetlenie S, lxs
Wartość	23,5	95,2	23795

Rys. 2. Przebieg natężenia oświetlenia w trakcie badania



Rys. 3. Zdjęcie próbki po badaniu intensywności dymienia



W trakcie eksperymentu płomień z palnika działał bezpośrednio na powierzchnię próbki, w wyniku tego materiał uległ wypaleniu i wytopieniu z ramki mocującej. Jest to niekorzystna cecha, gdyż materiał pod wpływem ciepła nie zachował wymiarów, natomiast spływające gorące i płonące krople mogą być niebezpieczne dla otoczenia, jak również powodować rozprzestrzenianie się płomienia. Zgodzenie z normą [25] materiał ten klasyfikuje się jako tworzywo o małej intensywności dymienia (D1). Minimalne wartości, jakie powinny spełniać materiały, by się kwalifikowały wg tej normy, wynoszą: dla naświetlania 9000 lxs, natomiast dla natężenia oświetlenia w czwartej minucie 20 lx.

PODSUMOWANIE

Wyniki badań właściwości wytrzymałościowych oraz palno-dymowych czystego PLA dają dobrą bazę do dalszej ich modyfikacji. Szczególnie obiecujące są tu właściwości palno-dymowe. Niewielka ich poprawa może znacząco poszerzyć zakres zastosowań tego materiału.

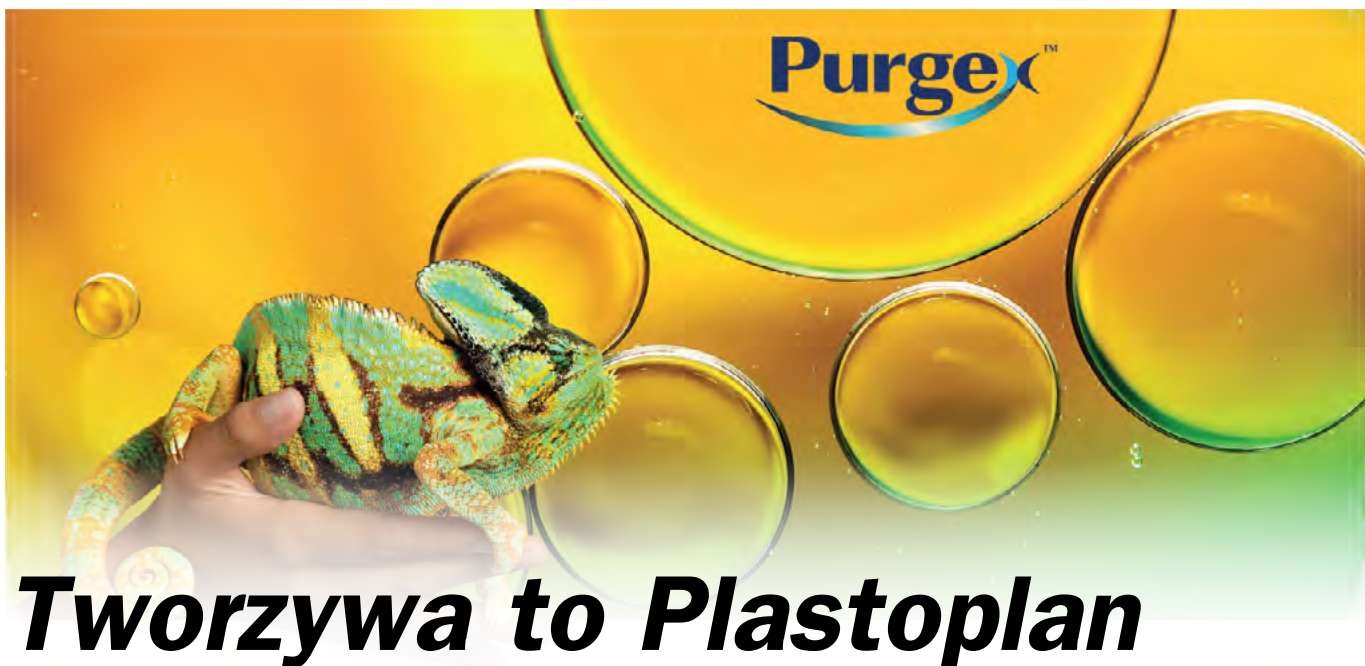
LITERATURA

[1] H. Żakowska: Przemysł Spożywczy, 2018, 72 nr 3, 45, DOI: 10.15199/65.2018.3.9.
 [2] A. Kornacki: Kompostowalne i biodegradowalne folie celulozowe celofan i NatureFlex alternatywą dla folii z tworzyw sztucznych. Warszawa: Konferencja Instytut PWN Packaging: Marketing & Technology 2016.
 [3] Report: Bioplastics market data 2017. Global production capacities of bioplastics 2017-2022. Berlin: European Bioplastics, 2017.
 [4] J. Gołębiowski, E. Gibasz, R. Malinowski: Polimery 2008, 53, nr 11–12, 799.
 [5] M. Fabijański: Przem. Chem. 2016, 95 nr 11, 2227, DOI: 10.15199/62.2016.11.15.
 [6] M. Fabijański: Przem. Chem. 2016, 95 nr 4, 874, DOI: DOI:10.15199/62.2016.4.33.
 [7] M. Fabijański, J. Garbarski: Przem. Chem. 2017, 96 nr 3, 567, DOI: 10.15199/62.2017.3.16.
 [8] M. Fabijański: Przem. Chem. 2017, 96 nr 4, 894, DOI: 10.15199/62.2017.4.33.
 [9] M.K. Abdulmounem A. Wis, G. Ozkoc: Rad. Phys. Chem., 2018 153, 214, https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2018.10.018.
 [10] R. Malinowski: Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B, 2016, 377, 59, https://doi.org/10.1016/j.nimb.2016.04.028.
 [11] O. Martin, L. Avérous: Polymer, 2001, 42, no 14, 6209, https://doi.org/10.1016/S0032-3861(01)00086-6.
 [12] M. Fabijański, J. Garbarski: Polimery, 2004, 49 nr 9, 283

[13] P. Wei, S. Bocchini, G. Camino: Polimery, 2013, 58 nr 5, 361 DOI: dx.doi.org/10.14314/polimery.2013.361.
 [14] C. Réti, M. Casetta, S. Duquesne, S. Bourbigot, R. Delobel: Polymet. Adv. Technol. 2008, 19 no 6, 628-635 https://doi.org/10.1002/pat.1130.
 [15] F. Shukor, A. Hassan, Md. S. Islam, M. Mokhtar, M. Hasan: Mater. Des. 2014, 54, 425, https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.07.095.
 [16] S. Bourbigot, G. Fontaine, Polym. Chem. 2010, 1, 1413, DOI:10.1039/C0PY00106F.
 [17] S. Bocchini, G. Camino: Flammability and Thermal Stability in Clay/Polyesters Nano-Biocomposites in „Environmental Silicate Nano-Biocomposites” (Eds. Avérous L., Pollet E.), Springer London, London 2012.
 [18] I. Armentano, N. Bitinis, E. Fortunati, S. Mattioli, N. Rescignano, R. Verdejo, M. A. Lopez-Manchado, J.M. Kenny: Prog. Polym. Sci. 2013, 38 (10), 1720, DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.05.010.
 [19] K.M. Nampoothiri, N.R. Nair, R.P. John: Bioresour. Technol. 2010, 101(22), 8493, DOI: 10.1016/j.biortech.2010.05.092.
 [20] L. Gu, J.Qiu, Y. Yao, E. Sakai, L. Yang: Compos. Sci. Technol. 2018, 161, 39, DOI: 10.1016/j.compscitech.2018.03.033.
 [21] F. Liao, Y. Ju, X. Dai, Y. Cao, J. Li, X. Wang: Polym. Degrad. Stab. 2015, 120, 251, DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2015.07.012.
 [22] PN-EN ISO 527-2: 2012 Tworzywa sztuczne - Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu. Część 2: Warunki badań tworzyw sztucznych przeznaczonych do prasowania, wtrysku i wytłaczania.
 [23] PN-EN ISO 179-1:2010 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie udarności metodą Charpy’ego. Część 1: Nieinstrumentalne badanie udarności.
 [24] PN-EN ISO 2039-1:2004 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie twardości. Część 1: Metoda wciskania kulki.
 [25] PN-K-02501:2000 Tabor kolejowy. Właściwości dymowe materiałów. Wymagania i metody badań.
 [26] PN-EN ISO 4589-2:2006 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie zapalności metodą wskaźnika tlenowego. Część 2: Badanie w temperaturze pokojowej.

Artykuł został zamieszczony w czasopiśmie „Przemysł Chemiczny” 2019, T. 98, nr 4, s. 556-558.

dr inż. Mariusz Fabijański
 Politechnika Warszawska



Tworzywa to Plastoplan

GRANULATY CZYSZCZĄCE W PRZETWÓRSTWIE TWORZYW SZTUCZNYCH – ZASTOSOWANIA

Najwyższa jakość, redukcja ilości odpadów, wysoka wydajność, brak postojów produkcyjnych, krótki czas przebrojenia maszyny – to wyzwania, z którymi na co dzień stykają się przetwórcy tworzyw sztucznych. Charakter produkcji wymusza niejednokrotnie częste zmiany form, surowców i kolorów, a to generuje straty materiałów i czasu, wzmożoną kontrolę jakości, dużą ilość odpadów. Dobrym rozwiązaniem tych problemów jest odpowiednie ustawienie przejść kolorów i tworzyw w planie produkcyjnym. Dodatkowymi czynnikami, które utrudniają planowanie produkcji oraz utrzymanie wysokiej jakości i wydajności, są zjawiska fizykochemiczne zachodzące w układzie plastyfikującym i w formie. Tworzywa sztuczne oraz dodatki do nich podczas przetwórstwa podlegają działaniu wysokiej temperatury i ciśnienia. W czasie produkcji następuje powolny proces termicznego rozkładu tych surowców, szczególnie w miejscach, gdzie przepływ tworzywa jest utrudniony bądź lokalnie zatrzymany. Takie przypalenia są źródłem zanieczyszczeń i wad wyprasek.

Granulaty czyszczące maszyny do przetwórstwa tworzyw sztucznych znacząco redukują ilość wadliwych wyprasek, a przede wszystkim ułatwiają i przyspieszają operacje zmiany kolorów i surowców, przygotowanie maszyn do przebrojenia. Wartym podkreślenia jest fakt, że regularne stosowanie tych materiałów zapobiega narastaniu przypaleń i eliminuje konieczność rozbiegania maszyny i jej manualnego czyszczenia.

PURGEX – GLOBALNA MARKA

Pierwsze granulaty czyszczące Purgex zostały wyprodukowane w roku 1992. Od samego początku firma Neutrex produkuje je wyłącznie we własnym zakładzie w Huston, USA. Stosowanie najwyższych reżimów produkcyjnych i wysokie nakłady na badania i rozwój pozwoliły opracować gamę granulatów czyszczących o najwyższej jakości i skuteczności. Ich przydatność potwierdziły tysiące klientów na całym świecie, zarówno w branży motoryzacyjnej, jak i w produkcji wyrobów medycznych, elektroniki, AGD, opakowań i innych.



PLASTOPLAN POLSKA – DOSTAWCA SPRAWDZONYCH ROZWIĄZAŃ

Spółka Plastoplan Polska od początku swojej działalności oferuje granulaty czyszczące Purgex. Ich szeroka oferta obejmuje zarówno gatunki dedykowane do przetwórstwa tworzyw masowych (PE, PP, PVC, PS), typowych tworzyw technicznych (np. ABS, PC, PA), jak też wysokosprawnych tworzyw konstrukcyjnych (PPS, PEEK i inne). Nasi doradcy pomagają w doborze właściwych gatunków oraz biorą udział w testach, służąc swoją wiedzą i doświadczeniem. Granulaty czyszczące są dostępne od ręki z magazynów krajowych. Dostarczamy do klientów dowolne ilości w ciągu 1–2 dni.

Zapraszamy do zapoznania się z ofertą na www.plastoplan.pl, prosimy o kontakt poprzez e-mail biuro@plastoplan.pl.

Plastoplan 
Tworzywa

Plastoplan Polska Sp. z o.o.

Al. Księcia Józefa Poniatowskiego 1, 03-901 Warszawa

tel. 22 295 92 31

www.plastoplan.pl, biuro@plastoplan.pl

Związki poliamidowe

Elastyczne portfolio do szerokiego zakresu zastosowań



Firma K.D. Feddersen CEE GmbH zajmuje się dystrybucją związków PA firmy Ascend Performance Materials, największego na świecie, w pełni zintegrowanego producenta poliamidu 6.6 w Europie Środkowo-Wschodniej.

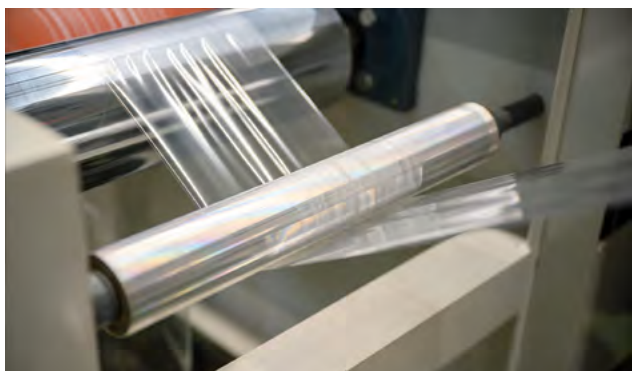
Oprócz Vydynę® (PA 6.6, PA 6) portfolio produktów obejmuje również długotańcuchowe serie HiDura® PA 6.10/6.12 oraz gatunki trudnopalne pod marką Starflam®. Rodziny produktów Ascend obejmują niewzmocnione, wzmacnione, modyfikowane udarnościami i trudnopalne tworzywa konstrukcyjne, a także specjalne formuły do wytłaczania i formowania wtryskowego.

Rodzina produktów Vydynę® została sprawdzona w różnych zastosowaniach, od komór silnika, przez zastosowania elektryczne i elektroniczne, aż po produkty konsumenckie. Obejmuje szeroką gamę modyfikowanych i wzmacnianych włóknem szklanym mieszanek PA 6.6 i PA 6.

Mieszanki poliamidu 6.6 o wyższej masie cząsteczkowej Vydynę® i HiDura™ zostały zaprojektowane z myślą o lepszej stabilności w stanie stopionym, odporności na ścieranie i ciągliwości.

KD Feddersen CEE GmbH oferuje również gatunki kopolimerów poliamidu 6.6/6 do wytłaczania folii o zwiększonej wytrzymałości stopu, przezroczystości, miękkości i odporności na rozdzielanie do sztywnych zastosowań. Zostały one specjalnie opracowane w celu ochrony produktów spożywczych i wydłużenia ich okresu przydatności do spożycia i charakteryzują się następującymi właściwościami:

- stabilizacja termiczna dla długotrwałego wystawienia na działanie wysokich temperatur;
 - doskonała odporność na pęcznienie;
 - zmniejszona krystalizacja, wysoka temperatura topnienia, zwiększony HDT.
- Folie HiDura™ są odporne na przebicie i rozdarcie, co zmniejsza ryzyko wad produktów spożywczych lub kosmetycznych w całym łańcuchu dostaw. Te wysokiej jakości mieszanki, oferują projektantom opakowań elastyczność w zakresie zmniejszania



Folie Ascend zachwycają wyjątkową przezroczystością
©Lowpower/stock.adobe



Worki do pieczenia wykonane z folii Vydynę® lub HiDura™ są szczególnie odporne na ciepło @MiReh/stock.adobe

lub utrzymywania istniejących grubości folii i poprawy ochrony — powiedział Dariusz Obarek, Account Manager Polska w K.D. Feddersen CEE GmbH. – Surowce Vydynę® o wysokiej lepkości są przeznaczone do produkcji folii o dużej odporności na przebicie, służące do ochrony żywności. Gotowe wyroby są zgodne z FDA, odporne na chemikalia, oleje i rozpuszczalniki – dodaje Obarek.

Szacuje się, że 40% żywności i 11% produktów nieżywnościowych nie trafia do konsumenta, ponieważ psują się lub są uszkodzone. Wielu uważa, że rozwiązaniem jest więcej opakowań. Ascend uważa, że jedyną odpowiedzią jest lepsza jakość opakowań.

Gatunki Vydynę® i HiDura™ nadają się szczególnie do:

- opakowania do żywności;
- osłonki wędliniarskie nieorientowane;
- zastosowania mające kontakt z wodą;
- torby do piekarnika.

Mieszanki Vydynę® i HiDura™ są przeznaczone do łatwego przetwarzania na standardowych maszynach do produkcji folii, w tym folii rozdmuchiwanych i wylewanych, oraz do procesów folii zorientowanych dwuosiowo. Według producenta, są również dobrze kompatybilne z innymi związkami stosowanymi w foliach wielowarstwowych, w tym warstwami wiążącymi, foliami barierowymi i poliolefinami. Dzięki dostosowanym szybkościom krystalizacji, z gatunków tych wytwarza się folię o wysokim połysku i wyjątkowej przezroczystości. W szczególności nowe gatunki HiDura™ wykazują lepszą przezroczystość folii.

Materiały Vydynę® nadają się również do wytłaczania profili i rur.

K.D. Feddersen CEE GmbH, Member of the Feddersen Group
tel. +48 795 860 110
dariusz.obarek@kdfeddersen.com, www.kdfeddersen.com

Badania wpływu napełniaczy mineralnych na strukturę i właściwości piezoelektryczne elektretów z poliolefin krystalicznych

Bogusław Królikowski, Halina Kaczmarek, Ewa Klimiec

Celem projektu było wytworzenie i przebadanie folii poliolefinowych modyfikowanych napełniaczami mineralnymi o właściwościach piezoelektrycznych. Wymagało to modernizacji i wytworzenia nowych urządzeń przetwórczych oraz doboru warunków wytwarzania kompozytów, zwanych elektretami. Z kompozytów za pomocą wytłaczania wytworzono folię, którą poddano badaniom. Badania obejmowały charakterystykę struktury i właściwości fizykomechanicznych kompozytów metodami: skaningowa mikroskopia SEM, mikroskopia sił atomowych AFM, dyfrakcja rentgenowska XRD, analiza termogravimetryczna, pomiar kąta zwilżania i wyznaczanie swobodnej energii powierzchniowej oraz odporności fotochemicznej. Określono właściwości piezoelektryczne uzyskanych folii poprzez wyznaczenie stałej piezoelektrycznej ładunkowej d_{33} i stałej piezoelektrycznej napięciowej g_{33} spolaryzowanych kompozytów, zbadano trwałość piezoelektretów w czasie przechowywania w warunkach pokojowych.

PRACE BADAWCZE REALIZOWANO W TRZECH OŚRODKACH NAUKOWYCH

Łukasiewicz – IMPIB był odpowiedzialny za opracowanie warunków otrzymywania folii i składu kompozycji na bazie izotaktycznego polipropylenu (i-PP), polietylenu o dużej i średniej gęstości (HDPE, MDPE) z dodatkiem napełniaczy mineralnych takich jak: Sillikolloid, perlit, Nanomer (montmorylonit), kulki szklane oraz kreda. Napełniacze wprowadzano do matrycy polimerowej w ilości 2,5; 5 i 10% wag. Odnośnikiem były próbki polimerów niemodyfikowanych.

Polimerowe folie kompozytowe uzyskiwano w 2-etapowym procesie przetwórczym, tj.: podczas homogenizacji i otrzymywania granulatu w wyłaczarce dwuślimakowej współbieżnej (W2W) Buhler BTSK 20/40 oraz podczas wytłaczania wstęgi tworzywa w wyłaczarce jednoślimakowej Plasti-Corder PLV 151 Brabender, wyposażonej w głowicę płaskoszczelinową 170 mm typu cast.

Kolejnym etapem było orientowanie folii w procesie jednoosiowego rozciągania, na urządzeniu skonstruowanym w Ł – IMPIB, przy najkorzystniejszym stosunku rozciągania 3:1, w odpowiednio dobranych warunkach temperaturowych.

Próbki poddano koronowaniu za pomocą aktywatora, który stanowi integralną część urządzenia do orientowania folii. Skuteczność koronowania oceniano za pomocą szybkiego testu technicznego zwilżalności opisanego w dalszej części.

Wytrzymałość mechaniczną uzyskanych folii badano z wykorzystaniem aparatu TIRAtest 27025 wg normy PN-EN ISO 527.

Prowadzono także oznaczenia zmian stopnia krystaliczności polimeru w wybranych kompozytach w procesie modyfikacji za pomocą analizy DSC.

Na Wydziale Chemii UMK przeprowadzono charakterystykę morfologii próbek wyjściowych (napełniaczy i polimerów). W przypadku kompozytów zbadano strukturę powierzchniową (z wykorzystaniem metod SEM, AFM), a na podstawie obrazowania kruchych przelomów również budowę wewnętrzną. Wykazano powstawanie struktury komórkowej podczas orientacji jednoosiowej w kompozytach z dodatkiem napełniaczy mineralnych. Stwierdzono, że al-

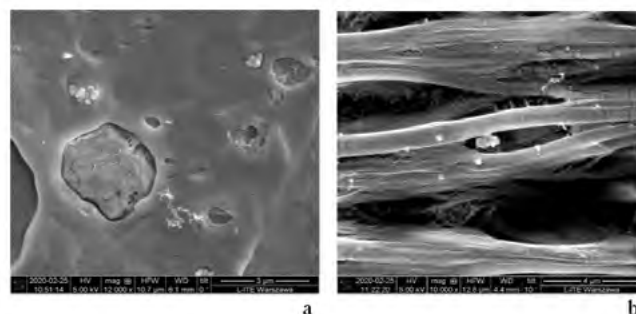
gomeraty napełniaczy wypełniają pory (jamy) w matrycy polimeru, a ich wielkość jest optymalna przy 5% zawartości dodatku modyfikującego [1]. Uzupełniające badania SEM/EDX pozwoliły na zaobserwowanie cząstek napełniaczy również na powierzchni folii.

Na rys. 1 przedstawiono przykładowo zdjęcia przelomów kruchych folii i-PP modyfikowanej 5% Sillikolloidu P87, nieorientowanej i orientowanej.

Badania spektroskopowe kompozytów prowadzono metodą ATR-FTIR i Ramana. Wykorzystano je do badania struktury kompozytów i oddziaływań międzycząsteczkowych oraz w monitorowaniu zmian w próbkach zachodzących podczas napromieniania promieniami UV (fotostarzenia).

Oznaczenie stopnia krystaliczności (X) polimerów przeprowadzono także na podstawie pomiarów XRD, które pozwoliły na oszacowanie zakresu wartości X, wymaganego do powstawania trwałych elektretów. Wykazano, że istnieje zależność między parametrem X, a wartościami ładunku piezoelektrycznego – współczynnik d_{33} . Stopień krystaliczności wyznaczony metodą XRD wykazuje taki sam trend jak otrzymany z pomiarów DSC.

Określono odporność cieplną wszystkich układów metodami analizy termicznej (TG/DTG/DTA/DSC) i ustalono wpływ napełniaczy na właściwości termiczne kompozytów i oszacowanie za-



Rys. 1. Zdjęcie przelomu folii i-PP napełnionej 5% wag. Sillikolloidu P87; a - folia nieorientowana - N, b - folia orientowana 3:1 - O

kresu podwyższonych temperatur, w których mogą być przetwarzane. W odrębnym eksperymencie wykazano dobrą stabilność termiczną kompozytów w warunkach izotermicznych (podczas ogrzewania próbek w stałej temperaturze w zakresie 100–200°C w czasie 8h).

Zbadanie właściwości powierzchniowych folii kompozytów metodą pomiarów kąta zwilżania (θ) za pomocą dwóch cieczy pomiarowych o różnej polarności (woda, diiodometan) oraz obliczenie swobodnej energii powierzchniowej (γ_s) oraz jej składowej polarnej (g_s^p) i dyspersyjnej (g_s^d) metodą Owens-Wendta, wg której $\gamma_s = g_s^p + g_s^d$.

Oszacowano stabilność fotochemiczną próbek z wykorzystaniem komory klimatycznej Suntest, wyposażonej w lampę ksenonową emitującą promieniowanie zbliżone do światła słonecznego, co umożliwia ocenę odporności na fotostarzenie w warunkach zbliżonych do naturalnych. Ponadto badano wpływ wysokoenergetycznego promieniowania UV z wykorzystaniem rtęciowych lamp bakterioobójczych (stosowanych do sterylizacji materiałów o przeznaczeniu medycznym).

Systematyczne studia literaturowe pozwoliły na opracowanie obszernego przeglądu na temat polimerów piezoelektrycznych. Stan aktualnej wiedzy potwierdza celowość prowadzonych badań pod kątem produkcji tanich, elastycznych i łatwych w przetwarzaniu tworzyw piezoelektrycznych, do zastosowań w mikroelektronice i biomedycynie.

Oddział krakowski Łukasiewicz – IMiF prowadził dobór optymalnych warunków polaryzacji folii kompozytowych. Warunkiem koniecznym było zachowanie odporności układów na przebicie elektryczne.

Dokonał także oceny właściwości piezoelektrycznych folii. Mierzono wielkość ładunku (q) i napięcia (U) piezoelektrycznego powstającego przy różnych naprężeniach mechanicznych próbek (P) (w zakresie od 0 do 120 kPa).

Wyznaczono ładunkowe i napięciowe wartości współczynników piezoelektrycznych d_{33} [pC/N] i g_{33} [Vm/N] dla różnych zakresów naprężeń: $d_{33} = q/P$, $g_{33} = U/P \cdot d$, gdzie d – grubość próbki. Współczynnik d_{33} wybrano jako reprezentatywny do porównywania właściwości próbek o różnym składzie.

Dokonano oceny trwałości właściwości piezoelektrycznych kompozytów polimerowych w czasie kondycjonowania próbek w temperaturze pokojowej w czasie do 1200 dni, a także metodą badania prądów termostymulowanych (TSDC). Wyznaczono temperaturę T_m , dla których gęstość prądów rozładowania jest największa. Obliczono przybliżoną wartość energii aktywacji procesu depolaryzacji wybranych próbek, które okazały się najlepszymi piezoelektrykami.

UZYSKANE WYNIKI

Ustalono, że optymalne warunki otrzymywania kompozytów poliolefin przeznaczonych na piezoelektrety są następujące: temperatura głowicy wyłaczarki w zakresie 185–195°C (MDPE), szybkość obrotów w zakresie 200–300s⁻¹. Otrzymano folie kompozytów o szerokości 140 mm i grubości ok. 0,1–0,2 mm. Badania wstępne pozwoliły wyselekcjonować najlepsze z punktu widzenia właściwości piezoelektrycznych napelniacze (wyeliminowano glinokrzemiany typu Nanomer i kredy). Stwierdzono, że najkorzystniejszy stopień orientacji folii wynosi 3:1.

Testy na rozciąganie pozwoliły stwierdzić, że dobre parametry mechaniczne i piezoelektryczne uzyskuje się dla próbek zawierających 5% wag. napelniacza glinokrzemianowego. Mniejsza ilość (2,5%) wprowadzonego modyfikatora nie poprawia właściwości piezoelektrycznych kompozytów, natomiast 10% dodatek powodu-

je zbyt dużą niejednorodność, co wiąże się z brakiem powtarzalności właściwości. Dodatek napelniaczy w ilości 2,5-5% nieznacznie zmienia właściwości mechaniczne. Orientowanie próbek kompozytów w stosunku 3:1 poprawia wytrzymałość mechaniczną; moduł Younga może wzrastać nawet ok. 2-krotnie [2].

Kompozyty uzyskane w wyżej opisanych warunkach charakteryzowały się stopniem krystaliczności 60–70% i strukturą komórkową. Pomiar metodą DSC potwierdził kierunek zmian stopnia krystaliczności wyznaczony metodą XRD, a obserwowane różnice w wartościach X wyznaczonych za pomocą obu metod wskazują na tworzenie się obszaru międzyfazowego (między fazą krystaliczną i amorficzną), w którym występuje uporządkowanie krótkiego zasięgu. To pośrednie, niedoskonałe uporządkowanie ma wpływ na procesy polaryzacji i stabilizacji elektretów w kompozytach.

Pomiary kąta zwilżania potwierdziły charakter hydrofobowy próbek i wykazały niewielki wpływ napelniaczy na właściwości powierzchniowe kompozytów.

Stwierdzono, że stabilność fotochemiczna kompozytów na bazie PE jest bardzo dobra. W i-PP zaobserwowano pewien wzrost wydajności procesów fotooksydacyjnych w obecności napelniaczy i wskutek orientowania. We wszystkich badanych próbkach wykryto te same fotoprodukty.

Za pomocą spektroskopii FTIR wykazano, że pomiędzy składnikami kompozytu praktycznie nie występują oddziaływania międzycząsteczkowe, co jest spowodowane ich różną naturą chemiczną (PE, PP są hydrofobowe, podczas gdy glinokrzemiany są znacznie bardziej polarne). Jest to też przyczyną słabej adhezji (lub jej braku) między napelniaczem a matrycą, dzięki czemu powstają „puste” przestrzenie (jamy wypełnione powietrzem), a na granicy faz gromadzą się ładunki elektryczne.

Wykazano, że polaryzacja folii poliolefinowych i ich kompozytów za pomocą prądu stałego o natężeniu 100 V/ μ m w temp. 85°C w czasie 1h jest skuteczna i prowadzi w większości przypadków do uzyskania elektretów, czyli trwale spolaryzowanych materiałów.

Na rys. 2 zgromadzono wyniki zależności wartości współczynnika piezoelektrycznego ładunkowego d_{33} w zależności od naprężenia P dla najkorzystniejszych kompozycji polimerowych w odniesieniu do poli(fluorku winylidenu) PVDF.

Najlepsze wartości parametrów piezoelektrycznych wykazują kompozyty i-PP z dodatkiem Sillikoloidu-P87 i kulek szklanych. Oba napelniacze są glinokrzemianami różniącymi się budową i wielkością cząstek (rys. 2). Wśród badanych próbek wyróżnia się i-PP z 5% udziałem Sillikoloidu (folia orientowana). Wartość d_{33} wynosi tu ok. 150 pC/N – 80 pC/N (przy zakresie naprężeń $P \sim 10 - 120$ kPa), stopień krystaliczności $X > 60\%$, moduł Younga > 1200 MPa. Sillikoloid składa się głównie z kaolinu i krystalicznej krzemionki o wielkości cząstek 0,5–20 μ m. W kompozycie powstaje struktura komórkowa, wnęki o średnicy ok. 2,5 μ m są częściowo wypełnione cząstkami napelniacza, który nie wykazuje adhezji do makrocząstek. Dzięki temu powstaje układ heterogeniczny zdolny do kumulowania ładunków elektrycznych wprowadzanych podczas polaryzacji.

Bardzo dobre parametry piezoelektryczne uzyskano w próbkach i-PP z dodatkiem 5-10% kulek szklanych odpowiednio: $d_{33} \sim 140 \rightarrow 70$ pC/N, $90 \rightarrow 50$ pC/N (przy zakresie naprężeń $P \sim 10 \rightarrow 120$ kPa). Te kompozyty również charakteryzuje duży moduł Younga (ponad 1100-1200 MPa), X powyżej ok. 70% i dobra stabilność termiczna. Ładunek piezoelektryczny (q) przyjmuje 3–4 razy większe wartości, a napięcie 4-5 razy większe niż w i-PP bez napelniaczy. W tym przypadku orientowanie próbek nie przynosi

dalszej poprawy parametrów piezoelektrycznych, a nawet uniemożliwia ich pomiar z powodu przebicia prądu. Jest to spowodowane powiększaniem się wnęk podczas rozciągania (choć znacząco rośnie E). Krzywe TSDC wykazały, że depolaryzacja w tych próbkach zachodzi w temp. ok. 75–78°C, jedynie przy zawartości 10% napełniacza temperatura depolaryzacji obniża się, co jest spowodowane dużą heterogenicznością i większą zawartością dużych wnęk. Energia aktywacji depolaryzacji wyznaczona z krzywych TSDC kompozytów i-PP wynosi ok. 4–4,5 eV.

Obiecujące właściwości piezoelektryczne charakteryzują również kompozyty na bazie HDPE i MDPE z dodatkiem napełniacza w postaci kulek szklanych, podczas gdy w obu czystych (niemodyfikowanych) polimerach obserwuje się praktycznie brak trwałego efektu piezoelektrycznego. Parametry mechaniczne HDPE są słabsze niż w analogicznych kompozytach i-PP ($E \sim 560\text{--}600$ kPa w próbkach nieorientowanych i 715–860 kPa w foliach orientowanych). Dodatek napełniacza zmniejsza wartość modułu Younga, mniejszy jest też stopień krystaliczności (~57% i ~80%, odpowiednio przed i po orientacji). W tym przypadku parametry piezoelektryczne znacząco rosną w próbkach orientowanych. Największe wartości d_{33} wykazały orientowane kompozyty HDPE (70→40 pC/N). Średnica jam w nieorientowanych foliach tych kompozytów wynosi średnio poniżej 5 μm , a po procesie orientacji długość tych wnęk zwiększa się do ponad 20 μm .

Porównując kompozyty HDPE z i-PP, można stwierdzić, że mniejsza ilość jam powietrza w układach na bazie HDPE jest przyczyną mniejszych wartości współczynnika d_{33} .

Wyjątkowo dobre właściwości piezoelektryczne wykazała też orientowana folia MDPE z 5% zawartością kulek szklanych ($d_{33} \sim 100 \rightarrow 60$ pC/N przy wzroście naprężenia), ale w tej próbce nieorientowanej wartości d_{33} są co najmniej dwukrotnie mniejsze. Natomiast w kompozycie MDPE z 10% zawartością tego napełniacza występowało przebicie elektryczne.

Kompozyty MDPE z kulkami szklanymi wykazują gorsze właściwości mechaniczne (mniejsze wartości E : w próbkach nieorientowanych 278–421 MPa, w orientowanych 748–771 MPa), a także mniejszy (niż w kompozytach HDPE) stopień krystaliczności (ok. 44–54% i 64–67% odpowiednio w foliach nieorientowanych i orientowanych).

W orientowanej folii MDPE z 5% udziałem Sillikolloidu obserwowano tworzenie się wnęk tylko wokół większych aglomeratów napełniacza. Mała ilość jam powietrza wpływa na mniejszą wartość współczynnika d_{33} w porównaniu z pozostałymi foliami kom-

pozytowymi (~ 40 pC/N dla mniejszych naprężeń i ~20 pC/N dla naprężeń większych).

Wpływ typu PE (HDPE, MDPE) na właściwości kompozytów wyjaśniono na podstawie badań spektroskopowych. Szczegółowa analiza widm FTR w obszarze deformacyjnych drgań CH_2 i CH_3 wykazała nieco większy stopień rozgałęzienia MDPE niż HDPE, co jest również przyczyną różnego stopnia krystaliczności tych polimerów. Natomiast ani typ PE, ani proces orientacji nie mają istotnego wpływu na stabilność termiczną i fotochemiczną badanych kompozytów.

Stosując montmorylonit i kredę jako napełniacze, nie otrzymano wartości d_{33} wystarczających do zastosowań praktycznych, mimo tworzenia się struktury komórkowej w matrycy polimerowej. Właściwości piezoelektryczne w próbkach z tymi modyfikatorami były nietrwałe, a często niepowtarzalne.

Wartość względnej przenikalności dielektrycznej ϵ tych układów wynosi od 1.84 do 2.8. Jest kilkakrotnie mniejsza od wartości ϵ dla folii PVDF (~12). Mała wartość ϵ jest korzystna przy zastosowaniu na czujniki piezoelektryczne, ponieważ zapewnia stałość parametrów elektrycznych w szerokim przedziale częstotliwości.

Wykazano, że próbki poliolefin polaryzowane za pomocą wyładowań koronowych również wykazują efekt piezoelektryczny. Ten sposób polaryzacji zależy od chropowatości powierzchni; im mniejsza chropowatość, tym lepsze właściwości piezoelektryczne. Koronowanie okazało się skuteczną metodą aktywacji jedynie filmów poliolefin bez dodatków napełniaczy. Optymalne parametry modyfikacji metodą wyładowań koronowych: moc – 40W, prędkość przesuwu folii – 3–5 m/min.

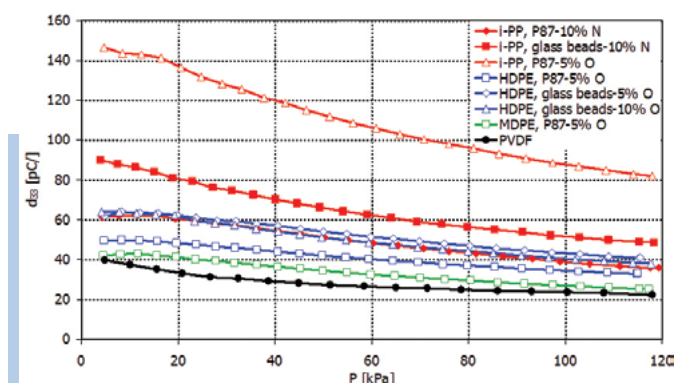
Badania przebiegu prądów termostymulowanych (TSDC) wykazały, że orientowane folie kompozytowe HDPE i MDPE z 5% zawartością Sillikolloidu mogą pracować w sposób ciągły do temperatury około 90°C. Wysoka temperatura depolaryzacji T_m dla tych folii (> 110°C) jest związana z dużą ilością fazy krystalicznej w materiale. Nieco słabszą odporność wykazały kompozyty i-PP, wśród których najwyższą wartością T_m charakteryzowała się folia orientowana z 5% Sillikolloidu. Układ ten w sposób ciągły może pracować do temperatury 77°C. Orientacja folii powoduje zwiększenie rozmiarów jam powietrza, co również zwiększa wytrzymałość temperaturową elektretów. Świadczy to o silniejszym pułapkowaniu ładunków elektrycznych [3].

Spektroskopia ultradźwiękowa umożliwiła wyznaczenie częstotliwości rezonansowych wybranych kompozytów (nieorientowane – N i orientowane – O folie i-PP z 5 i 10 % zawartością Sillikolloidu) oraz obliczenie parametrów akustycznych (prędkość fali, współczynnik sprężystości po grubości folii i impedancja akustyczna (tab. 1). Badane folie charakteryzują się dobrą sprężystością, a zatem mogą być stosowane na czujniki nacisku w szerokim zakresie naprężeń oraz małą wartością impedancji akustycznej, co kwalifikuje je na elementy czujnikowe, np. do mikrofonów.

Podstawowym parametrem determinującym możliwość badań folii tą techniką jest jej grubość. Im mniejsza grubość folii, tym wyższe są jej częstotliwości rezonansowe i odpowiednio zwiększone wymagania odnośnie pasma przenoszenia stosowanych głowic ultradźwiękowych.

Badania folii za pomocą szerokopasmowej spektroskopii ultradźwiękowej pozwalają na szybką kontrolę procesu wytwarzania folii i ocenę ich przydatności na sensory.

Podsumowując, należy stwierdzić, że właściwości piezoelektryczne kompozytów polimerowych zależą od natury chemicznej i ilości składników, oddziaływań międzycząsteczkowych i mor-



Rys. 2. Przykładowe zależności współczynnika piezoelektrycznego d_{33} od naprężenia (P) kompozytów poliolefinowych o najlepszych właściwościach piezoelektrycznych i materiału referencyjnego - PVDF, glass beads - kulki szklane, N - folia nieorientowana, O - folia orientowana [3]

Tabela 1. Zestawienie parametrów akustycznych charakterystycznych dla spektroskopii ultradźwiękowej wytypowanych do badań próbek w porównaniu do folii PVDF; prędkość fali dźwiękowej - v_L , stała sprężystości przy ściskaniu - C_{33} , impedancja akustyczna folii - Z_a , gęstości folii - ρ , grubość folii - d , N - folia nieorientowana, O - folia orientowana

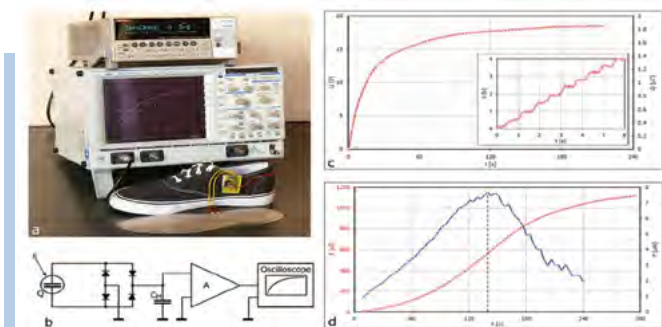
Folia	ρ [kg/m ³]	d [μm]	v_L [km/s]	C_{33} [GPa]	Z_a [Mrayl]*
i-PP + 5% Sillikolloidu - O	887 ± 13	25,0 ± 0.5	1,46 ± 0,41	1,90 ± 0,1	1,30 ± 0,1
i-PP + 5% Sillikolloidu - N	970 ± 3	105,4 ± 1	1,98 ± 0,11	3,82 ± 0,2	1,92 ± 0,1
i-PP + 10% Sillikolloidu - N	961 ± 4	113,0	2,12 ± 0,15	4,31 ± 0,2	2,03 ± 0,1
PVDF	1806 ± 8	105,0	1,79 ± 0,01	5,08 ± 0,1	3,24 ± 0,1

*rayl - jednostka impedancji akustycznej, kg/(m²s)

fologii folii. Niejednorodności w postaci cząstek napełniacza glinokrzemianowego i struktura komórkowa umożliwiają powstawanie piezoelektretów w poliolefinach. Optymalny skład kompozytu i uporządkowanie makrocząsteczek w foliach, uzyskiwanych w ściśle określonych warunkach przetwórczych, przyczyniają się do bardzo dobrych właściwości piezoelektrycznych, nawet lepszych niż w poli(fluorku winylidenu), który stosowany w praktyce jako piezoelektryk stanowi odnośnik dla nowych materiałów. Jednocześnie otrzymane kompozyty charakteryzuje duży moduł Younga, dobra elastyczność, odporność termiczna i fotochemiczna oraz właściwości hydrofobowe. Chociaż orientowanie folii poprawia stopień krystaliczności, jednocześnie powiększające się wewnętrzne pory często pogarszają właściwości mechaniczne.

WPŁYW NA DYSCIPLINĘ

Przeprowadzone badania poszerzają wiedzę o piezoelektrycznych właściwościach kompozytów polimerowych na bazie poliolefin i napełniaczy mineralnych, w szczególności pozwalają ustalić niezbędne czynniki warunkujące uzyskiwanie piezoelektretów (zarówno strukturalne – stopień uporządkowania, budowa komórkowa, jak i warunki przetwórcze oraz sposób polaryzacji). Ponadto wykazano, że otrzymane kompozyty polimerowe charakteryzują się dobrymi właściwościami mechanicznymi, stabilnością termiczną i fotochemiczną, nie posiadają wad piezoelektrycznej ceramiki (kruchość, trudności formowania) i z powodzeniem mogą stanowić alternatywę dla stosunkowo drogiego poli(fluorku winylidenu), stosowanego w praktyce. Badania pozwoliły wyselekcjonować układy, które z powodzeniem mogą być zastosowane do budowy czujników ruchu lub ciśnienia w przyrządach elektronicznych i medycznych, a także w personalnych urządzeniach do przetwarzania energii mechanicznej na impulsy elektryczne. Uzyskane wyniki mogą być inspiracją do dalszych badań w kierunku wdrożenia tych materiałów we współczesnych technologiach.



Rys. 3a, b - Widok i schemat elektryczny zestawu pomiarowego sygnału elektrycznego i przetwornik elektromechaniczny w postaci wkładki do obuwi, c - szybkość i sposób ładowania kondensatora, d - zależność energii i mocy kondensatora od czasu chodzenia

W ramach projektu, w oparciu o wytypowane najkorzystniejsze kompozycje polimerowe, wykonano modele urządzeń, które mogą stanowić przykład zastosowania rozwiązań projektowych w przyszłości, a więc do pozyskiwania energii lub jako czujniki ruchu.

Przykładowy układ elektroniczny, przedstawiony na rys. 3, z elementem piezoelektrycznym opartym na nieorientowanej folii PP napełnionej 10% wag. Sillikolloidu P87, umieszczonym w podszwie buta zastosowano z dobrym skutkiem do pozyskiwania i gromadzenia energii w kondensatorze. Podobny układ z elementem piezo opartym na orientowanej folii PP napełnionej 5% wag. Sillikolloidu P87 posłużył do budowy czujnika siły nacisku, zastosowanego m.in. do pomiaru pulsu [3].

ROZPOWSZECHNIANIE WYNIKÓW

W ciągu 4 lat prowadzenia projektu przygotowano 18 publikacji w wydawnictwach z listy filadelfijskiej, zaprezentowano plakaty i komunikaty na 9 zagranicznych konferencjach naukowych oraz uzyskano 3 patenty poszerzające istotnie wiedzę o dziedzinie tworzyw piezoelektrycznych. W zestawieniu literaturowym przedstawiono jedynie najbardziej znaczące publikacje w temacie tworzyw piezoelektrycznych.

LITERATURA

- [1] H. Kaczmarek, M. Chylińska, E. Klimiec, B. Królikowski, G. Sionkowski, M. Machnik: Piezo-electrets from polypropylene composites doped with mineral fillers, *Pure Appl. Chem.*, 2019, 91, 6, 967 – 982, DOI.org/10.1515/pac-2018-0702.
- [2] H. Kaczmarek, M. Chylińska, B. Królikowski, E. Klimiec, D. Bajer, J. Kowalonek: Influence of glass beads filler and orientation process on piezoelectric properties of PE composites, *Journal of Material Science: Materials in Electronics*, 2019, 30:21032-21047, DOI.org/10.1007/s10854-019-02473-9.
- [3] E. Klimiec, H. Kaczmarek, B. Królikowski, G. Kołasczyski: Cellular polyolefin composites as piezoelectric materials. Properties and application, *Polymers*, 2020, 12(11), 2698–2712, (DOI: 10.3390/polym12112698).
- [4] E. Klimiec, P. Zachariasz, H. Kaczmarek, B. Królikowski, S. Mackiewicz: Elasticity investigation of thin cellular structure films for piezo electric sensors, *Sensor Revue*, 2022, 42, 2, 204–213, (DOI: 10.1108/SR-07-2021-0220).

Artykuł został zamieszczony w czasopiśmie „Polimery dla Biznesu” nr 2/2022.

dr hab. inż. Bogusław Królikowski

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników

prof. dr hab. Halina Kaczmarek

Wydział Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu

dr Ewa Klimiec

Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki

ECON – austriacka jakość w granulowaniu i nie tylko

Od ponad dwudziestu lat firma ECON jest specjalistą w zakresie podwodnych systemów granulowania. Ciągły rozwój ich technologii sprawił, że stali się liderami innowacji w dziedzinie peletowania/ granulowania podwodnego, zwłaszcza dzięki opatentowanej technologii izolacji termicznej.

Oprócz podwodnych systemów peletowania, ECON oferuje systemy peletowania powietrzem, hybrydowe systemy peletowania i piece do pirolizy. Odwiedzający tegoroczne targi Fakuma mają okazję doświadczyć unikalnej technologii granulowania ECON w demonstracji na żywo w hali A6, stoisko A6-6107.

Na wystawie znajdzie się maszyna EUP 10 Advanced (w połączeniu z wytłaczarką COLLIN), która została zaprojektowana tak, aby sprostać wymaganiom produkcji 24/7. Dzięki prostej obsłudze i zastosowaniu technologii termoizolacji ECON, maszyna ta jest idealna dla małych wydajności (do 30 kg/godz.).

Ponadto ECON zaprezentuje piec do pirolizy śrub ECON (EPOS), który został opracowany do przyjaznego dla środowiska czyszczenia m.in. ślimaków wytłaczarek. Komora ma małą średnicę, dostosowaną do wielkości ślimaków wytłaczarek. EPOS jest więc bardzo kompaktową i praktyczną wersją pieca do pirolizy, który oczywiście może być stosowany również do czyszczenia innych części.

- szybkie, oszczędne i nie pozostawiające śladów czyszczenie;
- kompaktowa budowa;
- urządzenie samodzielne – potrzebne jest tylko podłączenie elektryczne;
- oszczędność zasobów – nie wymaga wody procesowej;
- wydłużona żywotność elementów wytłaczanych i narzędzi dzięki delikatnemu usuwaniu termoplastów.

Produkty ECON są nie tylko odpowiednie do zastosowań w compoundingu i produkcji masterbatchu, ale także wykorzystywane w recyklingu. Aby sprostać wymaganiom grupy docelowej, ECON oferuje rozwiązania dostosowane do potrzeb każdego klienta.

Przedstawicielem firmy Econ w Polsce jest firma Chempol, www.chempol.com.pl.

Serdecznie zapraszamy na nasze wspólne stoisko na targach Plastpol w Kielcach.

REKLAMA

EUP 10 SHOWMASTER (SYSTEM GRANULACJI PODWODNEJ)



Zapraszamy na
nasze stoisko
na targach
Plastpol

- odpowiedni do produkcji 24/7
- łatwy w obsłudze
- zaawansowana technologia termoizolacji
- dokładny docisk noży dzięki zastosowaniu serwomotoru

23 – 26 maja 2023
Kielce, PL

Nasz przedstawiciel w Polsce



Chempol



Stan wiedzy w zakresie modelowania przepływów ślimakowych tworzyw polimerowych

Jacek Iwko

Układy uplastyczniające wyłaczarek jednoślimakowych oraz wtryskarek ślimakowych charakteryzują się dużym podobieństwem pod względem geometrii przy niewielkim podobieństwie pod względem dynamiki działania. Podobieństwo to jest najbardziej widoczne w fazie stapienia dynamicznego tworzywa przy obracającym się ślimaku podczas wtryskiwania. Z tego też względu modelowanie ustalonego procesu wyłaczania jednoślimakowego może stanowić pierwszy krok do modelowania złożonego pod względem dynamiki działania „kwaziustalonego” procesu uplastyczniania przy wtryskiwaniu. Fakt ten uwzględnia poniższe zwięzłe omówienie aktualnego stanu wiedzy poświęcone problemom matematycznego i komputerowego modelowania procesów uplastyczniania. W pierwszej części skoncentrowano się na modelowaniu procesów wyłaczania jednoślimakowego, przechodząc następnie do procesów modelowania układów wtryskowych z uwzględnieniem różnic i podobieństw obu układów. Przy omawianiu wyłaczania nieco uwagi poświęcono także wyłaczaniu dwuślimakowemu.

Należy już teraz podkreślić, że wiele z cytowanych poniżej istotnych prac związanych zwłaszcza z matematycznym opisem zjawisk podczas wyłaczania, a szczególnie podczas wtryskiwania polimerów zostało opublikowanych kilkadziesiąt lat temu i pomimo pewnych modyfikacji nadal są aktualnie wykorzystywane. Świadczy to pośrednio o dużej skali trudności zagadnień związanych z opisem i modelowaniem procesów przetwórstwa ślimakowego, zwłaszcza wtryskowego, materiałów polimerowych.

MATEMATYCZNE MODELE OPISU TRANSPORTU I UPŁASTYCZNIANIA PRZY WYŁACZANIU

Teoretyczne podejście do procesu uplastyczniania polimerów poprzez tworzenie matematycznych modeli symulacyjnych jest szeroko stosowane głównie w przypadku procesu wyłaczania. W literaturze istnieje wiele tego typu modeli, omówionych krótko poniżej. Opisują one w mniej lub bardziej złożony sposób jeden lub więcej procesów obejmujących transport polimeru stałego, uplastycznianie oraz transport polimeru stopionego. Stosuje się w nich podobne ogólne zasady, ale różnią się one założeniami szczegółowymi. Jako ogólną zasadę przyjmuje się, że wyłaczarka jest podzielona na kilka głównych stref funkcjonalnych - strefę transportu tworzywa stałego, strefę przejściową, strefę stapienia oraz strefę transportu stopu. Niektóre modele uwzględniają także głowice wyłaczarskie oraz strefę leja zasypowego. W literaturze dostępne są również prace przeglądowe z zakresu modelowania transportu i uplastyczniania polimerów w wyłaczarkach jedno- i dwuślimakowych, z których najnowsze to opracowania Wilczyńskiego i wsp. [2] oraz Hyvärinena i wsp. [3]. Przegląd literatury na ten temat zawierają również wybrane monografie, np. White'a i Potente [4] czy Rauwendaala [5].

Opis strefy transportu tworzywa stałego opiera się na mechanizmie tarcia suchego, zwykle reprezentowanym przez klasyczne podejście Darnella i Molla [6] z późniejszymi modyfikacjami [7–12], związanymi m.in. z uwzględnieniem przewodzenia ciepła do złoża stałego [8,9] czy wyznaczeniem kąta siły nacisku złoża stałego na zwój ślimaka różnego od 90° [11, 12]. Opis tej strefy może również obejmować rowkowany cylinder. Badania dotyczące układów uplastyczniających wyłaczarek ze strefowo rowkowanym cylindrem opisał m.in. Chung i wsp. [13] oraz Jin i wsp. [14], natomiast modele uplastyczniania uwzględniające tę strefę zaproponował Avila-Alfaro i wsp. [15, 16]. Chung w swoich wcześniejszych pracach [17, 18] przedstawił ponadto inne podejście do problemu transportu złoża stałego, zakładając, że na jego ruch wpływa obecność stopionej warstwy polimeru na rdzeniu ślimaka i wewnętrznej powierzchni cylindra, tzn. że blok stałego polimeru jest otoczony warstwą polimeru uplastycznionego. Ponadto przeprowadzono szereg badań, w których dane materiałowe dla strefy transportu tworzywa stałego nie były przyjmowane jako stałe [19]. Badania nad tą strefą zostały ostatnio szczegółowo przeanalizowane w pracach Schöppnera i wsp. [20, 21]. Pojawiły się również prace dotyczące wpływu kształtu i wielkości cząstek stałych polimeru na współczynnik tarcia polimer-metal, wydajność transportową oraz szybkość stapienia [22, 23], jak również zależności gęstości nasypowej polimeru, która jest ważnym parametrem materiałowym przy analizie transportowej, od ciśnienia i temperatury [24]. Istnieją również prace uwzględniające ruch ziaren polimeru w złożu względem siebie. Modele te często wykorzystują tzw. metodę elementów dyskretnych (DEM) pozwalającą na wyznaczanie trajektorii ruchu cząstek i wzajemnych oddziaływań między elementami ośrodków o naturze dyskretniej (materiałów sypkich). Szerokie badania wykorzystujące 3D DEM przeprowadzili niedawno Moysey i Thompson [25–27], wykazując trafność tej metody przy modelowaniu strefy zasilania w wyłaczarkach.

W literaturze znaleźć można również prace opisujące transport złoża stałego w wyłaczarkach dwuślimakowych o mniejszym podobieństwie do układów wtryskowych. Procesy transportowe w wyłaczarkach współbieżnych opisano m.in. w artykułach [28-31]. Wyłaczarki dwuślimakowe przeciwbieżne są znacznie słabiej poznane i opisane. Jedną z kilku prac opisujących doświadczalne badania nad transportem i uplastycznianiem w tego typu wyłaczarkach jest praca Wilczyńskiego i White'a [32]. W wyłaczarkach dwuślimakowych dominuje tzw. zasilanie dozowane (głodujące, *starve fed*) i ma ono mniejszy wpływ na całościowy model procesu uplastyczniania niż typowe zasilanie grawitacyjne w wyłaczarkach jednoślimakowych. Jako podsumowanie warto dodać, iż niektóre opisane powyżej modele zostały wykorzystane w różnych monografiach związanych z wyłaczaniem tworzyw polimerowych [7, 33, 34].

Istniejące modele uplastyczniania polimerów w układach ślimakowych można podzielić na dwie kategorie, tj. na modele stapania tworzywa w warstwie (*Contiguous Solids Melting, CSM*) i modele stapania tworzywa w dyspersji (*Dispersed Solids Melting, DSM*). Do opisu procesu uplastyczniania polimerów w systemach jednoślیمakowych powszechnie stosuje się model CSM Tadmora [7] (zapoczątkowany przez wcześniejsze badania Maddocka i Streeta [35, 36]) oraz jego różne modyfikacje [37–49]. Model Tadmora zakłada, że uplastycznianie zachodzi w cienkiej warstwie tworzywa stałego, przylegającej do gorącego cylindra, która znajduje się nad złożem polimeru w stanie stałym poruszającym się ze stałą prędkością wzdłuż kanału ślimaka. Obszar cyrkulującego stopu pojawiający się przy pewnej krytycznej grubości warstwy stapania znajduje się przy aktywnej stronie zwoju ślimaka. Jego względna szerokość stopniowo wzrasta z intensywnością zależną od parametrów procesu i geometrii ślimaka aż do wypełnienia stopem polimerowym całego kanału ślimaka. Modyfikacje modelu Tadmora uwzględniają między innymi takie zjawiska jak zmienna prędkość przemieszczania się złoża stałego [37], zmienna wysokość stopionej warstwy polimeru w kierunku normalnym do osi kanału [38], odkształcanie się złoża stałego [39, 40, 43], zastosowanie helikalnego (śrubowego) układu współrzędnych w celu uwzględnienia krzywizny ślimaka [41] lub uplastycznianie złoża stałego także od strony ślimaka [39, 44, 49]. Zazwyczaj do modelowania przyjmuje się płaski lub cylindryczny kształt kanału ślimaka oraz jedno- lub dwuwymiarowy przepływ nieizotermiczny. Właściwości reologiczne stopionego tworzywa polimerowego są z reguły opisane przez model Crossa-WLF, Carreau lub potęgowy. Modele te umożliwiają obliczenie ty-

powych charakterystyk procesu, takich jak rozkład ciśnienia i temperatury lub pobór mocy w zależności od geometrii kanału ślimaka oraz parametrów procesu.

Odmienne model uplastyczniania polimerów podczas wytłaczania zaprezentował Lindt [50, 51]. Zaobserwował on w swoich badaniach, że klin tworzywa stałego w strefie uplastyczniania otoczony jest ze wszystkich stron warstwą stopu. Prowadząc badania z zastosowaniem ślimaków o dużych średnicach ($D \geq 100\text{mm}$) oraz w warunkach przepływu związanych z dużymi gradientami ciśnienia, rzędu 100 MPa/m , Lindt zaobserwował, że stopiony materiał gromadzi się w dolnej oraz górnej warstwie (sąsiadującej z powierzchnią cylindra i rdzenia ślimaka), których grubość zwiększa się stopniowo aż do całkowitego stopienia cienkiego klina tworzywa stałego. Taki mechanizm uplastyczniania może mieć miejsce szczególnie wówczas, gdy powstawanie gradientu ciśnienia w kierunku normalnym do osi kanału może zostać znacząco utrudnione z powodu występowania przepływu przeciekowego. Prace Lindta były później rozwijane przez Elbirli i wsp. poprzez uwzględnienie m.in. występowania przepływu poprzecznego stopu dokoła złoża stałego oraz możliwości odkształcenia złoża stałego [52, 53].

Warto wspomnieć, iż pojawiły się również próby modelowania procesu uplastyczniania polimerów bez założenia konkretnego mechanizmu stapania. Pierwszy krok w tym kierunku został podjęty z dużym powodzeniem przez Viriyayuthakorna i Kassahunna [54], a następnie prace te były kontynuowane przez innych badaczy [55]. Ewolucję procesu uplastyczniania wzdłuż kanału ślimaka uzyskano wyłącznie na podstawie rozwiązania układu równań zachowania masy, pędu i energii oraz odpowiedniego równania konstytutywnego.

REKLAMA

Tworzywa Sztuczne Przemysle

Zapraszamy do zakładki **e-gazeta**

Pobierz plik **www.tworzywasztuczne.biz**

Mechanizm uplastyczniania DSM, charakterystyczny dla wytłaczania głodującego (*starve-fed*), jest bardziej odpowiedni w przypadku wytłaczania dwuślimakowego. Warunki takie w wytłaczarkach jednoślimakowych można uzyskać przy zasilaniu dozowanym, ponieważ w typowych procesach dominuje zasilanie grawitacyjne (*flood-fed*) właściwsze dla modeli CSM. Chociaż zagadnienie zasilania dozowanego w wytłaczarkach jednoślimakowych jest znane od dawna [56, 57], jego systematyczne badania i modelowanie rozpoczęto w ostatniej dekadzie [58–60]. W ostatnich dwóch dekadach nastąpił także znaczący rozwój w dziedzinie modelowania procesu uplastyczniania w wytłaczarkach dwuślimakowych. Analizując badania układów współbieżnych [61–68], warto wskazać zarówno podejście zbliżone do modelu Tadmora stapienia w warstwie [62–64], zakładające stopniowe zwiększanie się wysokości stopionej warstwy polimeru oraz podejście oparte na modelu dyspersyjnym, zakładające przesycenie stałego polimeru stopem i analizujące przepływ powstałych systemów dyspersyjnych [65,66].

Badania układów ślimaków przeciwbieżnych [32, 69–74] są mniej rozwinięte od badań układów współbieżnych. W pracy [32] pokazano, że uplastycznianie polimeru zachodzi nie tylko od strony gorącego cylindra poprzez przewodzenie i lepkie rozpraszanie w warstwie stopu, ale również pomiędzy ślimakami w wyniku tarcia ziaren polimeru. Na tej podstawie opracowano model stapienia uwzględniający oba te obszary [69]. Później kontynuowano badania nad modelami uplastyczniania w układach przeciwbieżnych [70–74]. Pojawiły się również opracowania dotyczące obserwacji procesu stapienia polimerów bezpośrednio w wytłaczarce jako alternatywa dla techniki wyciągania ślimaka z cylindra („screw pulling-out technique”), która jest dość uciążliwa. Wprowadzono m.in. szklane okna w cylindrze wytłaczarki [64,75], jak również wykorzystywano w tym celu pomiarowe systemy ultradźwiękowe [76, 77]. Niedawno ukazała się publikacja mówiąca o wykorzystaniu przezroczystego cylindra do obserwacji przepływu cieczy lepkościowych w wytłaczarce współbieżnej [78].

Przepływy stopionych polimerów w wytłaczarkach jednoślimakowych zostały szeroko opisane w literaturze, uwzględniając przy tym różne założenia. Pierwsze opracowanie na ten temat związane z izotermicznym przepływem ciśnieniowo-wleczonym cieczy newtonowskiej w kanale ślimaka pojawiło się w latach 50. XX wieku. [79]. Badania te dotyczyły jednowymiarowego przepływu przez kanał prostokątny o bardzo dużej szerokości w porównaniu do wysokości. W późniejszym czasie pojawiły się modele, które dodatkowo uwzględniały przepływ poprzeczny [80], wpływ krzywizny kanału [81, 82] oraz wpływ szczeliny pomiędzy wierzchołkiem uzwojenia ślimaka a cylindrem [83]. Pierwsze opracowania uwzględniające przypadek nienewtonowski obejmowały jednowymiarowy, izotermiczny przepływ cieczy potęgowej w kanale o nieskończonej szerokości i pojawiły się w połowie lat 60. [84, 85]. Następnie analizowano przepływ dwuwymiarowy [86, 87]. Badania te zostały podsumowane i rozszerzone w znanych monografiach [7, 88]. Fundamentalna praca Tadmora i Kleina [7] była podstawą do tworzenia ulepszonych modeli, biorąc pod uwagę przepływy dwu- lub trójwymiarowe, nienewtonowskie właściwości stopionych polimerów i rzeczywistą geometrię ślimaka, jak również stosując lepsze podejście do zagadnień termicznych oraz sprzężeń mechaniczno-termicznych [89–96].

Uwzględniając poślizg na ściankach kanału przepływowego, co może mieć miejsce w przypadku wytłaczania elastomerów, PVC lub kompozytów polimerowych (np. polimerowo-drzewnych), mechanizm stapienia może być inny – stopiony materiał może gromadzić się przy pasywnym zwoju ślimaka. Przepływy stopio-

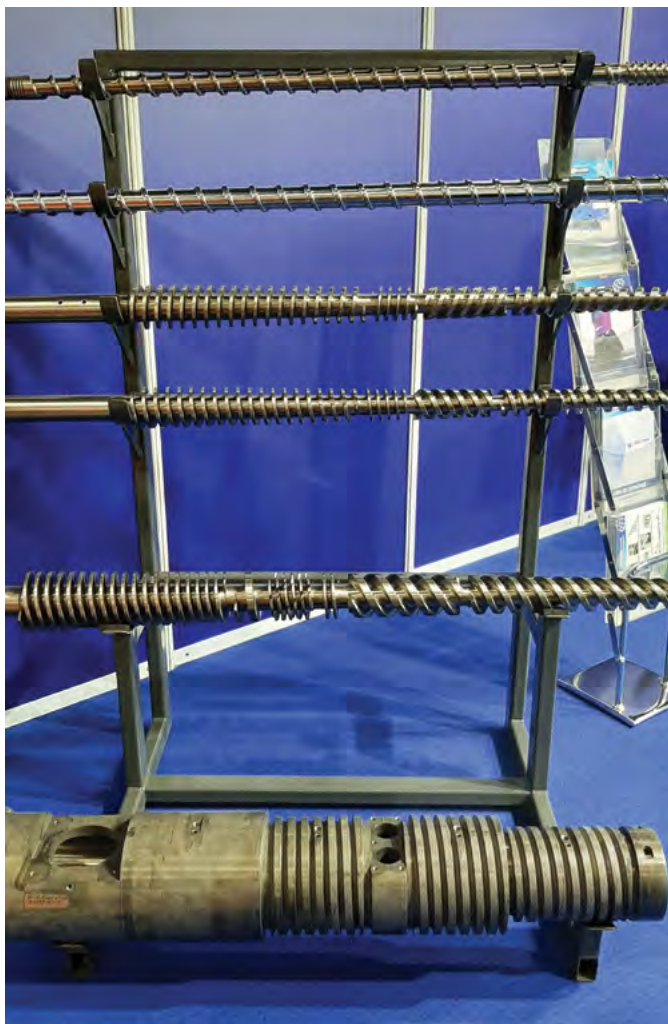
nych polimerów z uwzględnieniem poślizgu analizowano w wielu pracach. Omawiały one między innymi wpływ zjawiska poślizgu na profile prędkości oraz charakterystyki transportowe [97] oraz na wydajność uplastyczniania i pobór mocy [98–102]. Niedawno pojawiły się prace zawierające heurystyczne metody dwu- oraz trójwymiarowego modelowania przepływu płynów potęgowych w strefie dozowania wytłaczarek jednoślimakowych [103–105]. Istotne ze względu na możliwość wystąpienia procesów degradacyjnych podczas przepływu stopionych polimerów są też prace opisujące tzw. przepływy wtórne w narożach kanałów przepływowych [106, 107] podobne do tzw. wirów Moffatta [108] znanych w mechanice płynów.

Pierwsze doświadczalne badania przepływu stopionych polimerów we współbieżnych wytłaczarkach dwuślimakowych opracowano w połowie lat 60. XX wieku, w których stwierdzono, iż mechanizm transportu opiera się głównie na przepływie wleczonym, podobnie jak w wytłaczarkach jednoślimakowych [109]. Modele opisujące przepływ newtonowski polimerów w wytłaczarkach współbieżnych zostały opracowane znacznie później, bo w latach 80. [110–114]. W następnej dekadzie pojawiły się opracowania uwzględniające przepływ nienewtonowski [61, 115–117], jak również analizy łącznego przepływu wlezonego i ciśnieniowego [118]. W analizach modelowych uwzględniano również efekt poślizgu stopionych polimerów [68, 119]. Najnowsze prace w dziedzinie dwuślimakowych wytłaczarek współbieżnych dotyczą trójwymiarowych, nienewtonowskich analiz MES [68, 96]. Pojawiła się również praca [120], w której porównano wyniki symulacji 3D z wynikami pochodzącymi z oprogramowania 1D Ludovic. Pokazała ona m.in., iż model 1D dał zupełnie poprawne wyniki dla przepływów polimerów w układach ślimakowych.

Wytłaczarki dwuślimakowe przeciwbieżne różnią się od współbieżnych nie tylko budową, ale przede wszystkim mechanizmem transportu. Po raz pierwszy opisane zostały prawie 100 lat temu [121, 122] jako pompy wyporowe, których wydajność uzależniona jest od geometrii i prędkości obrotowej ślimaków. Późniejsze opracowania dotyczą charakterystyk transportowych wytłaczarek przeciwbieżnych ze szczególnym uwzględnieniem przepływu przeciekowego pomiędzy ślimakami [123–125] oraz stopnia ząbienia ślimaków [126]. Pierwsze analizy numeryczne dla ząbiającej się wytłaczarki przeciwbieżnej przedstawiono w latach 90. [127, 128]. Pod koniec lat 90. przeanalizowano przepływy nienewtonowskie i modelowano przepływy dla różnych kształtów segmentów ślimaków w wytłaczarkach przeciwbieżnych, co umożliwiło m.in. wyznaczenie profili ciśnienia i temperatury na długości układu uplastyczniającego [129,130]. Najnowsze prace [131] obejmują trójwymiarowe, nienewtonowskie modelowanie MES w celu wyznaczenia charakterystyk transportowych wytłaczarek przeciwbieżnych.

KOMPUTEROWE MODELE SYMULACJI WYTŁACZANIA

Programy komputerowe służące do szeroko pojętego modelowania stają się narzędziami coraz częściej i chętniej wykorzystywanymi nie tylko przez naukowców, lecz przede wszystkim przez konstruktorów i technologów. Przyczyniają się one do znacznych oszczędności ekonomicznych przedsiębiorstw, eliminując zarówno nakłady finansowe na budowę prototypów maszyn czy urządzeń, jak również oszczędzając czas pracowników. W dzisiejszych czasach komercyjne programy symulacyjne są jednym z podstawowych narzędzi projektowych i konstrukcyjnych, umożliwiając przewidywanie zachowania się materiałów lub konstrukcji w określonych warunkach oraz analizę zjawisk zachodzących podczas przebiegu różnych procesów przemysłowych. Znajdują



one również szerokie zastosowanie w przetwórstwie tworzyw sztucznych i są pomocne w konstruowaniu maszyn i narzędzi, jak i w przewidywaniu właściwości wyrobów polimerowych.

Pakiety programowe służące do komputerowego modelowania procesów przetwórstwa można najogólniej podzielić na dwie grupy [132]:

1. systemy ogólnie zorientowane;
2. systemy zorientowane na określoną technikę przetwórstwa.

W pierwszej grupie programów, zwanej systemami CFD (*Computational Fluid Dynamics*) znajdują się np. takie pakiety programowe jak: POLYFLOW [133] czy POLYCAD [134]. Zastosowanie systemów ogólnie zorientowanych nie jest ograniczone do konkretnego procesu lub zagadnienia. Stanowią one narzędzia do rozwiązywania równań zachowania masy, pędu i energii dla różnych materiałów i w odniesieniu do różnych warunków przepływu. Podstawą tego typu modelowania jest każdorazowe zdefiniowanie analizowanego problemu. Są to tzw. modele o parametrach rozłożonych. Zakres zagadnień, które można rozwiązać przy pomocy tych pakietów jest bardzo szeroki i obejmuje np. zagadnienia takie jak analiza przepływów w kanałach o dowolnej geometrii, m.in. obliczenia dwuwymiarowych i trójwymiarowych pól prędkości, naprężeń, ciśnienia i temperatury z różnymi warunkami brzegowymi dla płynów rozrzedzanych ścinaniem, w tym również płynów lepkosprężystych, rozwiązywanie zagadnień powierzchni swobodnych, analizę przepływów wielowarstwowych czy procesów mieszania.

W drugiej grupie pakietów znajdują się programy, których działanie dotyczy zagadnień wyraźnie sformułowanych, w tym najczęściej przepływów. W przeciwieństwie do pakietów z pierwszej

grupy, są one ograniczone do określonej metody przetwórstwa. Modelowanie za pomocą tych systemów ma za każdym razem podobny charakter. Polega ono na wprowadzeniu do programu danych opisujących geometrię układu przepływowego (np. geometrię ślimaka lub głowicy), regulowane warunki przepływu (tzw. parametry robocze) oraz fizykochemiczną, cieplną i reologiczną charakterystykę materiału (tzw. parametry materiałowe), a następnie wykonaniu obliczeń i prezentacji wyników. W modelach tego typu kanał ślimaka jest zwykle podzielony na krótkie segmenty osiowe (przyrosty), w których parametry wyjściowe z bieżącego segmentu są parametrami wejściowymi dla następnego segmentu – są to więc klasyczne modele deterministyczne o parametrach skupionych (lokalnie skupionych – zakłada się bowiem, że w każdym segmencie parametry lokalne są stałe). W tej grupie programów znajduje się również własny model uplastyczniania przy wtryskiwaniu, który został stworzony i zweryfikowany przez autora, a który był już opisywany w niniejszym czasopiśmie.

Warto zwrócić uwagę na fakt, iż symulacji pełnego procesu uplastyczniania ślimakowego polimerów w dowolnym procesie przetwórczym nie da się wykonać wykorzystując system o przeznaczeniu ogólnym, gdyż w szczególności nie będzie on w stanie modelować transportu tworzywa stałego czy działania strefy stapiania. Do tego celu muszą być wykorzystane programy symulujące określony proces przetwórczy, czyli tzw. systemy zorientowane.

Jeśli chodzi o powstałe na bazie modeli matematycznych programy komputerowe, to pierwszy program komputerowy do symulacji procesu wylączania EXTRUD opracowali Tadmor i Klein [135]. Następnie pojawiło się kilka innych programów komputerowych do symulacji procesu wylączania jednoślímakowego, takich jak NEXTRUCAD [46], SPR [136], PASS [137] oraz REX [138, 139]. W międzyczasie pojawiły się także inne modele matematyczne procesu uplastyczniania polimerów w wylączarkach jednoślímakowych [140–143]. Warto podkreślić osiągnięcia krajowe – w latach 90. Wilczyński [144, 145] opracował program SSEM (*Single Screw Extrusion Model*) oraz niedawno opublikował program do symulacji wylączania jednoślímakowego kompozytów polimer-drewno [146].

Badania nad współbieżnym wylączaniem dwuślímakowym zostały zapoczątkowane przez White'a i jego współpracowników, w wyniku czego opracowano komputerowy model współbieżnego wylączania dwuślímakowego Akro-Co-Twin [147, 148]. Niezależne badania prowadzone przez Potente doprowadziły do opracowania programu SIGMA [149]. Vergnes i wsp. opracowali program LUDOVIC [150]. Pojawiły się ponadto inne programy do modelowania procesu wylączania współbieżnego [151, 152]. Badania nad wylączaniem dwuślímakowym przeciwbieżnym zostały również zainicjowane przez White'a i jego współpracowników. Ich rezultatem był pierwszy model komputerowy wylączania dwuślímakowego przeciwbieżnego Akro-Counter-Twin [69, 71]. Badania te kontynuował zespół Wilczyńskiego, który opracował program TSEM (*Twin-Screw Extrusion Model*) [74, 153].

LITERATURA

Literatura u autora.

Fragment monografii pt. „Modelowanie procesu uplastyczniania tworzyw polimerowych przy wtryskiwaniu”.

dr inż. Jacek Iwko

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny

Specjalność firmy El-term



KRÓTKA HISTORIA

Od 2002 roku projektujemy, produkujemy, dostarczamy maszyny, podzespoły automatyki i mechaniki maszyn, systemy sterowań i napędu maszyn.

Od 2008 przetwarzamy tworzywa sztuczne metodą rozdmuchu.

Od 2012 produkujemy formy rozdmuchowe.

PRZEGLĄD OFERTY

Produkcja maszyn: wyłaczarek, wyłaczarko-butelczarek z dolnym i górnym rozdmuchem i osprzętu.

Produkcja narzędzi: form rozdmuchowych, automatycznych stacji gradujących.

Produkcja: szaf i pulpitów sterowniczych, grzałek opaskowych. Projektowanie systemów sterowania maszyn do PTS.

Projektowanie i instalowanie napędów maszyn, sprzedaż przekładni, reduktorów, osprzętu do napędu maszyn.

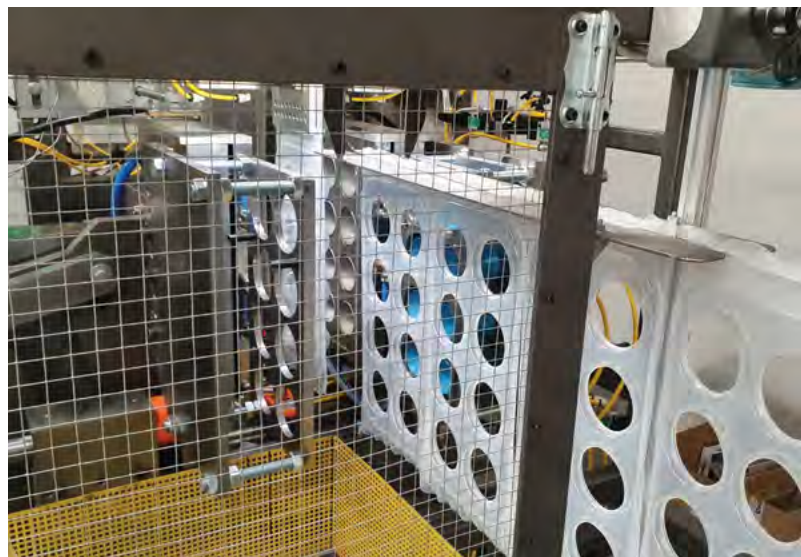
Projektowanie i sprzedaż układów pneumatyki, elektrozaworów, siłowników, osprzętu.

Sprzedaż: falowników, czujników, regulatorów temperatury, osprzętu elektrycznego i elektroenergetycznego.

Przetwórstwo tworzyw sztucznych: produkcja na własnych formach oraz produkcja usługowa.

Produkcja tub do zniczy z PP.

Od kilku lat specjalizujemy się w produkcji maszyn obsługujących formy rozdmuchowe dwustopniowe, umożliwiające produkcję wyrobów z zamkniętym pod ciśnieniem powietrzem, takich jak **piłeczki do suchych basenów**.



Dostarczamy kompletne linie produkcyjne wyposażone w formy 4-, 6-, 8-krotne. Podczas produkcji następuje oddzielenie gotowych piłeczek od ramek.

MASZYNY SERII WB-45-GR-1W-A

W pełni automatyczna wyłaczarko-butelczarka.

- średnica ślimaka fi 45 – 28 L/D;
- napęd główny 7,5 kW sterowany falownikiem vectorowym;
- napędy imadła – pneumatyczne;
- wyciskanie piłek – pneumatyczne;
- sterowanie pracą imadła: sterownik PLC Mitsubishi Electric oraz dotykowy panel operatorski;
- pobór energii (samej maszyny) – około 9 do 10 kW na godzinę;
- **wydajność formy: 6-gniazdowa, piłeczki fi 70, waga 8 g, 1200 do 1400 szt. na godzinę.**

PIŁECZKI FI 60 – FORMA 8-KROTNA

Maszyny produkujemy w konfiguracji prawo- lub lewostronnej.

WYDAJNOŚĆ

Forma 8 gniazd, piłeczki fi 60 – waga około 6–7 g, 1600 do 1700 szt. na godzinę.

Zapraszamy na nasz kanał na YouTube El-term Kraków, znajdują się tam filmy pokazujące maszyny podczas produkcji.

Zapraszamy do współpracy.



PPHU El-term Piotr Łukasiewicz

ul. Torowa 3R, 30-435 Kraków

tel. 607 561 644

el-term@el-term.pl, www.el-term.pl

www.pilkibasenowe.pl, e-mail: sklep@pilkibasenowe.pl

Analiza procesu wytłaczania narzędziem elastycznym

Mariusz Krakowski, Jarosław Bartnicki

Prezentowano wyniki prac dotyczących budowy modelu numerycznego procesu wytłaczania narzędziem elastycznym. W praktyce przemysłowej najczęściej spotyka się przekładki gumowe oraz elastomerowe, których zastosowanie wydatnie obniża koszty przygotowania narzędzi w porównaniu z tradycyjnymi, stalowymi tłocznikami. W artykule zaprezentowano rezultaty symulacji numerycznych zestawionych z procesem odkształcania narzędzia gumowego w specjalnie przygotowanym do tego przyrządzie modelowym. Wykorzystanie oprogramowania do modelowania numerycznego w połączeniu z przeprowadzeniem eksperymentu w warunkach laboratoryjnych pozwoliło na wstępne opracowanie modelu materiałowego do dalszych analiz procesów kształtowania narzędziami elastycznymi.

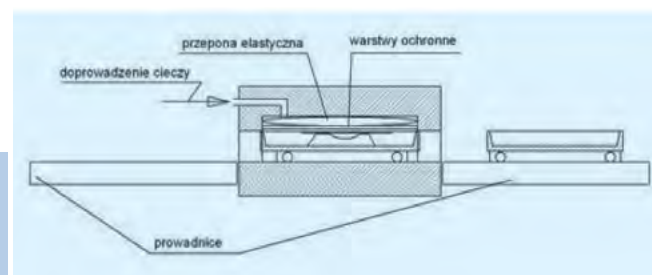
Rozwiązania dotyczące procesów tłoczenia narzędziami elastycznymi są wykorzystywane w przypadku produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Najlepszym przykładem szerokiego wdrożenia tej technologii jest cały przemysł lotniczy, gdzie stemple elastomerowe stosuje się do kształtowania różnego rodzaju blach poszyciowych, płyt przekładkowych, przegród ogniowych, wsporników oraz elementów łącznikowych. Niektóre z tych wyrobów pokazano na rys. 1. Generalnie dla lotnictwa charakterystyczne jest ciągłe udoskonalanie wyrobów, zmienianie ich i dostosowywanie do wymogów, co powoduje, że duże serie produkcyjne danego wyrobu nie mają uzasadnienia techniczno-ekonomicznego. Skomplikowane kształty produkowanych elementów, dopasowywane do krzywizn kadłuba oraz mieszczącego się w nim osprzętu, wymagają drogiego i skomplikowanego oprzyrządowania. Często po wykonaniu kilku sztuk lub pojedynczej partii próbnej wyrób jest zmieniany lub zastępowany nowszą wersją rozwojową, co generuje bardzo wysokie koszty. Względny ekonomiczny sprawiły, że tłoczenie narzędziami elastycznymi znalazło tak szerokie zastosowanie w tym przemyśle. Niewątpliwą zaletą tej metody jest to, że do wykonania wytłoczki na prasie z poduszką gumową wystarczy wykonanie sztywnej matrycy, natomiast rolę stempla pełni poduszka gumowa, która dopasowuje się do założonego kształtu. Dzięki temu ogranicza się realne koszty narzędziowe o połowę oraz redukuje czas wytworzenia elementów kształtujących. Niejednokrotnie zdarza się, że narzędzia zaprojektowane dla danego wyrobu można po użyciu przerobić, uwzględniając zmianę wprowadzaną w wyrobie, lub przeprojektować [1–4]. Wykorzystanie w projektowaniu wyników symulacji numerycznych, bazujących na metodzie elementów skończonych (MES), pozwala na dalsze skrócenie czasu

projektowania oraz szybkie zweryfikowanie poprawności przyjętych założeń konstrukcyjnych, uwzględniających zachowanie się blachy pod obciążeniem przenoszonym za pomocą elastycznego stempla. Możliwość wykrycia ewentualnych błędów na etapie konstrukcyjnym, a nie dopiero w trakcie wytwarzania narzędzi, podnosi komfort pracy człowieka i ogranicza do minimum ryzyko uzyskania niezadowolających rezultatów.

W zaprezentowanej analizie procesu tłoczenia zdecydowano się na prowadzenie symulacji w oprogramowaniu Simufact Forming, pozwalającym na wygenerowanie siatki elementów powierzchniowych, możliwie dokładnie odwzorowujących zakładany kształt półfabrykatu oraz powstającej wytłoczki.

REALIZACJA PROCESU TŁOCZENIA NARZĘDZIEM ELASTYCZNYM

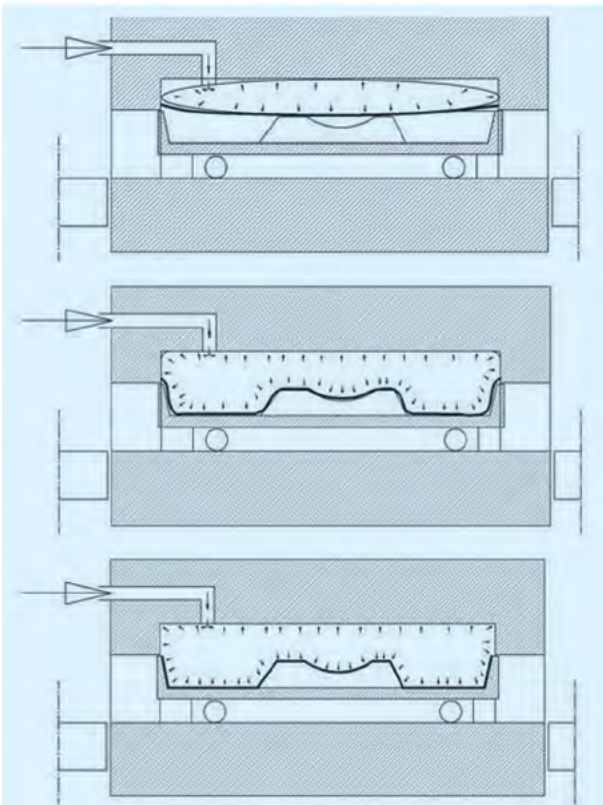
Realizacja procesu tłoczenia narzędziem elastycznym w warunkach przemysłowych opiera się najczęściej na zabudowaniu matrycy na stole przesuwającym się po prowadnicach



Rys. 2. Część dolna stołu z widocznymi listwami prowadzącymi



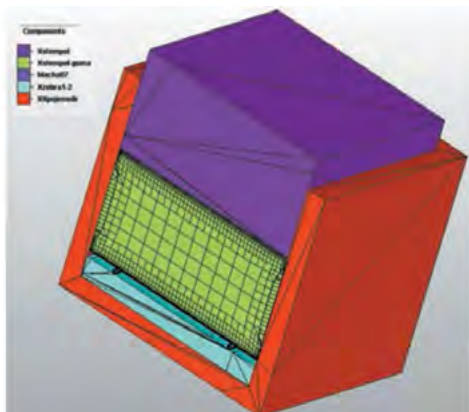
Rys. 1. Przykłady wyrobów tłoczonych stemplami elastycznymi



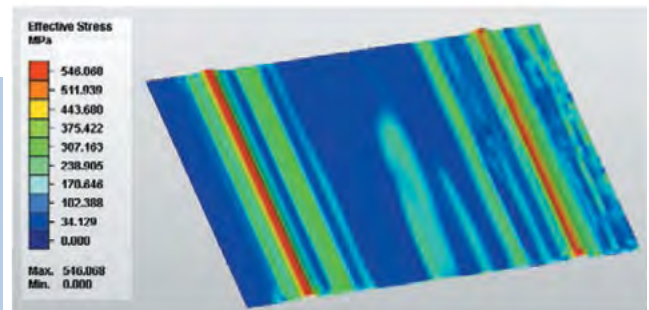
Rys. 3. Kolejne etapy procesu tłoczenia blachy narzędziami elastycznymi



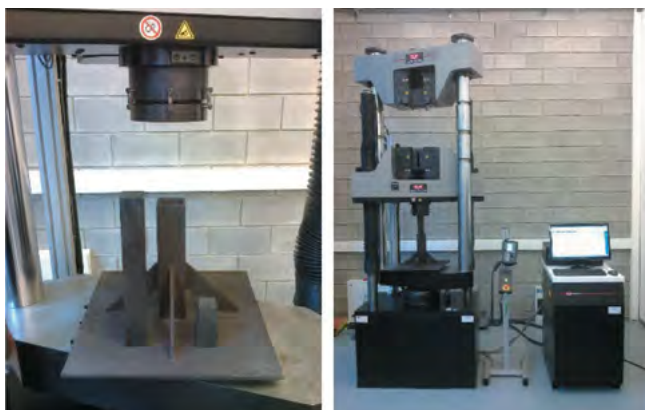
Rys. 4. Przykładowe prasy wykorzystywane do realizacji procesu tłoczenia narzędziami elastycznymi



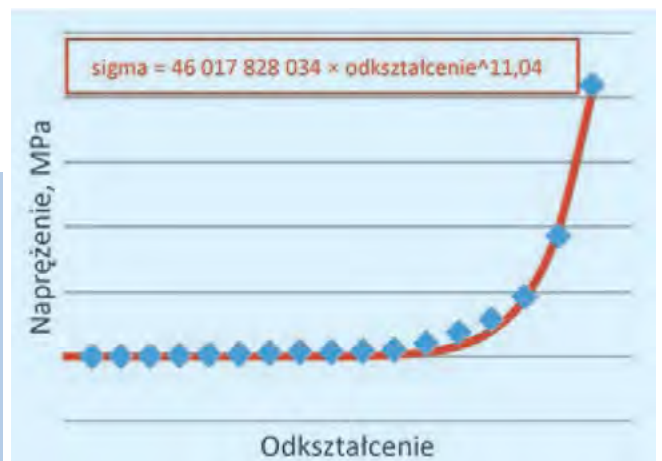
Rys. 5. Model numeryczny procesu tłoczenia stemplem elastycznym bez pokazanego półfabrykatu



Rys. 6. Rozkład naprężeń zastępczych w wyrobie kształtowanym narzędziem elastycznym (materiał Ti6Al4V)



Rys. 7. Przyrząd wraz ze stemplem gumowym oraz stalowym (po lewej) oraz jego zabudowa w maszynie wytrzymałościowej (po prawej)



Rys. 8. Wykres zależności naprężenie - odkształcenie, uzyskany w próbach ze stemplami gumowymi stosowanymi w praktyce przemysłowej

cach, które przygotowany zespół – z materiałem kształtowanym, warstwami ochronnymi oraz elastyczną przeponą – wprowadza w obszar roboczy prasy (rys. 2).

Po takim przygotowaniu procesu pozostaje jeszcze podanie cieczy roboczej pod odpowiednim ciśnieniem oraz utrzymanie przyjętego czasu kształtowania, który zależy od wielu czynników technologiczno-konstrukcyjnych (od grubości i rodzaju kształtowanego materiału, zakładanego kształtu wyrobu gotowego z uwzględnieniem głębokości tłoczenia i promieni gięcia itp.). Wprowadzenie w konstrukcjach lotniczych szerszego pakietowania blach oraz rozwiązań z przekładkami z innych materiałów spowodowało, że niektóre wyroby mogą być kształtowane po wcześniejszym złożeniu. Takie procesy są szczególnie trudne do realizacji z uwagi na możliwość różnego wydłużania się i zginania wzajemnie powiązanych ze sobą elementów struktury. W tym przypadku dodatkowe wprowadzenie naprężeń wewnętrznych na etapie powstawania elementu jest niewskazane, a czasami wręcz niebezpieczne. Z tego powodu opracowywane rozwiązania konstrukcyjne narzędzi elastycznych do tłoczenia uwzględniają niekiedy konieczność wyżarzania odprężającego w tych samych przyrządach, w których półfabrykaty są mocowane do procesu tłoczenia. Na rys. 3 przedstawiono kolejne etapy procesu kształtowania stemplem elastycznym, a na rys. 4 – przykładowe prasy hydrauliczne o konstrukcji tunelowej do realizacji opisywanego procesu.

Czeska prasa tunelowa firmy ZDAZ wymaga ustawienia matrycy z półfabrykatami na stole prasy. Po przesunięciu stołu po prowadnicach do strefy roboczej maszyny i złożeniu przygotowanego pakietu do powierzchni roboczej narzędzi następuje kształtowanie poprzez elastyczną przeponę, która oddziela komorę z narzędziami i półfabrykatami od komory roboczej z gumowym

elementem w kształcie worka, wypełnianego cieczą wciąganą pod dużym ciśnieniem. W przypadku szwedzkiej prasy tunelowej firmy AVURE ta ciecz osiąga ciśnienie robocze na poziomie do 800 bar. W praktycznej realizacji procesów tłoczenia narzędziami elastycznymi w prasach hydraulicznych tunelowych konieczne jest duże doświadczenie technologiczno-konstrukcyjne. Jednym z podstawowych problemów jest uzyskanie wyrobów mieszczących się w założonych tolerancjach wymiarowych, co przy narzędziu odkształcalnym wcale nie jest oczywiste [5–8].

ANALIZA NUMERYCZNA PROCESU TŁOCZENIA NARZĘDZIEM ELASTYCZNYM

Do obliczeń numerycznych procesów kształtowania narzędziami elastycznymi wybrano oprogramowanie Simufact Forming, które daje szerokie możliwości dyskretyzacji modelu geometrycznego półfabrykatu. Podział blachy na elementy skończone w przewidzianym do tego module Sheet Mesh gwarantował ich optymalny rozkład na grubości blachy (w obliczeniach przyjmowano 3 lub 5 elementów na grubości) oraz pozwalał na ograniczenie ich liczby. Na rys. 5 przedstawiono przygotowany do obliczeń model numeryczny narzędzi, za pomocą których realizowano tłoczenie 2 równoległych żeber o zmiennym kształcie w wyrobie blaszanym. Główną trudnością planowanej symulacji numerycznej było wprowadzenie modelu materiałowego gumy, z której wykonany był stempel. Przyjęte założenia w zakresie modułu Younga oraz liczby Poissona posłużyły do zbudowania modelu o charakterystyce liniowej, co jednak okazało się zbyt dużym uproszczeniem. Ponadto w trakcie prowadzonych analiz zdecydowano się na obudowanie elastycznego elementu gumowego sztywną obudową, ograniczającą przemieszczanie się gumy na boki. Do ▶

REKLAMA



ul. Mickiewicza 108, 38-200 Jasło
tel.: +48 13 44 620 51
email: info@obr-erg.pl

www.obr-erg.pl

OBR-ERG Sp. z o.o.

Maszyny i urządzenia do przetwórstwa tworzyw sztucznych

OBR-ERG Sp. z o.o. - Jasło został powołany do życia w 1979 r. Wieloletnie doświadczenie pozwoliło nam stać się specjalistami w produkcji maszyn i urządzeń do przetwórstwa tworzyw sztucznych.

Wykonujemy:

- linie technologiczne do wytłaczania rur z tworzyw sztucznych.
- linie technologiczne do wytłaczania profili z tworzyw sztucznych
- głowice wraz z układami kalibrująco - chłodzącymi dla rur i profili
- maszyny specjalistyczne takie jak: numeratory, perforatory, oklejarki, nawijarki i inne

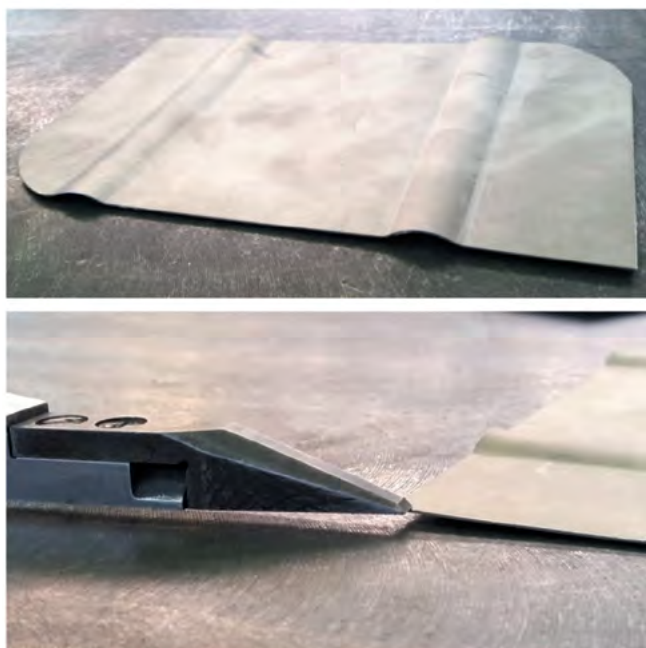
Informujemy, że jesteśmy bezpośrednim producentem wszystkich urządzeń z naszej oferty, dlatego gwarantujemy wieloletnią dostępność części zamiennych i wsparcie techniczne w okresie gwarancji i po jej zakończeniu.











Rys. 9. Przykładowy wyrób z 2 żebrami (na górze) oraz uwidoczniona odchyłka wymiarowa do wyeliminowania (na dole)

piero tak przygotowany model geometryczny zapewnił wywarcie odpowiedniego nacisku, dającego możliwość odkształcania się przyjętej do obliczeń blachy tytanowej o grubości 0,5 mm. Wybór tytanu wynikał z szerokiego zastosowania tego materiału w produkcji lotniczej, np. do wykonywania przegród ogniowych lub wsporników. W przypadku tego typu wyrobów obok konieczności cięcia na wymiar zachodzi też potrzeba wprowadzania żeber usztywniających te bardzo lekkie struktury. Wyniki obliczeń wstępnych przedstawiono na rys. 6, gdzie podano przykładowy rozkład naprężeń zastępczych na koniec procesu kształtowania.

W celu dokładniejszego opisanego warunków analizowanego numerycznie procesu konieczne stało się zbudowanie modelu materiałowego narzędzia elastycznego. Zdecydowano się więc na badania doświadczalne z wykorzystaniem specjalnie przygotowanego przyrządu badawczego, który zabudowano w maszynie wytrzymałościowej znajdującej się w laboratoriach Politechniki Lubelskiej (rys. 7). Po przeprowadzeniu prób ściskania stempli gumowych (wykonanych z dostępnego materiału komercyjnego) o różnej wysokości (50, 100 i 150 mm) wyznaczono zależność naprężenie – odkształcenie, której równanie i wykres przedstawiono na rys. 8.

Na podstawie obliczeń dla podanego modelu materiałowego obecnie analizowane są procesy tłoczenia żeber na blachach

tytanowych (rys. 9) – w tym przypadku problemem są najczęściej fałdowanie oraz tzw. luźne pola. Niestety, każdy z analizowanych procesów przy zmianie materiału stempla elastycznego wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań, aby przygotować dane do modeli materiałowych stosowanych w oprogramowaniu MES.

PODSUMOWANIE

Zastosowanie oprogramowania MES na etapie konstruowania przyrządów do procesów tłoczenia narzędziami elastycznymi znacząco upraszcza procedurę wdrożeniową tej technologii. Ustalenie prawidłowego kształtu narzędzia sztywnego oraz dobór charakterystyki stempli elastycznych w odniesieniu do przykładanych sił kształtowania wciąż stanowi istotny problem technologiczny. Zagadnienia te stają się coraz trudniejsze i mniej przewidywalne wraz ze wzrostem skomplikowania konstrukcji złożonych z elementów produkowanych tą metodą. Dalszy rozwój technik obliczeniowych znacznie ułatwia projektowanie i możliwe, że w nowych wersjach oprogramowania symulacyjnego znajdą się modele komercyjnie stosowanych materiałów.

LITERATURA

- [1] Z. Marciniak: Konstrukcja tłoczników. Warszawa: Ośrodek Techniczny A. Marciniak Sp. z o.o., 2002.
- [2] F. Klocke: Manufacturing Prozesse". 4. Forming RWTH, Aachen 2014.
- [3] K. Großmann, H. Wiemer, A. Hardtmann, L. Penter, S. Krichenbauer: Adjusting the Contact Surface of Forming Tools in Order to Compensate for Elastic Deformations during the Process. 7th European LS-DYNA Conference Institute for Machine Tools and Control Engineering, TU Dresden, Dresden, Germany 2009.
- [4] W.P. Romanowski: Poradnik obróbki plastycznej na zimno. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1976.
- [5] W.P. Romanowski: Tłoczenie na zimno. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1974.
- [6] Z. Pater, G. Samołyk: Podstawy technologii obróbki plastycznej metali. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2013.
- [7] J.R. Paquin, R.E. Crowley: Die design fundamentals. Second edition. NY: Industrial Press Inc., 1987, s. 244.
- [8] Progressive Die Wizard Help, EDS 2003.

Artykuł został zamieszczony w czasopiśmie „Mechanik” nr 11/2017, s. 982-984.

mgr inż. Mariusz Krakowski

dr hab. inż. Jarosław Bartnicki

Katedra Obróbki Plastycznej Metali, Politechnika Lubelska

REKLAMA

Tworzywa Sztuczne Przemysle

Zapraszamy na naszą stronę internetową
www.tworzywasztuczne.biz



TURN ON

Versatile yet specific - we always offer exactly the right tool for solutions perfectly tailored to you. **GRAFE** - Turning **Good** into **Great**.

GRAFE [®]

FUTURE IN PLASTICS

turn-on.grafe.com



REKLAMA

PLASTIC PROCESSING MACHINES

POL-SERVICE MAJCHER



Oferujemy:

- Układy plastyfikujące do wytłaczarek
- Wytłaczarki jedno i dwuślimakowe stożkowe i równoległe
- Linie do recyklingu i granulacji tworzyw
- Linie do produkcji rur i profili
- Młyny, Shreddery, Mieszalniki
- Kompandery
- Zmieniacze sit

**ZAPEWNIAMY,
WYSOKĄ JAKOŚĆ
I SZYBKIE DOSTAWY
Z NASZEGO MAGAZYNU**



Pol-Service Majcher Jacek
35-317 Rzeszów, ul. Budziwojska 90, tel. +48 17 229 3456, fax +48 17 229 3333
e-mail: maszyny@pol-service.pl | www.pol-service.com | www.pol-service.pl

OMNIPLAST – konkurs o znajomości branży z nagrodami!

Przed nami XXVII edycja Międzynarodowych Targów Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych PLASTPOL. To najważniejsze i największe dla branży przetwórstwa tworzyw sztucznych targi w Polsce oraz cenione wydarzenie w Europie, będące istotną platformą wymiany wiedzy m.in. o kierunkach rozwoju i nowych technologiach, oraz szeregu propozycji o charakterze naukowym i technicznym. Jedną z nich jest konkurs OMNIPLAST, popularyzujący wiedzę dotyczącą tworzyw sztucznych i technologii ich przetwórstwa.

ZMAGANIA CZAS ZACZAĆ

Konkurs podzielony jest na trzy etapy. Pierwszy etap rozpocznie się już 1 lutego i potrwa do 23 maja. Po dokonaniu rejestracji każdy z uczestników konkursu otrzyma drogą mailową zestaw 10 pytań związanych z technologiami przetwórstwa TS, a także poświęconych ogólnej tematyce rynku tworzyw sztucznych w Polsce i w Europie. Czas udzielania odpowiedzi mija 31 marca. Na podstawie przesłanych odpowiedzi utworzona zostanie klasyfikacja punktowa uczestników Etapu 1.

Drugi etap, przeprowadzony również drogą elektroniczną, rozpocznie się 1 kwietnia. Jury będzie miało miesiąc na wyłonienie dziesiątki finalistów. Do udziału w drugim etapie zostanie zakwalifikowanych maksymalnie 30 uczestników konkursu.

Etap trzeci odbędzie się w formie pisemnej w trakcie pierwszego dnia XXVII Międzynarodowych Targów Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych PLASTPOL na terenie Targów Kielce.

CENNE NAGRODY CZEKAJĄ


Pierwszy dzień targów PLASTPOL to również data wielkiego finału konkursu. Trzej najlepsi uczestnicy otrzymają nagrody o łącznej wartości 12 tys. zł. Dodatkowo za zajęcie pierwszego miejsca zwycięzca otrzyma bon o wartości 6 tys. zł. Drugie i trzecie miejsce to wygrane o wartości kolejno 4 i 2 tys. zł.

Wręczenie nagród odbędzie się w trakcie Uroczystej Gali Laureatów Konkursu Targowego, w dn. 24 maja 2023 r.

Dlatego zachęcamy do wzięcia udziału w rywalizacji. Rejestrujcie się i wygrywajcie!

Źródło: www.targikielce.pl

REKLAMA



POLITECHNIKA POZNAŃSKA



STUDIA PODYPLOMOWE

”Przetwórstwo tworzyw sztucznych i gumy”

Kształcenie i przygotowanie kadry inżynierskiej zamierzającej podjąć pracę na stanowisku kierownika produkcji, technologa, logistyka i konsultanta w zakładach przetwórstwa oraz dystrybucji tworzyw sztucznych.

Termin realizacji: październik 2023 - wrzesień 2024

Terminy zjazdów: w piątki od godz. 15³⁰-19¹⁵ oraz w soboty od godz. 8³⁰-15⁰⁰

Studia w formie wykładów i zajęć laboratoryjnych

REKRUTACJA od lipca 2023

KONTAKT:

Dr inż. Kinga Mencil
kinga.mencil@put.poznan.pl
tel.: +48 61 665 27 87
<https://www.put.poznan.pl/studia-podyplomowe>

Rejestracja na stronie: rekrutacja.put.poznan.pl

Rozwiązanie technologiczne ślimaka do przetwórstwa tworzyw sztucznych

Tadeusz Nieszporek, Paweł Palutkiewicz, Włodzimierz Baranowski

Prezentowano innowacyjne rozwiązanie konstrukcji ślimaka do przetwórstwa tworzyw sztucznych. Opisywany ślimak jest przedmiotem wynalazku zgłoszonego w Polskim Urzędzie Patentowym. Jest to ślimak do przetwórstwa tworzyw sztucznych, zwłaszcza barwionych, oraz tworzyw napęnlanych i tworzyw charakteryzujących się małą różnicą pomiędzy temperaturą uplastycznienia i temperaturą degradacji. W artykule omówiono cechy charakterystyczne ślimaka oraz sposób jego wykonania

W zależności od rodzaju prowadzonej produkcji konstrukcja jednostki plastyfikującej może mieć decydujący wpływ na osiągane wyniki ekonomiczne i jakościowe. Dotyczy to zwłaszcza produkcji detali o dużych objętościach wtrysku – w tym przypadku istotna jest wydajność jednostki plastyfikującej. Układ plastyfikujący musi zapewniać optymalną homogenizację tworzywa oraz wysoką wydajność plastyfikacji. Gdy produkowane są detale wymagające stosunkowo długiego chłodzenia, wtryskarka ma zazwyczaj dostateczny zapas czasu, aby przeprowadzić fazę dozowania. Jeżeli produkcja opiera się na krótkich cyklach, ważne jest maksymalne skrócenie czasu dozowania, a jednocześnie zachowanie dobrej homogenizacji tworzywa. Aby spełnić te wymagania, należy się odwołać do specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych układów plastyfikujących (rys. 1), które zapewniają: wysoką wydajność plastyfikacji, dobrą homogenizację tworzywa oraz (co często przysparza wielu problemów) szybką zmianę kolorów lub rodzajów przetwarzanego tworzywa [1].

Problem właściwego wybarwienia wyrobów w przypadku ograniczonego czasu plastyfikacji często występuje w masowej produkcji detali z trudno płynących poliolefin. Stosowane zazwyczaj 3-strefowe ślimaki o standardowej konstrukcji nie pozwalają na pogodzenie wymagań dotyczących jakości i wydajności. Rozwiązaniem może być użycie ślimaków o specjalnej konstrukcji. Przeprowadzone testy oraz doświadczenia z zastosowania ślimaków mieszających potwierdziły ich przewagę nad ślimakami konwencjonalnymi. Dzięki zastosowaniu ślimaków mieszających uzyskano [1–3]:

- poprawę jakości powierzchni wyprasek;
- lepszy rozkład barwników;
- równomierną jakość powierzchni;
- zwiększoną wydajność plastyfikacji, co pozwoliło na skrócenie czasu dozowania;
- mniejsze zużycie energii potrzebnej do plastyfikacji danej porcji tworzywa;
- ograniczenie liczby wyprasek odrzucanych z powodu wad jakościowych;
- ograniczenie liczby braków powstających przy zmianie typu lub koloru wtryskiwanego tworzywa.

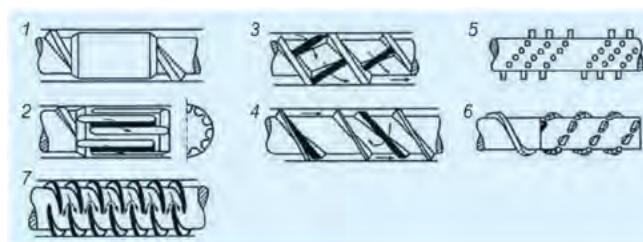
Zalety ślimaków mieszających uwypuklają się zwłaszcza w procesach wtrysku charakteryzujących się [1–3]:

- dużą dawką dozowania,
- potrzebą stosowania wysokich prędkości obrotowych ślimaka,
- krótkimi czasami chłodzenia.

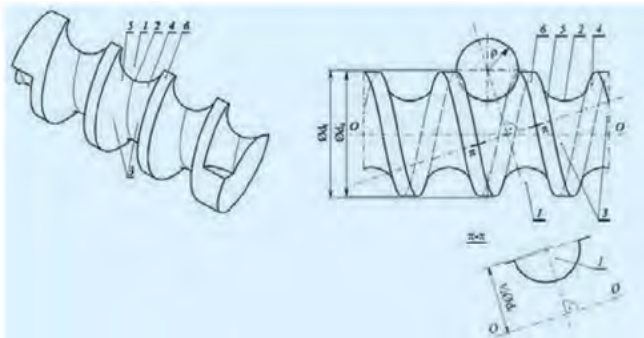
Ślimaki mieszające (rys. 2) stosuje się nie tylko w przetwórstwie poliolefin, produkcji opakowań czy artykułów gospodarstwa domowego. Specjalne układy plastyfikujące wykorzystuje się również w produkcji detali technicznych – np. zderzaków samochodowych oraz elementów kucharek lub pralek. Dzięki zwiększeniu płynności tworzywa i poprawie wybarwienia uzyskuje się wymierne korzyści ekonomiczne. Ślimaki mieszające nadają się do przetwórstwa różnorodnych tworzyw termoplastycznych.



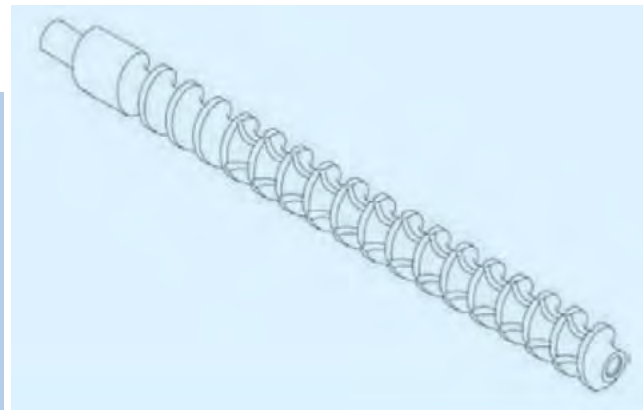
Rys. 1. Przykłady ślimaków niekonwencjonalnych



Rys. 2. Elementy intensywnego ścinania i mieszania ślimaków niekonwencjonalnych: 1 - element typu torpeda, 2 - element Maddocka, 3 - element z poprzecznymi zaporami w kanale przepływu, 4 - element Maillefera, 5 - element z występami mieszającymi, 6 - element o nieciągłym uzwojeniu, 7 - element Rheotoc [3, 4]



Rys. 3. Ślimak do przetwórstwa tworzyw sztucznych: 1 - kanał śrubowy, 2 - rdzeń ślimaka, 3 - powierzchnie boczne, 4 - powierzchnia czynna, 5 - powierzchnia bierna, 6 - zwój ślimaka [5]



Rys. 4. Widok izometryczny ślimaka [6]

W przypadku produkcji wyprasek, które muszą spełniać wysokie wymagania dotyczące jakości powierzchni, typowym problemem jest uzyskanie jednolitego wybarwienia. Odpowiednią kolorystykę detalu uzyskuje się przez oddziaływanie na proces plastyfikacji tworzywa lub dodanie większych ilości przedmieszek. Obie metody generują niestety dodatkowe koszty. W pierwszym przypadku zwykle następuje wydłużenie cyklu produkcji, a w drugim zachodzi potrzeba stosowania większej ilości drogiej przedmieszki. Ślimaki mieszające umożliwiają poprawę efektu wybarwienia z jednoczesnym ograniczeniem ilości przedmieszki, obniżeniem ciśnienia plastyfikacji i skróceniem czasu dozowania. Dzięki ślimakom o specjalnej konstrukcji można więc istotnie zredukować koszty produkcji, a dodatkowo poprawić jakość produktu. Innym czynnikiem przemawiającym za zastosowaniem ślimaków mieszających jest zmniejszenie problemów związanych ze zmianą przetwarzanych tworzyw.

Zmiana koloru produkowanego detalu często wiązała się z koniecznością przetryskiwania układów plastyfikujących specjalnymi tworzywami czyszczącymi, a mimo to na detalach w nowym kolorze pojawiały się wtrącenia lub pozostałości starego koloru. Ślimaki mieszające są projektowane tak, aby uniemożliwić zaleganie starego tworzywa. Ich konstrukcja zapewnia szybkie i bezstratne przejście na nowy materiał. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne podobnych ślimaków zostały przedstawione w polskich opisach patentowych nr 195293 oraz 195292.

Istotą wynalazku [5], omawianego w tym artykule, jest taka konstrukcja ślimaka, która umożliwi lepszą homogenizację tworzyw barwionych oraz tworzyw z napelniającymi. Ślimak na swojej długości ma segment o powierzchni kanałowej śrubowej, który znajduje się w tej części układu uplastyczniającego wtryskarki (lub wyłaczarki), w której tworzywo jest w stanie plastycznym. Celem zastosowania tego segmentu jest ułatwienie homogenizacji różnych tworzyw lub dodatków, a także obniżenie temperatury i zmniejszenie wpływu tarcia, aby umożliwić przetwarzanie tworzyw o małej różnicy pomiędzy temperaturą topnienia i temperaturą degradacji. Cechą charakterystyczną tego rozwiązania jest to, że powierzchnia kanału w strefie dozowania jest zakreślona przez kulę w ruchu śrubowym, przy czym powierzchnia kanału w przekroju prostopadłym do wzniosu linii śrubowej, zakreślonej przez środek kuli tworzącej powierzchnię kanałową, ma zarys kołowy, a środek koła znajduje się powyżej średnicy zewnętrznej ślimaka.

Na tle znanych konstrukcji ślimaków, zwłaszcza z elementami intensywnego ścinania, rozwiązanie będące przedmiotem wynalazku wyróżnia się specjalnym zarysem ślimaka w strefie dozowania. Poza tym kanałowa powierzchnia śrubowa zwojów ślimaka pozwala na lepsze wymieszanie tworzyw barwionych oraz

tworzyw z napelniającymi. Specjalny kształt powierzchni zwojów ślimaka zmniejsza tarcie tworzywa o powierzchnię ślimaka w trakcie procesu przetwórstwa, co obniża jego temperaturę i tym samym eliminuje ryzyko degradacji tworzywa.

Ślimak do przetwórstwa tworzyw sztucznych (rys. 3) ma: kanał śrubowy (1), którego dno stanowi powierzchnia rdzenia (2) ślimaka, natomiast ścianki boczne (3) są utworzone przez powierzchnię czynną (4) i bierną (5) zwojów (6) ślimaka. Powierzchnia kanału (1) w strefie dozowania jest utworzona w wyniku ruchu śrubowego kuli, przy czym środek kuli znajduje się poza średnicą zewnętrzną ślimaka. Kanał (1) w strefie dozowania w przekroju prostopadłym do wzniosu linii śrubowej ma zarys kołowy.

Możliwe jest ponadto łatwe wykonanie elementów intensywnego ścinania tworzywa na powierzchni ślimaka, a mianowicie przez nacięcie rowków [6]. Izometryczny szkic takiego ślimaka przedstawiono na rys. 4.

POWIERZCHNIA ŚRUBOWA KANAŁOWA

Powierzchnie śrubowe kształtowane są w obróbce wykończeniowej (frezem lub ściernicą) metodą obwiedniową z wykorzystaniem narzędzia obrotowego. Ze względów technologicznych (proste geometrycznie narzędzie) powierzchnie ślimaków najczęściej są kształtowane jako powierzchnie śrubowe stożkopochodne narzędziem o zarysie osiowym prostoliniowym powierzchni działania narzędzia. Z uwagi na specyfikę obróbki obwiedniowej powierzchnia działania narzędzia i powierzchnia obrabiana mają różne zarysy. W przypadku powierzchni śrubowych stożkopochodnych powierzchnia ślimaka w żadnym przekroju nie jest prostoliniowa, co utrudnia sprawdzanie dokładności obróbki. Podobny problem występuje w przypadku powierzchni śrubowych torusopochodnych, obrabianych narzędziem o zarysie kołowym w przekroju osiowym powierzchni działania narzędzia. Przekładnie ślimakowe wklęsło-wypukłe (w których powierzchnia ślimaka jest torusopochodna) mają lepsze właściwości eksploatacyjne w porównaniu z przekładniami konwencjonalnymi (ze ślimakiem stożkopochodnym). Natomiast w przetwórstwie tworzyw sztucznych stosowanie ślimaków torusopochodnych jest szczególnie korzystne ze względu na lepsze wymieszanie tworzywa w układzie uplastyczniającym wtryskarki lub wyłaczarki. Szczególnym przypadkiem powierzchni śrubowej torusopochodnej jest powierzchnia śrubowa kanałowa, która może być kształtowana jako obwiednia rodziny kul. Zarys takiej powierzchni w przekroju charakterystycznym jest kołowy. Biorąc pod uwagę uwarunkowania technologiczne, zadanie polega na kształtowaniu powierzchni śrubowej kanałowej narzędziem obrotowym, które w przypadku ogólnym nie jest kulą.

**POWIERZCHNIA ŚRUBOWA KANAŁOWA
KSZTAŁTOWANA METODĄ OBWIEDNIOWĄ**

Powierzchnia śrubowa kanałowa jest generowana przez kulę w jej ruchu śrubowym. Otrzymana powierzchnia jest obwiednią rodziny kul, a charakterystyka, czyli linia chwilowego styku kuli z powierzchnią śrubową, jest okręgiem [7]. Normalne do charakterystyki przecinają środek kuli, a normalne do płaszczyzny charakterystyki są styczne do toru środka kuli. Powierzchnia śrubowa kanałowa może być zatem kształtowana także narzędziem obrotowym o zarysie kołowym w przekroju osiowym powierzchni działania narzędzia (ściernicą lub frezem – tarczowym, palcowym, wirowym, garnkowym [7–9]), skróconym względem osi powierzchni śrubowej tak, że płaszczyzna zarysu osiowego narzędzia jest prostopadła do linii śrubowej toru środka kołowego zarysu osiowego narzędzia. W przypadku ustalonej geometrii powierzchni śrubowej ślimaka odległość środka kołowego zarysu osiowego narzędzia i skrócenie narzędzia do obróbki powierzchni śrubowej kanałowej zależą od promienia zarysu kołowego narzędzia. Dla założonej odległości środka kołowego zarysu osiowego narzędzia od osi ślimaka oraz założonego kąta ustawienia płaszczyzny zarysu kołowego narzędzia względem osi ślimaka można wyznaczyć skok powierzchni śrubowej na dowolnej średnicy (rys. 5) z następującego warunku stałego skoku:

$$h = 2\pi b t g \beta = 2\pi r_1 t g \beta_1 \quad (1)$$

gdzie: h – skok powierzchni śrubowej ślimaka; b – odległość środka zarysu kołowego narzędzia od osi ślimaka; β – kąt między normalną do płaszczyzny zarysu kołowego osiowego narzędzia a osią ślimaka; r_1 – promień podziałowy ślimaka; β_1 – kąt wzniosu linii śrubowej zwojów ślimaka na walcu podziałowym.

Założono, że zarys osiowy ślimaka ma być otwarty, co oznacza, że normalna do osi ślimaka przecina jego zarys w jednym punkcie. Jest to warunek istotny z punktu widzenia technologii obróbki ślimaka:

$$b \geq \frac{d_a}{2} \Rightarrow b = b_1 \vee b_2 \quad (2)$$

gdzie: d_a – średnica zewnętrzna ślimaka; b – odległość od osi ślimaka do początku układu współrzędnych zarysu (indeks dolny identyfikuje zarys).

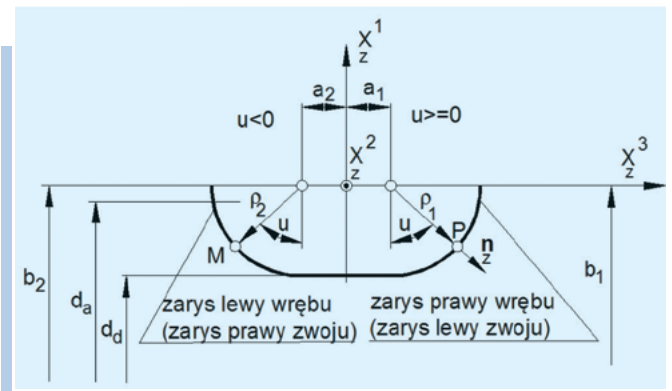
Założono, że w ogólnym przypadku boczne powierzchnie zwojów (boczne powierzchnie wrębu) mogą być kształtowane jako wycinki 2 powierzchni śrubowych kanałowych o różnych promieniach. Zatem boczne powierzchnie zwojów ślimaka mogą być obrabiane za pomocą 2 różnych narzędzi (o różnych zarysach osiowych powierzchni działania narzędzia). Równania zarysu kołowego i normalnych do tego zarysu w układzie współrzędnych zarysu (dolny indeks identyfikuje układ współrzędnych) są następujące (rys. 5):

$$x_z(u) = [-\rho \cos u, 0, a + \rho \sin u]^T \Rightarrow u \in \left\langle -\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right\rangle, \quad (3)$$

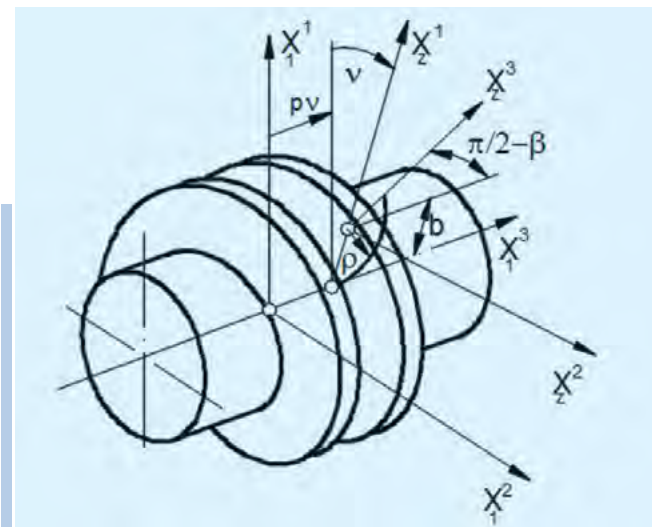
$$a = a_1 \vee a_2, \quad \rho = \rho_1 \vee \rho_2$$

$$n_z = [-\cos u, 0, \sin u]^T \quad (4)$$

gdzie: ρ – promień zarysu osiowego kołowego narzędzia; u – parametr położenia punktu na zarysie narzędzia; a – współrzędna położenia środka zarysu kołowego narzędzia w układzie współrzędnych zarysu.



Rys. 5. Zarys kołowy ślimaka



Rys. 6. Schemat wyznaczania powierzchni śrubowej kanałowej

W zależności (3) podano maksymalny zakres wartości parametru u zarysu dla zarysów otwartych, który w obliczeniach dla konkretnych przypadków musi uwzględniać warunek (2) dla średnicy zewnętrznej i analogiczny warunek dla średnicy dna wrębów:

$$d_a \geq (b - \rho) \quad (5)$$

Ze specyfiki obróbki obwiedniowej wynika, że zarys osiowy powierzchni śrubowej nie jest wycinkiem okręgu (jest zbliżony do zarysu kołowego). Powierzchnia śrubowa może być opisana jako obwiednia rodziny powierzchni działania narzędzia lub jako powierzchnia opisana ruchem śrubowym charakterystyki. W pierwszym przypadku, jak wynika z teorii narzędzi skrawających i klasycznej metody wyznaczania obwiedni [8], obok równania rodziny powierzchni trzeba sformułować i rozwiązać warunek obwiedni.

Ponadto w pierwszym przypadku trzeba uwzględnić rodzaj narzędzia i jego średnicę. Narzędzie w formie kuli może być rozpatrywane jako szczególny przypadek narzędzia palcowego lub garnkowego. Dlatego też opisano powierzchnię śrubową ślimaka, wykorzystując położenie charakterystyki w układzie współrzędnych obrabianego ślimaka.

Kąt zarysu osiowego narzędzia może zawierać się w przedziale podanym w zależności (3), ale w praktyce użyteczny zarys ślimaka będzie ograniczony średnicą zewnętrzną oraz średnicą dna wrębu ślimaka.

Biorąc pod uwagę ustawienie i względny ruch śrubowy narzędzia (zarysu) w układzie współrzędnych ślimaka (rys. 6), równanie powierzchni śrubowej kanałowej jest następujące:

$$\mathbf{x}_1(u, v) = [3, -v] \begin{bmatrix} 1, -\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) \end{bmatrix}_z \mathbf{x} + [b, 0, 0]^T \pm [0, 0, pv]^T \quad (6)$$

przy czym:

$$p = \frac{h}{2\pi} \quad (7)$$

gdzie: v – parametr względnego ruchu śrubowego zarysu kołowego narzędzia i ślimaka, p – parametr ruchu śrubowego, \pm – odpowiednio dla ślimaka lewo- i prawozwojnego.

Aby wyznaczyć zarys osiowy powierzchni śrubowej ślimaka, do równania (6) należy dołączyć warunek:

$$\chi^2 = 0 \quad (8)$$

Jeżeli dla kolejnych punktów zarysu ślimaka, określonych kolejnymi wartościami parametru u , z warunku (6) wyznaczy się wartości parametru v , to normalne do zarysu osiowego ślimaka w kolejnych jego punktach określonych na podstawie równania (6), można wyznaczyć z zależności:

$$\mathbf{n}_1(u, v) = [3, -v] \begin{bmatrix} 1, -\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) \end{bmatrix}_z \mathbf{n} \quad (9)$$

Ostatecznie otrzymano więc zarys osiowy powierzchni śrubowej kanałowej i normalne do tej powierzchni w punktach jej przekroju osiowego. Na rys. 7 przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń (parametry powierzchni, współrzędne zarysu osiowego) dla ślimaka o promieniu zarysu kołowego równym $\rho = 30$ mm w płaszczyźnie skierowanej pod kątem $\beta_1 = 11,31^\circ$ do osi ślimaka oraz promienie od środka zarysu do punktów zarysu w płaszczyźnie osiowej (przyjęto: $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, $a_1 = a_2 = 0$).

Do kształtowania powierzchni śrubowych ślimaków coraz częściej stosuje się uniwersalne lub specjalne obrabiarki CNC sterowane numerycznie. Ze względów ekonomicznych (wyeliminowanie szlifowania) i ekologicznych (łatwiejsze odprowadzanie wiórów) dominuje obróbka wykończeniowa frezowaniem, która zapewnia wydajność i dokładność również w przypadku obróbki powierzchni utwardzonych. Wykonanie powierzchni śrubowej ślimaka narzędziem o zarysie kołowym w przekroju osiowym o określonym promieniu zarysu jest trudne do realizacji. Frezy

z wymiennymi płytkami z węglików spiekanych lub pełnowęglkowe, używane powszechnie w obrabiarkach CNC, są wygodne w eksploatacji, ale mają złożoną geometrię i wysoką cenę. Dotyczy to głównie frezów o dużych średnicach z płytkami o zarysie kołowym. Dlatego też w praktyce w maszynach i urządzeniach stosuje się ślimaki stożkopochodne kształtowane narzędziami obrotowymi o zarysie osiowym prostoliniowym powierzchni działania narzędzia. Zarys osiowy takich ślimaków nie jest prostoliniowy, co utrudnia sprawdzenie dokładności ich wykonania.

Powierzchnie śrubowe wklęsło-wypukłe mają lepsze właściwości eksploatacyjne, dlatego są stale rozwijane i stają się coraz bardziej popularne. Te rozważania dotyczą kształtowania powierzchni śrubowej kanałowej narzędziem torusopochodnym (o zarysie kołowym w przekroju osiowym powierzchni działania narzędzia) na pełnej wysokości zarysu w przejściu wykończeniowym. Narzędziem może być frez palcowy, tarczowy, wirowy lub garkowy.

Dalej opisano obróbkę zadanej powierzchni metodą wierszowania, która może być technologią konkurencyjną.

KSZTAŁTOWANIE POWIERZCHNI ŚRUBOWEJ KANAŁOWEJ METODĄ WIERSZOWANIA

W tym przypadku powierzchnia śrubowa ślimaka jest obrabiana w wielu przejściach narzędzia, którym może być frez palcowy walcowy lub palcowy sferyczny (walcowy lub stożkowy z zakończeniem sferycznym) [10]. Ze względów technologicznych zdecydowano się na frez palcowy sferyczny. O ile w metodzie klasycznej obróbki obwodniowej narzędzie i przedmiot obrabiany (ich zarysy) są sprzężone, to tu jest inaczej. Narzędzie ma charakter uniwersalny i jego zarys nie zależy od zarysu przedmiotu obrabianego (ślimaka). Narzędziem jest frez palcowy o niewielkiej średnicy, dostępny w handlu i tani. Istotne jest ustawienie narzędzia dla kolejnego przejścia.

Jeżeli weźmie się pod uwagę dowolny punkt zarysu osiowego ślimaka, w którym narzędzie ma być styczne do powierzchni śrubowej ślimaka, to normalna do powierzchni ślimaka w tym punkcie powinna przechodzić przez środek sfery frezu (sferycznego zakończenia narzędzia). Zatem położenie środka sfery dla kształtowania ślimaka w danym punkcie jego zarysu osiowego, w układzie współrzędnych ślimaka, może być określone równaniem:

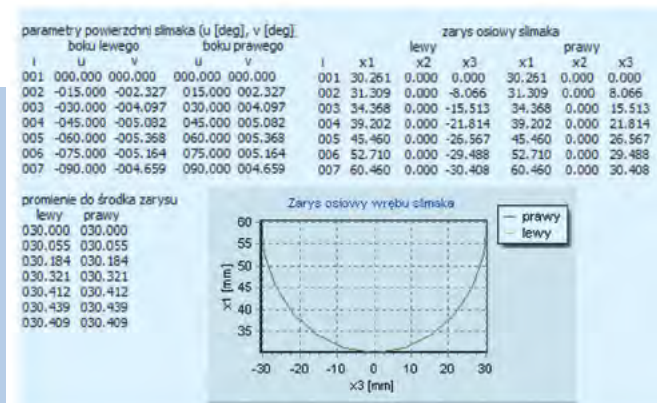
$$\mathbf{x}_N^{(S)} = \mathbf{x} + r \mathbf{n} \quad (10)$$

gdzie: r – promień sferycznego zakończenia frezu palcowego.

Odkładając promienie narzędzia w kolejnych punktach zarysu osiowego ślimaka po normalnych do powierzchni śrubowej zwojów ślimaka w tych punktach, wyznacza się współrzędne położenia środka narzędzia w momencie kształtowania ślimaka w przekroju osiowym. Punkty te (środek sfery) muszą zostać przeniesione ruchem śrubowym na płaszczyznę osiową ślimaka, a wyznaczone parametry tych punktów w płaszczyźnie osiowej ślimaka są parametrami ustawienia narzędzia na obrabiarce CNC. Parametr ruchu śrubowego (kąt) dla przeniesienia tych punktów na płaszczyznę osiową ślimaka można wyznaczyć z zależności:

$$\psi = \arctg \frac{\mathbf{x}_N^{2(S)}}{\mathbf{x}_N^{1(S)}} \quad (11)$$

gdzie: ψ – kąt między promieniem wodzącym punktu środka sfery frezu palcowego a płaszczyznę osiową ślimaka w momencie kształtowania danego punktu zarysu osiowego ślimaka.



Rys. 7. Zarys osiowy ślimaka: $h = 62,832$, $r_1 = 50$, $\beta_1 = 11,31^\circ$, $\beta = 9,422^\circ$, $b = 60,261$, $\rho = 30$

Na podstawie równania (6), ale w odniesieniu do promienia wodzącego punktu środka sfery frezu, współrzędne ustawienia narzędzia na obrabiarkę można zapisać równaniem:

$$x_N^{(N)} = [3, -\psi] x_N^{(S)} \pm [0, 0, p\psi]^T = [x, 0, z]^T \quad (12)$$

Równanie to wyznacza jednocześnie parametry ustawienia narzędzia w płaszczyźnie XZ obrabiarki.

Opisany algorytm jest realizowany dla kolejnych punktów na całej wysokości zarysu ślimaka. Jeżeli przyjąć, że w jednym przejściu narzędzia jest kształtowana powierzchnia śrubowa cząstki, to powierzchnie zwojów ślimaka są obwiednią powierzchni śrubowych cząstkowych (jest to przypadek 2-parametrycznej obwiedni [7, 8]). W praktyce na ogół oddzielnie będą obrabiane 2 powierzchnie boczne zwojów ślimaka. Spełnienie zaś warunku (2) daje możliwość kształtowania ślimaka frezem palcowym na frezarce 3-osiowej CNC, wyposażonej dodatkowo w podzielnicę numeryczną (stół obrotowy o osi poziomej) o osi obrotowej A sprzężonej z układem sterowania obrabiarki.

WNIOSKI

Powierzchnia ślimaka – śrubowa kanałowa lub o zarysie kołowym w przekroju osiowym – jest korzystna w przypadku ślimaków stosowanych w wytłaczarkach lub wtryskarkach, ponieważ zapewnia dobrą homogenizację tworzywa.

Powierzchnia śrubowa o zarysie kołowym w przekroju charakterystycznym jest korzystna ze względów metrologicznych (łatwo sprawdzić dokładność wykonania ślimaka).

Powierzchnia śrubowa kanałowa jest szczególnym przypadkiem powierzchni śrubowej torusopochodnej, czyli powierzchni obrabianej narzędziem obrotowym o zarysie kołowym w przekroju osiowym powierzchni działania narzędzia, przy specjalnym ustawieniu narzędzia.

Technologia wierszowania może być konkurencyjna w przypadku produkcji jednostkowej i ślimaków o dużych modułach. Jednocześnie, biorąc pod uwagę, że zarys narzędzia nie jest odwzorowany bezpośrednio na zarysie powierzchni obrabianej, można dowolnie modyfikować zarys powierzchni obrabianej, czyli jedno narzędzie może być wykorzystane do obróbki różnych powierzchni ślimaków o różnej geometrii. Ta technologia z uwagi na sposób obróbki w wielu przejściach musi być stosowana na obrabiarkach uniwersalnych CNC.

LITERATURA

- [1] B. Zabrzewski: Konstrukcja ślimaka jako czynnik decydujący o jakości wypraski – ślimaki o specjalnej konstrukcji. Battenfeld Polska – materiały informacyjne, 2004.
- [2] K.-H. Hüll: Fliegender Wechsel Barriere-Mischteilschnecke und Rückstromsperre für große Schussgewichte. Kunststoffe. 3 (2001).
- [3] R. Sikora: Leksykon naukowo-techniczny. Wprowadzenie do przetwórstwa tworzyw polimerowych. Lublin: Wadim Plast Sp.J. 2002.
- [4] R. Sikora: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Warszawa: Wydawnictwo Edukacyjne Zofii Dobkowskiej, 1993, s. 223–226.
- [5] W. Baranowski, P. Palutkiewicz, T. Nieszporek, A. Gnatowski, R. Gnatowska: Ślimak do przetwórstwa tworzyw sztucznych. Patent RP 222805.
- [6] Europejski Wzór Wspólnoty: W. Baranowski, T. Nieszporek, P. Palutkiewicz: Narzędzia do obróbki, nr 02506618-0001.
- [7] T. Nieszporek: Konstrukcja narzędzi skrawających i technologia walcowych uzębień zewnętrznych. Seria monografie nr 265. ISBN 978-83-7193-586-2. Częstochowa: Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2013.
- [8] F.L. Litvin, A. Fuentes: Gear Geometry and Applied Theory. Cambridge University Press. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paulo, 2004.
- [9] I. Dudas: The Theory and Practice of Worm Gear Drives. London: Penton Press, 2000.
- [10] T. Nieszporek: Generating of Worm Gears of an Arbitrary Profile. Proceedings of the 11th ASME International Power Transmission and Gearing Conference (PTG) IDETC2011-48297, August 28–31, 2011, Washington, USA, s. 53–62.

Artykuł został zamieszczony w czasopiśmie „Mechanik” nr 11/2017, s. 942-946.

prof. dr hab. inż. Tadeusz Nieszporek

dr inż. Paweł Palutkiewicz

dr inż. Włodzimierz Baranowski

Katedra Technologii i Automatyzacji

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

Politechniki Częstochowskiej

REKLAMA



Tworzywa Sztuczne Przemysle

Już dziś zapraszamy do promocji w kolejnym wydaniu czasopisma, które promowane będzie na Międzynarodowych Targach Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych i Gumy

PLASTPOL 2023

tel. 797 125 417
redackja@tworzywasztuczne.biz, www.tworzywasztuczne.biz

Niezawodne i innowacyjne urządzenia

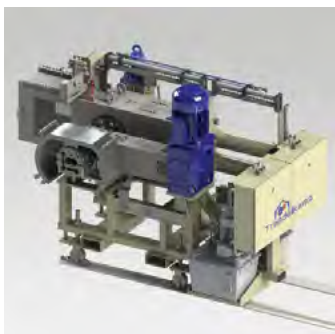


Trendelkamp jest znanym na rynku producentem urządzeń peryferyjnych do wyłaczania. Obecnie zwiększamy swoją obecność na rynku polskim, podejmując współpracę z polskim przedsiębiorstwem VGT Polska Sp. z o.o. z Krakowa, powierzając dystrybucję, serwis i montaż naszych urządzeń na zasadach wyłącznego przedstawicielstwa.

W naszej ofercie znajdziecie Państwo dopasowane do waszych potrzeb niezawodne, innowacyjne urządzenia.

Zmieniacz sit

Trendelkamp stawia na innowacyjność i efektywność. Cechą szczególną zmieniaczy sit Trendelkamp jest ich unikalna prostokątna i zakrzywiona perforowana płyta podtrzymująca sito. Oznacza to, że powierzchnia filtra w tłoku sita jest maksymalnie wykorzystana i prowadzi do mniejszych rozmiarów maszyny w porównaniu do zmieniaczy sit z okrągłą perforowaną płytą nośną sita. Ponadto łukowaty kształt perforowanej płyty zmniejsza jej grubość do minimum, a otwory przepływowe mają tę samą długość. Daje to następujące korzyści w porównaniu z konwencjonalnymi zmieniaczami sit:



- mniejsze straty ciśnienia na całym zmieniaczu sit;
- dłuższa żywotność sita;
- zmniejszone ścinanie produktu;
- wyposażenie w lampkę stanu do czyszczenia śrub i podgrzewania;
- tańsze sita.

Zawory rozruchowe, kierunkowe zawory regulacyjne TAV, TWV

Zawory rozruchowe i kierunkowe firmy Trendelkamp są stosowane wszędzie tam, gdzie roztopiony materiał jest kierowany lub musi być rozdzielony lub połączony. Trzpień zaworu jest przesuwany do odpowiedniej pozycji zaworu za pomocą siłownika hydraulicznego w możliwie najkrótszym czasie.

Na przykład zawory przełączające Trendelkamp zapewniają czyste procesy, ponieważ zawory zapobiegają zanieczyszczeniu dalszych urządzeń tym samym materiałem rozruchowym, np. po wyłączeniu lub zmianie produktu.

Zawory idealnie nadają się również do procesów, które wymagają rozpędzenia linii produkcyjnej, zanim np. granulacja podwodna będzie mogła zostać uruchomiona bez żadnych problemów.

Granulatory podwodne UWG

Podwodne granulatory Trendelkamp UWG charakteryzują się wysokim poziomem bezpieczeństwa systemu i jednocześnie kompaktową konstrukcją. Obrotowa głowica granuladora z blokadą zapewnia łatwą obsługę jedną ręką, a automatyczne mocowanie ostrza zapewnia niezawodną



pracę przy stałej jakości produktu. Kompaktowa rama nośna maszyny zapewnia dużo miejsca i dobry dostęp.

UWG jest dostępny w dwóch wersjach. TK-UWG 75 nadaje się do przepustowości do 720 kg/h. TK-UWG 120 może przetwarzać produkty z wydajnością do 2500 kg/h.

Klasyfikator granulatu TK-K

Jako urządzenia do ciągłego przesiewania, nasze klasyfikatory ułatwiają przesiewanie granulatu. Ruchy translacyjne zapobiegają przeskakiwaniu granulek. Napęd klasyfikatora jest sterowany częstotliwościowo i płynnie regulowany. Najnowsza generacja klasyfikatorów TK-K posiada zoptymalizowane sita i opcjonalnie może być wyposażona w bijak do udrażniania zablokowanych sit.



Wkłady sitowe – standardowo z otworami od 2 do 8 mm – można szybko wymienić, są łatwe w czyszczeniu, łatwo dostępne i łatwe w utrzymaniu.

Odgazowywanie próżniowe do wyłaczarek TK-V

Nowa generacja odgazowaczy próżniowych firmy Trendelkamp to sterowane systemy, które wydobywają gaz powstały podczas wyłaczania. Systemy mogą być specjalnie dostosowane do zastosowania w celu zminimalizowania zużycia energii i wody. Systemy odgazowywania TK-V wyposażone są w separatory kondensatu z regulacją temperatury (chłodzenie / ogrzewanie) oraz zbiornik na kondensat. Pompa próżniowa z pierścieniem cieczowym jest zasilana cieczą roboczą z zamkniętego obiegu wody użytkowej. Kompaktowy wózek transportowy zapewnia elastyczną i łatwą obsługę.



Zapraszamy do kontaktu z naszym dystrybutorem.

VGT Polska Sp. z o.o.

Plac Błonie-Beszc 2, 31-573 Kraków

tel. +48 12 281 34 87 (88)

www.vgt.com.pl, info@vgt.com.pl

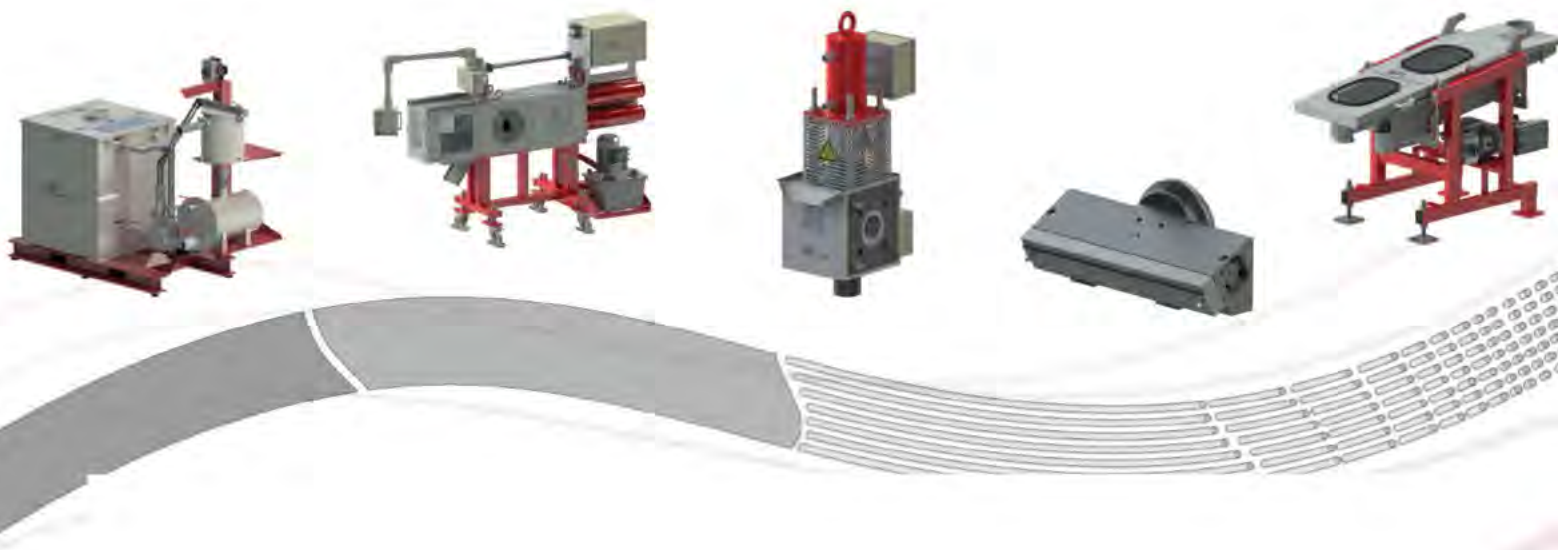
Ekspert w zakresie systemów wytłaczania

Technika uplastyczniania

- Zmieniacze sit
- Zawory rozruchowe i kierunkowe
- Dysze ekstruderów
- Adaptery

Urządzenia peryferyjne

- Segregatory granulatu
- Systemy odgazowania ekstrudera
- Granulatory wodne



Wytłaczarki, linie do wytłaczania i układy uplastyczniające



Producenci maszyn do przetwórstwa tworzyw sztucznych muszą sprostać coraz wyższym standardom produkcyjnym oraz ochronie środowiska. Dynamiczny rozwój tego rynku stawia przed nimi rosące wymagania inżynieryjne i technologiczne. Sprostają im firmy nastawione na badania i rozwój oraz maksymalne dostosowanie do potrzeb produkcji z wykorzystaniem tworzyw sztucznych w różnych branżach.

WYMAGANIA NOWOCZESNEJ PRODUKCJI

Przemysł tworzyw sztucznych w Polsce notuje ponownie dynamiczny wzrost. Potwierdza to, że rynek ten nieustannie się rozwija. W dobie postępu technologicznego coraz większe wymagania stawiane są producentom maszyn przemysłowych. Standardy rosną wraz z naciskiem na ochronę środowiska i zorientowaniem na zrównoważony rozwój.

ROZWÓJ URZĄDZEŃ NA RYNKU INŻYNIERII PRZEMYSŁOWEJ

Spółka ICHEMAD-Profarb jako producent szerokiej gamy maszyn i linii technologicznych do przetwórstwa tworzyw sztucznych świetnie odnajduje się w nowej sytuacji rynkowej. Oferuje gamę nowoczesnych urządzeń dedykowanych dla procesów produkcyjnych realizowanych w różnych gałęziach przemysłu, stawiając na stały dynamiczny rozwój rozwiązań inżynieryjnych. ICHEMAD-Profarb powstał w wyniku połączenia dwóch wiodących marek: Profarb – Grupy Chemicznej i ZMCh METALCHEM. Efektami tej konsolidacji na rynku inżynierii przemysłowej są zwiększenie możliwości wytwórczych i wzmocnienie potencjału badawczo – rozwojowego, wspierające m.in. kontynuację rozwoju wytłaczarek i linii technologicznych. Nieustanny rozwój wraz z połączeniem doświadczenia inżynieryjnego i technologii buduje mocną przewagę konkurencyjną.

GAMA NOWOCZESNYCH URZĄDZEŃ DEDYKOWANYCH DLA RÓŻNYCH BRANŻ PRZEMYSŁU

Oferta spółki to szeroki asortyment nowoczesnych wytłaczarek jedno- i dwuślismakowych i współpracujących z nimi linii technologicznych różnego przeznaczenia. Zaawansowane rozwiązania techniczne zastosowane w wytłaczarkach w powiązaniu z odpowiednimi liniami do produkcji profili, rur gładkich i karbowanych oraz granulatów i regranulatów z tworzyw sztucznych powodują, że znajdują one zastosowanie przy wytwarzaniu wysokiej jakości produktów w wielu gałęziach przemysłu.

ZAAWANSOWANE ROZWIĄZANIA INŻYNIERYJNE W WYTŁACZARKACH JAKO PODSTAWA NOWOCZESNYCH LINII TECHNOLOGICZNYCH

To podstawowe urządzenia wchodzące w skład każdej linii technologicznej, w związku z tym nieustannie poddawane procesowi rozwoju pod kątem zwiększenia wydajności przy jednoczesnym zachowaniu trwałości układów uplastyczniających. Dzięki prowadzonym badaniom w oparciu o posiadane wysokiej klasy oprogramowanie i rozwiązania inżynieryjne istnieje możliwość szybkiej reakcji na potrzeby rynku.



WYTŁACZANIE PROFILI

Ten segment rynku z punktu widzenia obszaru zastosowań daje największe możliwości wytwórcze, m.in. w liniach do produkcji profili okiennych i drzwiowych, profili budowlanych, parapetów, korytek i rur osłonowych, profili okładzinowych, podłogowych, a także z kompozytów drzewno-tworzywowych (WPC), uszczelek i innych profili miękkich dla budownictwa, przemysłu samochodowego.

RECYKLING ORAZ GRANULACJA I REGRANULACJA TERMOPLASTÓW

Recykling materiałów polimerowych, które w olbrzymiej większości nie należą do materiałów biodegradowalnych, to kolejna niezwykle istotna dziedzina dla gospodarki. Produkowane przez ICHEMAD-Profarb linie technologiczne dzięki nowoczesnym rozwiązaniom pozwalają precyzyjnie i powtarzalnie zmienić formę odpadu w postać możliwą do dalszego zastosowania/przetwórstwa lub granulować tworzywa pierwotne w celu uzyskania najczęściej granulatów PVC do przetwórstwa na wytłaczarkach jednoślismakowych lub też w celu uzyskania tworzyw o zmodyfikowanych własnościach.

LINIE TECHNOLOGICZNE DOSTOSOWANE DO WYSOKICH STANDARDÓW WYSPECJALIZOWANEJ PRODUKCJI ORAZ OCHRONY ŚRODOWISKA

Wymienione grupy produktowe to zaledwie część bogatej oferty dla przetwórstwa tworzyw sztucznych. ICHEMAD-Profarb przedstawia udoskonaloną i wyjątkowo dynamicznie wzbogacaną gamę urządzeń i linii technologicznych dostosowanych do wysokich standardów wyspecjalizowanej produkcji oraz ochrony środowiska. Posiadane doświadczenie inżynieryjne i zastosowanie najnowszych technologii sprawiają, że rozwiązania dla produkcji przemysłowej ICHEMAD-Profarb służą wiodącym producentom w różnych branżach w wytwarzaniu najwyższej jakości produktów końcowych w oparciu o tworzywa sztuczne, gwarantując przy tym długoletnią, energooszczędną i efektywną eksploatację.

ICHEMAD-Profarb sp. z o.o.

ul. Chorzowska 117, 44-100 Gliwice

tel. (32) 270 45 41

info@ichemad.com, sales@ichemad.com, www.ichemad.com

Rozwiązania inżynierskie dla przetwórstwa tworzyw sztucznych

WYTŁACZANIE

ICHEMAD Profarb projektuje i wytwarza kompletne linie technologiczne dla przetwórstwa tworzyw sztucznych. Szeroka oferta specjalistycznych modeli obejmuje m.in. wylączarki dedykowane dla szerokiego spektrum materiałów w różnych gałęziach przemysłu. Projektujemy i konstruujemy wylączarki jednoślismakowe i dwuślismakowe nowej generacji, o charakterystyce dostosowanej do gatunku i właściwości przetwórczych tworzyw oraz charakteru produkcji.

- jednoślismakowe;
- laboratoryjne i specjalne;
- koekstrudery;
- z napędem wysokomomentowym;
- do przetwórstwa gumy;
- jednoślismakowe spożywcze;
- dwuślismakowe stożkowe i cylindryczne.

Wylączarki **ICHEMAD Profarb** wyróżniają:

- kompaktowa, zwarta konstrukcja;
- wysoka jakość wykonania i estetyka;
- wygodna obsługa;
- energooszczędność;
- niski poziom hałasu;
- nietypowe rozwiązania konstrukcyjne;
- bezawaryjność i wyskoeffektywna eksploatacja;
- inteligentne systemy sterowania, umożliwiające współpracę wylączarek i kompletnych linii.

RECYKLING

W dobie maksymalizacji ochrony środowiska **ICHEMAD Profarb** kładzie szczególny nacisk na efektywne wykorzystanie odpadów z tworzyw sztucznych. W zależności od wybranego rodzaju tworzywa bądź grupy tworzyw produkowane przez nas linie występują w trzech kategoriach:

1. Granulacja w pierścieniu wodnym na bazie wylączarek jednoślismakowych;
2. Granulacja metodą cięcia na zimno na bazie wylączarek jednoślismakowych;
3. Granulacja metodą cięcia na gorąco na bazie wylączarek dwuślismakowych.

CZĘŚCI ZAMIENNE I USŁUGI

Jako producent wylączarek i linii technologicznych do przetwórstwa tworzyw sztucznych oferujemy szeroki wachlarz części zamiennych. Kluczową pozycję w tej grupie stanowią układy uplastyczniające.

Park maszynowy i wyposażenie techniczne, którym dysponuje **ICHEMAD Profarb** umożliwia wykonywanie bogatej gamy operacji obróbki cieplno-chemicznej i obróbki skrawaniem w produkcji małoseryjnej i jednostkowej, a w szczególności produkcję ślimaków i cylindrów wylączarek oraz ich regenerację.

Zapytania ofertowe prosimy kierować na adres: sales@ichemad.com



Przekładnie ROSSI – sprawdzone rozwiązania do napędu wytłaczarek



Sercem każdej wytłaczarki jest jej układ napędowy, którego bezawaryjna praca oraz właściwa żywotność są kluczowe dla poprawnego funkcjonowania urządzenia. Każdy nieplanowany przestój to znaczne straty dla firmy, dlatego warto sięgać po rozwiązania „zahartowane w boju”, od doświadczonego producenta.

Do dostawców takich sprawdzonych rozwiązań z pewnością należy firma Rossi, która już od 70 lat dostarcza rozwiązania napędowe do ciężkich zastosowań przemysłowych. Asortyment firmy obejmuje 16 katalogów produktowych, w tym m.in. typoszereg przekładni ze zintegrowanym łożyskiem oporowym, opracowanych specjalnie do zastosowania w wytłaczarkach (Seria GX).

W stosunku do wyrobów konkurencji, przekładnie wytłaczarkowe Rossi wyróżniają się zwartą budową, korpusem dostosowanym do montażu w dowolnej pozycji oraz najwyższym na rynku nominalnym momentem obrotowym, w stosunku do masy i gabarytów jednostki. W napędach tych podpora ślimaka jest osadzona na sztywno w korpusie reduktora, ze zintegrowanym (wspólnym) smarowaniem wnętrza przekładni i podpory. Dzięki temu olej lepiej i dłużej zachowuje właściwości smarne, co jest korzystne dla trwałości łożyska oporowego i całej przekładni.

Katalog obejmuje ponadto szereg dodatkowych opcji: jak np. możliwość wyjmowania ślimaka wytłaczarki poprzez wyjście przekładni, czujniki do kontroli temperatury oleju i stanu łożysk, specjalne opcje wyjścia, specjalne powłoki lakiernicze, chłodnice przepływowe oraz zewnętrzne jednostki chłodzące. Istnieje również możliwość wykonań pozakatalogowych.

Ciekawym rozwiązaniem, dostępnym dla przekładni walcowych, jest wykonanie z korpusem wydłużonym. W tej samej wielkości mechanicznej reduktora, jak przy wykonaniu standardowym, posiada on znacznie większy rozstaw pomiędzy wejściem, a wyjściem, co daje możliwość zainstalowania silnika po stronie maszyny oraz znaczącego ograniczenia jej gabarytów. Rozwiązanie to – dostępne u nielicznych dostawców – jest często stosowane w układach wytłaczarek, ponieważ znacząco ogranicza gabaryty i zwiększa funkcjonalność całej maszyny.

Dużym ułatwieniem dla producentów wytłaczarek oraz użytkowników układów plastyfikujących jest pełna elastyczność Rossi, w kwestii sposobu wykonania oraz wymiarowania tulei podpory ślimaka: różne średnice i głębokości tulei zdawczej, wykonanie



Rys. 2. Uniwersalny korpus umożliwia łatwą instalację napędu w dowolnej pozycji montażowej

z pojedynczym lub podwójnym wpustem lub też w formie tulei wielowypustowej. Dzięki temu napęd może zostać w łatwy sposób dopasowany do czopów ślimaków, użytkowanych już wcześniej w firmie, co daje wymierne oszczędności.

Dla każdej wielkości przekładni dostępne są dwie opcje podpory ślimaka: wykonanie do obciążeń normalnych oraz wykonanie wzmocnione – z większym łożyskiem oporowym oraz zewnętrznym ożebrowaniem podpory, poprawiającym odprowadzanie ciepła.

Kluczowym aspektem dla tego typu aplikacji jest właściwy dobór napędu, przy którym trzeba brać pod uwagę szereg istotnych parametrów technicznych: m.in. obciążenia mechaniczne napędu (moc przenoszona), obciążenia łożyska oporowego (ciśnienie na ślimaku i generowane przez nie siły), moc termiczną, sprawdzaną zarówno dla przekładni, jak i podpory itp.

Stąd też z punktu widzenia użytkownika bardzo ważne jest lokalne wsparcie i doradztwo, właściwy dobór rozwiązania oraz serwis posprzedażny. Na tym polu Rossi zdecydowanie wyróżnia się na tle konkurencji, oferując pomoc techniczną swoich fachowców, zarówno na etapie doboru napędu i jego dopasowania do potrzeb urządzenia, jak i późniejszego serwisu urządzeń i wsparcia posprzedażnego.

Zapraszamy do współpracy!



Rys. 1. Reduktor Rossi serii GX, opracowany do napędu wytłaczarek

ROSSI Polska Sp. z o.o
www.rossi.com

Plastometr do badania MFI – niezbędne urządzenie w branży przetwórstwa tworzyw sztucznych



Przetwórstwo tworzyw sztucznych i recykling to dziedziny, w których dokładność i precyzja badań są kluczowe. Właściwe badania tworzyw sztucznych pozwalają na kontrolowanie jakości produkcji, wykrywanie wad materiałów, a także pozyskiwanie informacji na temat ich właściwości, które pozwala na optymalizację procesów przetwarzania i recyklingu.

W dzisiejszych czasach posiadanie własnego laboratorium, wyposażonego w odpowiednie urządzenia do badania tworzyw sztucznych, staje się coraz bardziej popularne. Jednym z takich urządzeń jest plastometr, który pozwala na pomiar wskaźnika płynięcia tworzyw sztucznych, a w szczególności MFI (*Melt Flow Index*), MFR (*Melt Flow Rate*) oraz MVR (*Melt Volume Rate*).

Plastometry to urządzenia laboratoryjne, które służą do badania właściwości przetwarzanych materiałów. W branży przetwórstwa i recyklingu tworzyw sztucznych są niezbędnym narzędziem do kontroli jakości wykorzystywanych surowców, weryfikacji właściwości przetworzonych tworzyw oraz optymalizacji procesów przetwarzania.

W ofercie firmy Rolbatch-Laabs polecamy wysokiej klasy plastometry takie jak: model RBM2 oraz RBH2. Oba modele pozwalają na badanie masowego wskaźnika płynięcia MFI/MFR, a model RBH2 dodatkowo umożliwia pomiar objętościowego wskaźnika płynięcia MVR. Plastometry te są bardzo precyzyjne, a ich użytkowanie jest łatwe i intuicyjne. Dodatkowo, firma Rolbatch-Laabs oferuje również szkolenia z obsługi tych urządzeń, co pozwala na pełne wykorzystanie ich możliwości.

Posiadanie własnego laboratorium to krok w kierunku poprawy jakości produkcji i recyklingu. Dzięki plastometrom firmy Rolbatch-Laabs, można wykonywać dokładne i precyzyjne badania właściwości tworzyw sztucznych, co przekłada się na poprawę efektywności procesów przetwarzania i recyklingu, a także na zwiększenie zysków.

CZYM JEST WSKAŹNIK PŁYNIĘCIA MFI?

Wskaźnik płynięcia MFI jest jednym z najważniejszych parametrów charakteryzujących tworzywa sztuczne. Badanie wskaźnika płynięcia MFI pozwala określić właściwości reologiczne tworzywa sztucznego, czyli jego zdolność do płynięcia pod wpływem temperatury i ciśnienia. Wynik badania MFI daje informację o szybkości, z jaką tworzywo sztuczne przepływa przez specjalną dyszę pod określonym obciążeniem i temperaturą. Wartość MFI jest szczególnie istotna dla producentów tworzyw sztucznych, ponieważ pozwala na dobranie optymalnych warunków przetwarzania i produkcji produktów z danego tworzywa, a także na kontrolę jakości i porównywanie różnych próbek tworzyw. MFI (*Melt Flow Index*), MFR (*Melt Flow Rate*) i MVR (*Melt Volume Rate*) to wszystko parametry określające wskaźnik płynięcia tworzyw sztucznych. Główna różnica między nimi polega na tym, co dokładnie mierzą.

MFR mierzy masę tworzywa sztucznego, która przepłynie przez dyszę w określonym czasie przy określonej temperaturze i ciśnieniu, jest ono mierzone w gramach na 10 minut.

MVR mierzy objętość tworzywa sztucznego, która przepłynie przez dyszę w określonym czasie przy określonej temperaturze i ciśnieniu. Wynik jest wyrażany w cm^3 na 10 minut. MVR jest szczególnie przydatne do określania właściwości przepływu w procesie wytłaczania lub wtrysku tworzyw sztucznych.

WILGOTNOŚĆ I GĘSTOŚĆ TWORZYW SZTUCZNYCH

Badanie wilgotności i gęstości tworzyw sztucznych ma kluczowe znaczenie w procesie ich przetwarzania oraz w produkcji ostatecznych wyrobów.

Wilgotność to ilość wody lub innych substancji zawartych w tworzywie sztucznym, a jej pomiar jest ważny ze względu na wpływ, jaki ma na proces przetwarzania.

Wysoka wilgotność może powodować pęknięcie i niedoskonałości w wytwarzaniu wyrobów, zmniejszenie trwałości i jakości produktu końcowego oraz wpłynąć na proces recyklingu. Dlatego właśnie pomiar wilgotności jest kluczowy w zapewnieniu wysokiej jakości wyrobów z tworzyw sztucznych.

Gęstość natomiast to masa jednostkowa tworzywa sztucznego, która jest mierzona w odniesieniu do objętości. Pomiar gęstości ma wpływ na właściwości mechaniczne wyrobów końcowych oraz na wydajność procesu przetwarzania. Dlatego badanie gęstości jest niezbędne w celu uzyskania wyrobów o odpowiednich właściwościach i jakości.



POLECAMY KSIĄŻKI I PUBLIKACJE DR MAGDALENY LAABS

Skorzystaj z bogatej oferty szkoleń dla branży tworzyw sztucznych:

- wprowadzenie do tworzyw sztucznych;
- wprowadzenie do recyklingu;
- recykling butelek PET, PE, PP, PVC, PS, PA;
- badanie właściwości tworzywa.

ROLBATCH – DR MADALENA LAABS

Angermünderstrasse 101, 16227 Eberswalde k. Berlina
Mob/WhatsApp: +49 151 457 67 422, www.rolbatch.de

Czytaj więcej na temat urządzeń laboratoryjnych:

www.rolbatch-laabs.de/plastometry

www.rolbatch-laabs.de/praca

www.rolbatch-laabs.de/szkolenia-tworzywa

www.rolbatch-laabs.de/publikacje

Niemcy poszukują wykwalifikowanych specjalistów – szansa dla polskich pracowników

Marzysz o pracy za granicą? Chcesz zdobyć nowe doświadczenia zawodowe i rozwinąć swoje umiejętności? A może szukasz stabilnej pracy w przemyśle? Niemiecki rynek pracy ma wiele do zaoferowania, a Guliwer-Laabs może Ci pomóc w znalezieniu wymarzonej pracy.



Firma rekrutacyjna Guliwer-Laabs należąca do grupy Rolbatch działa na niemieckim rynku od 1999 roku i specjalizuje się w rekrutacji wykwalifikowanych pracowników z Polski dla różnych branż przemysłowych i produkcyjnych. Współpracujemy z wieloma niemieckimi przedsiębiorstwami, które poszukują najlepszych specjalistów do swoich zakładów produkcyjnych.

KOGO SZUKAMY?

Poszukujemy obecnie wykwalifikowanych specjalistów, którzy chcieliby spróbować swoich sił w Niemczech. Wiele niemieckich firm potrzebuje operatorów maszyn (np. wyłuszczarki, wtryskarki), kierowników produkcji, spawaczy, tokarzy, ślusarzy, kierowców czy logistyków. Oferujemy też prace dla opiekunek dla dzieci i osób starszych.

Czego wymagamy od kandydatów? Przede wszystkim doświadczenia w danej branży. Znajomość języka niemieckiego jest mile widziana, ale nie jest konieczna. W niemieckich fabrykach pracują już Polacy, którzy chętnie pomogą w komunikacji z kierownictwem firmy. Oferujemy też kursy szybkiej nauki języka niemieckiego dla początkujących, które zawierają słownictwo branżowe. Ponadto, możesz skorzystać z aplikacji na telefon, która tłumaczy tekst pisany i mówiony.

CZY SOBIE PORADZISZ?

Wiele osób zastanawia się, jak sobie poradzą z językiem niemieckim. Na szczęście, do rozpoczęcia pracy nie jest wymagana jakakolwiek znajomość języka. Oferowane kursy niemieckiego są dedykowane specjalnie dla osób nieznających tego języka w ogóle i skupiają się na nauce podstaw komunikacji w branży. W ciągu zaledwie trzech miesięcy można nauczyć się 500 najczęściej używanych słów, co pozwala na swobodną komunikację w pracy. Warto pamiętać, że znajomość języka niemieckiego to ogromny atut przy dalszej karierze zawodowej, ponieważ umożliwia zdobywanie coraz bardziej wymagających stanowisk i podniesienie kwalifikacji.

NIEMIECKA UMOWA O PRACĘ

Umowę o pracę zawierasz bezpośrednio z niemieckim pracodawcą. Guliwer-Laabs po-

maga niemieckim przedsiębiorstwom w przeprowadzeniu procesu rekrutacji i znalezieniu najlepszych specjalistów z branży.

KORZYŚCI FINANSOWE I SOCJALNE

Dodatkowo, praca w Niemczech może przynieść ci wiele korzyści finansowych i socjalnych. Niemiecki system opieki zdrowotnej jest na dużo wyższym poziomie niż w Polsce, a już po pięciu latach pracy w Niemczech przysługuje ci prawo do niemieckiej emerytury. Dodatkowo, program „Kindergeld” gwarantuje wsparcie finansowe w wysokości 250 Euro na każde dziecko, co ponad dwukrotnie przewyższa polskie 500+.

A CO Z RODZINĄ?

Jeśli planujesz zabrać ze sobą rodzinę, nie musisz się martwić o pracę dla swojej żony czy męża. Guliwer-Laabs pomaga nie tylko w rekrutacji pracowników w branży, ale także pomoże w znalezieniu pracy dla partnera lub partnerki.

**Odkryj nowe wyzwania w Niemczech i zdobądź cenne doświadczenie zawodowe.
Zapraszam do kontaktu Dr Magdalena Laabs**



ROLBATCH – DR MADALENA LAABS
Angermünderstrasse 101
16227 Eberswalde k.Berlina
Mob/WhatsApp: +49 151 457 67 422
www.guliwer.de

Czytaj więcej na temat niemieckiego rynku pracy:
www.rolbatch-laabs.de/praca

Wtryskarki, wyłaczarki do tworzyw sztucznych i granulatu oraz firmy z całego świata

Targi PLASTPOL 2023

Prawie 400 firm z 26 krajów świata i niemal 10 tys. mkw powierzchni wystawienniczej – to wynik Targów PLASTPOL 2022. Targi Kielce już od ponad ćwierć wieku oferują branży przetwórstwa tworzyw sztucznych i gumy przestrzeń do prowadzenia udanych spotkań biznesowych i zacieśniania kontaktów personalnych. To także miejsce, gdzie swoje pierwsze kroki stawiało wiele firm z branży przetwórczej. Następną edycja datowana jest na 23–26 maja 2023 i już teraz gromadzi wokół siebie niemałe zainteresowanie.



Ekonomiczny potencjał Targów Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych i Gumi PLASTPOL od lat dostrzegają zarówno debiutanci, jak i doświadczeni „gracze” branży plastików. W 2022 roku o rynkach europejskich zamarzyły firmy z Angoli i Kataru. Przedstawiciele firm z obu tych krajów zdecydowali więc, że idealnym miejscem do poszerzenia stref wpływów na Polskę i Europę będą targi PLASTPOL. Spotkania okazały się sukcesem, a przedstawiciele firm już teraz zapowiadają swoją obecność na edycji 2023.

FIRMY Z WŁOCH I NIEMIEC NA PLASTPOLU

Targi Kielce w 2022 roku ugościły wiele firm i instytucji z ważnych ośrodków gospodarczych Europy. Niemieckie, austriackie i szwajcarskie firmy od 26 lat widzą w Targach PLASTPOL ważnych klientów, nowe rynki zbytu i kluczowe kontakty biznesowe. Targi Kielce odwiedziły m. in.: ENGEL, ARBURG, KRAUSS-MAFFEI, BATTENFELD- WITTMANN, EREMA, MEUSBURGER czy EVO-NIK INDUSTRIES. Silną reprezentację wystawiły także Włochy. W halach wystawią się: MORETTO, MEPOL, CONFINDUSTRIA POLONIA czy AMBRA POLYMERS. Potencjał polskich targów przetwórczych dostrzegają także światowe instytucje. Zarówno Ambasada Angoli, jak i Qatar Development Bank wraz z Qatar Financial Centre zaprezentowały swój potencjał ekonomiczny i gospodarczy, nie tylko wystawiając się na targach, ale także organizując serie spotkań poświęconych możliwościom inwestycyjnym w tych krajach.

MEETINGI, KONFERENCJE, PRELEKCJE I SPOTKANIA W TARGACH KIELCE

Wydarzenia organizowane w kieleckiej przestrzeni wystawienniczej przywyczały nas nie tylko do bogatej oferty tematycznej, czy możliwości poszerzenia kontaktów biznesowych, ale też jako miejsce do zdobywania specjalistycznej wiedzy. Nie inaczej jest

w przypadku PLASTPOLU. Tak jak co roku, także i tym razem targi rozpoczęła konferencja prowadzona przez Fundację PlasticsEurope Polska, która przy okazji zaprezentuje swój roczny raport dotyczący kondycji branży przetwórstwa plastików i gumy. Równie wartościowym wydarzeniem było seminarium techniczne PLASTECH-INFO. Zakres tematyczny spotkania w największej mierze odnosił się do niezwykle dynamicznego w ostatniej dekadzie rozwoju technologii wytwarzania wyrobów z tworzyw sztucznych, przede wszystkim wtryskiwania.

RECYKLING WAŻNY DLA BRANŻY PRZETWÓRSTWA TWORZYW SZTUCZNYCH

Temat recyklingu, a konkretnie działań prowadzonych na linii producent, instytucje, konsumenci został jak co roku poruszony podczas konferencji „Recykling tworzyw sztucznych – jeden cel, wiele możliwości”, która odbyła się podczas targów PLASTPOL w Targach Kielce. Spotkanie organizowane zostało przez Klaster Gospodarki Odpadowej i Recyklingu – Krajowy Klaster Kluczowy.

Jednym z tematów konferencji było wykorzystanie platform do śledzenia obiegu surowców i recyrkulatów na przykładzie platformy RecoTrace.

Podczas spotkania swoją opinię wyrazili eksperci w dziedzinie przetwórstwa tworzyw sztucznych oraz recyklingu plastików, zrzeszeni m. in. w Fundacji PlasticsEurope Polska, m. in. Anna Kozera-Szałkowska, dyrektor zarządzająca Plastics Europe Polska, Andrzej Kubik z GPR GUMA i Plastik Recykling, czy Kazimierz Borkowski z Ambiente.

Targi Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych i Gumi PLASTPOL 2023 odbędą się w dniach 23–26 maja, w Targach Kielce.



Źródło: www.targikielce.pl/plastpol

Monitorowanie vs. wzrost wydajności

Temperatura procesów technologicznych i produkcji jest istotnym parametrem pomiarowym w technikach procesowych w przemyśle tworzyw sztucznych. Bezdotykowy pomiar temperatury za pomocą czujnika podczerwieni jest bardzo efektywną metodą kontroli i monitorowania tych procesów. Wspiera on firmy w osiągnięciu wysokiego poziomu jakości w ramach ich produkcji.

W przemyśle tworzyw sztucznych produkcję i testowanie produktów podlega licznym procesom termicznym. Termometry na podczerwień lub pirometry są używane do jednopunktowego pomiaru temperatury, jeśli ten krytyczny punkt jest znany w procesie produkcyjnym. W szczególności kompaktowe i szybkie kamery na podczerwień z serii optris IP umożliwiają wykrywanie słabych punktów. Kamery termowizyjne pomagają wizualizować procedury termiczne, optymalizując i monitorując procesy produkcyjne.

Maszyny w zakładach tworzyw sztucznych produkują dziesiątki produktów plastikowych w różnych wymiarach, grubościach, teksturach, kolorach czy wzorach. W zależności od warunków ramowych, termometry i kamery na podczerwień mogą być używane w różnoraki sposób, w celu właściwego poprawienia i zabezpieczenia procesów technologicznych.

KONTROLOWANIE PROCESÓW PODCZAS TERMOFORMOWANIA

Ważnym zastosowaniem czujników temperatury na podczerwień jest montaż pirometrów w maszynach do termoformowania i maszynach pakujących.

Podczas procesu termoformowania, oryginalny materiał jest poddawany podgrzewaniu do temp. 190°C za pomocą emiterów



Rys. 1. Mała głowica pomiarowa pirometru optris CT LT



Rys. 2. Głowice instalowane w maszynie z laminarnymi kołnierzami odpowietrzającymi do monitorowania temperatury podczas termoformowania

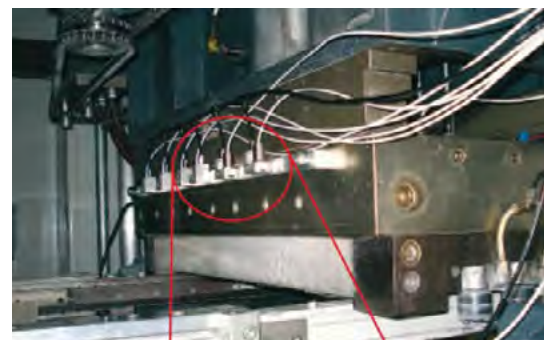
podczerwieni i termicznie homogenizowany. Wysoka jednorodność na powierzchni oraz specyficzne ustawienie temperatury prowadzą do rezultatów o lepszej jakości podczas reformingu. Zdefiniowanie chłodzenia w procesie schładzania zamyka cały proces.

W celu osiągnięcia stabilnej jakości produktu końcowego oraz uniknięcia lokalnego wypalania i tworzenia pęknięć, kamera termowizyjna optris IP jest używana do regulacji reżimu temperaturowego podczas pracy urządzenia. Pirometry następnie regulują temperaturę za pomocą wybranych punktów pomiarowych.

U jednego z klientów firmy Optris zamontowano termometr na podczerwień optris CT LT na jednej z linii przy wlocie strefy grzewczej, w celu monitorowania profilu temperatury i wizualizacji gradientów temperatury. Pozwala to operatorowi maszyny nieprzerwanie monitorować pełny profil temperatury obejmujący wszystkie wykorzystane partie produktów.

WYKAŃCZANIE POWIERZCHNI W ZESPOLE WAŁKÓW KSZTAŁTUJĄCYCH

Podczas jej wykonywania plastikowy materiał wytłacza się wytlaczarkami szczelinowymi do formy szerokiego pasa, a następnie kalandruje do planowanej wielkości za pomocą chłodzonych i ogrzewanych rolek dociskowych. Tekstura na powierzchnię materiału jest наносzona poprzez wytłaczające rolki dociskowe. Oryginalny mate-



Rys. 3. Stały monitoring temperatury na kalandrze wytłaczającym wykonywany przez termometr na podczerwień optris CT LT

riał jest podgrzewany do temperatury 190°C z podstawową temperaturą w promienniku podczerwieni i homogenizowany.

Materiał jest następnie transportowany do podgrzewanego kalandra wyłaczającego, gdzie otrzymuje specyficzną dla danego produktu strukturę. Zdefiniowane chłodzenie w części schładzającej kończy cały proces technologiczny. W procesie wyłaczania konieczny będzie stały i spójny profil temperaturowy z odchyleniami poniżej 5K w całym zakresie, aby uzyskać stałą grubość, jednorodną podziałkę i głębokość struktury. Do monitorowania profilu temperatury podczas procesów wyłaczania, niektóre procesory wykorzystują do 16 pirometrów optris CT LT mierzących w pojedynczych punktach, zainstalowanych wzdłuż kierunku ruchu. Pomiar temperatury są wizualizowane w PLC (S7) firmy Siemens. W związku z tym możliwe jest wykorzystanie wartości temperatur do monitorowania procesów i umieszczania najważniejszego parametru procesu zgodnie z partiami produktów w PLC.

FORMOWANIE WTRYSKOWE - REDUKCJA ZNIEKSZTAŁCEŃ

W czasie produkcji elementów do formatowania wtryskowego, stałość wymiarów jest bardzo ważna. Podczas procesu formowania wtryskowego stopiony plastik jest wstrzykiwany pod ciśnieniem do narzędzia, na które działa temperatura. Zewnętrzna powłoka wyprodukowanego elementu jest już stężała, po jej odseparowaniu. Stabilizuje ona element, podczas gdy jego środek jest przeważnie nadal płynny, a zachowane ciepło powoli dostaje się na zewnątrz. Jeśli w elemencie podczas rozdzielania zostanie zbyt dużo ciepła, może dojść do zniekształceń. Rezultatem tego jest to, iż założone wymiary nie są spełnione.

Kamera termowizyjna optris IP przyczynia się do optymalizacji temperatury przyrządu poprzez systemy podgrzewania i schła-



Rys. 4. Termometr na podczerwień optris CT LT

Rys. 5. Mała i szybka kamera na podczerwień - mobilna lub stacjonarna - do wykrywania słabych punktów w formach wtryskowych



dzania. Monitorowanie online z częstotliwością 120 Hz pomoże wykryć maksymalną temperaturę elementów po odseparowaniu. W związku z tym, może mieć miejsce reakcja na zmiany temperatury. Czas zamknięcia musi być wydłużony, jeśli temperatura jest wyższa od specyfikacji. Jeśli temperatura jest niższa od specyfikacji, czas zamknięcia należy skrócić.

Do tej pory pobierano tylko próbki temperatury i dłuższy czas zamknięcia był ustalany z dużą rezerwą – ogromne marnotrawstwo zasobów. Kamera optris IP jest przydatna do produkcji elementów metodą formowania wtryskowego. Kamera monitoruje temperaturę produkcji bez jej zakłóceń i kontaktu z wytwarzanymi częściami. Dzięki temu wzrasta wydajność, gdyż więcej elementów może być wyprodukowanych w tym samym czasie.

Źródło: Optris GmbH

REKLAMA

PPH COOL

Lider w produkcji i sprzedaży chillerów z ekologicznym czynnikiem R290

To my oswoiliśmy propan!



Seria AQUACOOL GREEN

Modele wysoko- i średniotemperaturowe **VCGN / VCGV** ze sprężarkami tłokowymi i śrubowymi o wydajności chłodniczej 35-512 kW.



VCGF

Modele z funkcją Free Cooling o wydajności chłodniczej 60-180 kW.

SWG MINI

Modele wysokotemperaturowe i średniotemperaturowe o wydajności chłodniczej 10-40 kW.



Cool®

PPH COOL ■ ul. Lipowa 10 ■ 05-123 Chotomów
tel. 22 772 64 18 ■ cool@cool.pl

cool.pl

Konferencja branży narzędziowo-przetwórczej

FORMA WTRYSKOWA I JEJ OTOCZENIE

12-13 kwietnia 2023 roku!

7 bloków tematycznych

specjalistyczna wiedza

uroczysty bankiet

Biblioteka Główna Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego

ul. Karola Szymanowskiego 3, 85-074 Bydgoszcz

Partner konferencji:



Polska
Strefa Inwestycji



POMORSKA
SPECJALNA STREFA
EKONOMICZNA

Patronat medialny:



metale.org
Portal branży metalowej



staleo.pl
portal przemysłowy

**Tworzywa Sztuczne
Przemysłu**

PLAST ECHO
Dziennik branżowy tworzyw sztucznych



narzedziownia.org
Portal branży narzędziowej



CD3D
CENTRUM DRUKU 3D

enjoy
INNOVATION



TEMPRO plus
Temperature controllers



Recykling chemiczny tworzyw sztucznych – część 2

Patrycja Jutrzenka Trzebiatowska

DEPOLIMERYZACJA CHEMICZNA WYBRANYCH POLIMERÓW (PET, PU, PA, PC)

Procesy depolimeryzacji chemicznej zwanej również solwolizą (lub chemolizą), w przeciwieństwie do depolimeryzacji termicznej tj. wysokotemperaturowych procesów, przebiegają w łagodniejszych warunkach temperaturowych (<200°C). Depolimeryzacja z wykorzystaniem czynnika (reagenta) rozkładającego polimer, zwykle w połączeniu z katalizatorem, może być zastosowana tylko do polimerów polikondensacyjnych i poliuretanów (PU), a rozszczępienie łańcucha daje ich wyjściowe monomery lub oligomery, które zaś można ponownie przetworzyć na nowe polimery.

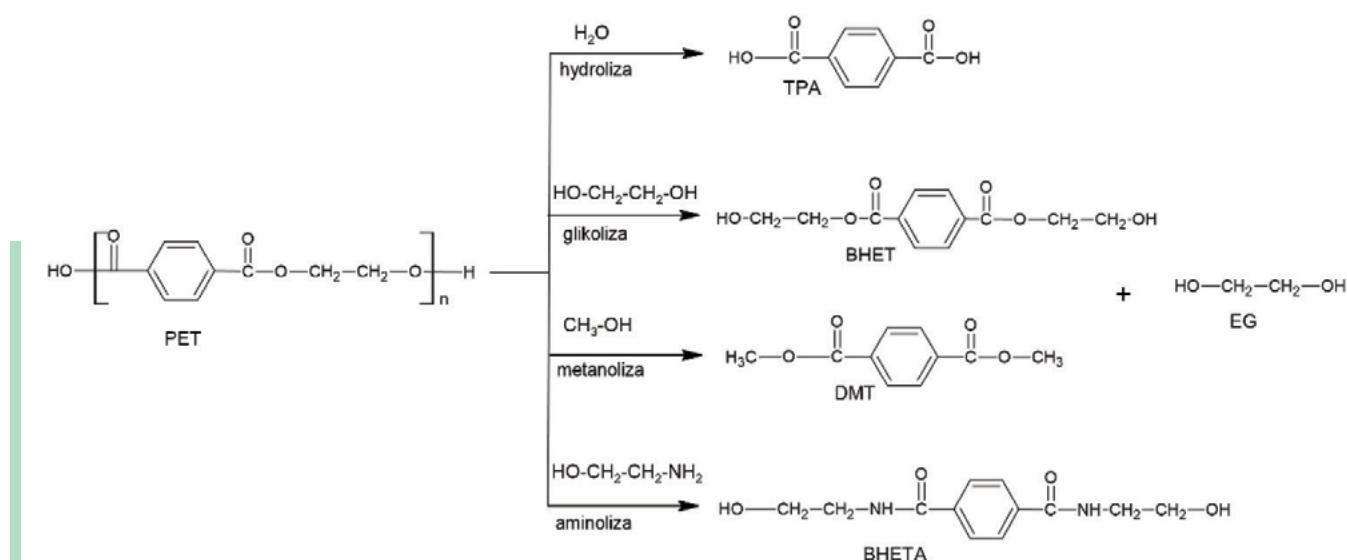
Polimery kondensacyjne to polimery otrzymane wskutek stopniowej polimeryzacji monomerów zawierających grupy funkcyjne oraz w wyniku, której powstaje małowcząsteczkowy produkt uboczny. Tą metodą zwykle otrzymywane są poliestry, poliamidy, poliwęglany i żywice. PU zaś to polimery otrzymywane poprzez poliaddycję polioli i izocyjanianów. Europejskie zapotrzebowanie na te tworzywa wynosi ok. 20%, z czego zapotrzebowanie na PET i PU wyniosło po 7,9% w 2021 r. [1]. Obie grupy polimerów zawierają w łańcuchu głównym heteroatomy i grupy funkcyjne, co sprawia, że są dość podatne na reakcje recyklingu chemicznego. W tym rozdziale zostaną omówione poliestry termoplastyczne takie jak PET, PA i PC oraz poliuretany.

Jako reagenty solwolityczne można stosować różne, zwykle małowcząsteczkowe związki, takie jak woda (wtedy proces nazywany jest hydrolizą), glikol (glikoliza), aminy (aminoliza), alkohole (alkoholiza, a w przypadku metanolu – metanoliza), kwasy (acydoliza) i inne [4, 35]. Na ogół rozkład polimerów za pomocą związków chemicznych jest reakcją transestryfikacji między grupą estrową bądź uretanową, a grupą funkcyjną reagenta (np.

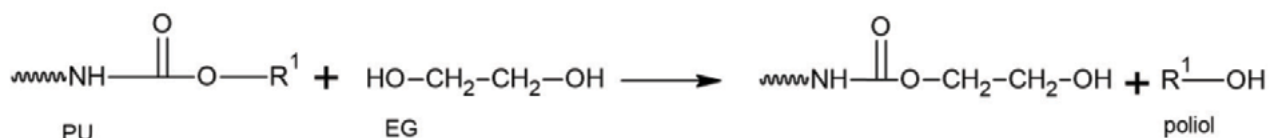
-OH, -NH₂, -COOH). W reakcji tej następuje rozpad wiązań chemicznych pomiędzy atomem węgla w łańcuchu głównym z heteroatomem, w wyniku czego powstają półprodukty, a docelowo monomery. Rysunek 4 przedstawia depolimeryzację chemiczną PETu za pomocą różnych małowcząsteczkowych substancji oraz powstałe produkty.

Naukowcy opracowują nowe metody w celu zmniejszenia wpływu odpadów z tworzyw sztucznych (OTS) na środowisko i znalezienia nowych, wydajniejszych sposobów rozkładu tych materiałów [36]. Prowadzone badania skupiają się na wykorzystaniu odpadowych substratów [15] lub surowców naturalnych [37] jako reagenta w procesie rozkładu polimerów. Innym pojawiającym się trendem jest stosowanie cieczy jonowych (ILs), tzw. zielonych katalizatorów, które łatwo oddzielają się od produktu [38, 39]. Nowymi badanymi katalizatorami są nanokatalizatory, takie jak nanoglinki [40], zeolity [41] bądź MOFy [42]. Katalizatory są używane do aktywacji karbonylowych grup funkcyjnych polimeru, ułatwiając atak nukleofilowy małowcząsteczkowemu reagentowi (EG, metanol).

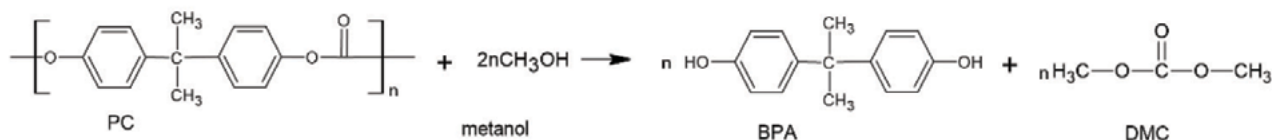
W normalnych warunkach przetwarzania i użytkowania większość polimerów jest odporna na hydrolizę. W związku z tym do hydrolitycznej depolimeryzacji wymagana jest wysoka temperatura 250–340°C i wysokie ciśnienie (1–5 MPa), często w połączeniu z agresywnymi warunkami pH (mocno zasadowe przy zastosowaniu wodorotlenków Na i K lub kwaśne przy użyciu HCl, H₂SO₄, HNO₃). Hydroliza PC przebiega często z użyciem korozpuszczalnika np. THF czy toluenu oraz przy zastosowaniu np. mikrofal lub warunków nadkrytycznych. Pozwala to na wysoką konwersję w krótkim czasie. Również hydroliza poliamidów przebiega w warunkach nadkrytycznych [43]. Stosowanie właśnie takich agresywnych warunków wynika z niskiej nukleofilowości



Rys. 4. Przykładowe reakcje depolimeryzacji PETu przy użyciu różnych reagentów solwolitycznych



Rys. 5. Glikoliza PU



Rys. 6. Metanoliza PC

wody, co sprawia, że proces ten jest dość powolny w porównaniu z innymi reakcjami (np. glikolizą). W przypadku hydrolizy otrzymane są monomery lub sole monomerów wyjściowych, takie jak kwas tereftalowy (TPA) lub sól kwasu tereftalowego (Na_2TPA), glikol etylenowy (EG), polioli, aminy i inne hydroksyzwiązki, BPA i fenol, kaprolaktam i kwas aminokapronowy odpowiednio dla PET, PU, PC i PA.

Glikoliza jest popularną reakcją depolimeryzacji polimerów, a konwersja odpadów do surowych monomerów jest stosunkowo wysoka. Metoda ta prowadzi do uzyskania produktów, takich jak diole, diaminy, dikwasy czy oligomerole. Reagentami glikolizy mogą być związki alifatyczne lub oligomerami zawierającymi co najmniej dwie grupy hydroksylowe. Najczęściej stosowane są glikole: etylenowy (C=2), propylenowy (C=3), butylenowy (C=4), dietylenowy (C=4). Rodzaj użytego glikolu wpływa na czas i temperaturę glikolizy, zaś w celu zwiększenia szybkości przebiegu stosuje się katalizatory w postaci soli i wodorotlenków metali, związków metaloorganicznych lub amin. Reakcje glikolizy zazwyczaj prowadzi się w nadmiarze ilości glikolu w stosunku do polimeru. W literaturze bardzo dobrze opisano glikolizę odpadów PET i PU. Glikoliza PET to transestryfikacja między grupami estrowymi PET i diolem (głównie EG) w celu uzyskania monomeru, tereftalanu bis(2-hydroksyetylu) (BHET) [44] (rys. 4). W przypadku glikolizy PU rozkład prowa-

dzi się przez rozrywanie wiązań uretanowych i mocznikowych, a także grup allofanianowych i biuretowych.

Otrzymany półprodukt może zawierać mieszaninę związków głównie polioliu z recyklingu, związku oligomerowego podobnego do polioliu, a także produktów ubocznych, takich jak karbaminiany i diaminy o małej masie cząsteczkowej (rys. 5) [45, 46]. Glikoliza alifatycznych poliamidów powinna prowadzić do otrzymania diamin [47]. Bardzo często produkt z glikolizy jest wykorzystywany do produkcji oryginalnego polimeru, nowego materiału lub przydanych związków chemicznych [48–50].

Podczas alkoholizy jako reagent stosuje się alkohol, najczęściej stosowany jest metanol, ale także etanol lub butanol. Reakcja przeprowadzana jest pod podwyższonym ciśnieniem i w zakresie temperaturowym 180–280°C. Oprócz głównego monomeru, można odzyskiwać substraty użyte do reakcji np. poprzez destylację metanolu (który może być ponownie zastosowany do tego samego celu). Często reakcje alkoholizy prowadzone są w warunkach nadkrytycznych lub w obecności dużych ilości stężonych kwasów lub zasad jako katalizatorów. Pozwala to na osiąganie wysokich wydajności w krótkim czasie [51]. W wyniku reakcji PET z metanolem otrzymywany jest tereftalan dimetylu (DMT) i glikol etylenowy. W przypadku PC, metanol często mieszany jest z innym rozpuszczalnikiem np. toluenem, co pozwala na skrócenie czasu reakcji. Metanoliza PC prowadzi do

Tabela 2. Krótki przegląd metod recyklingu chemicznego PET, PU, PC, PA

Polimer	Reagent/Katalizator	Warunki	Produkt	Wydajność	Lit.
PET	Woda/NaOH (5-15% wag.)	T: 50-80°C	Na_2TPA , EG	Do 95%	[53]
PET	EG/Octan cynku, ABCO	T: 180°C	BHET, EG	96%	[54]
PET	AEEA/ Octan cynku	PET/AEEA= 1/2 ; 1/3; 1/4 T: 180°C, Azot	Oligomer PET	53%	[49]
PU	DEG/Oktanian cyny (1,3% wag.)	DEG/PU= 1,5/1; T: 190°C	Poliol polieterowy	70%	[55]
PU/PIR	EG/DBDTL	PU/gliceryna=3/1 T: 220°C	Oligomer, polioli, karbaminiany	70%	[15]
PU	Dietylenotriamina/NaOH	T: 180°C, Azot	MDA, oligomery uretanowe	-	[56]
PC	Metanol, THF/NaOH	T: 30°C; Ultradźwięki	DMC, BPA	Do 100%	[57]
PC	N-heksyloamina, Anizol /-	T: 75-85°C, Azot	karbaminiany, BPA	50%	[43]
PA 6.6	TETA, EG/Wodorofosforan diamonu (2% wag.)	PA/EG/TETA= 1/1/1; 1/2/2 T: 190°C, p:atm.	związki z grupami OH i NH o masie cząsteczkowej (90-250 g/mol)	-	[47]
PA 6	Woda/HCl	HCl/amid=1,25/1; 2,5/1 T: 200°C, Mikrofałe	HMDA, kwas adypinowy	88-90%	[58]

*ABCO- Azabicyklo[2.2.2]oktan, AEEA-Aminoetyloetanoloamina, DBDTL- Diłaurynian dibutylocyny, DEG- Glikol dietylenowy, HMDA-Heksametylenodiamina, MDA-4,4'-Diaminodifenyloetan, TETA-Trietylenotetraamina

uzyskania monomeru, a mianowicie bisfenolu A (BPA) i węglanu dimetylu (DMC) (rys. 6) [52].

Aminoliza to metoda opierająca się na reakcji polimeru z grupą aminową pochodzącą od wybranej aminy, najczęściej I rzędowej, dwufunkcyjnej. W przypadku aminolizy reagentami są: dietanoloamina, monoetanoloamina, monohydrat hydrazyny, 1 amino 2 propanol. Reakcję aminolizy prowadzi się w temperaturze 170–300°C, przy podwyższonym ciśnieniu (nawet do 2 MPa). Grupy aminowe są bardzo reaktywne, w związku z tym reakcja może zachodzić w niższych temperaturach. Jest to metoda często stosowana w reakcjach dekompozycji PET, ale także PU, PC (w warunkach nadkrytycznych) [4]. W przypadku PU produktami aminolizy są aromatyczne związki, polioli, różnej rzędowości aminy [47]. Bis(2-hydroksyloetylo)-tereftalamid (BHETA) jest głównym produktem przy stosowaniu etanoloaminy w aminolizie PETu (rys. 4). BHETA ma potencjał aplikacyjny w produkcji nowoczesnych PU, nienasyconych żywic poliestrowych, syntezy bisoksazoliny oraz niejonowych surfaktantów polimerowych.

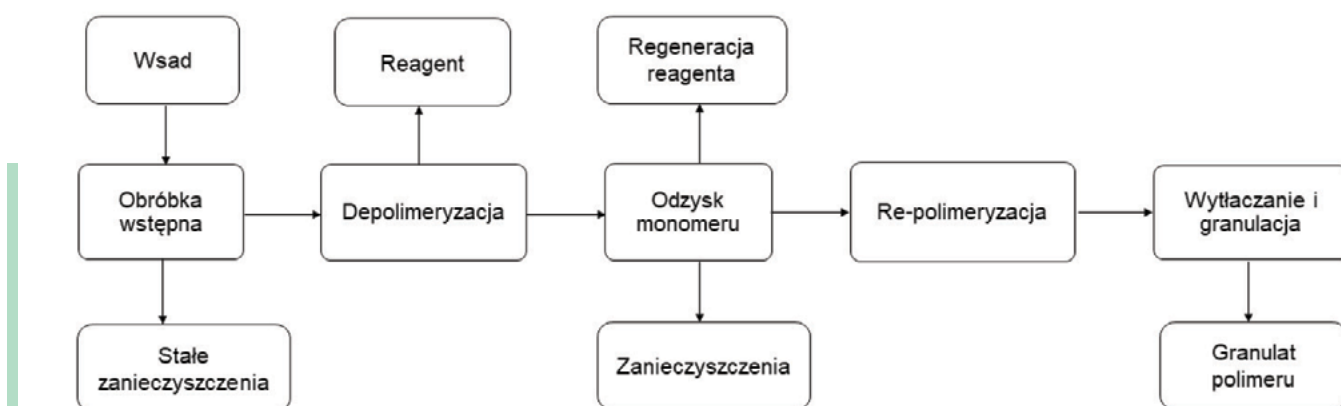
W tabeli 2 zestawiono wybrane procesy solwolizy PET, PU, PC i PA. Najbardziej odpowiednim procesem rozkładu PU i PET jest glikoliza, ponieważ reakcja pozwala na wysokie wydajności i nie wymaga trudnych warunków reakcji takich jak hydroliza. Skutecznym sposobem rozkładu PC jest metanoliza.

Część z omówionych procesów jest adaptowana przez firmy i dalej rozwijana w celu uzyskiwania wysokich wydajności przy jednoczesnym niskim zużyciu reagentów i energii oraz by uzyskać jak najczystszy wyjściowy monomer, nadający się do sprzedaży. Najbardziej popularnym tworzywem poddawany depolimeryzacji chemicznej jest PET oraz PU.

W tabeli 3 zestawiono przegląd instalacji pilotowych i przemysłowych recyklingu chemicznego. Głównymi przyczynami ograniczonej ilości zakładów operacyjnych są: obecność zanieczyszczeń w zbieranych odpadach (papier, klej); wysokie koszty procesu; brak stałej jakości i ilości surowca (np. różnorodność substratów do produkcji PU). Jednakże, sytuacja ta powinna ulec zmianie ze względu na coraz częstsze wymogi stosowania produktów z recyklingu w celu wpisania się do założeń gospodarki o obiegu zamkniętym.

Tabela 3. Przegląd instalacji pilotowych i przemysłowych recyklingu chemicznego PET, PU, PA

Firma, kraj	Typ odpadu	Technologia	Monomer	Zdolność przetwarzania	Lit.
Gr3n, Szwajcaria	Butelki, tkaniny, włókna PET	Zasadowa hydroliza przy użyciu mikrofal	TPA	60 kg/h	[59]
Ioniq Technologies, Holandia	Butelki, opakowania, włókna PET	Glikoliza przy użyciu ILS i magnetycznych katalizatorów	BHET	10 000 ton/rok	[60]
PerPETual, Wielka Brytania	Butelki PET	Glikoliza	oligomery o niskiej Mn	2 mln butelek/dzień	[61]
Carbios, Francja	Butelki, opakowania, włókna, tkaniny PET	Hydroliza enzymatyczna za pomocą PET-depolymerase	TPA	-	[62]
Garbo, Włochy	Butelki, opakowania, włókna, tkaniny PET	Glikoliza	BHET	1000 ton/rok	[63]
Rampf, Niemcy	PU, PET, PA, PHB	Glikoliza, aminoliza, acydoliza	poliol RECYPOL®	-	[64]
Repsol, Hiszpania	Elastyczne pianki PU materacowe	Na bazie RAMF Eco Solutions	poliol	2000 ton metrycznych/rok	[65]
H&S Anlagentechnik, Niemcy	Elastyczne i sztywne pianki PU	Acydoliza (mieszanka polioliu i kwasów karboksylowych)	poliol	-	[66]
Covestro, Niemcy	Elastyczna pianka PU ze zużytych materacy	Depolimeryzacja	poliol, izocyjanian	-	[67]
Aquafil, Włochy	Włókna PA 6 z dywanów	Depolimeryzacja	Kaprolaktam, włókna Econyl®	15 000 ton/ rok	[68]



Rys. 7. Schemat etapów depolimeryzacji chemicznej

Typowy proces depolimeryzacji chemicznej powinien składać się z następujących etapów (rys. 7):

1. Obróbka wstępna w celu usunięcia wszelkich zanieczyszczeń i materiału organicznego;
2. Depolimeryzacja w celu zerwania wiązań polimerowych i wytworzenia monomerów, zazwyczaj przy użyciu środka (np. katalizatora, reagenta) promującego reakcję;
3. Odzyskiwanie monomerów, w celu oddzielenia monomerów od wszelkich nieprzereagowanych i obojętnych materiałów. Ewentualna regeneracja reagenta;
4. Repolimeryzacja w celu otrzymania polimeru z odzyskanych monomerów;
5. Ekstruzja i granulacja w celu stworzenia nowych produktów polimerowych.

RECYKLING CHEMICZNY DUROPLASTÓW, ELASTOMERÓW I MIESZANIN POLIMEROWYCH

Większość prac badawczych dotyczy rozwijania metod recyklingu chemicznego polimerów (winylowych, kondensacyjnych) omówionych w poprzednich punktach. Jest to związane przede wszystkim z ich popularnością, czyli również ilością wytwarzanych odpadów z nich, ale też relatywnie łatwymi metodami ich depolimeryzacji. Jednakże tworzywa sztuczne to nie tylko czyste polimery termoplastyczne, ale także gumy, tworzywa termoutwardzalne i mieszaniny polimerowe. Bardzo często nie zostają one uwzględniane ze względu na trudność ich utylizacji. Popularnym sposobem ich zagospodarowania jest ich rozdrobienie i użycie jako napełniacza, bądź kompozytów mieszanych z drewnem.

Recykling chemiczny duroplastów i elastomerów

Materiały polimerowe, takie jak żywice i pianki poliuretanowe, są klasyfikowane jako materiały termoutwardzalne i wraz z syntetyczną gumą stanowią około 20% wytwarzanych materiałów polimerowych. Ich trójwymiarowa usieciowana struktura jest preferowana w zastosowaniach wymagających wysokiej odporności na obciążenia, ciepło lub degradację. Jednak ta cecha utrudnia ich recykling w prostych cyklach ogrzewania [69]. Możliwości recyklingu chemicznego PU zostały omówione we wcześniejszym punkcie.

Najbardziej popularne żywice to nienasycone żywice poliestrowe, epoksydowe, winyloestrowe oraz metakrylowe. Zazwyczaj są stosowane jako powłoki, materiały kompozytowe wzmocnione włóknem, obudowy, profile lub laminaty, często do zastosowań w przemyśle konstrukcyjnym. Recykling chemiczny żywic zwykle opiera się na reakcjach solwolizy, przy zastosowaniu np. cieczy jonowych, podwyższonych temperatur, a także może odbywać się za pomocą reakcji gazyfikacji lub uwodornienia. Zastosowanie metanolu w warunkach nadkrytycznych, w temperaturze powyżej 350-420°C, umożliwiło konwersję żywicy fenolowej do 94%, a produkty rozkładu to fenol oraz jego metylowane pochodne [70]. Omawiana wcześniej, hydroliza z użyciem katalizatorów zasadowych (NaOH lub KOH) pozwala na dekompozycję poliestrowej żywicy wzmocnionej włóknami i odzyskanie kopolimeru styren-kwas fumarowy, z wydajnością nawet do 99% [71]. W innej pracy zastosowano wodę w stanie nadkrytycznym do gazyfikacji żywic mocznikowo-formaldehadowych. W temperaturze 700°C możliwe było uzyskanie nawet 70% frakcji wodorowej w produkcji [72].

Prawie 70% kauczuków naturalnych i syntetycznych wykorzystuje się do produkcji opon. Według raportu Światowej Rady Biznesu na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju (World Business Council for Sustainable Development) z 2018 r., 31% z ponad 25 milionów ton zużytych opon jest składowana, zaś reszta jest

odzyskiwana [73]. Aby poprawić właściwości gumy, dodawana jest siarka w wysokich temperaturach, co pozwala na utworzenie się wiązań między siarką, a nienasyconymi łańcuchami polimerowymi gumy. Jest to wulkanizacja. Główne metody zagospodarowania gumy to procesy: termomechaniczne (zastosowanie wysokiej temperatury ok. 200°C oraz sił ścinających); mechanochemiczne (siły ścinające, podwyższona temperatura oraz substancje chemiczne jak olej, chlorek cynku, mielenie); mikrofalowe (rozbijanie wiązań przy określonej częstotliwości i poziomie energii) i ultrasoniczne (wytworzenie naprężeń rozciągających i ściskających). Wymienione metody opierają się na wstępnym przetworzeniu gumy, tak by dostarczyć wystarczającą ilość energii do rozerwania wiązań węgiel-siarka i siarka-siarka [74, 75]. Przemysłowo najczęściej stosowane są procesy termomechaniczne i mechanochemiczne do odzyskiwania gum. Do regeneracji gumy stosuje się różne związki organiczne i nieorganiczne (związki siarczkowe, merkaptany). Stosowanie disiarczaków i merkaptanów w warunkach podwyższonej temperatury pozwala na powstanie rodnikowych form, które będą dalej prowadzić do dewulkanizacji gum [74]. Piroliza gum może być uznawana za proces recyklingu chemicznego ze względu na rozkład chemiczny do podstawowych związków. Głównymi produktami pirolizy opon w 700°C są: gaz (20%, głównie metan, etan, propen), olej (36%) bogaty w związki aromatyczne (BTX) i sadza (30%). Odzyskano też ok. 2-4% wag. izobutenu, a zawartość izoprenu osiągnęła 22% wag. w wyniku pirolizy kauczuku naturalnego [76]. W celu odzysku kauczuku, stosowane są również rozpuszczalniki (alkohole, ketony), ciecze nadkrytyczne (woda, etanol, toluen) bądź ciecze jonowe (sole fosfoniowe, imidazolowe). Etanol w stanie nadkrytycznym wraz z disiarczkiem difenylu pozwoliły na dewulkanizację gumy z kauczuku naturalnego i butadienowego w temperaturze 270°C oraz odzysk znacznej ilości frakcji żolowej i jednoczesny spadek gęstości usieciowania [77].

Recykling mieszanin polimerowych

Mieszaniny polimerowe to materiały otrzymane ze zmieszania co najmniej dwóch typów polimerów, gdy ilość drugiego składnika wynosi >2%. Otrzymywane są w celu opracowania nowych materiałów o właściwościach dostosowanych do indywidualnych potrzeb producentów, odmiennych od właściwości wyjściowych polimerów, wykonywane w celu poprawy parametrów przetwórczych, własności fizycznych i/lub chemicznych, albo redukcji kosztów surowcowych. Zwykle recykling mieszanin polimerowych opiera się na recyklingu mechanicznym, celem poprawy ich morfologii, za pomocą mieszania oraz ponownej kompatybilizacji [8]. Jedną z metod recyklingu mieszanin polimerowych może być selektywne rozpuszczenie w rozpuszczalniku, tak by jedna faza została nieruszona i mogła zostać dalej poddana recyklingowi mechanicznemu. Tsuneizumi zaproponował recykling mieszaniny PLLA/PE, która najpierw była rozpuszczona w toluenie w 100°C przez 1h, a następnie PLLA było dalej poddane depolimeryzacji za pomocą montmorylonitu i enzymu lipazy. Po zakończeniu reakcji otrzymano oligomer kwasu mlekowego o masie molowej $M_n=200-300$ g/mol [78]. Aby proponowana metoda była ekonomiczna oraz odpowiedzialna środowiskowo, powinno stosować się obieg zamknięty i regenerację rozpuszczalnika. Solwoliza może być ciekawym kierunkiem recyklingu mieszanin polimerowych, jeśli te mieszaniny są otrzymane z polimerów polarnych. Mieszanina PET i PLA została poddana alkoholizacji przy użyciu metanolu i octanu cynku jako czynnika oraz katalizatora. W wyniku reakcji otrzymano 65% mleczań metylu, zaś nieprzereagowany PET został odfiltrowany. Wykorzystując reaktywność ►

różnych polimerów na alkoholizę przy zastosowaniu różnych alkoholi, możliwa jest selektywna separacja, która pozwala by jeden polimer został zdepolimeryzowany w celu otrzymania monomerów [79].

PODSUMOWANIE

Technologie recyklingu tworzyw sztucznych wpisują się w model gospodarki o obiegu zamkniętym. Ten model umożliwia ponowne wykorzystanie każdego materiału wraz z wprowadzeniem strategii przemysłowych, takich jak zapobieganie powstawaniu odpadów, efektywne gospodarowanie zasobami oraz wykorzystanie zrównoważonych materiałów i technologii. Recykling chemiczny jest komplementarny dla recyklingu mechanicznego, ponieważ umożliwia przetwarzanie odpadów, które nie mogą być przetwarzane prostymi technologiami lub zostałyby składowane lub spalane. Z surowców otrzymanych w procesach recyklingu chemicznego można otrzymać w tradycyjnych instalacjach polimery o identycznej jakości jak te wytwarzane z monomerów otrzymywanych z ropy lub gazu, także do kontaktu z żywnością, co stanowi ważny krok w kierunku zamknięcia obiegu opakowań. Jednocześnie pozwala to na poszanowanie zasobów naturalnych.

LITERATURA

- [32] <https://www.regenyxl.com/>, dostęp 07.02.2022
- [33] <https://www.encia.com/>, dostęp 07.02.2022
- [34] <https://enerkem.com/>, dostęp 07.02.2022
- [35] S. Thiyagarajan, E. Maaskant-Reilink, T.A. Ewing, M.K. Julsing, J. van Haveren: *RSC Adv.*, 2022, 12, 947.
- [36] J.C. Worch, A.P. Dove: *ACS Macro Lett.*, 2020, 9, 1494.
- [37] H. Beneš, R. Černá, A. Ďuračková, aP. Látalová, J. Polym. Environ., 2012, 20, 175.
- [38] X. Song, H. Wang, X. Zheng, F. Liu, S. Yu: *J. Appl. Polym. Sci.*, 2014, 131, 40817.
- [39] S. Liu, L. Zhou, L. Li, S. Yu, F. Liu, C. Xie, Z. Song: *J. Polym. Res.*, 2013, 20, 310.
- [40] Z. Guo, K. Lindqvist, H. de la Motte: *J. Appl. Polym. Sci.*, 2018, 135, 6.
- [41] S.R. Shukla, V. Palekar, N. Pingale: *J. Appl. Polym. Sci.*, 2008, 110, 501.
- [42] Q. Suo, J. Zi, Z. Bai, S. Qi: *Catal. Lett.*, 2017, 147, 240.
- [43] C.H. Wu, L.Y. Chen, R.J. Jeng, S.A. Dai: *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 2018, 6, 8964.
- [44] E. Barnard, J.J. Rubio Arias, W. Thielemans: *Green Chem.*, 2021, 23, 3765.
- [45] D. Simón, A.M. Borreguero, A. de Lucas, J.F. Rodríguez: *Waste Manage.*, 2018, 76, 147. [46] J. Datta, M. Rohn, *Polimery*, 2007, 52, 579.
- [47] J. Datta, K. Błazek, M. Włoch, R. Bukowski: *J. Polym. Environ*, 2018, 26, 4415.
- [48] P.J. Trzebiatowska, I. Deuter, J. Datta: *React. Funct. Polym*, 2017, 119, 20.
- [49] V. Jamdar, M. Kathalewar, A. Sabnis: *J. Polym. Environ.*, 2018, 26, 2601.
- [50] J. Sadowska-Paciorek, B. Czupryński, J. Liszkowska: 2016, 48, 340.
- [51] R. Piñero, J. García, M.J. Cocero: *Green Chem.*, 2005, 7, 380.
- [52] E.V. Antonakou, D.S. Achilias: *Waste and Biomass Valori.*, 2013, 4, 9.
- [53] S. Ügdüler, K. Van Geem, R. Denolf, M. Roosen, N. Mys, K. Ragaert, S. De Meester: *Green Chem.*, 2020, 22, 5376.
- [54] K.R. Delle Chiaie, F.R. McMahon, E.J. Williams, M.J. Price, A.P. Dove: *Polym. Chem.*, 2020, 11, 1450.
- [55] D. Simón, A. de Lucas, J.F. Rodríguez, A.M. Borreguero: *Polym. Degrad. Stab.*, 2016, 133, 119.
- [56] S. Chuayjuljit, C. Norakankorn, V. Pimpan: *J. Met. Mater. Miner.*, 2002, 12, 19.
- [57] C.S. Bhogle, A.B. Pandit: *Ultrason. Sonochem.*, 2019, 58, 104667.
- [58] U. Češarek, D. Pahovnik, E. Žagar: *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 2020, 8, 16274.
- [59] <https://gr3n-recycling.com/>, dostęp 07.02.2022
- [60] <https://ioniq.com/>, dostęp 07.02.2022
- [61] <https://www.perpetual-global.com/>, dostęp 07.02.2022
- [62] <https://www.carbios.com/en/>, dostęp 07.02.2022
- [63] <https://garbo.it/en/chempet/>, dostęp 07.02.2022
- [64] <https://www.rampf-group.com>, dostęp 07.02.2022
- [65] <https://www.repsol.com/en/products-and-services/chemicals/news/repsol-construira-puertollano-primera-planta-reciclado-poliuretano-espana0/index.cshtml>, dostęp 07.02.2022
- [66] <https://www.hs-anlagentechnik.de/de/recyclingreaktoren-fuer-pu-reststoffe.html>, dostęp 07.02.2022
- [67] <https://www.covestro.com/press/closing-the-loop-for-polyurethane-mattresses-public>, dostęp 07.02.2022
- [68] <https://www.aquafil.com/sustainability/econyl/>, dostęp 07.02.2022
- [69] M. Kazemi, S. Faisal Kabir, E.H. Fini: *Res. Conserv. Recycl.*, 2021, 174, 105776.
- [70] J.I. Ozaki, S.K.I. Djaja, A. Oya: *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2000, 39, 245.
- [71] T. Nakagawa, M. Goto: *Polym. Degrad. Stab.*, 2015, 115, 16.
- [72] W. Wang, B. Bai, W. Wei, C. Cao, H. Jin: *International Journal of Hydrogen Energy*, 2021, 46, 35121. [73] World Business Council for Sustainable Development, *Global ELT Management – a global state of knowledge on collection rates, recovery routes, and management methods*, 2018.
- [74] L. Bockstal, T. Berchem, Q. Schmetz, A. Richel: *J. Cleaner Prod.*, 2019, 236, 117574.
- [75] X. Colom, A. Faliq, K. Formela, J. Canavate: *Polym. Test.*, 2016, 52, 200.
- [76] W. Kaminsky, C. Mennerich, Z. Zhang: *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 2009, 85, 334.
- [77] X. Li, X. Q. Deng, C. Dong: *J. Braz. Chem. Soc.*, 2018, 29, 2169.
- [78] Y. Tsuneizumi, M. Kuwahara, K. Okamoto, S. Matsumura: *Polym. Degrad. Stab.*, 2010, 95, 1387.
- [79] A. Carné Sánchez, S.R. Collinson: *Eur. Polym. J.*, 2011, 47, 1970.

Artykuł został opublikowany w czasopiśmie „Wiadomości Chemiczne”
2022, 76, 3-4, s. 157–181.

dr inż. Patrycja Jutrzenka Trzebiatowska
Katedra Technologii Środowiska
Wydział Chemii Uniwersytetu Gdańskiego
ul. Wita Stwosza 63, 80-308 Gdańsk

Rewolucja materiałowa i redukcja odpadów

Firma UBQ opatentowała pierwszy na świecie termoplast biotechnologiczny, który w całości składa się ze zmieszanych odpadów domowych wraz ze wszelkimi surowcami pochodzenia organicznego. Do tej produkcji firma wykorzystuje innowacyjną technologię. W ten sposób UBQ dostarcza zrównoważonego zamiennika tworzyw sztucznych produkowanych z ropy naftowej. Zlecenie na produkcję wraz z dostawą kompletnej mechanicznej technologii przetwarzania i magazynowania otrzymała firma Vecoplan. Dla niezawodnego partnera z branży recyklingu to jak do tej pory największe pojedyncze zlecenie w historii firmy.

W grudniu 2021 roku izraelska firma UBQ Materials z branży Energy Environment Cleantech (EEC) zleciła grupie Vecoplan dostawę mechanicznej technologii przetwarzania i magazynowania dla niderlandzkiego zakładu w Bergen Op Zoom o zdolnościach przerobowych na poziomie 80 000 ton. Do realizacji przedsięwzięcia zaangażowano cały łańcuch wartości dodanej Vecoplan. W projekcie bierze udział także 20 innych firm. W ramach projektu zakres dostawy przez Vecoplan jest proporcjonalnie największy. Rozruch ma nastąpić w 2023 roku.

Już w fazie koncepcyjnej firma Vecoplan wspierała UBQ swoim wieloletnim doświadczeniem. Cel był jeden: utworzenie niezawodnego przepływu materiałów od przyjęcia, przez obróbkę, aż po transport i magazynowanie, a także odpowiednie zintegrowanie go jako całości z kompletnym procesem – z uwzględnieniem wymogów.

– Nasza współpraca rozpoczęła się już w 2013 roku podczas tworzenia instalacji pilotażowej w Izraelu – mówi Martina Schmidt, kierownik działu Recycling | Waste w Vecoplan AG. – Najciekawsze jest to, że w przeciwieństwie do tradycyjnych metod recyklingowa-

nia UBQ wykorzystuje wszystkie rodzaje śmieci. Nowa technologia pozwala na upcykling odpadów spożywczych, tworzyw zmieszanych, a nawet tektury i stworzenie z nich nowego surowca.

UBQ ma certyfikat B Corp. W swoim statucie firma podkreśla zasadę wartości dodanej dla społeczeństwa i ekologicznego, zrównoważonego rozwoju. Do klientów firmy należą m.in. Mercedes-Benz, PepsiCo i Arcos Dorados Holdings – przedsiębiorstwo, które jest właścicielem franczyzy na sieć restauracji fastfoodowych McDonald's w 20 krajach Ameryki Łacińskiej i Karaibów. Pozytywny wpływ na klimat i konkurencyjna cena nowego, biotechnologicznego termoplastu sprawiają, że UBQ może oferować producentom łatwe przejście do realizacji idei bardziej zrównoważonego rozwoju.

Vecoplan AG
Vor der Bitz 10
56470 Bad Marienberg, Niemcy
tel. +49 2661 62670, faks: +49 2661 626770
welcome@vecoplan.de, www.vecoplan.de

REKLAMA

Vecoplan®

TIME FOR VISIONARIES

Odwiedź nas na targach
PLASTPOL w Kielcach
 23 – 26 maja 2023

Od 1969 tworzymy rozwiązania jutro.

Kiedy kończy się cykl życia jednego produktu, rozpoczyna się cykl życia nowego produktu. Technologia przetwarzania Vecoplan to nasze rozwiązanie do cenionego obchodzenia się z zasobami – wczoraj, dziś i jutro. Zostań wizjonerem!

Vecoplan AG | Germany | phone +492661 6267-0 | welcome@vecoplan.com | www.vecoplan.com

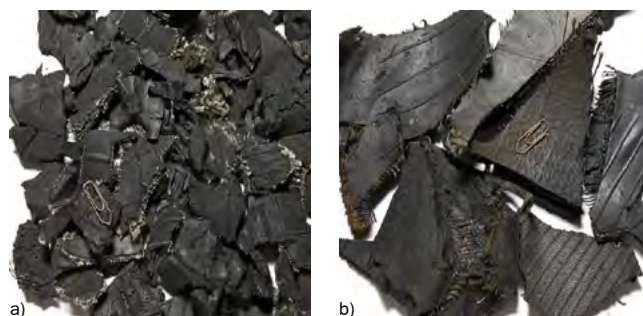
Bezpieczeństwo nasypów z antropogenicznym wypełnieniem gumowym z recyklingu opon

Krzysztof Trojnar

W artykule opisano problemy recyklingu zużytych opon samochodowych i przedstawiono propozycje wykorzystania gumy z opon do budowy lekkich nasypów zawierających antropogeniczną zasypkę gumową. Przeprowadzono własne analizy na modelach numerycznych nasypu drogowego podpartego ścianami oporowymi, a uzyskane wyniki porównano z wariantem tradycyjnego nasypu z piasku. Obliczenia różnych zasypek zawierających m.in. rozdrobnione części opon pozwoliły wskazać optymalny wariant wykonania nasypu zawierającego gumę, spełniającego te same wymagania co rozwiązanie tradycyjne. Pomimo że zaproponowana antropogeniczna zasypka gumowa jest obecnie droższa od tradycyjnej zasypki z piasku, można wykazać warunki jej przydatności, szczególnie w przypadku słabego podłoża. Przeprowadzona analiza ekonomiczna pokazała korzystną z punktu widzenia ochrony środowiska strukturę kosztów materiałowych budowy lekkich nasypów z gumą w porównaniu z rozwiązaniem tradycyjnym z piasku. Wyniki obliczeń odniesiono do budowy przykładowego nasypu na dojeździe do wiaduktu w ciągu drogi DK9 k/Rzeszowa.

Według prowadzonych statystyk, rocznie w krajach Unii Europejskiej potrzebna jest utylizacja lub zagospodarowanie około 3,5 mln ton zużytych opon samochodowych, z czego około 500 tys. ton przypada na Polskę. Biorąc pod uwagę stale rozwijający się przemysł motoryzacyjny, można przewidywać, że w kolejnych latach liczba zużytych opon będzie rosła. Utylizacja takich tzw. „trudnych” odpadów stanowi już teraz poważny problem społeczny i techniczny w wielu krajach, ponieważ wpływa negatywnie na stan środowiska naturalnego. Mimo obowiązku utylizacji i zakazu składowania całych opon, spora ich część trafia na nielegalne wysypiska lub jest porzucana np. w lasach. Z punktu widzenia zagospodarowania zużytych opon w krajach europejskich największe znaczenie mają trzy dyrektywy unijne: Landfill 1999/31/EC oraz End-of-Life Vehicle 2000/53/EC, Waste Incineration 2000/73/EC. Dotyczą one zakazu składowania zużytych opon i nakładają obowiązek ich odzysku i recyklingu, docelowo, na poziomie 85%. W związku z tym wszystkie stare pojazdy przed złomowaniem muszą mieć zdjęte opony, a cementownie wykorzystujące dotąd zużyte opony jako alternatywne paliwo są zobowiązane do wprowadzenia wyższych limitów ograniczania emisji szkodliwych gazów odlotowych. Aktualnie w Polsce odzysk i recykling opon jest jeszcze na niewystarczającym poziomie. Wprowadzono już w życie zakaz składowania zużytych opon samochodowych (ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001r.) oraz nałożono na producentów i importerów pojazdów obowiązek zagospodarowania zużytych opon (ustawa z dnia 11 maja 2001 r.). W celu szybszego osiągnięcia docelowego poziomu recyklingu opon (85%) wprowadzono opłaty produktowe i depozytowe. Obecnie poszukuje się różnych sposobów zagospodarowania zużytych opon w innowacyjnych konstrukcjach [2, 3, 11, 12]. Zużyte opony mogą podlegać wykorzystaniu w jednej z trzech możliwych form recyklingu: produktowego, materiałowego lub energetycznego. Jedną z proekologicznych metod utylizacji opon jest ich powtórne wykorzystanie jako rozdrobnionego składnika antropogenicznych zasypek przy budowie konstrukcji oporowych i nasypów [9].

Rozdrabnianie opon jest już stosowane na skalę przemysłową w krajach zachodnich w celu uzyskania materiału przydatnego do dalszego wtórnego wykorzystania [8]. Proces ten polega na cięciu opon w sposób mechaniczny albo na kruszeniu metodą kriogeniczną z zastosowaniem ciekłego azotu. W końcowej fazie oddziela się frakcje gumowe od stalowych i tekstylnych. W efekcie rozdrobnienia opon otrzymuje się mieszanek składającą się z gumy, tekstyliów oraz (opcjonalnie) części metalowych. Sposób wykorzystania rozdrobnionej gumy w budownictwie zależy w dużej mierze od wielkości cząstek. Klasyfikację materiałów otrzymywanych ze zużytych opon opartą na przepisach europejskich podano w tab. 1 (EN 14243, 2005). Przykładowe formy przetworzonych opon w postaci strzępów gumowych pokazano na rys. 1. Strzępy z opon mogą być z powodzeniem stosowane do budowy nasypów jako lekkie antropogeniczne kruszywo oraz jako zasypka konstrukcji oporowych, ścian tuneli oraz przyczółków mostowych. Ten rodzaj niekonwencjonalnego materiału spełnia też definicję gruntu antropogenicznego [4]. Przydatność materiałowa części gumowych pochodzących z przetworzenia opon wynika przede wszystkim z korzystnych właściwości fizycznych, ponieważ mają trzykrotnie mniejszy ciężar objętościowy w porównaniu ze standardowymi kruszywami mineralnymi,



Rys. 1. Formy rozdrobnionych opon przydatne do wypełniania nasypów; a. czipsy, b. strzępy

ośmiokrotnie lepszą izolacyjność cieplną oraz bardzo dobre właściwości drenujące wodę. Wywołują przy tym mniejsze parcie boczne oraz mogą pełnić rolę warstw tłumiących drgania. Te właściwości są szczególnie pożądane w materiałach stosowanych w budownictwie komunikacyjnym [13, 15].

ANTROPOGENICZNE ZASYPKI GUMOWE DO BUDOWY NASYPÓW I KONSTRUKCJI OPOROWYCH

Opis przykładowego nasypu

Analizowanym przykładowym obiektem jest nasyp w ciągu drogi krajowej DK9, stanowiący dojazd do wiaduktu nad drogą wojewódzką nr 869 na północ od Rzeszowa. Skrzyżowanie zaprojektowano jako dwupoziomowe w formie węzła WB typu „karo”. Widok ogólny obiektu pokazano na rys. 2.

Wiadukt ma długość 80 m. Droga na nasypie jest dwujezdniowa o szerokości 8,40 m. Nasyp ma zmienną wysokość 1–6 m. Wykonano go w formie konstrukcji oporowej w technologii Optem-BLOK. Po obu stronach dojazdu do wiaduktu na dolnym poziomie są dodatkowe jezdnie drogowe, stąd pionowe ściany nasypu zostały podparte konstrukcjami oporowymi i zwieńczone górą gzymsem żelbetowym, na którym zamontowano bariery energochłonne i oświetlenie drogi. Własne analizy obliczeniowe przeprowadzono dla nasypu w przekroju drogowym o wysokości 5,30 m (w pobliżu przyczółków).

Tabela 1. Europejska klasyfikacja rozdrobnionych opon

Rodzaj rozdrobnionych odpadów gumowych	Rozmiar cząstek [mm]
Opony cięte (połówki i mniejsze fragmenty)	> 300
Strzępy	50-300
Czipsy	10-50
Granulat	1-10
Miał	0-1

Warunki gruntowo-wodne

Na podstawie danych z badań geologicznych ustalono, że podłoże nasypu ma poziomy układ warstw i jest wystarczająco nośne. Korpus nasypu wraz z podpierającymi ścianami oporowymi jest posadowiony na osadach fluwiogłacjalnych, interglacjalnych i glacialnych. Pierwszą 3-metrową warstwę stanowią piaski drobne i pylaste w stanie średniozagęszczonym. Niżej zalegają ły pylaste w stanie plastycznym o miąższości 2,80 m, oparte na glinach lodowcowych w stanie twardoplastycznym. Poziom zwierciadła wód gruntowych jest na głębokości 1,50 m ppt. Parametry geotechniczne warstw podłoża zestawiono w tab. 2, porządkując je w pakiety warstw obliczeniowych według kryterium stanu gruntu.

Parametry zasypek

Do analiz obliczeniowych przyjęto zasypkę antropogeniczną ze strzępów gumowych 50/76 oraz porównawczo tradycyjną zasypkę z piasku średniego (praktycznie wykorzystywana na budowie tego nasypu). Parametry techniczne strzępów gumowych jako alternatywnego materiału do budowy nasypów przyjęto na podstawie badań innych autorów [5, 1] i zestawiono w tab. 3, łącznie z parametrami dla piasku.



Rys. 2. Nasyp na dojeździe do wiaduktu w ciągu drogi DK9 k/Rzeszowa

Tabela 2. Parametry geotechniczne podłoża

Rodzaj gruntu/parametry geotechniczne:	P_{σ}	P_d	I_{σ}	I_{σ}/P_{σ}	G_{pz}
Miąższość warstwy, m	3,0		2,8		>10
	0,7	2,3	1,3	1,5	
St. zagęszczenia/plastyczności, -	0,35		0,1		0,2
Gęstość objętościowa, kN/m^3	19,0		19,7		21,5
Moduł ścisłości, MPa	46		34		29
Kąt tarcia wewnętrznego, °	29		12		14
Spójność, kPa	0		57		16

Tabela 3. Parametry techniczne zasypki z piasku oraz ze strzępów gumowych

Materiał zasypki	Piasek średni	Strzępy gumowe 50/76
Wskaźnik zagęszczenia	0,98	0,98
Ciężar objętościowy, kN/m^3	17,8	6,13
Kąt tarcia wewnętrznego, °	37	19
Spójność, kPa	0	11,5
Współczynnik Poissona, -	0.25	0,30
Współczynnik filtracji, cm/s	$1,8 \times 10^{-2}$	4,8
Moduł sprężystości, MPa	170	1,13

Analiza numeryczna nasypu z wypełnieniem gumowym

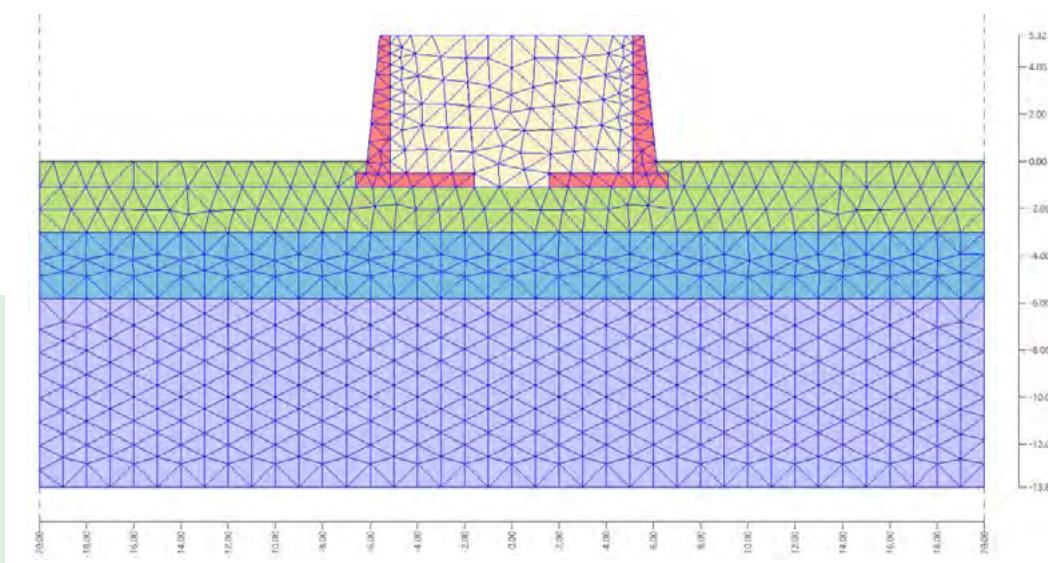
Opracowano trzy warianty modelu numerycznego nasypu podpartego ścianami oporowymi o wysokości 3 m, 6 m i 9 m, przyjmując we wszystkich przypadkach standardowo warunki brzegowe oraz dyskretyzację siatki MES. W strefach styku zasypki ze ścianami oporowymi odpowiednio zagęszczono siatkę w celu uzyskania dokładniejszych wyników. Obszar obliczeniowy MES o wymiarach 40 m x 20 m jest pokazany na rys. 3. Przyjęto sprężysto-plastyczny model podłoża oraz zasypki z kryterium plastyczności Coloumba - Mohra. Obliczenia wykonano z uwzględnieniem wymagań normowych nośności podłoża i stateczności budowli (PN-EN 1997-1, 2010). Zgodnie z zaleceniami literaturowymi [16] uwzględniono wymaganie, aby maksymalna miąższość jednolitej warstwy odpadów gumowych w nasypie nie przekraczała 3 m ze względu na ryzyko wystąpienia reakcji termicznych. Wyniki obliczeń pokazały, że niezależnie od wysokości analizowanych nasypów zastosowanie zasypki z rozdrobnionej gumy pozwoliło poprawić ich stateczność. Zestawienie wyników pokazano graficznie na rys. 4 i rys. 5. Obliczone współczynniki bezpieczeństwa na przesuw po gruncie oraz na obrót okazały się wyższe w porównaniu z tradycyjnym wypełnieniem z piasku. Można stąd wysunąć generalny wniosek, że w zakresie wysokości nasypów 3–9 m konstrukcje oporowe, w których wykorzystano rozdrobnione opony są bardziej stateczne w porównaniu z nasypami wykonanymi z piasku.

Szczegółowym obliczeniom poddano nasyp o wysokości 5,3 m podparty ścianami płytowo-kątowymi. Wymiary przekroju ścian podpierających przyjęto na podstawie wstępnych obliczeń. Celem analiz było poszukiwanie optymalnego sposobu ułożenia za-

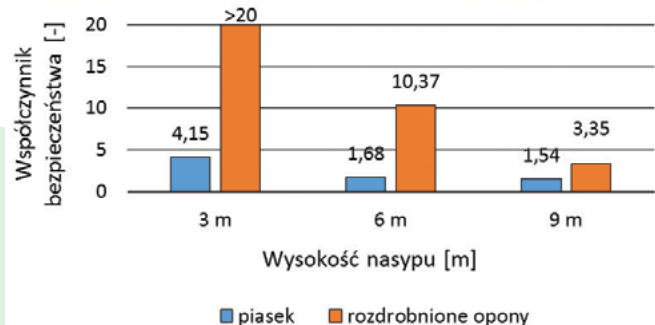
sypki, który pozwoliłyby uzyskać maksymalne korzyści wynikające z zalet antropogenicznego materiału z rozdrobnionych opon, przy jednoczesnym zminimalizowaniu zużycia gumy. Wyniki analiz porównano z rozwiązaniem tradycyjnym z użyciem piasku. Rozpatrzone cztery warianty zasypek, różniące się sposobem ich wbudowania w nasyp za konstrukcją oporową. Schematy ułożenia zasypek pokazano na rys. 6 i opisano w tab. 4.

Efektom analiz obliczeniowych MES są wartości naprężeń i odkształceń w podłożu oraz w zasypce pokazane na rys. 7. Przy wyborze najkorzystniejszego wariantu wypełnienia nasypu z użyciem zasypek z gumą brano pod uwagę: maksymalne naprężenie poziome na ścianę oporową, maksymalne osiadanie nasypu oraz odkształcenie podłoża i naprężenia w strefach pod fundamentem ścian podpierających nasyp. Jako wariant porównawczy przyjęto nasyp z tradycyjnym wypełnieniem z piasku (zasypka A). Wariant z zasypką B (strzępy gumowe na całej szerokości nasypu) okazał się najbardziej korzystny spośród analizowanych wariantów ze względu na znaczące zmniejszenie naprężeń pionowych i prawie dwukrotne zmniejszenie osiadań nasypu. Za pewną wadę tego rozwiązania można uznać stosunkowo duży koszt użycia rozdrobnionej gumy z opon w porównaniu z tą samą objętością piasku w rozwiązaniu tradycyjnym (zasypka A).

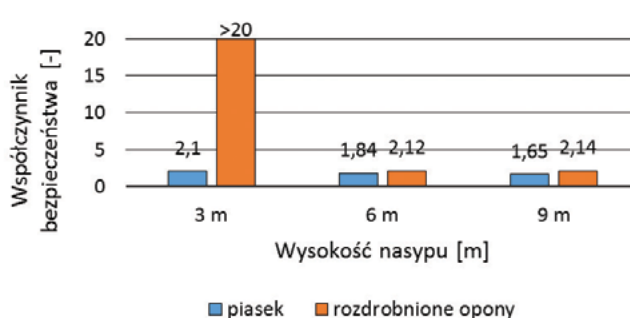
Stwierdzono też, że odkształcenia gumowego wypełnienia nasypu są o 2% większe niż w przypadku zasypki z piasku. Można to wyeliminować w sposób technologiczny, stosując dodatkowo przewarstwienia z piasku i zagęszczanie warstw strzępów gumowych [5, 7]. Obliczenia pozostałych wariantów pokazały, że w przypadku zasypek C i D wystąpił dość niekorzystny rozkład nacisku na podłoże pod nasypem. Dotyczyło to szczególnie



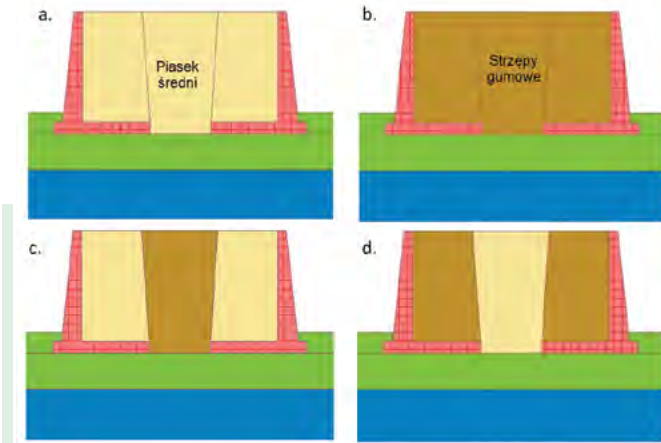
Rys. 3. Model numeryczny nasypu



Rys. 4. Porównanie stateczności na przesuw nasypów o różnej wysokości



Rys. 5. Porównanie stateczności na obrót nasypów o różnej wysokości



Rys. 6. Analizowane warianty wypełnienia nasypu (A, B, C, D)

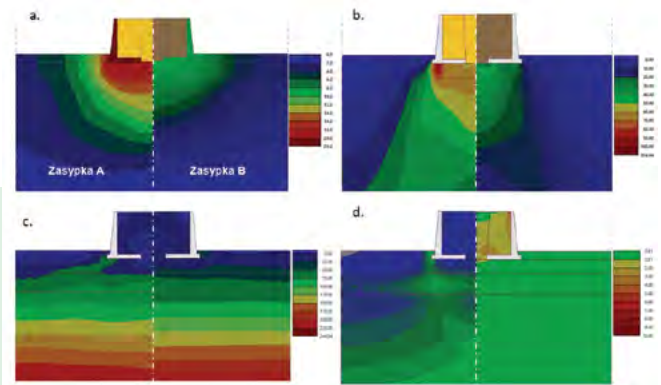
Tabela 4. Analizowane warianty wypełnienia nasypu

Wariant	Sposób wypełnienia
Zasyпка A	piasek w całym nasypie (wariant porównawczy, rozwiązanie tradycyjne)
Zasyпка B	strzępy gumowe w całym nasypie
Zasyпка C	piasek nad odsadzkami, środek nasypu wypełniony strzępami gumowymi
Zasyпка D	strzępy nad odsadzkami, środek wypełniony piaskiem (odwrotnie do C)

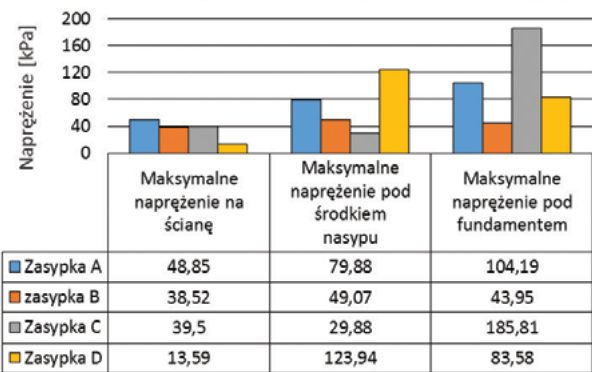
strefy pod fundamentami ścian oporowych (zasyпка C) i pod środkiem nasypu (zasyпка D). W przypadku nasypu z gumą naprężenia pod krawędzią fundamentu ściany oporowej są o 2/3 mniejsze, a pod środkiem nasypu o 1/3 mniejsze w porównaniu z nasypem z piasku. Zbiorcze zestawienie wybranych wyników obliczeń dla zasypek A i B przedstawiono na rys. 8.

ANALIZA EKONOMICZNA

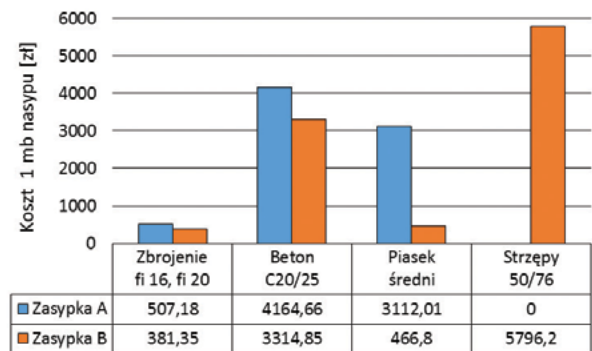
W celach porównawczych zestawiono koszty materiałów potrzebnych do budowy nasypu według wariantu tradycyjnego (zasyпка A) oraz wariantu alternatywnego z zasypką antropogeniczną ze strzępów gumowych (zasyпка B). Przy bezpośrednich porównaniach dwóch różnych rozwiązań materiałowych stosowano znormalizowane wymiary ścian oporowych, przyjęte odpowiednio do obliczonych wartości naprężeń. W obliczeniach przyjęto aktualne ceny brutto materiałów budowlanych, a łącz-



Rys. 7. Porównanie wyników analiz numerycznych nasypu z wypełnieniem tradycyjnym (zasyпка A) i gumowym (zasyпка B); a. osiadanie, b. naprężenia pionowe, c. naprężenia poziome, d. odkształcenia



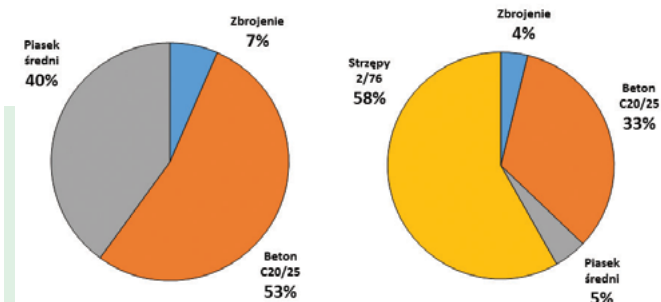
Rys. 8. Wyniki obliczeń dla różnych wariantów wypełnienia w korpusie nasypu



Rys. 9. Porównanie kosztów materiałowych dla nasypu z zasypką A i B

Tabela 5. Koszty materiałowe budowy nasypu z wypełnieniem piaskiem oraz z gumą z opon

Materiał	Ilość	Cena jedn.	Koszty materiałowe [zł]	Łączny koszt 1 mb nasypu [tys. zł]
Zasyпка A - nasyp tradycyjny z piasku				
Zbrojenie	10 ϕ 20	7,90 zł/mb	„6,42·10·7,90=507,20”	7,80
Beton	13,8 m³	301,40 zł/t	„13,8·301,40=4164,70”	
Piasek	61,8 m³	28,30 zł/t	„61,8·1,78·28,30=3112,10”	
Zasyпка B - nasyp alternatywny z gumą z opon				
Zbrojenie	12 ϕ 16	4,95 zł/mb	„6,42·12·4,95=381,40”	9,96
Beton	11,0 m³	301,40 zł/t	„11,0·301,40=3314,90”	
Piasek	9,3 m³	28,30 zł/t	„9,3·1,78·28,30=466,80”	
Strzępy gum	52,5 m³	180 zł/t	„52,5·0,613·180,00=5796,20”	



Rys. 10. Udział materiałów w całkowitym koszcie nasypu z zasypką A i B

ne koszty budowy uśredniono w przeliczeniu na 1mb długości nasypu. Cenę strzępów opon przyjęto na podstawie danych uzyskanych od polskiego producenta z firmy J&B Recykling [10]. W tab. 5 zestawiono ilości materiałów obliczone dla obu wariantów nasypów i ich koszty. Porównanie kosztów przedstawiono graficznie na rys. 9 i 10.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Z przeprowadzonych analiz wynika, że zastosowanie antropogenicznej zasypki z rozdrobnionych opon wpływa na zmniejszenie naprężeń w podłożu oraz pozwala ograniczyć wymiary konstrukcji oporowych. W efekcie daje to możliwość budowy lżejszych nasypów, które mogą być posadowione nawet na słabym podłożu. Aspekt ekonomiczny analizy obejmujący wyłącznie same konstrukcje oporowe okazał się w tym przypadku mało korzystny. Uznany za optymalny, wariant zasypki ze strzępami gumowymi (zasypka B) jest bowiem droższy o 28 % od tradycyjnego rozwiązania z piasku (zasypka A). W przypadku występowania słabego podłoża, budowa lekkiego nasypu będzie jednak zawsze korzystniejsza zarówno technicznie i ekonomicznie ze względu na brak konieczności wzmocnienia gruntu pod nasypem. Bezpośrednie porównanie oszczędności betonu i stali zbrojeniowej w konstrukcjach oporowych podpierających lekkie nasypy wskazuje, że w przypadku zasypki z gumą możliwe jest zapewnienie stateczności całej budowli przy zmniejszeniu kosztu betonu o 38%, a zbrojenia o 43 %. Pokazuje to, że świadomie podjęta i uzasadniona środowiskowo decyzja o zastąpieniu tradycyjnej zasypki z piasku antropogeniczną zasypką ze strzępów gumowych może przynieść sumaryczne oszczędności materiałowe na poziomie 40 %. Uwzględniając przy tym potrzebę coraz większej dbałości o ochronę środowiska, ponowne wykorzystanie gumy ze zużytych opon może mieć w tym aspekcie szczególne znaczenie. Należy się spodziewać, że w najbliższych latach zainteresowanie alternatywnymi sposobami budowy nasypów i konstrukcji oporowych z użyciem lekkich antropogenicznych zasypek gumowych będzie coraz większe. Konieczność stosowania się do obowiązujących dyrektyw unijnych może wymusić sytuację, w której w niedalekiej przyszłości wykorzystanie materiału ze zużytych opon będzie zjawiskiem nie tylko pożądanym, ale również opłacalnym, szczególnie w przypadku budowy lekkich nasypów na słabym podłożu.

LITERATURA

- [1] U. Balunaini, S. Yoon, M. Prezzi, R. Salgado: Tire shred backfill in mechanically stabilized earth wall applications. Purdue Univ. West Lafayette, Indiana, 2009.
- [2] J. Bielańska: Zastosowanie geokompozytów gumowych w budownictwie komunikacyjnym Praca dyplomowa mgr pod kierunkiem K. Trojnar, Politechnika Rzeszowska, 2016.

[3] K. Trojnar, A. Duda: Wykorzystanie zużytych opon samochodowych w budownictwie komunikacyjnym. Materiały Budowlane, 527, 2016, 80-82.

[4] A. Dragowski: Charakterystyka i klasyfikacja gruntów antropogenicznych. Przegląd Geologiczny, 9, 2010, 868-872.

[5] T. Edeskär: Technical and environmental properties of tyre shreds focusing on ground engineering applications. Luleå Univ. of Technology, Luleå, 2004.

[6] EN 14243:2005. End-Of-Life Tyre, Recycling Materials. CEN Workshop Agreement, Brussels, 2005.

[7] M. Glinicka: Właściwości mechaniczne mieszaniny gruntu i odpadów z opon. Budownictwo i Inż. Środowiska, 4, 2010, 99-104.

[8] J. Gronowicz, T. Kubiak: Recykling zużytych opon samochodowych. Politechnika Poznańska. Problemy Eksploatacji, 2, 2007.

[9] P. Hennebert, S. Lambert, F. Fouillen, B. Charrasse: Assessing the environmental impact of shredded tires as embankment fill material. Can. Geotech. Jour. 51, 2014, 469-478.

[10] J&B Recykling, www.jbrecykling.pl/, www.jbrecycling.co.uk/, 20016.

[11] H. Meei-Hoan, A. Tarmizi, Ch.-M. Chan, I. Bakar: Leachability and strength of kaolin stabilized with cement and rubber. International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology, vol. 2, 1, 2011, 89-104.

[12] H. Meei-Hoan, CH. Chee-Ming, I. Bakar: One Dimensional Compressibility Characteristics of Clay Stabilised with Cement-Rubber Chips. International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology, vol. 1, 2, 2010, 91-104.

[13] N. Oikonomou, S. Mavridou: The use of waste tyre rubber in civil engineering works. In: Khatib J. Ed. Sustainability of construction material. 2009, 213-238.

[14] PN-EN 1997-1 Projektowanie geotechniczne. Zasady ogólne. PKN, 2010.

[15] S. Shrestha, N. Ravichandran, M. Raveendra, J.A. Attenhofer: Design and analysis of retaining wall backfilled with shredded tire. Soil Dyn Earthq Eng. 90, 2016, 227-239.

[16] S. Youwai, D. Bergado: Numerical analysis of reinforced wall using rubber tire chips-sand mixtures as backfill material. Comp. and Geotech., 31, 2004, 103-114.

Artykuł został zamieszczony w czasopiśmie „Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych”, 2019, nr 4.

dr hab. inż. Krzysztof Trojnar, prof. PRZ
Politechnika Rzeszowska



ODKRYJ
**NASZE
PRODUKTY**



Tworzywa

Od polimeryzacji, przez compounding, po produkcję gotowych elementów, nasz zespół pomoże Ci znaleźć najlepsze surowce i rozwiązania dla Twojego biznesu.



Guma

Innowacyjne wsparcie wraz z szeroką gamą produktów takich jak elastomery, środki sieciujące, plastyfikatory, wypełniacze i inne.

 Kontakt do naszych ekspertów:

Tworzywa: Jakub Osuch +48 692 519 070 jakub.osuch@safic-alcan.pl

Guma: Anna Sobczak +48 501 423 188 anna.sobczak@safic-alcan.pl

Laserowy pomiar szerokości i grubości w procesie produkcji płyt i wykładzin gumowych na kalandrze

stomil BYDGOSZCZ

W Bydgoskich Zakładach Przemysłu Gumowego „STOMIL” S.A. wdrożono laserowy pomiar szerokości i grubości w procesie produkcji płyt i wykładzin gumowych na kalandrze. Jest to kolejny element doskonalenia jakości produkowanych wyrobów w firmie STOMIL BYDGOSZCZ.

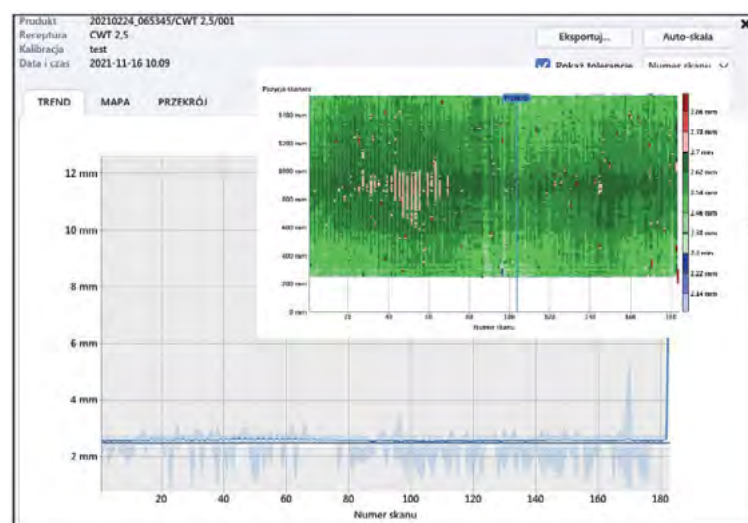
STOMIL BYDGOSZCZ, wychodząc naprzeciw zapotrzebowaniu rynku na płyty oraz wykładziny gumowe, zwiększył moce produkcyjne, stawiając jednocześnie na zwiększenie wydajności oraz ciągłe doskonalenie jakości produkowanych wyrobów. Firma skupia się głównie na wyrobach specjalistycznych o wysokich standardach jakościowych i wąskich tolerancjach wymiarowych, a także produkuje wyroby dedykowane do potrzeb swoich indywidualnych klientów.

Wychodząc naprzeciw wysokim wymaganiom rynkowym, firma STOMIL BYDGOSZCZ rozpoczęła kilkietapową modernizację procesu produkcji płyt i wykładzin gumowych, mając na względzie świadomość, że pełna kontrola nad jakością produkowanych wyrobów oraz ograniczenie czynników zaburzających proces, np. błąd ludzki czy brak stabilności parametrów przerobowych, może zostać osiągnięta głównie dzięki automatyzacji pomiaru procesu. Dlatego w pierwszej kolejności na kalandrze wdrożono system kontrolno-pomiarowy. Jest to automatyczny, laserowy miernik geometrii wyciągów gumowych skanujący z rozdzielczością 0,01mm grubość i szerokość półproduktów. Urządzenie wykorzystuje różnicową, laserową metodę pomiaru, w której zastosowano elektroniczną głowicę bezdotykową. System online monitoruje całą szerokość oraz długość wyciągu gumowego, a informacje o defektach na bieżąco przesyła do komputera, aktywując alarm. Wszystkie zapisy pomiarowe są również archiwizowane, co pozwala nam pracować nad ciągłym udoskonalaniem procesu produkcyjnego.

Drugim etapem wdrożonej modernizacji zespołu kalandra było zwiększenie stabilności wymiarowej wyciągów gumowych poprzez automatyzację sposobu nawijania konfekcji. Zniwelowanie ręcznej regulacji układu pozwoliło na kalandrowanie półproduktów z prędkością zsynchronizowaną z pracą całego zespołu kalandra. To działanie miało bezpośredni wpływ na zmniejszenie rozbieżności wymiarowych wyciągów.

Podczas tego etapu skupiono się również na sprzężeniu pracy urządzenia schładzającego z pracą automatycznego nawijaka, pomiarów temperatury wyciągów gumowych podczas samego procesu kalandrowania oraz po stabilizacji wymiaru, czyli po chłodzeniu.

Kolejnym etapem inwestycji jest planowana zmiana sposobu sterowania zespołem kalandra oraz sprzężenie zwrotne pracy układu pomiarowego wraz z nowym układem sterowania.



Powyżej przykładowy odczyt zapisu pomiaru półproduktu do produkcji płyt z mieszanki CWT. Widok na trend, czyli przekrój poprzeczny materiału w skali długości bądź liczby skanów, oraz widok z lotu ptaka. (Zdjęcie: STOMIL BYDGOSZCZ.)

Bydgoskie Zakłady Przemysłu Gumowego STOMIL S.A.
 ul. Toruńska 155
 85-950 Bydgoszcz
 tel. 52 32 64 100
 sprzedaz@stomil.bydgoszcz.pl
 www.stomil.bydgoszcz.pl

Twój dostawca surowców do przetwórstwa gumy

Polimery i elastomery specjalistyczne

FKM, FFKM
Tecnoflon®

H-NBR
Zhanber®

VMO, FSR
Silastic™ & Xiameter™

Polimery i elastomery inżynieryjne

CSM

CR

CPE

Denka ER®

EPDM
Vistalon™

IIR
Exxon™
Butyl

CIIR
Exxon™
Chlorobutyl

BIIR
Exxon™
Bromobutyl

Dodatki do gumy i mieszanek gumowych

Środki rozdzielające

Akceleratory

Środki wspomagające przetwórstwo

Antyoksydanty / Antyozonaty

Modyfikatory polimerowe
Oppera™

Porofory
Cellcom™

Środki wspomagające adhezję
Chemlok®, Alkon®


Nasi dostawcy

 Actmix

 Dow

 ExxonMobil

 Kemai

 KUMYANG

 Master Additives Sdn Bhd

 Parker LORD

 S

 ZANNAN

...

Milar Sp. z o. o. – członek grupy Biesterfeld – to dystrybutor wysokiej jakości surowców do przetwórstwa gumy i kauczuku: od polimerów i elastomerów, przez wypełniacze, po dodatki. Oprócz kompleksowej obsługi dostaw, oferuje klientom fachowe doradztwo techniczne i wsparcie na każdym etapie procesu.

Więcej informacji:
www.gumy.milar.pl
www.milar.pl

Możliwość zastosowania odpadów gumowych w mieszankach BBTM

Robert Jurczak

Warstwy ścieralne z mieszanek BBTM (beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw) pozwalają ograniczyć hałas powstający na styku opony z nawierzchnią [1-3]. Po raz pierwszy ujęto je w Wymaganiach Technicznych w 2008 roku w związku z wdrażaniem w naszym kraju serii norm europejskich PN-EN 13108 dotyczących mieszanek mineralno-asfaltowych. Spośród wszystkich typów mieszanek nie znalazła ona w Polsce jednak szerszego zastosowania. Aktualnie wymagania wobec mieszanek BBTM są zawarte w Wymaganiach Technicznych WT-2 [4], które stanowią załącznik do Zarządzenia Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 18.11.2014 r (w skrócie WT-2). Wykonuje się z nich wierzchnie (ścieralne) warstwy nawierzchni dróg. Dopuszcza się użycie kruszyw o największym wymiarze kruszywa do 8 mm lub 11 mm (odpowiednio BBTM 8 i BBTM 11). Uziarnienie mieszanki może być zaprojektowane wg dwóch różnych modeli: A lub B, co pozwala otrzymać mieszanki o zróżnicowanych parametrach. Jako lepiszcze zaleca się stosować wyłącznie asfalty modyfikowane polimerami. Można stosować również inne lepiszcza nienormowe i asfalty specjalne np. lepiszcza gumowo-asfaltowe. Mieszanki BBTM zgodne z WT-2 [4] charakteryzują się szerokim przedziałem zawartości wolnej przestrzeni od 10% do 25%. Tak otwarta struktura zwłaszcza w przypadku mieszanek o zawartości wolnych przestrzeni większej niż 15% wg [1] jest jednym ze sposobów na ograniczenie nadmiernego poziomu hałasu od ruchu samochodowego. Należy jednak pamiętać, że nawierzchnie z mieszanek o tak dużej zawartości wolnych przestrzeni wymagają innego sposobu utrzymania. Ponadto ich skuteczność akustyczna zmienia się w czasie. Natomiast z drugiej strony może nie być wystarczająco odporna na działanie czynników atmosferycznych. Z tego powodu opracowano, a następnie wdrożono mieszanki mineralno-asfaltowe typu BBTM według nowej koncepcji, tj. o zredukowanej zawartości wolnych przestrzeni [2, 3]. Mieszanki te są całkowicie zgodne z WT-2 [4] w zakresie uziarnienia oraz częściowo w zakresie wymaganych właściwości. Podstawową różnicą jest zawartość wolnych przestrzeni, którą ograniczono do poziomu 4–12%. Zaproponowano też zagęszczanie próbek do badań objętościowych przy użyciu ubijaka Marshalla i wprowadzono wymagania w zakresie odporności na deformacje trwałe.

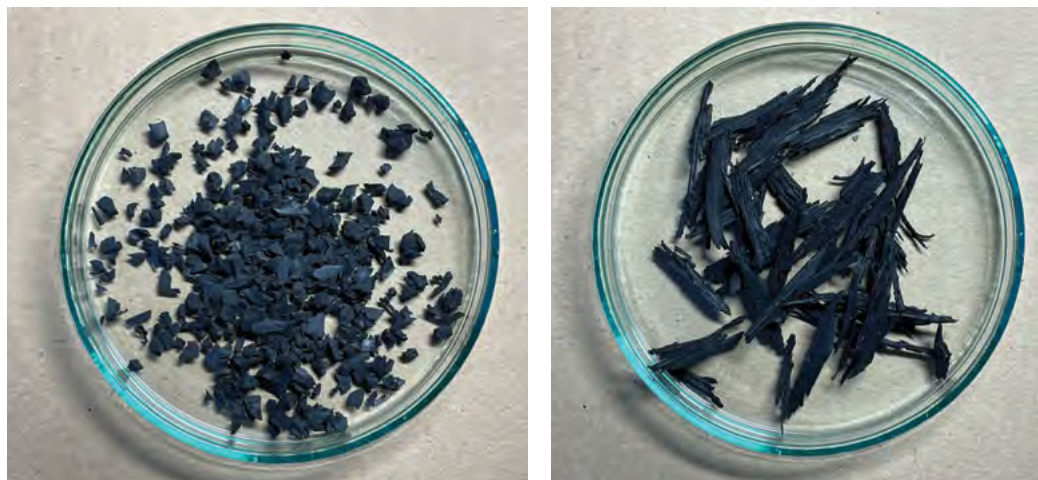
W artykule przedstawiono wyniki badań mieszanek BBTM, które zawierają odpady gumowe w postaci granulatu lub ścieru. Znane są dwie podstawowe metody pozwalające na wykorzystanie gumy w mieszankach mineralno-asfaltowych. Pierwsza z nich (metoda na mokro) polega na wprowadzeniu rozdrobnionej gumy (zwykle o uziarnieniu poniżej 1 mm) do asfaltu i wytworzeniu le-

piszcza gumowo-asfaltowego. Natomiast w drugiej metodzie (na sucho) zazwyczaj granulaty gumowy dodawany jest w mieszalniku bezpośrednio do kruszywa przed jego zmieszaniem z lepiszczem asfaltowym. Celem badań była ocena możliwości zagospodarowania odpadów gumowych pochodzących z przemysłu motoryzacyjnego. Jak wynika z analizy przedstawionej w [6] warstwa ścieralna wykonana z mieszanki GUF1 wykazała się niezwykłą trwałością. Po 18 latach eksploatacji odcinek nawierzchni ul. Szczecińskiej w Kobyłance w województwie zachodniopomorskim (dawna droga krajowa nr 10) jest w dobrym stanie technicznym. Nie zaobserwowano pęknięć i deformacji, a jedynymi istotnymi występującymi uszkodzeniami są ubytki ziaren i/lub lepiszcza. Należy dodać, że specjalną mieszankę GUF1 opracowano w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów w Warszawie (w skrócie IBDiM) pod kierownictwem prof. Dariusza Sybińskiego wg dostępnych wówczas zaleceń i wymagań ujętych w zeszycie nr 50 (ZW-MMB-NU-95) [5]. Jest to mieszanka typu pośredniego, która charakteryzuje się nieciągłym uziarnieniem mieszanki mineralnej i podobną zawartością wolnych przestrzeni jak mieszanki BBTM wg nowej koncepcji. Oprócz standardowych składników zawiera również specjalne włókna i dodatek granulatu gumowego, który dozowano bezpośrednio do kruszywa (metoda na sucho).

MATERIAŁY I METODY BADAŃ

W ramach badań przygotowano w laboratorium mieszankę BBTM o wymiarze największego kruszywa do 8 mm i krzywej uziarnienia wg modelu A przeznaczoną do warstwy ścieralnej. Do jej wykonania wybrano kruszywo szarogłazowe w postaci grysu 5/8 mm z zakładu produkcyjnego w Bernbruch, granitowy piasek łamany z kopalni Siedlimowice i wypełniacz wapienny produkowany przez firmę Nordkalk. Wykorzystane do przygotowania mieszanki mineralno-asfaltowej kruszywa należą do materiałów stosowanych na Pomorzu Zachodnim i spełniają wymagania wobec kruszywa przeznaczonego do mieszanek mineralno-asfaltowych. Ostateczną zawartość lepiszcza w mieszance mineralno-asfaltowej przyjęto na poziomie 7,0%. Wybrano asfalt modyfikowany polimerem 45/80-65 wyprodukowany w rafinerii Orlen w Płocku, który spełniał wymagania wobec asfaltów modyfikowanych polimerami. Wykonano trzy mieszanki BBTM: bez żadnych dodatków (referencyjna), z dodatkiem granulatu gumowego i z dodatkiem ścieru gumowego. Granulat gumowy charakteryzował się uziarnieniem od 2 mm do 6 mm. Ścier gumowy to podłużne kawałki rozdrobnionej gumy o długości do 40 mm. Zarówno granulaty, jak i ścier gumowy wprowadzono do mieszanki w ilości 1% w stosunku wagowym do masy mieszanki mineralno-asfaltowej.

Fot. 1.
(a) Granulat gumowy,
(b) ścier gumowy



Dodatki w postaci granulatu lub ścieru pochodziły w głównej mierze z odpadów gumowych (poprodukcyjnych z przemysłu matoryzacyjnego), które poddano procesom recyklingu w zakładzie produkcyjnym firmy Unirubber w Zielonce. Zdecydowano się nie stosować zarówno środka adhezyjnego, jak i stabilizatora. W mieszance GUFJ zastosowanej do warstwy ścieralnej nawierzchni na starej drodze krajowej nr 10 wykorzystano włókna, które odzyskano z opon w drodze ich mechanicznego rozdrobnienia. Poza stabilizacją lepiszcza (podobnie jak zwykle włókna celulozowe w mieszankach SMA) miały dodatkowo stanowić mikrozbrojenie mieszanki mineralno-asfaltowej. Z tego względu w badanej mieszance BBTM zdecydowano się użyć łatwo dostępnych włókien polimerowych. Włókna dozowano do gorącego kruszywa w ilości 0,3% w stosunku wagowym do mieszanki mineralno-asfaltowej. Widok zastosowanego granulatu i ścieru gumowego przedstawiono na fotografiach 1a i 1b.

Przy określeniu przydatności mieszanki mineralno-asfaltowej do nawierzchni zwłaszcza w przypadku warstwy ścieralnej istotną jest ocena jej odporności na działanie wody i mrozu. Wrażliwość badanych mieszanek na działanie wody i mrozu określono na podstawie wskaźnika ITSr, zdefiniowanego jako procentowy stosunek wytrzymałości na rozciąganie pośrednie uzyskanej na próbkach z „zestawu mokrego” do wytrzymałości próbek z „zestawu suchego”. Wszystkie próbki przygotowano zgodnie z załącznikiem nr 1 do WT-2 [4], a następnie zagęszczono w porównywalnych warunkach za pomocą ubijaka Marshalla

zgodnie z normą [7]. Próbki przeznaczone do badania odporności na działanie wody i mrozu zagęszczono w temperaturze $145 \pm 5^\circ\text{C}$ (35 uderzeń na każdą stronę). Oprócz odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na działanie wody i mrozu na próbkach każdej przygotowanej mieszanki określono gęstość i gęstość objętościową zgodnie z normami [8, 9]. Próbki przeznaczone do oznaczenia gęstości objętościowej zagęszczano poprzez 50 uderzeń na każdą stronę. Następnie na podstawie uzyskanych wyników badań obliczono zawartość wolnych przestrzeni w zagęszczonych próbkach, zgodnie z normą [10]. Podczas mieszania laboratoryjnego nie zaobserwowano żadnych trudności związanych z bezpośrednim dozowaniem granulatu lub ścieru gumowego do gorącego kruszywa.

WYNIKI BADAŃ MIESZANKI BBTM 8A 45/80-65 I ICH ANALIZA

Wyniki badań zaprojektowanych mieszanek BBTM przedstawiono w tabeli 1.

Dodatek granulatu lub ścieru gumowego do mieszanki BBTM 8A 45/80-65 spowodował, że zawartość wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla zwiększyła się w porównaniu do mieszanki bez dodatków (referencyjnej). W przypadku dodatku granulatu przyrost ten nie jest duży i wynosi 1,5%. Natomiast w przypadku dodania ścieru gumowego wynosi aż 3,1%. Wymaganie w zakresie wolnej przestrzeni wg [3] spełniają tylko dwie z trzech badanych mieszanek.

Tabela 1. Właściwości badanej mieszanki BBTM 8A 45/80-65

Właściwość	Metoda i warunki badania	Jednostka	BBTM 8A 45/80-65			Wymagania wobec mieszanek BBTM wg [3]
			bez dodatku	z dodatkiem granulatu	z dodatkiem ścieru	
Zawartość asfaltu całkowitego B	-	% (m/m)		7,0		B_{\min} 5,6
Gęstość ρ_{mv}	PN-EN 12697-5, pkt. 9.2 metoda A (w wodzie)	Mg/m ³	2,436	2,395	2,389	-
Gęstość objętościowa ρ_{bdim}	PN-EN 12697-6, pkt. 9.5 metoda D	Mg/m ³	2,297	2,222	2,180	-
Zawartość wolnych przestrzeni V_m	PN-EN 12697-8, pkt. 4	% (v/v)	5,7	7,2	8,8	4,0 - 8,0
Wrażliwość na działanie wody	PN-EN 12697-12 i załącznik nr 1 do WT-	%	98	102	93	ITSr90

Minimalna wartość wskaźnika wytrzymałości na rozciąganie pośrednie ITSR dla mieszanek mineralno-asfaltowych przeznaczonych do warstw ścieralnych wg WT-2 [4] wynosi 90%. Do określenia wskaźnika ITSR zamiast zestawu 10 próbek, o których jest mowa w procedurze opisanej w załączniku nr 1 do WT-2 [4] wykorzystano tylko zestaw 6 próbek o najmniejszej różnicy wysokości i gęstości objętościowej. W czasie przygotowywania próbek do badania nie udało się uzyskać wymaganego poziomu nasycenia wodą. Podczas wykonywania badań zaobserwowano zniszczenie typu „B” – deformacja. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wszystkie badane mieszanki spełniają wymaganie w zakresie odpowiedniej odporności na działanie wody i mrozu.

PODSUMOWANIE

Na podstawie wykonanych badań można stwierdzić, że rodzaj użytego dodatku (granulat lub ścier) wpływa na parametry objętościowe badanych mieszanek. Mieszanka BBTM 8A 45/80-65 bez i z dodatkiem granulatu spełnia wymagania wg [3] w zakresie zawartości wolnych przestrzeni oraz odporności na działanie wody i mrozu. Natomiast mieszanka, która zawiera ścier gumowy nie spełnia wymagań odpowiedniej zawartości wolnej przestrzeni. Konieczne jest kontynuowanie badań i ocena również badanych mieszanek pod kątem odporności na deformacje trwałe.

Zdaniem autora modyfikacja mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem granulatu gumowego metodą na sucho pozwala w prosty sposób na jego użycie. Nie jest potrzebna dodatkowa instalacja, jak w przypadku produkcji lepiszcza gumowo-asfaltowego.

LITERATURA

[1] W. Gardziejczyk: „Cicha” nawierzchnia drogowa jako sposób na ograniczenie poziomu hałasu od ruchu samochodowego. Inżynieria Ekologiczna, vol. 40, 2014, s. 65-73. DOI: 10.12912/2081139X.70.

[2] K.J. Kowalski, J. Bohatkiewicz, J. Król, M. Samowski: Rozwiązania materiałowo-technologiczne i klasyfikacja nawierzchni asfaltowych redukujących hałas drogowy. Drogownictwo, 4/2021, s. 95-100.

[3] M. Samowski, K.J. Kowalski, J. Król: Projektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych redukujących hałas drogowy. Drogownictwo, 2/2021, s. 41-48.

[4] Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych, WT-2 2014 – część I – Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania Techniczne. Załącznik do zarządzenia nr 54 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 18.11.2014 r. Warszawa 2014.

[5] D. Sybilski, S. Styk: Zalecenia wykonywania cienkich warstw ścieralnych „na gorąco” bitumicznych nawierzchni drogowych (ZW-CWG-95). Zasady wykonywania nawierzchni z mieszanek mineralno-bitumicznej o nieciąglym uziarnieniu (ZW-MMB-NU-95). Informacje, Instrukcje, zeszyt 50, IBDiM, Warszawa 1995.

[6] R. Jurczak: Nawierzchnia z dodatkiem gumy (i włókien) po 18 latach eksploatacji. Drogownictwo, 2-3/2022, s. 33-39.

[7] PN-EN 12697-30:2019-01 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań – Część 30: Przygotowanie próbek zagęszczonych przez ubijanie.

[8] PN-EN 12697-5:2019-01 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań – Część 5: Oznaczanie gęstości.

[9] PN-EN 12697-6:2020-07 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań – Część 6: Oznaczanie gęstości objętościowej.

[10] PN-EN 12697-8:2019-01 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań – Część 8: Oznaczanie zawartości wolnej przestrzeni próbek mineralno-asfaltowych.

W artykule wykorzystano wyniki badań przedstawione w pracy pt. „Laboratoryjna ocena właściwości mieszanki BBTM z dodatkiem gumy” opublikowanej w czasopiśmie „Magazyn Autostrady” (nr 5/2022), które uzupełniono nowymi w związku z zaprojektowaniem kolejnej mieszanki z dodatkiem ściery gumowego.

dr inż. Robert Jurczak

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

REKLAMA

JUŻ W MARCU DOSTĘPNA BĘDZIE NOWA EDYCJA KATALOGU BRANŻOWEGO „TWORZYWA SZTUCZNE W PRZEMYSŁE”



KATALOG BRANŻOWY

Katalog dostępny będzie w formie elektronicznej na naszej stronie internetowej www.tworzywasztuczne.biz w zakładce katalog oraz w formie drukowanej.

Tworzywa Sztuczne Przemysle

2023 KATALOG BRANŻOWY

ul. Zorska 1/45, 47-400 Racibórz
tel. 32-733 18 01, kom. 570 498 067
katalog@tworzywasztuczne.biz
redakcja@tworzywasztuczne.biz
www.tworzywasztuczne.biz

Radioliza kompozytów polipropylen/włókna konopne

Wojciech Głuszewski, Rafał Malinowski, Hanna Lewandowska, Oksana Krasinska

Kompozyty polimerowe ze względu na dobre właściwości przy stosunkowo niskiej cenie stanowią od wielu lat jedną z głównych grup materiałowych. W coraz większym stopniu zastępują one obecnie ceramikę, metale i czyste polimery. Co więcej, rozwój niektórych gałęzi przemysłu, np. motoryzacji lub elektroniki, nie jest aktualnie możliwy bez ich udziału. Kompozyty o największym znaczeniu utylitarnym wytwarza się najczęściej z polimerów należących do tzw. grupy tworzyw konstrukcyjnych, np. PA, ABS, POM, PC lub ASA. Nie mniej ważne są masowe polimery w tym poliolefiny (polietylen – PE i polipropylen – PP). Kompozyty z ich udziałem znajdują zastosowanie m.in. w wytwarzaniu opakowań, motoryzacji i budownictwie. Innym bardziej specjalistycznym obszarem ich zastosowań jest medycyna w szczególności wyroby jednorazowego użytku.

Medyczne wyroby w większości przypadków muszą być jałowe. W tym celu nieodporne na wysokie temperatury tworzywa poddaje się tzw. zimnej sterylizacji z wykorzystaniem najczęściej tlenu etylenu lub promieniowania jonizującego. W przypadku technik radiacyjnych, które zapewniają jałowość całej objętości materiału, skutkiem radiolizy może być degradacja polimerów. Oba zjawiska występują jednocześnie, a ich procentowy udział decyduje o radiacyjnej odporności tworzywa [2]. W przypadku PE zachodzi przede wszystkim proces sieciowania makrocząsteczek. Przebiega on dość łatwo bez udziału jakichkolwiek składników dodatkowych. Inaczej jest z PP, który ze względu na zawadę grupy metylowej ulega pod wpływem np. promieniowania gamma głównie postradiacyjnej degradacji. W celu zminimalizowania zjawiska łańcuchowego utleniania, modyfikuje się niekiedy

jego makrocząsteczki na etapie syntezy, tworząc kopolimer z PE. Tego typu układy nie zapewniają jednakże takich samych właściwości jak homopolimer PP.

Jednym ze sposobów ograniczenia degradacji PP jest wprowadzenie do jego osnowy związków chemicznych mających ugrupowania aromatyczne. Tego typu związki powodują występowanie tzw. efektu ochronnego [3]. Ugrupowania aromatyczne (o strukturze benzenu) są w stanie zaabsorbować część energii promieniowania pochłoniętej przez polimer i wyemitować ją w postaci ciepła lub światła w wyniku tzw. rozpraszania rezonansowego. W efekcie następuje wygaszanie przynajmniej części centrów aktywnych, które mogą przemieszczać się wzdłuż łańcucha polipropylenowego do związków aromatycznych. Skutkiem zjawiska ochronnego jest spadek wydajności radiolizy makrocząsteczek, co może zapobiegać niekorzystnym zmianom we właściwościach polimeru i wytwarzanych z niego wyrobom. Warto również zaznaczyć, że wprowadzenie do osnowy PP związków chemicznych zawierających ugrupowania aromatyczne powoduje występowanie w procesie obróbki radiacyjnej tzw. efektu ochronnego zewnętrznego [4]. W przeciwieństwie do efektu wewnętrznego, gdzie aromatyczne ugrupowania chemiczne stanowią element łańcucha polimerowego (np. w PET), w zewnętrznym efekcie ochronnym energia promieniowania przyjmowana jest przez cząsteczki związków chemicznych (np. aniliny, antracenu, aromatycznych amin lub benzochinonu) wprowadzonych do osnowy polimeru. Związki te można podzielić ogólnie na te, które w wyniku absorpcji energii ulegają lub nie ulegają degradacji. Pierwsza grupa związków określana jest często jako „sponge”, a druga jako

Fot. 1. Laboracyjne stanowisko do wytwarzania kompozytów polimerowych wyposażone w wylączarkę dwuślismakową współbieżną Bühler



Fot. 2. Wtryskarka ślimakowa do wytwarzania znormalizowanych próbek badawczych

„sacrificial”. Powyższe rodzaje oddziaływań wskazują, że efekt ochronny może mieć charakter fizyczny lub chemiczny. W pierwszym przypadku energia promieniowania jest absorbowana przez związek ochronny przed spowodowaniem zmian w samych makrocząsteczkach. W drugim przypadku następuje dezaktywacja chemicznie czynnych produktów. Mechanizm zjawiska ochronnego jest przedmiotem ciągłych badań.

Jednym z nowych sposobów wykorzystania efektu ochronnego w obróbce radiacyjnej PP może być zastosowanie naturalnych włókien konopnych jako źródeł ugrupowań aromatycznych [4]. Dodatkowo jako faza rozproszona mogą stanowić one wzmocnienia osnowy PP. Włókna konopne są naturalnym surowcem odnawialnym, dzięki czemu wytwarzanie kompozytów PP z ich udziałem wykazuje także pewien aspekt związany z ochroną środowiska naturalnego. Ugrupowania aromatyczne są obecne w ligninie, której średnia zawartość we włóknach konopnych może wynosić od 5 do 10% mas. w zależności od gatunku upraw. Dwa pozostałe składniki, tj. hemiceluloza i celuloza nie zawierają związków aromatycznych i stosunkowo łatwo ulegają radiacyjnej degradacji. Co więcej, obecność heteroatomu w pierścieniu celulozy lub hemicelulozy może jeszcze bardziej obniżyć ich stabilność radiacyjną. W związku z tym efekty obserwowane podczas obróbki radiacyjnej kompozytów typu PP/włókno konopne mogą być złożone. Było to jednym z powodów, dla których podjęto prace związane z oceną wpływu promieniowania jonizu-

jącego na właściwości tego typu kompozytów, a w tym na występowanie efektu ochronnego.

RADIACYJNA MODYFIKACJA KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH

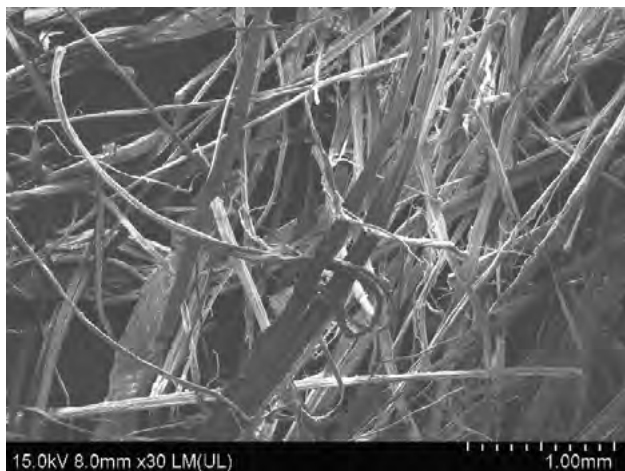
Promieniowanie jonizujące wykorzystuje się w produkcji kompozytów polimer/naturalne włókna na kilka sposobów. Poprzez obróbkę radiacyjną możemy częściowo zdegradować włókno, zmieniając równocześnie jego parametry powierzchniowe. W przypadku polimerów sieciujących bardzo wygodnym sposobem wzmocnienia drugiej fazy jest napromieniowanie wyrobu już po uformowaniu. Stopień usieciowania kompozytu kontroluje się w prosty sposób oznaczając właściwy czas napromieniowania. Radiolizę można również wykorzystać do przyspieszenia degradacji niektórych polimerów np. PP.

MATERIAŁY

W badaniach radiolizy kompozytów PP/włókna konopne wykorzystano zarówno granulaty jak i uformowane z niego wypraski o zawartości konopi: 10, 20, 30 i 40% mas. Wykorzystano również czyste PP i włókna konopne (fot. 1, 2, 3).

NAPROMIENIOWANIE

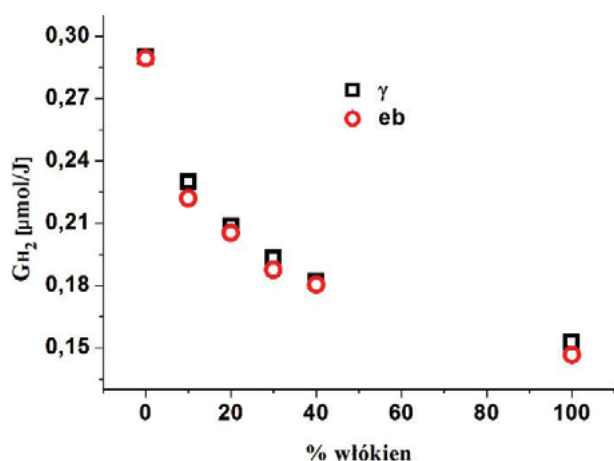
Do obróbki radiacyjnej zastosowano: kobaltowe źródło promieniowania gamma GC 5000 (moc dawki: 1,70 kGy/h) (fot. 4) oraz



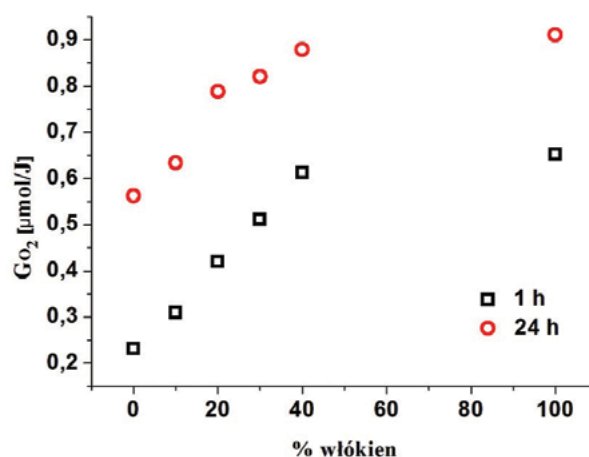
Fot. 3. Struktura włókien konopnych



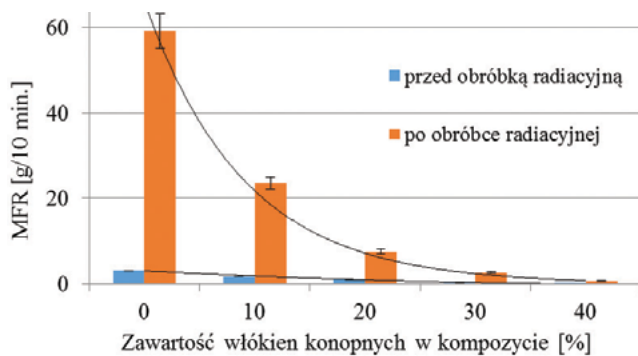
Fot. 4. Granulaty PP i kompozytów PP/konopie oraz uformowane wypraski oraz komora do napromieniowania źródła promieniowania gamma GC 5000



Rys. 1. Wyniki badań radiolitycznych wydajności wydzielenia wodoru



Rys. 2. Wydajności utleniania w trakcie napromieniowania i w procesach postradiacyjnej degradacji (po 24 h)



Rys. 3. Zależność MFR od składu kompozytu dla próbek napromieniowanych dawką 25 kGy i nienapromieniowanych

wiązkę elektronów akceleratora Elektronika 10/10 (moc dawki 14 000 kGy/h). Napromieniowanie prowadzono w atmosferze powietrza.

CHROMATOGRAFIA GAZOWA

Za pomocą chromatografii gazowej (GC) określono wydajności radiolitycznie wydzielanego wodoru (G_{H_2}), które są proporcjonalne do liczby powstających pierwotnie makroradników [5]. Zastosowano stosunkowo prosty układ analityczny z kolumną pakowaną i detektorem cieploprzewodnościowym. Gazem nośnym był argon. W tym samym pomiarze analizowano również O_2 , co pozwalało równolegle oznaczać wydajność utleniania próbek (G_{O_2}).

EFEKT OCHRONNY

W badaniach próbki napromieniowywano wiązką elektronów i promieniowaniem gamma. Skutki oddziaływania EB i γ są podobne, bowiem w obu przypadkach niemal cała energia jest przekazywana przez elektrony wtórne. Zaobserwowano wyraźne odchylenia G_{H_2} ze wzrostem zawartości włókien konopnych (rys. 1). Odstępstwo od addytywności jest miarą efektu ochronnego, a tym samym świadczy, że zawarte we włóknach związki aromatyczne skutecznie go wywołują.

POSTRADIACYJNE UTLENIANIE

Za pomocą GC oznaczano wydajności tlenu (G_{O_2}) pochłanianego przez polimer w trakcie napromieniowania. Badano również zjawiska postradiacyjnego utleniania. W naszej pracy oznaczenia wykonano 24 h po napromieniowaniu.

W przypadku kompozytu PP/konopie obróbka radiacyjna wpływa różnie na oksydegradację jego składników. Wiadomo, że uruchamia ona mechanizm łańcuchowego utleniania PP, co w tym przypadku skraca czas degradacji kompozytu, jako całości. Tak więc zjawisko, które jest niepożądane przy radiacyjnej sterylizacji wyrobów medycznych jednorazowego użytku może znaleźć zastosowanie w przypadku, gdy zależy nam na stosunkowo szybkiej degradacji wyrobu. Oczywiście konopie ulegają degradacji kilka razy szybciej niż PP. Paradoksalnie okazało się, że dodatek PP zwiększa wydajność postradiacyjnej degradacji kompozytu, jako całości (rys. 2). Można przypuszczać, że rodniki nadtlenkowe powstałe na PP odrywają atomy wodoru od celulozy lub hemicelulozy, przyspieszając degradację konopi.

WŁAŚCIWOŚCI NAPROMIENIOWANYCH KOMPOZYTÓW

Wykonano badania wpływu promieniowania na właściwości mechaniczne kompozytów. Próbki w formie wiosełek napromieniowano promieniowaniem gamma w powietrzu dawką 25 kGy. Zbadano takie parametry jak: wytrzymałość na rozciąganie, wy-

dłużenie względne przy zerwaniu, moduł sprężystości wzdłużnej, wytrzymałość na zginanie, naprężenie zginające przy umownej strzałce ugięcia, moduł sprężystości podczas zginania oraz udarność. Pełny opis wyników tych badań wykracza jednakże poza zakres niniejszego artykułu. Warto jednak przywołać wyniki dodatkowych badań, jakie wykonano, tj. badań masowego wskaźnika szybkości płynięcia (MFR) (rys. 3). Widać z nich wyraźnie, że promieniowanie jonizujące prowadzi do dramatycznego zwiększenia degradacji łańcuchów polimerowych, co manifestuje się kilkudziesięciokrotnym wzrostem szybkości płynięcia. Podobnie jak w przypadku wydajności pochłaniania tlenu, PP przyspiesza postradiacyjną degradację kompozytu, jako całości.

WNIOSKI

Wykonane prace badawcze wykazały, że obróbka radiacyjna kompozytów PP/włókna konopne przyspiesza ich degradację. Warto podkreślić, że efekt ten dotyczy zarówno konopi, jak i PP. Co ciekawe w tym kontekście PP nie tylko nie zwiększa odporność celulozy na utleniania, a przeciwnie przyspiesza procesy postradiacyjnej degradacji. Może to stanowić punkt wyjścia do dalszych badań ukierunkowanych na opracowanie nowych rodzajów materiałów kompozytowych, które będzie można projektować w taki sposób, aby wykazywały one określony „czas życia”. Zjawiskami postradiacyjnej degradacji można sterować zarówno zawartością, w tym przypadku PP, jak ilością związków aromatycznych w konopiach. W przyszłości warto również dążyć do opracowywania przyjaznych dla środowiska kompozytów typu PP/włókna konopne o przyspieszonym czasie degradacji, a być może całkowitej mineralizacji.

LITERATURA

- [1] R. Woods, A.K. Pikaev: Applied Radiation Chemistry: Radiation Processing, Wiley, New York 1994.
- [2] Z.P. Zagórski: Modification, degradation and stabilization of polymers in view of the classification of radiation spurs, Rad. Phys. Chem. 2002, 63, 9-19.
- [3] W. Głuszewski: Efekty ochronne w radiolizie naturalnych i syntetycznych polimerów, Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna, 2022, 1, 123, 22-26.
- [4] R. Malinowski, A. Raszowska-Kaczor, K. Moraczewski, W. Głuszewski, V. Krasinskiy, L. Wedderburn: The Structure and Mechanical Properties of Hemp Fibers-Reinforced Poly(ϵ -Caprolactone) Composites Modified by Electron Beam Irradiation, Appl. Sci. 2021, 11, 5317.
- [5] W. Głuszewski: Postradiation oxidation of WPC composites, Annual Report INCT 2021, 25-26.

dr inż. Wojciech Głuszewski
dr hab. Hanna Lewandowska

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa

dr hab. Rafał Malinowski

mgr inż. Oksana Krasinska

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Toruń

Właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych

Andrzej Plewa

Istotny wpływ na właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej (MMA) ma jakość zastosowanego do jej wytworzenia lepiszcza asfaltowego. Stosowane do produkcji MMA lepiszcza powinny charakteryzować się odpowiednim zakresem lepkości sprężystości, dużą sztywnością w wysokich temperaturach eksploatacyjnych występujących latem oraz odpowiednią elastycznością podczas oddziaływania temperatur ujemnych. W celu zapewnienia polepszenia właściwości stosuje się modyfikacje asfaltów różnego rodzaju dodatkami. Opracowano wiele metod modyfikacji asfaltów, w których wykorzystywano między innymi odpady gumowe, związki soli metalicznych oraz siarki. Dobre rezultaty uzyskiwano stosując dodatki polimerów, np. kopolimeru SBS [1, 2, 3].

Modyfikacja asfaltów polimerami jest techniką znaną i wykorzystywaną od wielu lat. Uzyskane w ten sposób asfalty modyfikowane stosowane są z powodzeniem w różnych warunkach klimatycznych w szczególności do nawierzchni poddanych dużym obciążeniom ruchem [3, 4]. Zwiększenie elastyczności lepiszczy asfaltowych poprzez modyfikację polimerem wiąże się z koniecznością stosowania wyższych temperatur przy wytwarzaniu i wbudowywaniu mieszanek mineralno-asfaltowych. W celu obniżenia temperatury technologicznej: wytwarzania, transportu, rozkładania i zagęszczania mieszanek mineralno-asfaltowych stosuje się upłynniacze do asfaltów [5, 6, 7, 8].

Jednym z najbardziej rozpowszechnionych sposobów ponownego wykorzystania odpadów gumowych ze zużytych opon samochodowych jest modyfikacja asfaltów drogowych miazem gumowym. Miaz gumowy jest to materiał uzyskiwany w wyniku rozdrobnienia zużytych opon na cząstki o wymiarach poniżej 1 mm. Tego typu modyfikacja, w wyniku której powstaje lepiszcze gumowo-asfaltowe, rzadko jeszcze jest stosowana w Polsce. Badania naukowe prowadzone w kraju i zagranicą [9, 10, 11] wykazały, że dodatek ten polepsza właściwości reologiczne lepiszcza, a szczególnie rozszerza jego temperaturowy zakres lepkości sprężystości. Mieszanki mineralno-gumowo-asfaltowe charakteryzują się korzystniejszymi właściwościami w zakresie temperatur eksploatacyjnych nawierzchni: wyższa trwałość zmęczeniowa, polepszona odporność na działanie wody oraz na koleinowanie. Poprawa właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych zależy od ilości i jakości dodatku gumowego oraz rodzaju zastosowanej mieszanki mineralno-asfaltowej [9, 11].

Przedstawione w artykule badania i analizy wykazują, że mieszanki mineralno-asfaltowe z zastosowaniem asfaltów modyfikowanych charakteryzują się prawie 3-, 4-krotnie wyższą trwałością zmęczeniową w odniesieniu do mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem typowych asfaltów drogowych. Przedstawione w opracowaniu rezultaty badań świadczą, że mieszanki mineralno-asfaltowe z zastosowaniem asfaltu modyfikowanego upłynnionego upłynniaczem roślinnym są w stanie przenieść ob-

ciążenia przy odkształceniu postaciowym 400 $\mu\text{m}/\text{m}$ i wyższych. Konwencjonalne mieszanki mineralno-asfaltowe trudno zbadać przy poziomie odkształceń 200 $\mu\text{m}/\text{m}$. Z tych powodów mieszanki mineralno-asfaltowe z zastosowaniem jako lepiszcza asfaltów modyfikowanych z dodatkiem upłynniaczy pochodzenia roślinnego mogą stanowić bardzo dobre rozwiązanie do zastosowań jako warstwy przeciwspekaniowe – w przypadku uszkodzonych w wyniku spękań nawierzchni asfaltowych.

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH

Do badań laboratoryjnych mających na celu ocenę cech technicznych mieszanek mineralno-asfaltowych zastosowano następujące lepiszcza asfaltowe:

- asfalt drogowy 50/70,
- produkowany w rafinerii asfalt modyfikowany PMB 25/55–60;
- wytworzone w laboratorium lepiszcze gumowo-asfaltowe (LGA), tj. asfalt drogowy 50/70 modyfikowany 19% dodatku miaz gumowego ze zużytych opon samochodowych;
- wytworzony w laboratorium asfalt modyfikowany (elastomero-asfalt) z dodatkiem upłynniacza roślinnego (SBS+UR): asfalt 50/70 modyfikowany 5% kopolimerem SBS i dodatkiem 10% upłynniacza pochodzenia roślinnego.

Do oceny właściwości lepkości sprężystych analizowanych lepiszczy asfaltowych wykonano następujące oznaczenia laboratoryjne:

- penetracji w temperaturach 5°C, 15°C i 25°C,
- temperatury mięknięcia metodą PIK,
- temperatury łamliwości wg Fraassa,
- lepkości dynamicznej w temperaturze 90°C, 110°C, 135°C i 150°C.

W tabeli 1 przedstawiono średnie wartości wyników oznaczeń temperatury mięknięcia PIK, temperatury łamliwości wg Fraassa i zakresu lepkości sprężystości asfaltów: 50/70, PMB 25/55-60, lepiszcza gumowo-asfaltowego (LGA) i asfaltu modyfikowanego upłynnionego upłynniaczem roślinnym (SBS+UR).

Na podstawie badań temperatury mięknięcia i temperatury łamliwości (tab. 1) ustalono, że największym zakresem lepkości sprężystości charakteryzuje się upłynniony asfalt modyfikowany (102°C), następnie asfalt modyfikowany PMB (90°C), lepiszcze gumowo-asfaltowe (87°C) i asfalt drogowy 50/70 (70°C). Asfalt modyfikowany upłynniaczem roślinnym charakteryzuje się także najniższą temperaturą łamliwości (–33°C) w odniesieniu do pozostałych lepiszczy: asfalt modyfikowany (–23°C), lepiszcze gumowo-asfaltowe (–21°C), asfalt drogowy 50/70 (–17°C). Można więc przewidywać, że mieszanki mineralno-asfaltowe z asfaltem modyfikowanym z upłynniaczem roślinnym będą charakteryzowały się najwyższą odpornością na spękania niskotemperaturowe, na jakie narażone są nawierzchnie drogowe. Temperatury mięknięcia PIK, jakie oznaczono w przypadku analizowanych lepiszczy asfaltowych, to: asfalt 50/70 – 53°C, PMB – 72°C, LGA – 66°C, SBS+UR – 69°C.

Tabela 1. Zestawienie średnich wartości temperatury mięknięcia PiK, temperatury tąpliwości wg Fraassa i zakresu lepkości asfaltów: 50/70, PMB 25/55-60, lepiszcza gumowo-asfaltowego (LGA) i asfaltu modyfikowanego upłynnionego upłynniaczem roślinnym (SBS+UR)

Rodzaj asfaltu	Temp. mięknięcia PiK [°C]	Temperatura tąpliwości [°C]	Zakres lepkości [°C]
50/70	53	-17	70
PMB 25/55-60	72	-22	90
LGA	66	-21	87
SBS+UR	69	-33	102

Wyniki badań lekkości dynamicznej umożliwiły ustalenie temperatury technologicznej wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych ze względu na zastosowany rodzaj lepiszcza.

Na podstawie wyników badań przedstawionych w tabeli 2 należy stwierdzić, że asfalt modyfikowany z upłynniaczem roślinnym (UR) charakteryzuje się najniższą temperaturą wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej (147°C). Można przyjąć, że temperatura wytwarzania jest o niemal 20°C niższa od temperatury, w jakiej należałoby produkować MMA z asfaltem modyfikowanym PMB 25/55-60. Dostępne na polskim rynku asfalty modyfikowane wymagają temperatur wytwarzania mieszanek ok. 165°C. Obniżenie temperatury wytwarzania MMA przynosi wymierne korzyści ekonomiczne.

BADANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH (MMA)

Do badań laboratoryjnych mieszanek mineralno-asfaltowych zastosowano beton asfaltowy AC 16P, z przeznaczeniem do warstwy podbudowy dla kategorii ruchu KR5–KR7. Analizowane mieszanki mineralno-asfaltowe AC 16P zaprojektowano zgodnie z WT-2 2014 [12]. W tabeli 3 przedstawiono skład betonu asfaltowego AC 16P. Mieszanki mineralno-asfaltowe są różnicowane ze względu na zastosowany w nich rodzaj lepiszcza asfaltowego. Przed wykonaniem próbek do badań laboratoryjnych mieszanki mineralno-asfaltowe poddano procesowi starzenia technologicznego wg metodyki podanej w WT-2 2014 [12].

Do oceny właściwości technicznych analizowanych mieszanek mineralno-asfaltowych wykonano następujący zakres badań:

- moduł sztywności IT-CY w temperaturze 5, 15, 25°C (PN-EN 12697-26 – załącznik C); parametry badania: próbki o średnicy 100 mm, obciążenie impulsowe, czas przyrostu obciążenia 120±4 m/s, czas trwania jednego cyklu 3 s, odkształcenie poziome 5 µm, test w dwóch prostopadłych płaszczyznach, wynik badania stanowi średnia z 5 impulsów obciążenia,
- moduł sztywności na próbkach pryzmatycznych (4PBPR) w temperaturze 10°C (PN-EN 12697-26 – załącznik B). Parametry badania: kształt fali obciążeniowej haversine [$1/2 \times (1 - \cos x)$] cos x, poziom odkształcenia 50 µm/m, częstotliwość 10Hz, moduł sztywności S_{50} wyznaczano w 100 cyklu badania,
- trwałość zmęczeniowa na próbkach pryzmatycznych (4PBPR) w temperaturze 10°C (PN-EN 12697-24). Parametry badania: poziomy odkształcenia 130, 170, 200, (300, 400 – UR) µm/m, częstotliwość 10Hz. Początkowy moduł sztywności S_0 określano w 100 cyklu badania.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ MMA

Analiza wyników badań modułów sztywności mieszanek AC 16P

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki badań zmiany wartości modułów sztywności analizowanych mieszanek mineralno-asfaltowych, oznaczonych w badaniu IT-CY w funkcji temperatury.

Na podstawie uzyskanych wyników badań zmiany wartości modułów sztywności w funkcji temperatury oznaczonych w ba-

Tabela 2. Temperatury technologiczne zastosowane do wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych ze względu na użyty rodzaj lepiszcza

MMA z lepiszczem:	Temperatura mieszania [°C]	Zakres temperaturowy efektywnego zagęszczania [°C]
50/70	150	95-115
PMB 25/55-60	165	110-130
LGA	180	120-140
SBS+UR	147	100-120

Tabela 3. Skład betonu asfaltowego AC 16P

Nazwa składnika mieszanki	Zawartość procentowa [%]	
	mieszanka mineralna	mieszanka mineralno-asfaltowa
mączka wapienna	6,0	5,7 (5,6*)
piasek łamany	0/2	21,9 20,8 (20,5*)
kruszywo łamane	2/5	39,2 37,2 (36,8*)
kruszywo łamane	8/16	32,9 31,3 (30,9*)
asfalt (LGA*)	-	5,0 (6,2*)

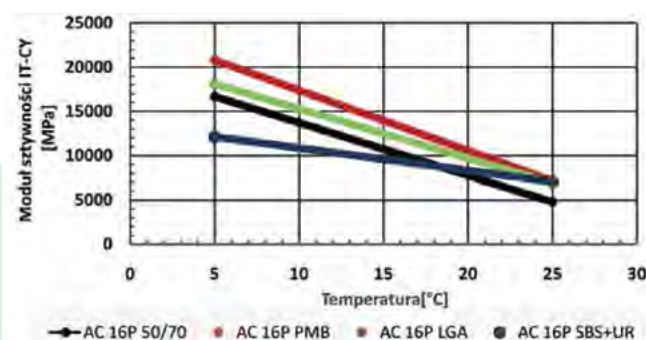
* Skład mieszanki mineralno-asfaltowej z lepiszczem gumowo-asfaltowym (LGA)

daniu IT-CY mieszanek AC 16P zróżnicowanych ze względu na rodzaj zastosowanego lepiszcza należy stwierdzić, że mieszanki z asfaltem modyfikowanym z dodatkiem upłynniacza roślinnego (AC 16P SBS+UR) charakteryzują się największą odpornością na zmiany temperatury (mały kąt nachylenia linii trendu w stosunku do osi rzędnych). Należy jednak zaznaczyć, że mieszanki AC 16P z upłynnionym asfaltem modyfikowanym charakteryzują się najniższymi wartościami modułów sztywności. Parametr ten istotny jest przy mechanicznym projektowaniu trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni drogowych. Najniższe wartości modułów sztywności mieszanki AC 16P z upłynnionym asfaltem modyfikowanym potwierdzają również badania wartości sztywności S_{50} w badaniu 4PB-PR w temperaturze badania 10°C, przedstawione na rysunku 2.

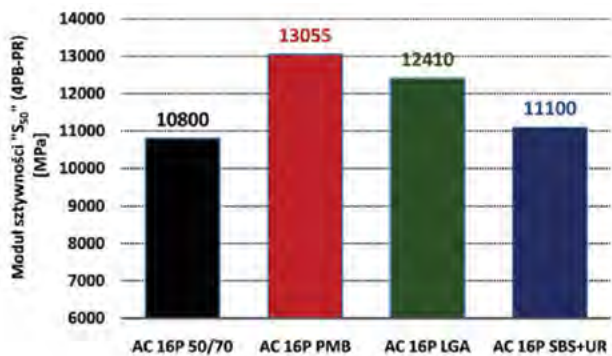
Analiza wyników badań odporności na zmęczenie mieszanek AC 16P

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań odporności na zmęczenie analizowanych mieszanek mineralno-asfaltowych oznaczonych w badaniu 4PB-PR, w temperaturze 10°C.

Na podstawie uzyskanych wyników badań (rys. 3) ustalono, że mieszanki mineralno-asfaltowe z zastosowaniem asfaltu modyfikowanego upłynnionego upłynniaczem roślinnym charakteryzują się wyższą trwałością zmęczeniową w odniesieniu do pozostałych mieszanek mineralno-asfaltowych. Świadczy to o tym, że użyte lepiszcze tzn. asfalt modyfikowany z upłynniaczem pocho-



Rys. 1. Wartości modułów sztywności w funkcji temperatury mieszanek AC 16P zróżnicowanych ze względu na rodzaj zastosowanego lepiszcza, oznaczonych w badaniu IT-CY



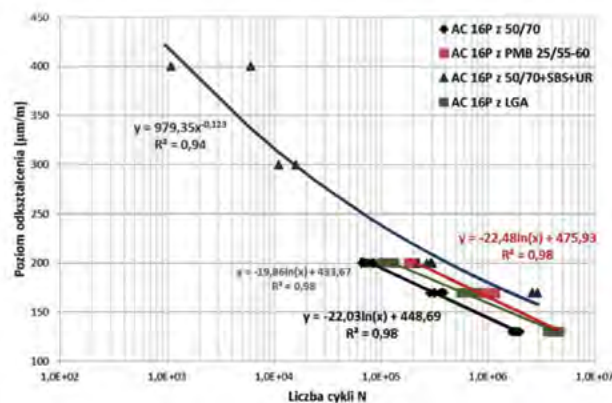
Rys. 2. Średnie wartości modułu sztywności S_{50} mieszanek AC 16P w badaniu 4PB-PR, w temperaturze 10°C

dzienia roślinnego nadaje mieszance mineralno-asfaltowej bardzo wysoką odporność zmęczeniową. W przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych AC16P z asfaltami produkowanymi w rafinerii 50/70 i PMB 25/55-60 oraz z lepiszczem gumowo-asfaltowym trwałość zmęczeniową przy poziomach odkształceń powyżej 200 $\mu\text{m}/\text{m}$ nie udało się oznaczyć. W odniesieniu do mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem asfaltów drogowych, trwałość zmęczeniowa MMA z upłynnionym asfaltem modyfikowanym jest wyższa o 50%–80% (w zależności od poziomu odkształcenia) w odniesieniu do MMA z asfaltem modyfikowanym PMB 25/55-60 i 3–4-krotnie wyższa od trwałości zmęczeniowej mieszanek z zastosowaniem niemodyfikowanego asfaltu drogowego 50/70. Uzyskana w badaniach bardzo wysoka odporność zmęczeniowa mieszanki mineralno-asfaltowej z zastosowaniem asfaltu modyfikowanego z dodatkiem upłynniacza pochodzenia roślinnego umożliwia stosowanie tego rodzaju mieszanek jako warstwy przeciwspekaniowe układane bezpośrednio na zniszczone warstwy asfaltowe.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz cech technicznych mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem asfaltów modyfikowanych można sformułować następujące wnioski:

- Rodzaj zastosowanego lepiszcza asfaltowego (jego jakość funkcjonalna) ma istotny wpływ na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych w zmiennych temperaturach eksploatacyjnych.
- Mieszanki mineralno-asfaltowe z asfaltem modyfikowanym upłynnionym dodatkiem upłynniacza roślinnego (SBS+UR) charakteryzują się najmniejszą wrażliwością na zmiany temperatury w porównaniu do mieszanek wytworzonych przy użyciu asfaltu modyfikowanego, lepiszcza gumowo-asfaltowego i asfaltu drogowego 50/70.
- Zastosowanie w mieszance mineralno-asfaltowej lepiszcza modyfikowanego prowadzi do zwiększenia trwałości zmęczeniowej. Mieszanki mineralno-asfaltowe z zastosowaniem asfaltów modyfikowanych z dodatkiem upłynniacza pochodzenia roślinnego są bardzo dobrym rozwiązaniem do zastosowań jako warstwy przeciwspekaniowe na zniszczone spękaniem nawierzchnie drogowe.
- Dodatek upłynniacza roślinnego do asfaltu modyfikowanego pozwala obniżyć temperatury technologiczne podczas produkcji i wbudowania MMA o 20–25°C w odniesieniu do MMA z asfaltem modyfikowanym bez zastosowania tego rodzaju upłynniacza.
- Zastosowanie w mieszankach mineralno-asfaltowych asfaltów modyfikowanych z dodatkiem upłynniacza pochodzenia roślinnego umożliwia wytwarzanie mieszanek mineralno-asfaltowych w temperaturach technologicznych nie przekraczających 150°C.



Rys. 3. Wyniki badań odporności na zmęczenie oznaczonych w badaniu 4PB-PR mieszanek AC 16P w temperaturze 10°C

LITERATURA

- [1] D. Sybilski, K. Mirski: Dobór nawierzchni do asfaltu w polskich warunkach klimatycznych z uwzględnieniem procedur SHRP/ Superpave, VI Międzynarodowa Konferencja Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe, Kielce 2000, tom I, s. 213.
- [2] D. Sybilski: Zastosowanie metod SHRP do oceny nawierzchni dróg w Polsce, IBDiM, Studia i materiały, Warszawa 2000, zeszyt 50.
- [3] P. Radziszewski, J. Piłat, J. Król, K. Kowalski i M. Samowski: Weryfikacja wymagań i metod oceny właściwości lepkością krajowych asfaltów i asfaltów modyfikowanych, GDDKiA, Warszawa 2011.
- [4] A. Plewa, P. S. Belyaev, K. A. Andrianov, A. F. Zubkov i V. A. Frolov: The Effect of Modifying Additives on the Consistency and Properties of Bitumen Binders, Advanced Materials and Technologies – Nr 4 (2016), s. 35-40. Moskwa-Tambov (Rosja).
- [5] Ł. Niczke, F. Czechowski i I. Gawęł: Oxidized rapeseed oil methyl ester as a bitumen flux: Structural changes in the ester during catalytic oxidation, Elsevier, Progress in Organic Coatings, Volume 59, Issue 4, 2 July 2007, P. 304–311.
- [6] W. M. DeLong: Asphalt release agent, The Chemmark Corporation, Patent nr (USA) US5494502 A, (Niemcy) DE69528278 D1, 27 Luty 1996.
- [7] I. Gawęł, J. Piłat, P. Radziszewski, Ł. Niczke, J. Król i M. Samowski: Bitumen fluxes of vegetable origin, Polimery No LV, 1/2010, s. 55-60.
- [8] A. Plewa: Wpływ ilości dodatku kopolimeru SBS i upłynniacza pochodzenia roślinnego na właściwości techniczne elastomeroasfaltów, Drogownictwo nr 11, listopad 2017, s. 375–378.
- [9] P. Radziszewski, J. Piłat, A. Plewa: Influence of amount of crumb rubber of used car tires and heating time on rubber asphalt properties. The Nineteenth International Conference on Solid waste technology and management, Philadelphia, March 21–24 2004, University of Pennsylvania, Widener University. Philadelphia.
- [10] C.W. Randy, C.P. Gale, G.V. John, C. Bouzid: Effect of Tire Rubber Grinding Method on Asphalt-Rubber Binder Characteristics. Journal of the Transportation Research Board, 2007, pp 134–140.
- [11] P.T. Liseane, T. Glicério, C.P. Jorge, A.A. Paulo: Evaluating permanent deformation in asphalt rubber mixtures, Construction and Building Materials. Volume 24, 2010, pp 1193–1200.
- [12] Załącznik do zarządzenia nr 54 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 18.11.2014 r.: Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych, WT-2 2014 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne.

Artykuł został zamieszczony w czasopiśmie „Drogownictwo” nr 1/2019.

dr inż. Andrzej Plewa – Politechnika Białostocka



PLASTECH'2023

RAZEM

TWORZYMY NASZ ŚWIAT

PLASTECH'2023

PLASTECH'2023 | 19/20 - 21.IV.2023 | FOLWARK ŁOCHÓW****

Zaawansowane Materiały Polimerowe -
Technologie, Przetwórstwo, Aplikacje

WWW.PLASTECH.TWORZYWA.PL

27. edycja
Symposium Technicznego PLASTECH



tworzywa.org

Portal branży tworzyw

WYSYŁKI
E-MAILINGOWE

AKTUALNOŚCI
I NOWOŚCI

WSPARCIE
DORADCY

WYDARZENIA
I TARGI

SZKOLENIA

KATALOG
FIRM

KATALOG
PRODUKTÓW

ELEKTRONICZNE
ZAPYTANIA
OFERTOWE



www.tworzywa.org | redakcja@tworzywa.org

tel. 52 343 73 35 | fax 52 561 02 37

85-758 Bydgoszcz, ul. Przemysłowa 8C