

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Leśny i Technologii Drewna
Katedra Chemicznej Technologii Drewna

mgr inż. Jakub Radosław Brózdowski

**Identyfikacja i potencjalne wykorzystanie
związków aktywnych z czeremchy amerykańskiej
(*Prunus serotina* Ehrh.)**

autoreferat

Promotor
prof. dr hab. inż. Bogusława Waliszewska

Promotor pomocniczy
dr inż. Agata Stachowiak-Wencek

Poznań, wrzesień 2023

Spis treści

Wykaz publikacji będących podstawą rozprawy doktorskiej	2
1. Wprowadzenie	3
2. Hipotezy badawcze i model pracy	5
3. Materiał i metody badawcze	6
3.1. Materiał badawczy	6
3.2. Metody badawcze	6
3.2.1. Ekstrakcja liści i kwiatów	6
3.2.2. Ekstrakcja owoców	6
3.2.3. Oznaczanie związków bioaktywnych w ekstraktach	7
3.2.4. Badania właściwości papieru powlekanego z dodatkiem ekstraktu	7
3.2.5. Badania wpływu dodatku ekstraktu na wzrost grzybów	8
3.2.6. Oznaczanie redukcji emisji lotnych związków organicznych (VOC)	9
4. Podsumowanie wyników badań	10
4.1. Skład chemiczny kwiatów, liści i owoców	10
4.1.1. Skład fenolowy ekstraktów z liści i kwiatów	10
4.1.2. Skład chemiczny owoców	12
4.2. Podsumowanie badań nad dodatkiem ekstraktu jako czynnika polepszającego właściwości papieru	14
4.3. Podsumowanie wyników badań wpływu dodatku ekstraktu na wzrost grzybów	15
4.4. Podsumowanie wyników badań zdolności ekstraktów do ograniczania emisji VOC	17
5. Podsumowanie	20
6. Bibliografia	22

Wykaz publikacji będących podstawą rozprawy doktorskiej:

1. **Brózdowski Jakub**, Waliszewska Bogusława, Gacnik Sasa, Hudina Metka, Veberic Robert, Mikulic-Petkovsek Maja. (2021). Phenolic composition of leaf and flower extracts of black cherry (*Prunus serotina* Ehrh.). *Annals of Forest Science*, 78(3), 1-16.
2. **Brózdowski Jakub**, Waliszewska Bogusława, Loffler Jakub, Hudina Metka, Veberic Robert, Mikulic-Petkovsek Maja. (2021). Composition of phenolic compounds, cyanogenic glycosides, organic acids and sugars in fruits of Black Cherry (*Prunus serotina* Ehrh.). *Forests*, 12(6), 762.
3. **Brózdowski Jakub**, Grkman Janja Juhant, Kapun Tea and Waliszewska Bogusława. (2023). Properties of paper coated with *Prunus serotina* (Ehrh.) extract formulation. *Open Agriculture*, 8(1), pp. 20220189.
4. **Brózdowski Jakub**, Cofta Grzegorz, Waliszewska Bogusława. (2022). Antifungal properties of *Prunus serotina* Ehrh. extracts. Ed.: Róbert Németh, Christian Hansmann, Peter Rademacher, Miklós Bak, Mátyás Báder, 10th Hardwood Conference, 12-14 October 2022 Sopron. University of Sopron Press. pp 183-187.
5. **Brózdowski Jakub**, Gajewski Erik, Szczepaniak Oskar, Stachowiak-Wencek Agata. (2023). Effect of extract addition on reducing VOC emissions from lacquers in liquid state. *Drewno – przyjęty do druku*

1. Wprowadzenie

Często spotykanym gatunkiem inwazyjnym lasów Europy Środkowej jest czeremcha amerykańska (*Prunus serotina* Ehrh.). Czeremcha jest szczególnie uciążliwa na odnowieniach leśnych, przez co ponoszone są duże koszty związane z jej usuwaniem, które odbywa się głównie poprzez wycinanie całych drzew [1]. Wycięcie powoduje powstanie dużej ilości biomasy, która do tej pory nie znalazła zastosowania innego niż spalanie.

Pierwsze badania związków aktywnych biologicznie wyekstrahowanych z czeremchy amerykańskiej pochodzą z 1910 roku. Dotyczyły one zawartości związków bioaktywnych w jej zielonych częściach. Power i Moor [2] zidentyfikowali w nich cyjanowodór jako produkt rozkładu glikozydów cyjanogennych (głównie amigdaliny), liczne kwasy tłuszczowe, alkohol tłuszczowy persin, aldehyd benzoesowy, kwercetynę, glikozydy kwercetyny oraz, po raz pierwszy, kwas ursulowy.

W latach 70. ubiegłego wieku w liściach czeremchy oznaczono liczne triterpeny [3]. W latach 90. natomiast zwrócono szczególną uwagę na glikozydy cyjanogenne znajdujące się w owocach, czyli amigdalinę i prunazynę [4, 5]. Badania wykazały, że stężenie prunazyny spada wraz z dojrzałością owoców, natomiast stężenie amigdaliny rośnie. Badania Ordaz-Galindo i in. [6] nad owocami czeremchy wykazały w nich obecność antocyjanów, w tym glukozydu-3-cyjanidyny, rutozydu-3-cyjanidyny oraz żółtopomarańczowy pigment zawierający rutynozę. Olszewska [7, 8] w kwiatach i liściach czeremchy oznaczyła flawonoidy m.in. awikularynę guajawerynę, kwercetyny-3-D-ksylozyd, izokwercytrynę, hiperozyd czy juglaninę.

Badania Ibarra-Alvarada i in. [9] wykazały, że związki wchodzące w skład ekstraktu z liści czeremchy wykazują działanie wazorelaksacyjne. Luna-Vazquez i in. [10] oraz Jimenez i in. [11] potwierdzili działanie ekstraktów z owoców jako substancji regulujących ciśnienie krwi. Stwierdzili, że związkami za to odpowiedzialnymi są hiperozyd i kwas chlorogenowy. Wykazali również działanie antyoksydacyjne ekstraktów dzięki zawartych w nich antocyjanów. W oleju z pestek czeremchy stwierdzono wysoką zawartość wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, m.in. oleinowego, α -elostearynowego, linolowego, palmitynowego i stearynowego [12].

Wiele badań nad składem chemicznym różnych części anatomicznych czeremchy amerykańskiej dotyczyło zawartego w niej hiperozydu, głównie ze względu na jego

lecnicze działanie [13]. Telichowska i in. [14] po raz pierwszy podjęli próbę pełnej charakterystyki związków fenolowych zawartych w ekstraktach z liści czeremchy. Stosując chromatografię cieczową z detektorem DAD zidentyfikowali 14 związków, wśród których głównymi były kwasy ferulowy i synapowy. Ekstrakty z czeremchy amerykańskiej zostały uznane jako bogate w antyoksydanty o obiecującym działaniu przeciwbakteryjnym.

Badania nad związkami fenolowymi czeremchy amerykańskiej są prowadzone już od ponad stu lat. Mimo tak wielu lat badań nad ekstraktami pozyskiwanymi z różnych części tej rośliny, dotychczas nie udało się w pełni scharakteryzować ich składu chemicznego i opisać występującego w nich szerokiego spektrum związków o charakterze fenolowym. Ranga niniejszego zagadnienia jest wysoka, gdyż czeremcha amerykańska jest drzewem silnie rozpowszechnionym w polskich lasach, dla którego dotychczas nie znaleziono racjonalnego zagospodarowania.

Celem badawczym niniejszej pracy było zbadanie składu chemicznego ekstraktów wodnych i alkoholowych pozyskanych z liści, kwiatów i owoców czeremchy amerykańskiej i w oparciu o tę wiedzę znalezienie możliwych dla nich zastosowań w branży drzewnej.

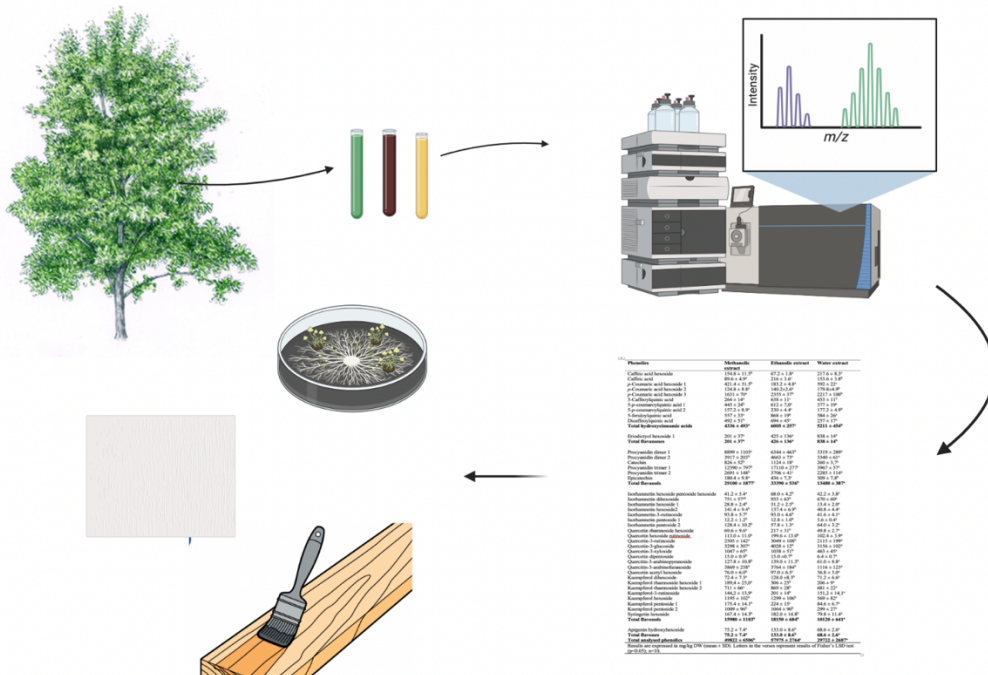
Celem užitarnym było natomiast sprawdzenie możliwości wykorzystania wodnych ekstraktów z liści, kwiatów i owoców czeremchy amerykańskiej w wytypowanych zastosowaniach w różnych gałęziach przemysłu drzewnego.

2. Hipotezy badawcze i model pracy

W pracy przyjęto następujące hipotezy badawcze:

1. Czeremcha amerykańska jest gatunkiem bogatym w związki bioaktywne.
2. Związki ekstrakcyjne z czeremchy amerykańskiej są podatne na ekstrakcję z wykorzystaniem metod zielonej chemii.
3. Ekstrakty z czeremchy amerykańskiej, ze względu na wysoką zawartość związków fenolowych, mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle drzewnym.

Poniższa rycina jest graficznym przedstawieniem modelu pracy:



Created in BioRender.com bio

Ryc. 1. Graficzne przedstawienie modelu pracy (wykonano z wykorzystaniem narzędzia BioRender.com)

3. Materiał i metody badawcze

3.1. Materiał badawczy

Do badań wykorzystano nadziemne części czeremchy amerykańskiej, tj. liście, kwiaty i owoce. Wytypowane do badań surowce pochodziły z terenów Nadleśnictwa Dąbrowa, województwo kujawsko-pomorskie, powiat świecki (położenie: szerokość 53° 29' 45,74" N, długość 18° 31' 0,72" E, 79 m n.p.m.).

Kwiaty zostały zebrane wiosną, w dniu 22 maja 2019 r. w fazie pełnego rozkwitu, natomiast liście dwa tygodnie później, czyli 4 czerwca 2019 r., pod koniec kwitnienia w fenofazie. Jesienią z tych samych krzewów zebrano owoce.

Surowce po zebraniu zostały schłodzone na czas transportu, a następnie zamrożone i przechowywane w temperaturze -32°C do czasu przeprowadzenia badań.

Kwiaty, liście i owoce zebrano z kilku krzewów (n=10), a każdy krzew stanowił jedno powtórzenie do analiz chemicznych.

3.2. Metody badawcze

3.2.1. Ekstrakcja liści i kwiatów

Ekstrakcję liści i kwiatów prowadzono za pomocą wody i metanolu. Metanol został wybrany ze względu na jego powszechne stosowanie w praktyce laboratoryjnej, woda natomiast ze względu na swoją powszechność oraz nietoksyczność. Ekstrakty alkoholowe (MeOH) otrzymano zalewając 1 g wysuszonego (wilgotność: 8%) i zmielonego materiału (frakcja: 0,1-0,4 mm) 5 mL 60% MeOH. Ekstrakcję prowadzono przez 45 minut w łaźni ultradźwiękowej chłodzonej lodem (temp. 4 °C). Następnie ekstrakty odwirowywano przez 9 minut, przy 9000 obrotów na minutę w temp. 4°C w wirówce i sączone przez filtr poliamidowy firmy Macherey-Nage o średnicy porów 20 µm.

Przygotowując ekstrakty wodne (WE) 1 g badanego materiału (przygotowanego wg takiej samej procedury jak w przypadku ekstraktów alkoholowych) ekstrahowano w 10 ml gorącej wody destylowanej (poniżej temperatury wrzenia), przez 10 minut, pod szkiełkiem zegarkowym. Następnie odwirowywano w wirówce przez 9 minut, 9000 obrotów na minutę, w temperaturze 4°C, po czym przesączano przez filtr celulozowy firmy Macherey-Nagel.

3.2.2. Ekstrakcja owoców

2 g świeżych owoców bez pestek zalano 5 ml roztworu ekstrakcyjnego składającego się z 60% MeOH (99,9% czystość do HPLC), 3% czystego kwasu mrówkowego i 37% H₂O. Ekstrakcję prowadzono przez 45 minut w łaźni ultradźwiękowej, chłodzonej lodem (temperatura ekstrakcji 4°C). Po tym czasie ekstrakty odwirowywano przez 9 minut, 9000 obrotów na minutę, w temperaturze 4°C (Eppendorf Centrifuge 5810 R), a następnie przesączano przez filtr poliamidowy firmy Macherey-Nage o średnicy porów 20 µm. I. Otrzymane ekstrakty wykorzystano m.in. do oznaczania zawartości glikozydów cyjanogennych.

3.3.3. Oznaczanie związków bioaktywnych w ekstraktach

Do oznaczenia ilościowego związków fenolowych wykorzystano chromatograf Thermo Scientific Dionex HPLC z detektorem DAD (Thermo Scientific, San Jose, CA, USA), wyposażony w oprogramowanie Chromeleon. Związki fenolowe oznaczano ilościowo przy trzech długościach fali 280 nm, 350 nm i 530 nm.

Oznaczenia jakościowe wykonano na chromatografie Thermo Scientific Dionex HPLC ze spektrometrem masowym (LTQ XL Linear Ion Trap Mass Spectrometer, Thermo Fisher Scientific, USA) z jonizacją przez elektrorozpylanie (ESI).

3.3.4. Badania właściwości papieru powlekanego z dodatkiem ekstraktu

Materiały i metody

Powłoki barierowe z dodatkiem ekstraktu (10%) nanoszono na powierzchnię dwóch typów papierów bazowych o różnych strukturach powierzchni. Oba papiery zostały wykonane z włókien pierwotnych. Pierwszy (B.1.) miał gramaturę 43 g/m², natomiast drugi (B.2.) - 67 g/m² i został fabrycznie powleczony środkiem na bazie skrobi. Papiery bazowe pochodziły z papierni Papirnica Vevče ze Słowenii.

Charakterystyka papierów powlekanych

Gramaturę papierów określono zgodnie z normą ISO 536. Badania wykonano na 20 próbkach o wymiarach 10 x 10 cm, które ważono z dokładnością do 0,001 g (Radwag, Radom, Polska).

Porowatość i chropowatość: przepuszczalność powietrza badanego papieru określono zgodnie z ISO 5636-3, stosując aparat Bendstena (Frank PTI, Birkenau, Niemcy) do oznaczania chropowatości powierzchni i przepuszczalności powietrza metodą Bendstena.

Właściwości barierowe

Szybkość przepuszczania pary wodnej (WVTR).

Szybkość przepuszczania pary wodnej określono zgodnie z ISO 2528, przy $23 \pm 2\%$ RH.

Odporność na olej

Olejoodporność badanego papieru została określona zgodnie z TAPPI T559.

Przepuszczalność oparów heptanu (HVTR)

Przepuszczalność oparów heptanu przez badane próby papierów oznaczono zgodnie z metodą opisaną przez Gaudreault i in. [15]. Próbkę umieszczono w otworze pokrywy kubka, naczynie napełniono 10 ml heptanu, a następnie pokrywa została szczelnie zamknięta. Tak przygotowane naczynia ważono i umieszczano w warunkach doświadczalnych (temp: $23 \pm 1^\circ\text{C}$; wilgotność względna powietrza: $50 \pm 2\%$). Naczynia ważono po jednej, dwóch, trzech oraz czterech godzinach, a następnie obliczono wyniki, które zostały przedstawione jako przepuszczalność par heptanu na m^2/h .

Olejochłonność papieru

Olejochłonność badanych papierów określono metodą Cobba-Ungera według procedury SCAN-P 37:77.

3.3.5. Badania wpływu dodatku ekstraktu na wzrost grzybów

Do określenia aktywności przeciwgrzybiczej wykorzystano następujące szczepy grzybów: *Coniophora puteana* (Schumacher ex Fries) Karsten (BAM Ebw.15), *Trametes versicolor* BAM 116 (CTB 863A), *Gloeophyllum trabeum* (Persoon ex Fries) Murrill (BAM Ebw. 109) BAM 115.

Tempo wzrostu grzybów mierzono w szalkach plastikowych o średnicy 90 mm metodą płytkowo-agarową, opisaną przez Ważny i Thorton [16]. W celu przeprowadzenia oznaczenia, ekstrakt z czeremchy był dodawany w stężeniu 10; 1 i 0,1% do podłoża agarowego PDA, które następnie było inokulowane przy pomocy 5 mm krążka pobranego z obrzeża 10-dniowej hodowli danego grzyba strzępkowego. Po inokulacji płytki testowe były inkubowane w ciemności w temperaturze $22 \pm 2^\circ\text{C}$, przy względnej wilgotności powietrza $70 \pm 5\%$.

3.3.6. Oznaczanie redukcji emisji lotnych związków organicznych (VOC)

Oznaczenie emisji lotnych związków organicznych z wyrobów lakierowych w stanie ciekłym wykonano metodą mikroekstrakcji do fazy stacjonarnej połączonej z chromatografią masową sprzężoną z detektorem masowym (SPME-GC/MS).

Wykorzystano włókno pokryte węglem aktywnym i polidimetylosiloksanem (CAR/PDMS) o grubości filmu 75 μm (Supelco Inc., Bellefonte, PA). Lotne związki adsorbowano przez 35 minut. Badania prowadzono dla wyrobów lakierowych z dodatkiem ekstraktu wodnego z liści i kwiatów czeremchy amerykańskiej oraz bez jego dodatku. Mikroekstrakcję prowadzono w temperaturach: pokojowej 22°C oraz podwyższonych 35°C i 45°C. Następnie włókno wprowadzono do chromatografu gazowego i desorbowano w 200°C w ciągu 5 minut. Identyfikacji lotnych związków dokonano na podstawie porównania widm masowych badanych związków z widmami zawartymi w dostępnej bibliotece widm NIST MS Search – program wersja 1.7.

4. Podsumowanie wyników badań

W toku badań zidentyfikowano związki bioaktywne znajdujące się w owocach, kwiatach i liściach czeremchy amerykańskiej oraz zweryfikowano możliwości zastosowania ekstraktów z czeremchy w papiernictwie, meblarstwie oraz w ochronie drewna.

4.1. Skład chemiczny kwiatów, liści i owoców

4.1.1. Skład fenolowy ekstraktów z liści i kwiatów

Wyniki badań zawartości związków fenolowych w badanych ekstraktach pozyskanych z liści i kwiatów czeremchy amerykańskiej zestawiono w tabeli 1. Związki fenolowe podzielono na pięć grup: kwasy fenolowe, flawony, flawanole, flawanony i flawonole i oznaczono w mg/kg suchej masy.

Tabela 1. Zawartość związków fenolowych (mg/kg SM) w dwóch ekstraktach, metanolem i wodnym, z liści i kwiatów czeremchy amerykańskiej

Zidentyfikowane fenole	Liście		Kwiaty	
	Metanol	Woda	Metanol	Woda
Heksozyd kwasu kawowego 1	44,4 \pm 10,1 ^a	77,2 \pm 14,6 ^a	154,8 \pm 11,5 ^b	217,6 \pm 8,3 ^c
Heksozyd kwasu kawowego 2	72,8 \pm 12,44 ^a	176,4 \pm 22,01 ^b	/	/
Heksozyd kwasu kawowego 3	/	22,6 \pm 3,8 ^a	/	/
Heksozyd kwasu <i>p</i> -kumarowego 1	16,0 \pm 3,7 ^a	27,8 \pm 5,3 ^a	421,4 \pm 31,5 ^b	592 \pm 22 ^c
Heksozyd kwasu <i>p</i> -kumarowego 2	13,2 \pm 2,1 ^a	31,6 \pm 4,1 ^b	124,8 \pm 8,8 ^a	179,8 \pm 4,9 ^b
Heksozyd kwasu <i>p</i> -kumarowego 3	223 \pm 23 ^a	293 \pm 46 ^a	1631 \pm 70 ^a	2217 \pm 100 ^b
Kwas kawowy	158,8 \pm 35 ^a	75,0 \pm 12,3 ^a	89,6 \pm 4,9 ^a	153,6 \pm 3,8 ^b
Kwas 5-kawoilochinowy 1	5768 \pm 594 ^a	7550 \pm 1189 ^a	264 \pm 14 ^a	453 \pm 11 ^b
Kwas 5-kawoilochinowy 2	936 \pm 160 ^a	1268 \pm 160 ^a	/	/
Kwas 5- <i>p</i> -kumaroilochinowy 1	470 \pm 48 ^a	408 \pm 69 ^a	445 \pm 24 ^b	377 \pm 19 ^a

Kwas 5-p-kumaroilochinowy 2	247 ± 29 ^a	171,2 ± 31 ^a	157,2 ± 8,9 ^a	177,2 ± 4,9 ^b
Kwas 5-feruloilochinowy 1	336 ± 34 ^a	302 ± 58 ^a	557 ± 33 ^a	584 ± 26 ^a
Kwas 5-feruloilochinowy 2	306 ± 39 ^b	154,0 ± 37,7 ^a	/	/
Kwas dikawoiloilochinowy	192,4 ± 12,8 ^a	167,6 ± 35,5 ^a	492 ± 51 ^b	257 ± 17 ^a
Suma kwasów fenolowych	8785 ± 895^a	10720 ± 1635^a	4336 ± 493^a	5211 ± 454^b
Heksozyd eriodiktolu	96,6 ± 7,9 ^a	145,4 ± 16,3 ^a	201 ± 37 ^a	838 ± 14 ^b
Eriodiktol	83,6 ± 3,5 ^b	44,8 ± 4,6 ^a	/	/
Suma flawanonów	180,4 ± 10,7^a	190,2 ± 19,6^a	201 ± 37^a	838 ± 14^b
Dimer procyanidyny 1	3037 ± 370 ^a	2800 ± 560 ^a	8899 ± 1103 ^c	3319 ± 289 ^a
Dimer procyanidyny 2	436 ± 74 ^a	1052 ± 131 ^b	3917 ± 203 ^b	3340 ± 61 ^a
Dimer procyanidyny 3	/	1689 ± 289 ^a	/	/
Katechnia	2342 ± 291 ^b	605 ± 107 ^a	826 ± 52 ^b	260 ± 3,7 ^a
Trimer procyanidyny 1	4813 ± 599 ^b	1243 ± 219 ^a	12590 ± 797 ^b	3967 ± 57 ^a
Trimer procyanidyny 2	/	151,8 ± 25,9 ^a	2691 ± 148 ^b	2285 ± 114 ^a
Trimer procyanidyny 3	1345 ± 209 ^a	1561 ± 310 ^a	/	/
Trimer procyanidyny 4	395 ± 41 ^a	342 ± 57 ^a	/	/
Trimer procyanidyny 5	208 ± 24 ^a	186,6 ± 36,0 ^a	/	/
Trimer procyanidyny 6	875 ± 104 ^a	606 ± 110 ^a	/	/
Trimer procyanidyny 7	189,0 ± 23,7 ^b	95,2 ± 23,3 ^a	/	/
Epikatechnia	375 ± 64 ^a	508 ± 64 ^a	180,4 ± 9,8 ^a	309 ± 7,8 ^b
Suma flawanoli	14010 ± 1639^a	10840 ± 1896^a	29100 ± 1877^c	13480 ± 387^a
Heksozyd pentozydu heksozydu izoramnetyny	43,8 ± 7,3 ^a	34,0 ± 11,1 ^a	41,2 ± 5,4 ^a	42,2 ± 3,8 ^a
Heksozyd izoramnetyny 1	641 ± 48 ^b	231 ± 20 ^a	28,8 ± 2,4 ^b	13,4 ± 2,0 ^a
Heksozyd izoramnetyny 2	/	/	141,4 ± 9,4 ^b	40,8 ± 4,4 ^a
Diheksozyd izoramnetyny 1	46,2 ± 6,9 ^a	41,8 ± 7,9 ^a	751 ± 57 ^{ab}	670 ± 60 ^a
Diheksozyd izoramnetyny 2	33,0 ± 3,1 ^b	18,8 ± 4,1 ^a	/	/
Rutynozyd-3-izoramnetyny	79,6 ± 3,6 ^b	39,0 ± 4,0 ^a	93,8 ± 5,7 ^b	41,6 ± 4,1 ^a
Pentozyd izoramnetyny 1	506 ± 42 ^b	185,6 ± 18,5 ^a	12,2 ± 1,2 ^b	3,6 ± 0,4 ^a
Pentozyd izoramnetyny 2	129,8 ± 28,4 ^a	61,4 ± 10,0 ^a	128,4 ± 10,2 ^b	64,0 ± 3,2 ^a
Heksozyd ramnozydu kwercetyny	270 ± 56 ^a	213 ± 48 ^a	69,6 ± 9,6 ^a	49,8 ± 2,7 ^a
Rutynozyd heksozydu kwercetyny	18,4 ± 3,9 ^a	14,8 ± 3,3 ^a	113,0 ± 11,0 ^a	102,4 ± 3,9 ^a
Rutozyd-3-kwercetyny	1046 ± 63 ^a	857 ± 102 ^a	2505 ± 142 ^a	2115 ± 199 ^a
Glukozyd-3-kwercetyny	2614 ± 136 ^b	1406 ± 150 ^a	3298 ± 307 ^a	3156 ± 102 ^a
Pentozyd ramnozydu kwercetyny	351 ± 18,3 ^b	189,0 ± 20,1 ^a		
Ksylozyd-3-kwercetyny	1473 ± 67 ^b	722 ± 74 ^a	1047 ± 65 ^b	463 ± 45 ^a
Dipentozyd kwercetyny	/	/	15,0 ± 0,9 ^b	6,4 ± 0,7 ^a
Arabinopiranozyd-3-kwercetyny	182,4 ± 7,7 ^b	98,0 ± 9,6 ^a	127,8 ± 10,8 ^b	61,0 ± 8,8 ^a
Arabinofuranozyd-3-kwercetyny	5168 ± 388 ^b	1859 ± 161 ^a	3869 ± 258 ^b	1116 ± 123 ^a
Heksozyd acetylu kwercetyny	/	/	76,0 ± 6,0 ^b	36,8 ± 3,0 ^a
Heksozyd ramnozydu kempferolu 1	121,6 ± 10,8 ^a	109,4 ± 19,3 ^a	189,4 ± 25,0 ^a	206 ± 9 ^a
Heksozyd ramnozydu kempferolu 2	2,6 ± 0,1 ^b	1,2 ± 0,2 ^a	711 ± 66 ^a	681 ± 22 ^a
Rutynozyd-3-kempferolu	101,4 ± 4,6 ^b	49,8 ± 5,0 ^a	144,2 ± 13,9 ^a	151,2 ± 14,1 ^a
Heksozyd kempferolu	461 ± 20 ^b	248 ± 25 ^a	1195 ± 102 ^b	569 ± 82 ^a
Pentozyd kempferolu 1	/	/	175,4 ± 14,1 ^b	84,6 ± 6,7 ^a

Pentozyd kempferolu 2	/	/	1009 ± 96 ^b	299 ± 27 ^a
Dipentozyd kempferolu	109,0 ± 7,4 ^a	94,4 ± 20,0 ^a	/	/
Heksozyd syringetinu	6,2 ± 1,3 ^b	3,0 ± 0,5 ^a	167,4 ± 14,3 ^b	79,8 ± 11,4 ^a
Suma flawonoli	13480 ± 709^b	6500 ± 648^a	15980 ± 1103^b	10120 ± 641^a
Hydroksyheksozyd apigeniny	57,4 ± 4,0 ^a	63,4 ± 10,0 ^a	75,2 ± 7,4 ^a	68,6 ± 2,6 ^a
Suma flawonów	57,4 ± 4,0^a	63,4 ± 10,0^a	75,2 ± 7,4^a	68,6 ± 2,6^a
Suma zidentyfikowanych fenoli	365121 ± 6596^a	283179 ± 8806^a	49822 ± 6506^b	29722 ± 2687^a

Wyniki przedstawiono w mg/kg SM (średnia ± SD). Litery w rzędach oznaczają statystycznie istotne różnice pomiędzy dwoma ekstraktami (LSD test, (p<0,05); n=10.)

W ekstraktach pozyskanych z liści czarerny amerykańskiej zidentyfikowano pięćdziesiąt związków fenolowych, w kwiatach natomiast czterdzieści dwa. Trzydzieści sześć związków występowało zarówno w kwiatach, jak i liściach. Dominującą grupę związków stanowiły flawanole, wśród których głównymi związkami były trimery i dimery procyjanidyny. Drugą grupę związków pod względem ilościowym stanowiły flawonole, dla których lepszym rozpuszczalnikiem był 60% metanol. Dominującymi związkami były arabinofuranozyd-3-kwercetyny oraz glukozyd-3-kwercetyny. Trzecią grupę stanowiły kwasy fenolowe - pochodne kwasu hydroksycynamonowego (HCA). W obu rodzajach ekstraktów pozyskanych z liści, związkiem o największym udziale był kwas chlorogenowy (kwas 5-kawoilochinowy 1). Ważną grupą związków, których obecność stwierdzono w pozyskanych ekstraktach, były również flawanony, a w szczególności heksozyd erodiktoliu i erodiktiole. Flawony reprezentowane były we wszystkich badanych ekstraktach przez jeden związek - hydroksyheksozyd apigeniny, którego stężenie nie przekraczało 80 mg/kg SM.

Niniejszy rozdział został opracowany na podstawie publikacji 1: Brózdowski Jakub, Waliszewska Bogusława, Gacnik Sasa, Hudina Metka, Veberic Robert, Mikulic-Petkovsek Maja. (2021). Phenolic composition of leaf and flower extracts of black cherry (*Prunus serotina* Ehrh.). *Annals of Forest Science*, 78(3), 1-16.

4.1.2. Skład chemiczny owoców

Owoce czarerny amerykańskiej, poza wodą, składają się głównie z cukrów, kwasów organicznych i związków fenolowych. Dodatkowo, ich pestki zawierają znaczne ilości glikozydów cyjanogennych. Glikozydy cyjanogenne są substancjami niebezpiecznymi, jednak przy umiejętnej obróbce, bez naruszenia pestki, nie przedostają się do ekstraktów czy miąższu owocu.

Zawartość związków fenolowych w metanolowych ekstraktach otrzymanych z owoców czeremchy amerykańskiej przedstawiono w tabeli 2. Zidentyfikowane związki podzielono na cztery grupy: kwasy fenolowe, flawanole, flawanony, flawonole. W ich składzie nie wykryto flawonów, które występowały w liściach i kwiatach. W owocach oznaczono obecność antocyjanów. Zawartość związków fenolowych oraz antocyjanów podano w mg/kg suchej masy (SM).

Tabela 2. Zawartość związków fenolowych w owocach czeremchy amerykańskiej (średnia \pm SD w mg/kg SM); n=10

Zidentyfikowane fenole	Zawartość	Zidentyfikowane fenole	Zawartość
Heksozyd kwasu wanilinowego	168 \pm 11	Heksozyd eriodiktiolu 1	19,7 \pm 6,9
Heksozyd kwasu <i>p</i> -kumarowego	29,8 \pm 0,3	Heksozyd eriodiktiolu 2	6,9 \pm 3,4
Kwas 5-feruloilochinowy 1	6,1 \pm 0,6	Suma flawanonów	26,9 \pm 9
Kwas 5-feruloilochinowy 2	44,5 \pm 33,8	Rutynozyd-3-kwercetyny	103 \pm 23
Kwas 5-kawoilochinowy 1 (chlorogenic acid)	207 \pm 17	Glukozyd-3-kwercetyny	28,9 \pm 4,3
Kwas 5-kawoilochinowy 2	35,3 \pm 7,2	Ksylozyd-3-kwercetyny	28,3 \pm 3,2
Kwas 5- <i>p</i> -kumaroilochinowy 1	16,5 \pm 6,4	Arabinopiranozyd-3-kwercetyny	15,9 \pm 2,89
Kwas 5- <i>p</i> -kumaroilochinowy 2	76,3 \pm 47,4	Arabinofuranozyd-3-kwercetyny	130 \pm 17
Kwas 4- <i>p</i> -kumaroilochinowy	47,4 \pm 5,2	Rutynozyd-3-kempferolu	2,3 \pm 0,3
Heksozyd kwasu kawowego	7,8 \pm 1,7	Pentozyd kempferolu	14,2 \pm 0,3
Kwas dikawoilochinowy	4,9 \pm 2,6	Heksozyd kempferolu	5,2 \pm 0,9
Suma kwasów fenolowych	642 \pm 81	Heksozyd ramnozydu kempferolu	13,6 \pm 2
Dimer procyanidyny 1	549 \pm 179	Rutozyd-3-izoramnetyny	2 \pm 0,3
Dimer procyanidyny 2	4980 \pm 1116	Heksozyd izoramnetyny	4,9 \pm 0,6
Dimer procyanidyny 3	939 \pm 124	Pentozyd izoramnetyny 1	2,3 \pm 0,6
Dimer procyanidyny 4	1876 \pm 312	Pentozyd izoramnetyny 2	7,2 \pm 3,3
Katechina	876 \pm 260	Suma flawonoli	335 \pm 32
Epikatechina	8476 \pm 867	Glukozyd-3-cyanidyny	6179 \pm 1399
Trimer procyanidyny 1	182 \pm 54	Rutynozyd-3-cyanidyny	5144 \pm 699
Trimer procyanidyny 2	347 \pm 78	Arabinozyd-3-cyanidyny	180 \pm 15
Trimer procyanidyny 3	4549 \pm 1841	Glukozyd-3-peonidyny	116 \pm 11
Trimer procyanidyny 4	497 \pm 254	Suma antocyjanów	11618 \pm 2078
Tetramer procyanidyny	2618 \pm 1011	Suma oznaczonych fenoli	32929 \pm 3529
Suma flawanoli	20279 \pm 1569		

Najbardziej obfitą grupą fenoli były flawanole. Dominującym związkiem w tej grupie była epikatechina. Drugą grupę związków stanowiły antocyjany z dwoma dominującymi związkami: glukozydem-3-cyanidyny i rutozydem-3-cyanidyny. Udział kwasów fenolowych kształtował się na poziomie 642 mg/kg SM. Głównymi kwasami w tej grupie były: kwas 5-kawoilochinowy 1 (kwas chlorogenowy) i heksozyd kwasu wanilinowego. Najmniej licznymi związkami były flawonole i flawanony.

Niniejszy rozdział został opracowany na podstawie publikacji 2:
 Brózdowski Jakub, Waliszewska Bogusława, Löffler Jakub, Hudina
 Metka, Veberic Robert, Mikulic-Petkovsek Maja. (2021).
 Composition of phenolic compounds, cyanogenic glycosides, organic
 acids and sugars in fruits of Black Cherry (*Prunus serotina*
 Ehrh.). *Forests*, 12(6), 762.

4.2. Podsumowanie badań nad dodatkiem ekstraktu jako czynnika polepszającego właściwości papieru

Właściwości barierowe opakowań są najważniejszymi czynnikami wpływającymi na stan produktu podczas przechowywania. Dobre właściwości barierowe pozwalają chronić zapakowany towar przed warunkami zewnętrznymi, tj. przed wpływem powietrza, wilgotności, ciepła i promieniowania UV [17]. Opis powstałych wariantów powlekanych papierów zawarty jest w tabeli 3, a otrzymane wyniki właściwości barierowych przedstawiono w tabelach 4 i 5.

Chłonność oleju dla papieru kontrolnego B1 wynosiła 14,6 g/m² (tab. 5), a dla papieru B2 - 2,4 g/m² (tab. 5). Na skutek pokrycia ich powierzchni powłokami ochronnymi na bazie skrobi lub skrobi z dodatkiem ekstraktu wodnego, odporność papieru na chłonność oleju znacząco wzrosła. Wyniki testu stopnia odporności na tłuszcze (KIT) wykazały, że powłoki naniesione na papier B1 dały statystycznie jednakowo istotne wyniki. W przypadku powłok na papierze B2 statystycznie istotny najlepszy wynik uzyskano dla powłoki stanowiącej mieszaninę skrobi z 10% dodatkiem ekstraktu, której masa wynosiła 6 g/m². Wpływ pozostałych powłok na parametr chłonności oleju był podobny, bez istotnych różnic statystycznych.

Tabela 3. Opis testowanych papierów

B.1.	Papier podłożowy o gramaturze 43 g/m²	B.2.	Papier podłożowy o gramaturze 67 g/m²
1.	B.1. papier pokryty 30% roztworem skrobi, masa powłoki 7,8 g/m ²	5.	B.2. papier pokryty 30% roztworem skrobi, masa powłoki 6,7 g/m ²
2.	B.1. papier pokryty 27% roztworem skrobi z 3% dodatkiem ekstraktu, masa powłoki 8,4 g/m ²	6.	B.2. papier pokryty 27% roztworem skrobi z 3% dodatkiem ekstraktu, masa powłoki 5,9 g/m ²
3.	B.1. papier pokryty 30% roztworem skrobi, masa powłoki 15,0 g/m ²	7.	B.2. papier pokryty 30 % roztworem skrobi, masa powłoki 14,4 g/m ²
4.	B.1. papier pokryty 27% roztworem skrobi z 3% dodatkiem ekstraktu, masa powłoki 15,4 g/m ²	8.	B.2. papier pokryty 27% roztworem skrobi z 3% dodatkiem ekstraktu, masa powłoki 14,4 g/m ²

Tabela 4. Podstawowe i barierowe właściwości papierów powleczonych na papierze podłożowym B.1.

Papier podłożowy	Ekstrakt	Cobb-Unger	KIT	Współczynnik przenikania par wody	Współczynnik przenikania par heptanu	Porowatość	Szorstkość
-	-	g/m ²	numer	g/m ² /dzień	g/m ² /dzień	mL/min	mL/min
B.	-	14,6	0	710	3184	251	490
1. B.1.	-	0,6	5*	390	645	1,58	368
2. B.1.	+	0,9	5*	260	343	0,93*	350
3. B.1.	-	0,4	5*	240*	121	0,55*	645
4. B.1.	+	0,3*	5*	310	78,7*	0,49*	477

*Wynik znacząco lepszy według metody Kurskala-Willisa z testem Dunna, test z poprawką Holma

Tabela 5. Podstawowe i barierowe właściwości papierów powleczonych na papierze podłożowym B.2.

Papier podłożowy	Ekstrakt	Cobb-Unger	KIT	Współczynnik przenikania par wody	Współczynnik przenikania par heptanu	Porowatość	Szorstkość
-	-	g/m ²	numer	g/m ² /dzień	g/m ² /dzień	mL/min	mL/min
B2	-	2,4	1	480	1651	0,97	56,6
5. B2	-	0,2*	8	190	27,6	0,02	39,7
6. B2	+	0,3*	10*	150	16,6*	0,15	74,4
7. B2	-	0,4	8	120*	28,6	0,00*	62,1
8. B2	+	0,5	9	120*	16,6*	0,00*	45,9

*Wynik znacząco lepszy według metody Kurskala-Willisa z testem Dunna, test z poprawką Holma

Wyniki testów przenikania pary wodnej były lepsze dla papierów pokrytych grubszą powłoką. Najlepszy wynik uzyskano dla papieru B1, pokrytego powłoką o gramaturze 15,0 g/m² bez dodatku ekstraktu. Wynik wynosił 240 g/m²/dzień (tab. 4). Dla papieru B2 najlepszy wynik uzyskano dla powłoki o gramaturze 14,6 g/m². Nie stwierdzono znaczących różnic między powłoką z dodatkiem ekstraktu i bez jego udziału.

Wszystkie powłoki ograniczyły przenikanie par heptanu, jednak lepsze rezultaty uzyskano dla powłok z dodatkiem ekstraktu. Najlepsze wyniki miały papiery pokryte grubszymi powłokami z 10% dodatkiem ekstraktu wodnego z *Prunus serotina*, wyniki dla tych powłok na papierze B2 wynosiły 16,6 g/m²/dzień. W przypadku obu papierów bazowych dodatek ekstraktu pozwolił zwiększyć właściwości barierowe w stosunku do tłuszczów i olejów.

Niniejszy rozdział został opracowany na podstawie publikacji 3: Brózdowski Jakub, Grkman Janja Juhant, Kapun Tea and Waliszewska Bogusława. (2023). Properties of paper coated with *Prunus serotina* (Ehrh.) extract formulation. *Open Agriculture*, 8(1), pp. 20220189.

4.3. Podsumowanie wyników badań wpływu dodatku ekstraktu na wzrost grzybów

Wyniki badań właściwości hamujących wzrost grzybów rozkładających drewno przedstawiono w tabeli 6. Badano wpływ dwóch rodzajów ekstraktów wodnych: z gałązek z liśćmi i kwiatami (nr 1) oraz ekstraktu z gałązek z liśćmi i niedojrzałymi owocami (nr 2). Testowymi grzybami były: *Coniophora puteana*, *Trametes versicolor* i *Gleophyllum trabeum*.

Tabela 6. Wyniki badań wpływu ekstraktu na wzrost grzybów rozkładających drewno

Grzyb	Ekstrakt 1	Średnica kolonii [mm]	P [%]	Ekstrakt 2	Średnica kolonii [mm]	P [%]
<i>Coniophora puteana</i>	C	50,3	-	C	50,3	-
	10%	1,3	97 [±] 4	10%	29,7	41 [±] 5
	1%	48,0	5 [±] 7	1%	51,0	-1 [±] 10
	0,1%	44,7	11 [±] 12	0,1%	56,0	-11 [±] 6
<i>Trametes versicolor</i>	C	82,0	-	C	82,0	-
	10%	51,3	37 [±] 3	10%	56,0	32 [±] 3
	1%	71,0	13 [±] 10	1%	82,0	0 [±] 1
	0,1%	73,0	11 [±] 7	0,1%	82,0	0 [±] 1
<i>Gleophyllum trabeum</i>	C	55,0	-	C	55,0	-
	10%	21,3	61 [±] 7	10%	27,0	51 [±] 5
	1%	53,7	2 [±] 6	1%	54,0	2 [±] 6
	0,1%	53,7	2 [±] 10	0,1%	55,0	0 [±] 1

P – procent powierzchni szalki porośniętej przez grzybnie

W przypadku wszystkich trzech badanych szczepów grzybów wyniki wykazały, że 10% stężenie obu ekstraktów miało właściwości hamujące wobec badanych grzybów. Ekstrakt nr 1 o stężeniu 10% spowodował w 97% zahamowanie wzrostu *C. puteana*, podczas gdy ekstrakt nr 2 w 41%. Wobec *T. versicolor* oba ekstrakty o stężeniu 10% wykazywały podobne działanie ograniczające, w granicach 32 – 37% (tab. 6). W stosunku do *Gleophyllum trabeum* działanie ograniczające porost grzybni kształtowało się w granicach 51 - 61%. Stężenia 1 i 0,1% wykazywały słabe właściwości inhibicyjne wobec badanych grzybów, a w przypadku *C. puteana* wykazywały nawet właściwości pobudzające wzrost.

Istotną różnicą między ekstraktami uzyskanymi z kwiatów, a uzyskanymi z liści czeremchy było to, że kwiaty są bogatsze w związki flawanolowe. Dokładna identyfikacja wpływu różnic w składzie ekstraktów na hamowanie wzrostu grzybów wymaga dalszych badań.

Niniejszy rozdział został opracowany na podstawie publikacji 4:
 Brózdowski Jakub, Cofta Grzegorz, Waliszewska Bogusława. (2022).
 Antifungal properties of *Prunus serotina* Ehrh. extracts. Ed.: Róbert
 Németh, Christian Hansmann, Peter Rademacher, Miklós Bak,
 Mátyás Báder,
 10th Hardwood Conference, 12-14 October 2022 Sopron.
 University of Sopron Press. pp 183-187.

4.4. Podsumowanie wyników badań zdolności ekstraktów do ograniczania emisji VOC

Celem niniejszych badań było określenie wpływu dodatku substancji ekstrakcyjnych na emisję lotnych związków organicznych LZO (z ang. volatile organic compound VOC) z ciekłych wyrobów lakierowych.

W tabeli 7 przedstawiono rodzaje i ilości związków lotnych emitowanych przez ekstrakt wodny otrzymany z czeremchy amerykańskiej (*Prunus serotina* Ehrh.), który dodawano do wyrobów lakierniczych.

Tabela 7. Emisja VOC z ekstraktu czeremchy amerykańskiej (ilość związków lotnych wyrażono jako sumę powierzchni otrzymanych pików i ich udział procentowy)

Lotny związek organiczny	Temperatura					
	22°C	Ilość [%]	35°C	Ilość [%]	45°C	[%]
Aldehyd benzoesowy	488373233	99	515459656	99	553370085	99
Ester n-oktadecylowy kwasu trifluorooctowego	2748460	<1	3006944	<1	3089383	<1
Kwas heksadekanowy	1884482	<1	2053058	<1	2250326	<1

Tabela 8. Wpływ dodatku ekstraktu do wyrobów lakierowych na poziom emisji VOC

Lotny związek organiczny	Temperatura		
	22°C	35°C	45°C
Lakier I	Zmiana emisji [%]		
Ester 2-metylo-butyłowy kwasu 2-propenowego	+266 ± 15	+29 ± 11	+100 ± 9
Aldehyd benzoesowy	+NE	+NE	+NE
Glikol dipropylenowy	-82 ± 8	-67 ± 17	-62 ± 13
1-(2-metoksypropoksy)-2-propanol	-90 ± 11	-71 ± 11	-63 ± 4
2-etylo-1-heksanol	+9 ± 20	-1 ± 10	-64 ± 13
2-(2-butoksyetoksy)-etanol	-91 ± 12	-47 ± 14	-39 ± 12
Kwas propanowy, 2-metylo-, ester butylowy	+9 ± 12	-7 ± 4	-6 ± 2
2-metylopropanian 2-etylo-3-hydroksyheksylu	+8 ± 9	+7 ± 10	-1 ± 12
Kwas propanowy, 2-metylo-, 1-(1,1-dimetyloetylo)-2-metylo-1,3-propanodiy-1 ester	-97 ± 5	+84 ± 13	+84 ± 16
Lakier II			
2-butoksyetanol	-54 ± 14	-50 ± 10	-34 ± 12
Aldehyd bezoesowy	+NE	+NE	+NE
n-Nonan	-35 ± 8	-83 ± 17	-84 ± 13
2-etylo-1-heksanol	-32 ± 1	-7 ± 5	-19 ± 4
2,5-dimetylooktan	-23 ± 15	-67 ± 8	-68 ± 11
2-(2-butoksyetoksy)-etanol	-11 ± 3	-64 ± 5	-55 ± 9
Ester butylowy kwasu butanowego	-21 ± 7	-50 ± 14	+105 ± 23
Ester 2-metylo-butyłowy kwasu 2-propenowego	-30 ± 8	-25 ± 8	+93 ± 17
Lakier III			
2-butoksyetanol	-57 ± 12	-42 ± 3	-65 ± 7
Aldehyd bezoesowy	+NE	+NE	+NE
Glikol dipropylenowy	-56 ± 15	-40 ± 11	-63 ± 13
1-(2-metoksypropoksy)-2-propanol	-65 ± 8	-46 ± 12	-61 ± 5
2-(2-butoksyetoksy)-etanol	-48 ± 6	-88 ± 9	-29 ± 3

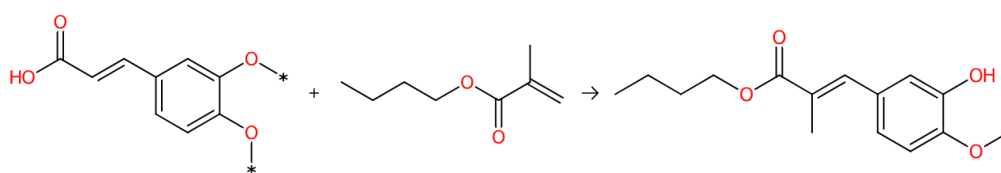
NE- nowa emisja

Na podstawie uzyskanych wyników zestawionych w tabeli 8 można stwierdzić, że emisja LZO z produktów wodorozcieńczalnych na bazie spoiw akrylowych, po dodaniu do nich ekstraktu wodnego z czeremchy amerykańskiej, uległa redukcji. Poziom redukcji uzależniony był od rodzaju wyrobu lakierowego oraz rodzajów emitowanych związków.

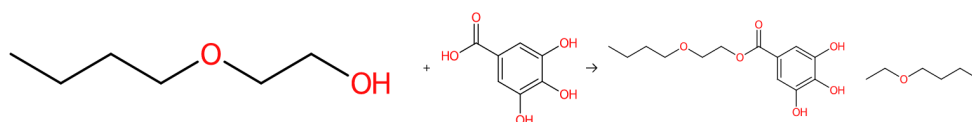
Dla lakieru I zaobserwowano redukcję emisji trzech związków z ośmiu emitowanych, w przypadku lakieru II redukcja emisji dotyczyła pięciu związków z

siedmiu oznaczonych, natomiast w przypadku lakieru III nastąpiła redukcja emisji wszystkich oznaczonych związków.

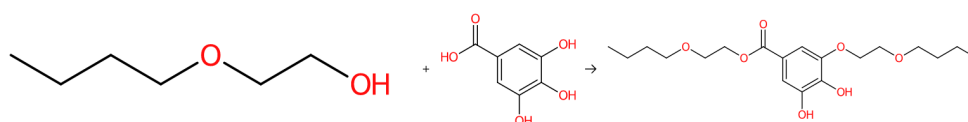
Zaobserwowana redukcja emisji związków wydzielanych przez badane wyroby lakierowe może być efektem zaistniałych reakcji chemicznych. Możliwe do zajścia reakcje chemiczne określono na podstawie obliczeń przeprowadzonych za pomocą programu IBM RXN (<https://rxn.res.ibm.com/rxn/sign-in>). Reakcje przedstawiono na rycinach 2 - 5.



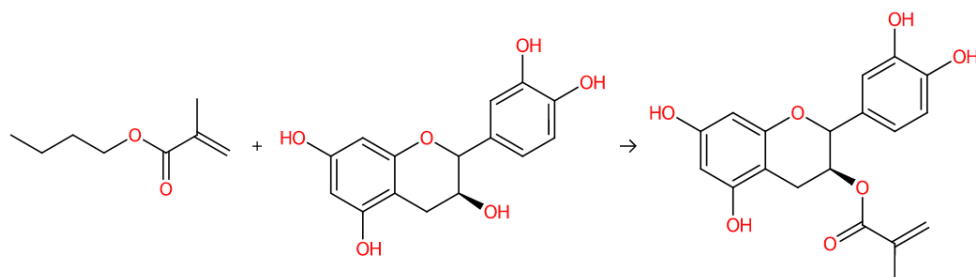
Ryc. 2 Symulacja reakcji pomiędzy kwasem kawowym i estrem 2-metylo-butylowym kwasu 2-propenowego



Ryc. 3. Symulacja reakcji pomiędzy kwasem galusowym, a 2-butoksyetanolem - wariant I



Ryc. 4. Symulacja reakcji pomiędzy kwasem galusowym, a 2-butoksyetanolem - wariant II



Ryc. 5. Symulacja reakcji pomiędzy epikatechiną, a estrem 2-metylo-butylowym kwasu 2-propenowego

Dominujące produkty pochodziły z reakcji transestryfikacji i estryfikacji między estrami a kwasami fenolowymi obecnymi w matrycy roślinnej. Obecność kwasów

organicznych i innych donatorów protonów ułatwia reakcje estryfikacji. Powstałe produkty prawdopodobnie przechodzą do fazy organicznej, a tym samym równowaga reakcji jest prawdopodobnie przesunięta w kierunku tworzenia nowych estrów i mniej polarnych produktów.

Niniejszy rozdział został opracowany na podstawie publikacji 5: Brózdowski Jakub, Gajewski Erik, Szczepaniak Oskar, Stachowiak-Wencek Agata. (2023). Effect of extract addition on reducing VOC emissions from lacquers in liquid state. *Drewno* – przyjęty do publikacji

5. Podsumowanie

Przedstawione wyżej badania przeprowadzone na ekstraktach pozyskanych z kwiatów, liści i owoców czeremchy amerykańskiej pozwoliły na zweryfikowanie postawionych hipotez badawczych. Charakterystyka składu chemicznego liści, kwiatów i owoców czeremchy wykazała, że roślina ta jest bogatym źródłem związków o budowie fenolowej, zwłaszcza flawonoli. Ekstrakt metanolowy z liści zawierał sumarycznie 36,51 g zidentyfikowanych związków fenolowych na kg suchej masy, podczas gdy metanolowy ekstrakt z kwiatów zawierał tych związków 49,82 g/kg SM. Zaobserwowano również, że poprzez zastosowanie odpowiedniego rozpuszczalnika można wpłynąć na obfitość związków z poszczególnych grup fenoli. Kwasy fenolowe były lepiej ekstrahowane wodą. Owoce czeremchy amerykańskiej są bogatym źródłem antocyjanów - prawie 12 g/kg SM.

Do ekstrakcji wykorzystano dwa popularne rozpuszczalniki - metanol i wodę. Metanol jest wykorzystywany w wielu badaniach nad profilem fenolowym i został potraktowany jako rozpuszczalnik wzorcowy. Do porównania wykorzystano wodę jako najpowszechniejszy i ekologiczny rozpuszczalnik. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic pomiędzy testowanymi metodami ekstrakcji. Ultradźwiękowa ekstrakcja w temp. 4°C w 60% metanolu dała równie dobre rezultaty jak ekstrakcja na gorąco z wykorzystaniem wody destylowanej. Można więc z powodzeniem używać wody do ekstrakcji biomasy czeremchy amerykańskiej bez strat ilościowych ekstrahowanych związków fenolowych.

Zbadany profil fenolowy ekstraktów czeremchy pozwolił przypuszczać, że będą one posiadać działania przeciwko grzybom rozkładającym drewno. Przeprowadzone w tym kierunku badania potwierdziły te przypuszczenia, jednak wyłącznie przy

zastosowaniu dodatku ekstraktów w ilości 10%. Mniejsze stężenia ekstraktów (1 i ,1%) nie tylko nie hamowały wzrostu grzybów, a w przypadku *C. puteana* nawet go nasilały.

Badania przeprowadzone w kierunku wpływu dodatku ekstraktu do powłoki papierniczej na jej właściwości barierowe pozwoliły zauważyć, że dodatek ekstraktu poprawił istotnie właściwości barierowe badanych papierów w kontakcie z tłuszczami i olejami. Nie zaobserwowano poprawy właściwości barierowych w kontakcie z wodą. Przeprowadzono również badania właściwości przeciwbakteryjnych badanych papierów. Papiery pokryte powłokami z dodatkiem surowych ekstraktów nie zahamowały wzrostu kolonii bakterii *E. coli*, a wręcz go nasiliły. Dopiero oczyszczenie ekstraktu z cukrów pozwoliło na zauważalne zahamowanie wzrostu kolonii *E. coli*.

Ostatnim zbadanym zastosowaniem dla ekstraktu z czeremchy było jego użycie jako funkcjonalnego dodatku do ciekłych wyrobów lakierniczych. Fenole jako reaktywne związki chemiczne wykazały zdolność do częściowego ograniczania emisji lotnych związków organicznych z badanych próbek lakierów. Predykcja mechanizmu działania z wykorzystaniem oprogramowania IBM RXN wskazała na zachodzenie procesów estryfikacji i transestryfikacji.

Przedstawione w niniejszej pracy badania pozwoliły scharakteryzować główne związki bioaktywne w ekstraktach wodnych i metanolowych pozyskanych z liści, kwiatów i owoców czeremchy amerykańskiej oraz wykazały, że czeremcha jest ich bogatym źródłem. Przeprowadzone wstępne badania aplikacyjne pokazały, że ekstrakcja biomasy czeremchy może być dobrym sposobem na zagospodarowanie odpadów powstających w wyniku usuwania jej z drzewostanów, a otrzymany z nich ekstrakt może znaleźć zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu drzewnego.

6. Bibliografia

- [1] A. Halarewicz, Przyczyny i skutki inwazji czeremchy amerykańskiej *Prunus serotina* w ekosystemach leśnych, *Leśne Prace Badawcze*. 72 (2011).
- [2] F. B. Power, C. W. Moore, XCl.—The constituents of the leaves of *Prunus serotina*, *Journal of the Chemical Society, Transactions*. 97 (1910) 1099–1112.
- [3] H. W. A. Biessels, A. C. van der Kerk-van, J. J. Kettenes-van den Bosch, C. A. Salemink, Triterpenes of *Prunus serotina* and *P. lusitanica*, *Phytochemistry*. 13 (1974) 203–207.
- [4] E. Swain, C. P. Li, J. E. Poulton, Development of the potential for cyanogenesis in maturing black cherry (*Prunus serotina* Ehrh.) fruits, *Plant Physiol*. 98 (1992) 1423–1428.
- [5] E. Swain, J. E. Poulton, Utilization of amygdalin during seedling development of *Prunus serotina*, *Plant Physiol*. 106 (1994) 437–445.
- [6] A. Ordaz-Galindo, P. Wesche-Ebeling, R. E. Wrolstad, L. Rodriguez-Saona, A. Argaiz-Jamet, Purification and identification of Capulin (*Prunus serotina* Ehrh) anthocyanins, *Food Chem*. 65 (1999) 201–206.
- [7] M. Olszewska, Flavonoids from *prunus serotina* ehrh, *Acta Pol. Pharm*. 62 (2005) 127–133.
- [8] M. Olszewska, Quantitative HPLC analysis of flavonoids and chlorogenic acid in the leaves and inflorescences of *Prunus serotina* Ehrh, *Acta Chromatogr*. 19 (2007) 253.
- [9] C. Ibarra-Alvarado, A. Rojas, F. Luna, J. I. Rojas, B. Rivero-Cruz, J. F. Rivero-Cruz, Vasorelaxant constituents of the leaves of *Prunus serotina* “capulín,” *Rev Latinoam Quim*. 37 (2009) 164–173.
- [10] F. J. Luna-Vázquez, C. Ibarra-Alvarado, A. Rojas-Molina, J. I. Rojas-Molina, E. M. Yahia, D. M. Rivera-Pastrana, A. Rojas-Molina, M. Á. Zavala-Sánchez, Nutraceutical value of black cherry *Prunus serotina* Ehrh. fruits: antioxidant and antihypertensive properties, *Molecules*. 18 (2013) 14597–14612.
- [11] M. Jiménez, I. Castillo, E. Azuara, C. I. Beristain, Antioxidant and antimicrobial activity of capulin (*Prunus serotina* subsp capuli) extracts, *Rev Mex Ing Quim*. 10 (2011) 29–37.
- [12] I. A. Aguerrebere, A. R. Molina, B.D. Oomah, J.C.G. Drover, Characteristics of *Prunus serotina* seed oil, *Food Chem*. 124 (2011) 983–990.
- [13] B. Rivero-Cruz, Simultaneous quantification by HPLC of the phenolic compounds for the crude drug of *Prunus serotina* subsp. capuli, *Pharm Biol*. 52 (2014) 1015–1020.
- [14] A. Telichowska, J. Kobus-Cisowska, M. Ligaj, K. Stuper-Szablewska, D. Szymanowska, M. Tichoniuk, P. Szulc, Polyphenol content and antioxidant activities of *Prunus padus* L. and *Prunus serotina* L. leaves: Electrochemical and spectrophotometric approach and their antimicrobial properties, *Open Chem*. 18 (2020) 1125–1135.
- [15] R. Gaudreault, C. Brochu, R. Sandrock, P. Deglmann, H. Seyffer, A. Tétreault, Overview of practical and theoretical aspects of mineral oil contaminants in mill process and paperboard, *The Pulp and Paper Fundamental Research Society*. (2013) 907.
- [16] J. Ważny, I. D. Thornton, Comparative testing of strains of the dry rot fungus *Serpula lacrymans* (Schum. ex Fr.) SF Gray II. The action of some wood preservatives in agar media, *Holzforschung*. 40 (1986) 383–388.
- [17] M. D. Sanchez-Garcia, A. Lopez-Rubio, J.M. Lagaron, Natural micro and nanobiocomposites with enhanced barrier properties and novel functionalities for food biopackaging applications, *Trends Food Sci Technol*. 21 (2010) 528–536.