



EkoBioTex 2025

4-5 GRUDNIA 2025, ŁÓDŹ

lit.lukasiewicz.gov.pl/ekobiotex

Konferencja Naukowa



Łódź, grudzień 2025 r.

Organizator:



Partnerzy:



Patronat honorowy:



Marcin Kulasek
Minister Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



**Ministerstwo
Klimatu i Środowiska**



**MARSZAŁEK
WOJEWÓDZTWA ŁÓDZKIEGO**
Joanna Skrzydlewska



PREZYDENT MIASTA ŁÓDZI
HANNA ZDANOWSKA



Patronat Rektora
Uniwersytetu Łódzkiego



Politechnika Łódzka

Miejsce Konferencji: Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny, ul. Skłodowskiej-Curie 19/27, 90-570 Łódź

Komitet Naukowy:

- dr hab. inż. Maciej Boguń – przewodniczący
Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny
- dr hab. inż. Dorota Bociąga, prof. PŁ,
Politechnika Łódzka
- dr hab. inż. Małgorzata Cieślak,
Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny
- dr inż. Joanna Grzybowska-Pietras,
Uniwersytet Bielsko-Bialski
- dr hab. inż. Dorota Kowalczyk,
Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny
- dr hab. Marcin Kudzin,
Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny
- prof. dr hab. inż. Stanisław Józef Ledakowicz,

- Politechnika Łódzka
- dr n. med. Przemysław Lipiński,
Centrum Medyczne ARGO, Pracownia Leczenia Ran
- dr hab. inż. Katarzyna Ławińska,
Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny
- dr hab. inż. Ewa Stodolak-Zych, prof. AGH,
Akademia Górniczo-Hutnicza
- dr hab. inż. Dariusz Wawro,
Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny
- dr hab. Barbara Wionczyk,
Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny
- prof. dr hab. Krystyna Wrześniewska-Tosik,
Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny

Komitet Organizacyjny:

- Katarzyna Drużdż – przewodnicząca komitetu
- Kinga Brzoza-Malczewska
- Tomasz Dziekański
- Marta Markowska
- Kamila Mastalerz
- Kamila Paszyn
- Marcin Jędrych

Szanowni Państwo,

Konferencja Naukowa EkoBioTex 2025 jest inicjatywą pracowników Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzkiego Instytutu Technologicznego.

Tematyka związana z inżynierią środowiska, inżynierią biomedyczną, inżynierią materiałową i chemiczną oraz zagadnieniami gospodarki o obiegu zamkniętym ma dziś kluczowe znaczenie dla zrównoważonego rozwoju i innowacji. Pogłębianie wiedzy w tych obszarach oraz dzielenie się wynikami badań w ramach konferencji stanowi istotny krok w kierunku tworzenia nowoczesnych, odpowiedzialnych rozwiązań technologicznych i naukowych.

Żywię nadzieję, że spotkanie badaczy, ludzi nauki oraz biznesu z całej Polski w ramach konferencji przyczyni się do rozwoju polskiej nauki oraz zaowocuje nowymi pomysłami i wspólnymi projektami badawczo-rozwojowymi.

Wszystkim uczestnikom Konferencji Naukowej EkoBioTex 2025 życzę owocnych obrad.

W imieniu organizatorów i swoim,

Z-ca Dyrektora Instytutu ds. Badawczych



dr hab. inż. Renata Żyłła

HARMONOGRAM KONFERENCJI

- 4 grudnia 2025 -

8.30 - 9.30 Rejestracja i czas na poranną kawę

**9.30 - 10.15 Inauguracja konferencji i przemówienia
Honorowych Gości**

10.15–11.45 Sesja plenarna I

1. dr hab. inż. Dorota Bociąga, prof. PŁ "Druk i biodruk 3D w inżynierii tkanek twardych i miękkich", Politechnika Łódzka
2. prof. dr hab. Joanna Saluk, „Zachowanie warunków hemostazy jako kluczowy aspekt biokompatybilności materiałów medycznych”, Uniwersytet Łódzki
3. dr hab. inż. Ewa Stodolak-Zych, prof. AGH „Elektroprzędzone nanowłókna polimerowe – (nie)doskonały biomimetyk?”, Akademia Górniczo - Hutnicza

11.45 – 12.00 Przerwa kawowa

12.00 – 13.50 Sesja plenarna II

1. prof. dr hab. inż. Stanisław Ledakowicz, „Biowodór z odpadów organicznych” Politechnika Łódzka
2. dr inż. Joanna Grzybowska-Pietras, „Możliwości wykorzystania wełny owczej w projektowaniu zielonej infrastruktury”, Uniwersytet Bielsko-Bialski
3. dr inż. Anna Kowalik-Klimczak, „Zastosowanie metod membranowych do odzysku metali ciężkich z wód poprocesowych i regeneracji kąpeli galwanicznych”, Łukasiewicz - Instytut Technologii Eksploatacji

4. Anita Sowińska, Podsekretarz Stanu w Ministerstwie Klimatu i Środowiska, „Zamknięty obieg, otwarte możliwości – GOZ szansą dla polskich firm”

13.50 - 14.50 Lunch i sesja posterowa

14.50 - 15.50 Sesja III (BIO)

1. Dr n. med. Karolina Skołucka-Szary, „Integracja procesu projektowania wyrobów medycznych z wymaganiami Rozporządzenia 2017/745”, Global Certification Body Sp. z o.o.
2. dr inż. Monika Biernat, „Biokompozyty polimerowo-ceramiczne do regeneracji kości”, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych
3. dr n. med. Przemysław Lipiński, „Po co nam opatrunki specjalistyczne?”, Pracownia Leczenia Ran, Łódź

17.00 - 19.00 Wycieczka zabytkowym pojazdem po Łodzi

**19.00 - 24.00 Uroczysta kolacja
(RESTAURACJA CESKY FILM)**

- 5 grudnia 2025 -

9.30 - 10.00 Czas na poranną kawę

10.00 - 11.40 Sesja IV ECO

1. dr inż. Joanna Szkudlarek „Koniec cyklu życia produktu - problematyka wycofania z użytkowania środków ochrony indywidualnej”, Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy Instytut Badawczy
2. Prof UŁ Sylwia Różalska, "Nowe możliwości stosowania grzybów entomopatogennych", Uniwersytet Łódzki
3. mgr inż. Mateusz Sochacki „Zastosowanie frakcjonowania pianowego do ekologicznej separacji biosurfaktantów z orzecha piorącego (*Sapindus mukorossi* Gaertn.)”, Politechnika Krakowska
4. mgr Marlena Bytniewska, „Zaawansowane kompozyty węglowo-siarkowe jako perspektywiczne materiały w ochronie środowiska i ochronie zdrowia”, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie
5. Krystyna Lesińska, „Efektywność oczyszczania ścieków bytowych z przemysłu piwowarskiego”, Politechnika Poznańska

11.40 - 12.30 Lunch

12.30 - 13.50 Sesja V BIO

1. prof. dr hab. Bartosz Kempisty, „Integracja struktur podporowych z komponentami komórkowym w bioinżynierii układu naczyniowego”, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu
2. dr hab. inż. Radosław Wach „Wybór metody sterylizacji podczas projektowania nowego wyrobu medycznego - dlaczego jest to istotne?”, Politechnika Łódzka
3. dr inż. Tomasz Czapka, „Inżynieria elektryczna w technologii włókienniczej”, Politechnika Wrocławska
4. dr hab. inż. Justyna Frączyk, „Modulowanie właściwości materiałów węglowych poprzez funkcjonalizację ich powierzchni”, Instytut Chemii Organicznej Politechnika Łódzka

13.50 - 14.05 Przerwa kawowa

14.05 - 15.05 Sesja VI BIO

1. PhD Zahira Bano, Artur P. Terzyka, „Recent Progress in Carbon Nanomaterials and their Composites in Anti/De-icing Coatings”, Nicolaus Copernicus University
2. mgr Joanna Chojniak-Gronek, „Biomateriały nowej generacji: Synteza poli(3-hydroksymaślanu) (P3HB) z wykorzystaniem mikroorganizmów modyfikowanych genetycznie”, Łukasiewicz-Institut Chemii Przemysłowej
3. mgr Justyna Kamińska, „Cytotoksyczność w ocenie bezpieczeństwa”, Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny

15.05 - 15.15 Zakończenie konferencji, wręczenie nagrody za najlepszy poster

Wykaz posterów:

1. Joanna Lewandowska, „Żel na bazie kolagenu rybiego o właściwościach anty-amyloidogennych”, Politechnika Łódzka
2. Mateusz Urbaniak, Paulina Rusek-Wala, Agata Tomaszewska, Przemysław Płociński, Agnieszka Krupa, Aleksandra Szwed-Georgiou, Marcin Włodarczyk, Karolina Rudnicka, „Integracja związków bioaktywnych w biokompozytach dla zastosowań w medycynie regeneracyjnej”, Uniwersytet Łódzki
3. Agata Tomaszewska, Julia Sadlik, Edyta Kosińska, Hakan Göçerler, Karolina Rudnicka, Agnieszka Tomala, „Cytobiozgodność kompozytu Ti-6Al-4V/HAp z powłoką MXene jako zaawansowanego materiału implantologicznego”, Uniwersytet Łódzki
4. Dominika Jurkowska, „Termometria luminescencyjna i termoluminescencja - kierunki badań biomedycznych”, Uniwersytet Wrocławski
5. Artur Kołaciak-Hulbój, „Nowe monomery na bazie pochodnych kwasu itakonowego z ekstraktu z grzybów”, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
6. Monika Biernat, Agata Kurzyk, Agnieszka Antosik, Paulina Tymowicz-Grzyb, Piotr Szterner, „Bioaktywne materiały ceramiczne wspomagające odbudowę kości” , Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych
7. Maciej Życki, Anna Kowalik-Klimczak, Zbigniew Mikołajczyk, „Waloryzacja odpadów skórzano-tekstylnych z wykorzystaniem metod konwersji termicznej w warunkach beztlenowych, Politechnika Łódzka
8. Jagoda Jóźwik-Pruska, Magdalena Szalczyńska, Anna Milczarek, „Biodegradacja w rolnictwie: nauka, praktyka i legislacyjne wyzwania”, Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny
9. Patryk Śniarowski, Longina Madej-Kiełbik, Anna Bednarowicz, Nina Tarzyńska, Dorota Zielińska, Justyna Kamińska, Karolina Gryra-Jagięła, „Ocena cytotoksyczności materiałów do zastosowań w interfejsach neuronowych z wykorzystaniem ludzkich keratynocytów”, Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny
10. Renata Kurek, Katarzyna Kozak, Joanna Chojniak-Gronek, Jolanta Janiszewska, Otton Roubinek, „Wytwarzanie P3HB metodami biotechnologicznymi z surowców odpadowych z przemysłu

spożywczego”, Łukasiewicz – Instytut Chemii Przemysłowej imienia Profesora Ignacego Mościckiego

11. Natalia Jasiak, „Od odpadów po wysoce aplikacyjne nanostruktury przyszłości”, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
12. Dominik Borkowski, Konrad Sulak, Piotr Czarnecki, Stanisław Gałęcki, Sławomir Kęska, Justyna Olczyk, Monika Szkopiecka, „Analiza właściwości antybakteryjnych włókien filtracyjnych zawierających aktywne nanocząstki ZnS, TiO₂ oraz nano-Ag”, Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny
13. Beata Tkacz-Szczęsna, Alicja Nejman, Dorota Bociąga, Małgorzata Cieślak, „Zielona funkcjonalizacja” tkaniny bawełnianej nanocząstkami srebra stabilizowanymi alginianem i kwasem hialuronowym”, Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny
14. Alicja Nejman, Beata Tkacz-Szczęsna, Małgorzata Krzyżowska, Małgorzata Cieślak, „Bioaktywna włóknina wiskozowo-poliestrowa modyfikowana nanocząstkami srebra i tlenku cynku”, Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny
15. Barbara Romanowska, Anna Kicińska – Jakubowska, Jacek Kołodziej, Edyta Kwiatkowska, Joanna Ratajczak, Rafał Perz „Innowacyjna koncepcja wykorzystania krótkiego włókna lnianego”, Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich – Państwowy Instytut Badawczy w Poznaniu
16. Aleksandra Wawro, Marcin Praczyk, Weronika Gieparda, Szymon Rojewski, Krzysztof Bujnowicz, „Charakterystyka i zróżnicowanie struktury lignocelulozowej biomasy form jednopiennych i dwupiennych konopi przemysłowych (*cannabis sativa* L.) Jako surowca w gospodarce cyrkularnej”, Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich - Państwowy Instytut Badawczy w Poznaniu
17. Joanna Foksowicz-Flaczyk, „Potencjał roślin włókniстых oraz zielarskich jako materiałów paszowych”, Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich Państwowy Instytut Badawczy w Poznaniu
18. Jolanta Batog, „Rośliny włókniste jako surowiec odnawialny do wytwarzania bioproduktów”, Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich – Państwowy Instytut Badawczy w Poznaniu
19. Jacek Kołodziej, Anna Kicińska-Jakubowska, Barbara Romanowska, Patrycja Przybylska, MD Masud Alam, Katarzyna Schmidt-Przewoźna, „Rośliny włókniste surowcem o szerokich możliwościach

aplikacyjnych”, Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich-PIB w Poznaniu

20. Paulina Copik, Rozwiązania oparte na gospodarce obiegu zamkniętego w przemyśle metalurgicznym”, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Górnośląski Instytut Technologiczny
21. Katarzyna Kuchta, Jacek M. Kubica, „Analiza zjawisk fizycznych ze względu na skuteczność detekcji promieniowania nadfioletowego w zmodyfikowanych światłowodach włóknistych”, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
22. Agnieszka Wanag, Aleksander Albrecht, Ewelina Kusiak-Nejman, Antoni W. Morawski, „Otrzymywanie i charakterystyka fotokatalizatorów na bazie nanorutylu”, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
23. Leszek Morzyński, Rafał Młyński, Szymon Suszek, Emil Kozłowski, „Badania wpływu interakcji audiowizualnych na uciążliwość warunków pracy”, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
24. Dominika Jurkowska, Eugeniusz Zych, Justyna Zeler, „Termometria luminescencyjna i termoluminescencja – kierunki badań biomedycznych”, Uniwersytet Wrocławski
25. Justyna Olczyk, Monika Szkopiecka, Dominik Borkowski, Sławomir Kęska, Piotr Czarnecki, Stanisław Gałęcki, „Badanie właściwości fizyko-chemicznych mieszanek kopoliestru alifatyczno-aromatycznego (IBPE) z innymi polimerami”, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny
26. Karolina Gzyra-Jagięła, Konrad Sulak, Sławomir Kęska, Piotr Cichacz, Piotr Czarnecki, Sylwia Jagodzińska, „Struktura i właściwości blendy PLA-kopoliester alifatyczno-aromatyczny w kontekście przetwórstwa na włókna metodą ze stopu”, Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny
27. Marlena Bytniewska, Mariusz Barczak, „Nanoporowate materiały węglowe precyzyjnie domieszkowane siarką: synteza, charakterystyka i zastosowania”, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej
28. Aleksandra Dziopa, Oskar Zimak-Krótkopad, Aleksandra Kryszak, Mateusz Szymańczyk, Judyta Cielecka-Piontek, „Chitozan

z jedwabników (*Bombyx mori*) jako rekomendowany surowiec do produkcji opakowań biodegradowalnych”, Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich Państwowy Instytut Badawczy w Poznaniu

29. Aleksandra Kryszak, Oskar Zimak-Krótkopad, Mateusz Szymańczyk, Aleksandra Dziopa, Judyta Cielecka-Piontek, „Od kokonu do biomateriału - badanie fibroiny metodą XRPD i FTIR”, Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich Państwowy Instytut Badawczy w Poznaniu
30. Anita Ilska, Daniel Jan Marcasii, „Materiały włókiennicze w hodowli ślimaków w polsce i europie: wyzwania technologiczne, środowiskowe oraz kierunki innowacji”, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny
31. Maciej Boguń, Mariusz Sawicki, „Geokompozyty na bazie materiałów odpadowych do zabezpieczenia zboczy”, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny
32. Oskar Zimak-Krótkopad, Aleksandra Kryszak, Aleksandra Dziopa, Mateusz Szymańczyk, Judyta Cielecka-Piontek, „Aktywne opakowania na bazie chitozanu wzbogacone ekstraktem z liści morwy (*Morus alba*) o właściwościach antyoksydacyjnych”, Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich Państwowy Instytut Badawczy, Poznań
33. Monika Sikora, Maria Wiśniewska-Wrona, „Nowe materiały na bazie chitozanu oraz ich wybrane zastosowania w biotechnologii i medycynie”, Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny
34. Maria Wiśniewska-Wrona, Monika Sikora, „Rola chitozanu w ochronie środowiska i zdrowia społeczeństwa jako polimeru pozyskiwanego ze źródeł odnawialnych”, Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny
35. Justyna Wietecha, Patrycja Miros-Kudra, „Czy papier = eko? Recyklowalność opakowań w świetle badań laboratoryjnych”, Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny

SESJA PLENARNA I i II

DRUK I BIODRUK 3D W INŻYNIERII TKANEK TWARDYCH I MIĘKKICH

Dorota Bociaga, Adrianna Wierzbicka, Mateusz Bartniak,
Jacek Grabarczyk, Piotr Niedzielski

Politechnika Łódzka, Instytut Inżynierii Materiałowej, Zakład Inżynierii Biomedycznej i Materiałów Funkcjonalnych, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-537 Łódź, e-mail: dorota.bociaga@p.lodz.pl

słowa kluczowe: biodruk 3D, biotusze, post-processing, inżynieria tkankowa, implanty

Jednymi z kluczowych osiągnięć druku 3D w medycynie jest możliwość wytwarzania implantów i protez dostosowanych do specyficznych potrzeb pacjentów ((tzw. *custom-made*), odwzorowanie struktur anatomicznych oraz opracowywanie innowacyjnych strategii terapeutycznych. Dzięki zastosowaniu materiałów, takich jak tytanowe stopy metali czy biokompatybilne polimery, implanty i rusztowania wytworzone tą techniką charakteryzują się odpowiednio wysoką trwałością i zgodnością biologiczną. Specyficzne obróbki i modyfikacje powierzchniowe takich wydruków, w zakresie tzw. post-processingu, pozwalają na uzyskanie dodatkowych funkcjonalności, jak np. przyspieszenie procesów osteointegracyjnych.

Jednym z najbardziej zaawansowanych kierunków rozwoju technologii druku 3D jest biodrukowanie, polegające na wytwarzaniu struktur biologicznych z wykorzystaniem żywych komórek oraz biotuszy. Metoda ta umożliwia tworzenie rusztowań tkankowych, które pełnią funkcję matryc wspierających adhezję, proliferację i różnicowanie komórek w procesach regeneracyjnych. Zakres zastosowań biodruku obejmuje wytwarzanie struktur skóry, chrząstki, a także prowadzenie eksperymentalnych prób tworzenia złożonych organów, takich jak nerki, płuca, wątroba czy trzustka. Technologia biodrukowania 3D tkanek i narządów stanowi potencjalne rozwiązanie problemu niedoboru organów do

transplantacji, a ponadto umożliwia opracowywanie modeli *in vitro* do badań farmakologicznych, co wpisuje się w globalne tendencje ograniczania testów prowadzonych na zwierzętach. Niezależnie od stopnia zaawansowania badań nad rekonstrukcją narządów lub ich fragmentów, kluczowym problemem w przypadku struktur biodrukowanych wciąż pozostaje zapewnienie ich unaczynienia oraz uzyskanie właściwości mechanicznych i biofunkcjonalnych, takich jak odpowiednia wytrzymałość, elastyczność oraz integracja z tkankami gospodarza, niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania.

Prowadzone przez nasz zespół badania koncentrują się na opracowaniu innowacyjnych rozwiązań zarówno w obszarze technologii druku trójwymiarowego (projektowanie i konstrukcja urządzeń [1]), jak i w zakresie inżynierii materiałowej (formulacje biotuszy oraz biomateriałów do wytwarzania rusztowań tkankowych [2-4]). Celem tych prac jest eliminacja obecnych ograniczeń technologicznych i materiałowych, które utrudniają wytwarzanie funkcjonalnych tkanek i narządów przeznaczonych do zastosowań w medycynie regeneracyjnej (ze szczególnym ukierunkowaniem na urologię [5,6]). Dodatkowo, istotnym elementem naszych badań jest rozwój zaawansowanych procesów obróbki wykańczającej, ukierunkowanych na poprawę integracji w strefie kontaktu tkanka-implant, co ma kluczowe znaczenie dla skuteczności terapii implantologicznych.

1. Dorota Bociaga, Mateusz Bartniak, Krzysztof Sobczak, Karolina Rosinska, *Materials* 2020, 13(19), 4237
2. Bociaga D., Bartniak M., Grabarczyk J., Przybyszewska K., *Materials* 2019, 12(17), 2669
3. Rosińska K., Bartniak M., Wierzbicka A., Sobczyk-Guzenda A., Bociaga D., *Journal of Biomedical Materials Research: Part B - Applied Biomaterials*, 2023, (111), 314-330
4. Wierzbicka A., Bartniak M., Waśko J., Kolesińska B., Grabarczyk J., Bociaga D., *Gels* 2024, 10, 491
5. Wierzbicka, A., Krakós M., Wilczek P., Bociaga D., *Journal of Biomedical Materials Research: Part B - Applied Biomaterials*, 2023; 111: 730-756
6. Wilczek P., Bociaga D., Krakos M. and Wierzbicka A., *Front. Bioeng. Biotechnol.* (2025) 13:1611508

ZACHOWANIE WARUNKÓW HEMOSTAZY JAKO KLUCZOWY ASPEKT BIOKOMPATYBILNOŚCI MATERIAŁÓW MEDYCZNYCH

Angela Dziedzic, Małgorzata Musiał, **Joanna Saluk**

*Uniwersytet Łódzki, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Katedra
Biochemii Ogólnej, ul. Pomorska 141/143, 90-236 Łódź,
e-mail: joanna.saluk@biol.uni.lodz.pl; angela.dziedzic@biol.uni.lodz.pl;
malgorzata.musial@edu.uni.lodz.pl*

słowa kluczowe: hemostaza, płytki krwi, kaskada krzepnięcia, biokompatybilność materiałów

Hemostaza to złożony zespół procesów fizjologicznych, którego celem jest zarówno zatrzymanie niepożądanych zdarzeń krwotocznych, jak i utrzymanie swobodnego przepływu krwi w naczyniu krwionośnym. Wiąże się to z zapewnieniem dynamicznej równowagi pomiędzy mechanizmami krzepnięcia i fibrynolizy.

Fizjologia hemostazy obejmuje takie etapy jak: skurcz naczyń krwionośnych, tworzenie czopu płytkowego (hemostaza pierwotna) oraz kaskada krzepnięcia (hemostaza wtórna) prowadząca do powstania włókniaka (fibryny). Zrozumienie mechanizmów leżących u podstaw każdego z tych procesów stanowi kluczowy warunek dla prawidłowego planowania, produkcji oraz wykorzystania materiałów, w kontekście ich bezpieczeństwa klinicznego.

W medycynie i inżynierii biomateriałów kluczowe jest takie projektowanie materiałów oddziałujących z systemami biologicznymi, aby wspierały one naturalne mechanizmy krzepnięcia bez ich nadmiernej aktywacji.

Podstawą biokompatybilności jest zachowanie równowagi hemostatycznej, która wykracza daleko poza procesy krzepnięcia, pozostając w ścisłej interakcji z odpowiedzią układu odpornościowego. Pobudzenie płytek krwi prowadzi bowiem nie tylko do formowania czopu płytkowego, ale także odpowiada za rozwój reakcji zapalnych w wyniku bezpośrednich oddziaływań płytkowo-leukocytarnych. Co więcej, aktywacja trombiny, głównej proteazy serynowej układu krzepnięcia stanowi link łączący

komórkowe mechanizmy hemostazy pierwotnej, mechanizmy osoczowej kaskady krzepnięcia oraz odpowiedź zapalną jako konsekwencję bezpośredniej i pośredniej aktywacji leukocytów. Zachowanie prawidłowych warunków hemostazy stanowi zatem warunek konieczny dla trwałej integracji biomateriału z organizmem, bez indukcji reakcji zapalnych czy immunologicznych.

ELEKTROPRZĘDZONE NANOWŁÓKNA POLIMEROWE – (NIE)DOSKONAŁY BIOMIMETYK?

Ewa Stodolak-Zych

*Faculty of Material Science and Ceramics, AGH Univeristy of Krakow,
Poland Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
e-mail: stodolak@gmail.agh.edu.pl*

słowa kluczowe: nanowłókna, elektroprzędzenie, polimery, biomimetyzm, macierz zewnątrzkomórkowa

Elektroprzędzone nanowłókna polimerowe zyskały status jednego z najciekawszych biomateriałów ostatnich lat. Ich rosnąca popularność wynika nie tylko z możliwości precyzyjnego odwzorowania architektury macierzy zewnątrzkomórkowej, ale także z potencjału tworzenia swoistej „niszy”, wspierającej lokalizację i proliferację komórek w procesach regeneracyjnych wielu tkanek (np. skóry) albo też pełnienie funkcji selektywnie przepuszczalnej jak np. implanty terapeutyczne w okulistyce (jaskra, uszkodzona rogówka).

Bogactwo możliwych konfiguracji – od struktury włókniny (równoległej, losowej, koncentrycznej), po mikrostrukturę samych włókien (chropowatych, hierarchicznych, z kołnierzami) – przekłada się na ogromny potencjał aplikacyjny. Literatura naukowa dokumentuje coraz więcej udanych prób wykorzystania tych struktur w inżynierii tkankowej, a technologia elektroprzędzenia staje się ich wyraźnym wyróżnikiem.

A jednak – ta obiecująca technologia nie jest wolna od ograniczeń. Włókniny elektroprzędzone często cechuje znaczna hydrofobowość oraz niejednorodność strukturalna, co może utrudniać adhezję komórek i obniżać aktywność biologiczną białek. W literaturze wskazuje się także na trudności z dopasowaniem tempa degradacji materiału do rytmu regeneracji tkanek ze względu na wyższą niż w mikrowłóknach krystaliczność, czy trudności z dostępem wody do wnętrza materiału ze względu na gęste upakowanie nanowłókien (bariera fizyczna może spowolnić proces

hydrodegradacji). Tym samym nanowłókna wolniej ulegają rozkładowi co może zaburzać integrację z otoczeniem biologicznym, a nawet wywoływać wydłużone reakcje zapalne.

Dodatkowo, obecność reszkowego ładunku elektrostatycznego po procesie przędzenia może ograniczać przydatność medyczną takich struktur. Nawet zaawansowane techniki, takie jak elektroprzędzenie wieloigłowe czy bezigłowe, niosą ze sobą problemy z powtarzalnością procesu i jednorodnością otrzymywanych włókien. Kontrola warunków pola elektrycznego, rozkładu napięć oraz stabilności strumienia pozostaje dużym wyzwaniem technologicznym.

To, co udaje się uzyskać w warunkach laboratoryjnych, rzadko przekłada się na możliwość skalowania procesu przy zachowaniu odpowiedniej jakości i powtarzalności wyrobu.

Celem wykładu jest przedstawienie – na wybranych przykładach – zarówno imponującego potencjału, jak i istotnych ograniczeń związanych z zastosowaniem elektroprzędzonych włókien w biomedycynie i inżynierii biomateriałów.

BIOWODÓR Z ODPADÓW ORGANICZNYCH

Stanisław Ledakowicz, Marlena Domińska, Katarzyna
Paździor, Radosław Ślęzak

*Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka,
Wólczańska 213, 90-924 Łódź, e-mail: stanleda@p.lodz.pl*

słowa kluczowe: biowodór, fermentacja ciemna, hydrotermiczna karbonizacja, biowęgiel

Biowodór, ekologiczne i zrównoważone paliwo, produkowany jest z biomasy np. mokrych odpadów kuchennych czy osadów ściekowych, za pomocą mikroorganizmów, w tzw. procesie ciemnej, beztlenowej fermentacji (DF), bądź w procesach termochemicznych (piroliza, zgazowanie). Dokonano krytycznego przeglądu osiągnięć w syntezie biowodpru (bioH_2), zwracając uwagę na techniczno-ekonomiczną (TEA) analizę cyklu życia (LCA) poszczególnych procesów. Spośród dostępnych technik produkcji bioH_2 zgazowanie biomasy jest najbardziej ekonomiczne (1,2USD/kgH₂), podobnie jak DF proces (1,25USD/kgH₂) [1]. Omówiono dotychczasowe wyniki, finansowanego przez NCN projektu dotyczącego zintegrowanego systemu procesów DF, hydrotermicznej karbonizacji (HTC) i fermentacji metanowej (FM) odpadów spożywczych (FW), które poddane lub nie wstępnej obróbce hydrotermicznej HTC, trafiają do bioreaktora, w którym zachodzi fermentacja ciemna DF. Proces hydrotermicznej karbonizacji jest procesem termochemicznym, prowadzonym w obecności wody podkrytycznej w zakresie temperatur od 180°C do 280°C, w warunkach autogenicznej nasyconej pary (1–6 MPa). Czas przebywania waha się od minut do kilku godzin. W trakcie procesu HTC powstają gazy (głównie CO₂) i zawiesina wodna, którą odwirowuje się lub filtruje w celu oddzielenia wody procesowej i ciał stałych, które stanowią bio-węgiel – karbonizat, nadający się do wykorzystania w różnych procesach, m.in. do adsorpcji zanieczyszczeń, poprawy jakości gleby itp. Natomiast

wytwarzany w procesie DF bioH₂ jest odbierany jako produkt główny, a faza ciepla zawierająca lotne kwasy tłuszczowe, wprowadzana jest do FM, lub może być poddawana fotofermentacji, której produktem jest bioH₂, a pozostała faza stała przekazywana jest do obróbki hydrotermicznej HTC, skąd zawiesina karbonizatu może być kierowana zarówno do fermentacji FM jak i do DF. Obieg pofermentu jest zamknięty i w ten sposób można maksymalnie wykorzystać energetycznie odpady organiczne. Integracja HTC i DF jest zgodna z wymogami gospodarki obiegu zamkniętego. Ustalenie optymalnych warunków procesowych (dobór inokulum, jego termiczna obróbka, [2], czas przebywania w HTC oraz temperatura procesu) i zbadanie mechanizmów i kinetyki procesów DF i zintegrowanym z nim procesem HTC [3], pozwolą na optymalizację odzysku energii z mokrej biomasy i maksymalizację wydajności bioH₂. Do odpadów organicznych należą także odpady bawełniane, z których też tą metodą można produkować bioH₂ wraz z CH₄, czyli tzw. biohythan [4].

Podziękowania za finansowanie projektu NCN 2021/43/B/ST8/00298

Literatura:

1. P. Ganeshan et al. *Fuel* (2023) 341, 127601
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127601>
2. M. Domińska et al. *Energies* (2024) 17(4), 974
<https://doi.org/10.3390/en17040974>
3. R. Ślęzak et al. *Waste Management*, doi.org/10.1016/j.wasman.2025.115157
4. Dukarte et al. *Waste Management Bulletin*, doi.org/10.1016/j.wmb.2024.11.011

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA WEŁNY OWCZEJ W PROJEKTOWANIU ZIELONEJ INFRASTRUKTURY

Joanna Grzybowska-Pietras

*Uniwersytet Bielsko-Bialski, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała,
e-mail: jpietras@ubb.edu.pl*

słowa kluczowe: wełna owcza, surowce odpadowe, zrównoważone budownictwo, biodegradacja.

Wełna owcza, będąca naturalnym, odnawialnym i biodegradowalnym surowcem włóknistym, zyskuje coraz większe znaczenie w kontekście zrównoważonego budownictwa oraz rozwoju zielonej infrastruktury. Jej specyficzne właściwości fizykochemiczne – w tym zdolność do retencji wody, izolacyjność termiczna, odporność biologiczna oraz sprężystość włókien – czynią ją atrakcyjnym składnikiem materiałów funkcjonalnych, takich jak włókniny oraz geokompozyty. W niniejszej prezentacji przedstawiono potencjał wykorzystania odpadowej wełny owczej w produkcji włóknin, geokompozytów oraz innych materiałów o właściwościach technicznych wspierających stabilizację gruntów, retencję wody, poprawę właściwości biologicznych podłoża oraz wspomaganie rozwoju roślinności w środowisku miejskim i przemysłowym. Analiza obejmuje zarówno aspekty środowiskowe, takie jak redukcja odpadów i zwiększenie efektywności zasobów, jak i aspekty techniczne, w tym właściwości mechaniczne i hydrologiczne materiałów. Przedstawione koncepcje podkreślają innowacyjny charakter zastosowania naturalnych włókien w ekologicznych rozwiązaniach budowlanych oraz wskazują na możliwości ich implementacji w projektowaniu i produkcji materiałów wspierających zieloną infrastrukturę.

ZASTOSOWANIE CIŚNIENIOWYCH PROCESÓW MEMBRANOWYCH DO ODZYSKU METALI CIĘŻKICH Z WÓD POPROCESOWYCH I REGENERACJI KĄPIELI GALWANICZNYCH

Anna Kowalik-Klimczak*, Maciej Życki, Monika Łożyńska,
Wioletta Barszcz

*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji,
ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, *e-mail: anna.kowalik-
klimczak@itee.lukasiewicz.gov.pl*

słowa kluczowe: procesy membranowe, ścieki galwaniczne, regeneracja kąpeli galwanicznych, zatężanie metali ciężkich w wodach poprocesowych, odzysk wody, GOZ

Obecnie na obszarze Polski zarejestrowanych jest ponad 1200 zakładów związanych z produkcją wyrobów z metali, w tym ok. 330 zakładów prowadzących działalność w zakresie obróbki metali i nakładania powłok na elementy metalowe. Zakłady produkujące wyroby z metali odprowadzają 1,7 hm³ ścieków rocznie, z czego 0,8 hm³ bezpośrednio do wód lub do gleby, a 0,9 hm³ do kanalizacji. W procesach galwanicznego nakładania powłok metalicznych powstają zużyte kąpiele galwaniczne (kąpiele wyczerpane) oraz wody poprocesowe z płukania elementów powleczonej (wody popłuczne). Ścieki w postaci kąpeli wyczerpanych uznawane są za szczególnie niebezpieczne i uciążliwe dla środowiska naturalnego ze względu na dużą zawartość metali ciężkich (Zn(II), Cu(II), Ni(II)). W tego typu ściekach obecne mogą być także rozpuszczone substancje nieorganiczne, takie jak: kwasy mineralne, alkalia oraz sole mineralne. Ich dokładny skład zależy od rodzaju operacji technologicznej. Z kolei wody popłuczne charakteryzują się znacznie niższymi stężeniami metali ciężkich i substancji organicznych niż kąpiele wyczerpane, ale nadal na tyle wysokimi, że wymagają oczyszczania przed odprowadzeniem do środowiska. Stanowią one główny strumień ścieków galwanicznych, a ich

objętość zależy przede wszystkim od systemu pracy zakładu i sposobu płukania elementów powleczonech.

W pracy przeanalizowano możliwość zastosowania ciśnieniowych procesów membranowych do oczyszczania ścieków galwanicznych. Wyniki zrealizowanych badań dowiodły, że zintegrowany układ procesów UF/RO prowadzonych na wodach poprocesowych przy użyciu membran polimerowych umożliwia odzyskanie koncentratu do ponownego wykorzystania w operacji cynkowania elementów metalowych i wody do bezpośredniego wykorzystania w operacji płukania. Z kolei proces MF prowadzony na membranach ceramicznych można z powodzeniem wykorzystać do zregenerowania kąpieli z operacji miedziowania poprzez usunięcie z nich stałych cząstek zawieszonych (odpornych na filtrację mechaniczną, strącanie, koagulację i flokulację). Natomiast proces NF prowadzony na membranach polimerowych można wykorzystać do zregenerowania kąpieli z operacji trawienia poprzez usunięcie z nich metali ciężkich (w postaci np. cynku i niklu). Na podstawie analizy wyników zrealizowanych prac badawczych stwierdzono, że ciśnieniowe procesy membranowe (MF, UF, NF i RO) oferują obiecujące perspektywy w oczyszczaniu ścieków galwanicznych w modelu GOZ, ponieważ mogą przyczynić się do ograniczenia zużycia wody w zakładach galwanicznych poprzez ponowne wykorzystanie zregenerowanych kąpieli galwanicznych oraz wody i koncentratów metali ciężkich odzyskanych z wód popłucznych. Dobór jednostkowych procesów membranowych (lub ich sekwencji) oraz warunków ich realizacji (w tym przede wszystkim ciśnienia, szybkości ścinania, typu membrany) są uzależnione od rodzaju i składu ścieków galwanicznych, a także celu ich oczyszczania (zregenerowanie kąpieli wyczerpanej, zateżnienie metali ciężkich, odzysk wody).

Prace badawcze zostały sfinansowane z subwencji przyznanej przez MNiSW na podstawie decyzji nr DIR-WNO.705.3.8.2025.AJ oraz dotacji celowej CŁ zrealizowanej na podstawie umowy nr 1/Ł-ITEE/CŁ/2021.

SESJA POSTEROWA

ŻEL NA BAZIE KOLAGENU RYBIEGO O WŁAŚCIWOŚCIACH ANTY-AMYLOIDOGENNYCH

Joanna Lewandowska, Beata Kolesińska

*Instytut Chemii Organicznej, Politechnika Łódzka, ul. Żeromskiego 114,
90-543 Łódź, e-mail: joanna.lewandowska@p.lodz.pl*

słowa kluczowe: amyлина, kolagen rybi, synteza na fazie stałej, MALDI-MS

Termin „amyloid” wykorzystuje się do opisanie zewnątrzkomórkowych złogów białkowych związanych z rozwojem choroby, z kolei zaburzenia wynikające z ich obecności określane są jako amyloidozy lub skrobiawice. Obecnie prowadzone są intensywne badania mające na celu dokładne zbadanie struktury amyloidu, analizę kinetyki jego wzrostu oraz opracowanie nowych, skuteczniejszych preparatów farmaceutycznych o aktywności anty-amyloidowej. Jednymi z polipeptydów odpowiedzialnych za choroby o podłożu amyloidowym, w tym cukrzycy typu I, są amyлина oraz insulina, wytwarzane przez komórki β trzustki wysp Langerhansa. W trakcie regularnej iniekcji preparatów anty-cukrzycowych może dochodzić do ich niepożądanego agregacji w warstwach podskórnych. Ponadto, u pacjentów z zaawansowanym stopniem rozwoju choroby, nierozpuszczalne złogi obu hormonów obserwowane są również w obrębie trzustki. Postępujący wzrost zachorowalności ludzkości na cukrzycę, zarówno typu I jak i II, wynikający m.in. z nieprawidłowego trybu życia oraz ograniczonej aktywności leków anty-cukrzycowych, powoduje konieczność opracowywania farmaceutyków mniej inwazyjnych dla pacjentów, dostępnych dla wszystkich grup społecznych.

W dzisiejszym świecie polityka globalna coraz bardziej nakierowuje różne dziedziny przemysłu oraz nauki (w tym inżynierię biomedyczną) na zrównoważony rozwój, a kluczowe staje się wdrażanie strategii związanych z redukcją odpadów i ponownym wykorzystaniem surowców w procesach przemysłowych. Szczególne znaczenie w tym kontekście znajduje polityka „zero

waste” oraz zrównoważonego rozwoju, które propagują odzysk wartościowych materiałów z odpadów (m.in. pochodzących z przemysłu spożywczego). Jednym z ważniejszych składników takich odpadów może być kolagen rybi, którego różne typy – zwłaszcza typ I, II i III – są niezwykle istotne z perspektywy zdrowia ludzkiego. Kolagen, będący kluczowym elementem tkanki łącznej, wykazuje liczne właściwości, które mogą być szeroko wykorzystywane przy produkcji dermokosmetyków czy farmaceutyków. Ponadto może stanowić on biokompatybilną bazę dla transdermalnych układów wprowadzania potencjalnych inhibitorów agregacji hormonów metabolicznych, w tym insuliny i amyliny. Przeprowadzone dotychczas badania w Instytucie Chemii Organicznej PŁ wykazały, że wybrane fragmenty amyliny mogą pełnić rolę inhibitorów agregacji białek/peptydów w warunkach *in vitro*.

W ramach przeprowadzonych prac badawczych zsyntezowano trzy peptydy o właściwościach anti-amyloidowych, wywodzące się ze struktury amyliny z wykorzystaniem strategii syntezy peptydów Fmoc/tBu na fazie stałej: H-KCNTATC-OH, H-GSNTY-OH i H-FGA(*N*-Me)IL-OH. Efektywność przeprowadzonych syntez potwierdzono za pomocą techniki wysokosprawnej chromatografii cieczowej sprzężonej ze spektrometrią mas (HPLC-MS). Następnie podjęto próby przekształcenia pianek z kolagenu rybiego (stanowiących pozostałości przemysłu spożywczego) w stabilne bazy żelowe z wykorzystaniem odczynników typu eco-friendly. Finalnie otrzymano serię żeli wzbogaconych o odpowiednie peptydowe inhibitory agregacji o potencjalnym zastosowaniu w transdermalnym leczeniu wytworzonych w organizmie włókien amyloidowych. Na zarejestrowanych widmach MALDI-MS opracowanych formułacji zaobserwowano jony odpowiadające masom kolagenu typu I (wyróżniającego się najlepszą przyswajalnością i biozgodnością spośród znanych typów kolagenu pochodzenia zwierzęcego) oraz masom wprowadzonych peptydowych inhibitorów agregacji. Ponadto badania poszerzono o pomiary spektroskopowe FT-IR oraz analizy mikroskopowe.

INTEGRACJA ZWIĄZKÓW BIOAKTYWNYCH W BIOKOMPOZYTACH DLA ZASTOSOWAŃ W MEDYCYNIE REGENERACYJNEJ

Mateusz Urbaniak, Paulina Rusek-Wala,
Agata Tomaszewska, Przemysław Płociński,
Agnieszka Krupa, Aleksandra Szwed-Georgiou,
Marcin Włodarczyk, Karolina Rudnicka

Katedra Immunologii i Biologii Infekcyjnej, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Łódzkiego, ul. Stefana Banacha 12/16, 90-237, Łódź, Polska, e-mail: agata.tomaszewska@edu.uni.lodz.pl

słowa kluczowe: biokompozyty, regeneracja, substancje bioaktywne

Medycyna regeneracyjna coraz częściej opiera się na zaawansowanych biomateriałach, a jednym z kluczowych kierunków badań jest modyfikacja biokompozytów substancjami bioaktywnymi w regeneracji tkanki kostnej i naczyniowej. Modyfikacje powierzchni lub składu biokompozytów pozwalają zwiększyć osteokondukcję, osteointegrację, angiogenezę oraz odpowiedź immunologiczną gospodarza, co znacząco przyspiesza procesy naprawcze. W naszych badaniach zastosowaliśmy dwie substancje bioaktywne: piomelaninę pochodzenia bakteryjnego oraz cholesterol. Wykazano, że cholesterol stymuluje migrację i proliferację komórek śródbłonna, aktywuje szlaki angiogenezy zależne od VEGFR2 oraz przyspiesza mineralizację i formowanie nowej tkanki kostnej. Z kolei piomelanina, jako biopolimer o właściwościach immunomodulacyjnych i osteokondukcyjnych, pobudza aktywność osteoblastów, biosyntezę markerów kostnienia (osteokalcyny, fosfatazy alkalicznej) oraz moduluje odpowiedź zapalną. Opracowane w ten sposób kompozyty: polilaktydowy wzbogacony hydroksyapatytem i modyfikowany cholesterolem oraz uzyskany na bazie poli(adipinianu glicerolu) z hydroksyapatytem modyfikowanym piomelaniną (sprzężony za pomocą APTES) wykazały wysoką biokompatybilność, nie indukowały ogólnoustrojowej reakcji zapalnej *in vivo* oraz wspierały

kolonizację materiału przez komórki kostne i pobudzały tworzenie unaczynionej tkanki łącznej. Uzyskane biokompozyty zostały objęte ochroną patentową poprzez krajowe zgłoszenia patentowe o numerach: P.447908; P.451245 i P.450310. Dzięki połączeniu właściwości proangiogennych, osteogennych i immunomodulacyjnych opracowane kompozyty stanowią obiecującą strategię w projektowaniu wielofunkcyjnych materiałów do regeneracji kości.

Badania zostały w całości finansowane przez:

- 1. Fundację na rzecz Nauki Polskiej ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, w ramach programu „TEAM-NET”, grant pt. „Wielofunkcyjny biologicznie aktywny kompozyt do zastosowań w medycynie regeneracyjnej kości” [nr grantu POIR.04.04.00-00-16D7/18-00]*
- 2. Interdyscyplinarny Grant Badawczy IDUB: „DarkBacLight. Mikrobiologiczny system konwersji energii słonecznej oparty na ogniwach fotowoltaicznych z piomelaniną” [nr grantu 13/IGB/2024]*

CYTOBIOZGODNOŚĆ KOMPOZYTU TI-6AL-4V/HAP Z POWŁOKĄ MXENE JAKO ZAAWANSOWANEGO MATERIAŁU IMPLANTOLOGICZNEGO

Agata Tomaszewska¹, Julia Sadlik², Edyta Kosińska², Hakan
Göçerler³, Karolina Rudnicka¹, Agnieszka Tomala²

¹*Katedra Immunologii i Biologii Infekcyjnej, Wydział Biologii i Ochrony
Środowiska Uniwersytetu Łódzkiego, ul. Stefana Banacha 12/16, 90-237,
Łódź, Polska*

²*Katedra Nauki o Materiałach, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki,
Politechnika Krakowska, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, Polska*

³*Institute of Engineering Design and Product Development, Research Unit
Tribology, TU Wien, Leurgasse 6, Building BA, 9th Floor 1060, Vienna,
Austria*

e-mail: agata.tomaszewska@edu.uni.lodz.pl

słowa kluczowe: cytotoksyczność, biomateriały, tytan, hydroksyapatyt

Biomateriały o potencjalnym zastosowaniu medycznym powinny cechować się wysoką biokompatybilnością, właściwościami proregeneracyjnymi, odpornością na korozję oraz porowatą powierzchnią sprzyjającą adhezji komórek. Wysoka zgodność biologiczna materiałów tytanowych wynika z samoistnego tworzenia się na ich powierzchni stabilnej i wytrzymałej warstwy tlenku, która zapewnia znakomitą odporność korozyjną, co sprawia, że są one powszechnie stosowane w implantologii. Pomimo szerokiego wykorzystania tytanu w implantach, materiał ten wykazuje ograniczoną osteointegrację, zwłaszcza gdy część tytanowa musi być trwale połączona z kością. Proszek Ti-6Al-4V zmodyfikowany bioaktywnymi cząstkami ceramicznymi hydroksyapatytu (HAp) metodami metalurgii proszkowej może poprawiać osteointegrację kompozytu. Aby dodatkowo zwiększyć właściwości funkcjonalne, opracowano materiał oparty na kompozytach Ti/HAp z powierzchnią funkcjonalizowaną powłoką MXene, co potencjalnie sprzyja skuteczniejszej adhezji komórek kostnych do implantu. Celem badań była ocena cytobiozgodności opracowanych kompozytów Ti-6Al-4V/HAp/MXene w kontakcie

z ludzkimi osteoblastami. W badaniu oceniano cytobiozgodność kompozytów, wykorzystując testy oparte na redukcji soli tetrazolowej (MTT) oraz rezazuryny, przeprowadzone na osteoblastach ludzkiej linii hFOB 1.19. Redukcja tych związków zachodzi wyłącznie w żywych komórkach, a pomiar odzwierciedla ich aktywność metaboliczną. Zgodnie z normą ISO-10993-5-2009, materiały które nie powodują spadku żywotności komórek poniżej 70%, uznaje się za niecytotoksyczne, czyli cytobiozgodne. Uzyskane kompozyty wykazywały falistą, ustrukturyzowaną powierzchnię, tworząc idealne rusztowanie sprzyjające adhezji komórek kostnych. Porowatość kompozytów Ti-6Al-4V/HAP wynosiła 15 - 20%, przy wielkości porów od 10 μm do 260 μm . Materiały te cechowały się cytobiozgodnością, a żywotność komórek po inkubacji z biomateriałami utrzymywała się na poziomie ok. 80%. Dodatkowo biomateriały z powierzchnią funkcjonalizowaną powłoką MXene wpływały korzystnie na żywotność osteoblastów, podnosząc ją do ok. 90%. Podsumowując, kompozyty Ti-6Al-4V/Hap z MXene wykazują wysoką cytobiozgodność wobec ludzkich osteoblastów i mogą być wykorzystane w dalszych badaniach biologicznych *in vitro*, ukierunkowanych na ocenę osteokondukcji i osteointegracji.

Badania zostały w całości finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach konkursu OPUS LAP w programie Weave, numer rejestracyjny 2022/47/I/ST8/01778, oraz przez Austriacki Fundusz Naukowy (FWF) w ramach projektu nr I 6636-N (współpraca bilateralna).

TERMOMETRIA LUMINESCENCYJNA I TERMOLUMINESCENCJA – KIERUNKI BADAŃ BIOMEDYCZNYCH

Dominika Jurkowska, Eugeniusz Zych, Justyna Zeler

*Wydział Chemii, Uniwersytet Wrocławski, ul. F. Joliot-Curie 14, 50-383
Wrocław, e-mail: 345333@uwr.edu.pl*

słowa kluczowe: termometria luminescencyjna, termoluminescencja

Temperatura to jeden z najważniejszych parametrów fizycznych wpływających na zachowanie systemów biologicznych i inżynierskich. Jest to parametr bezpośrednio wpływający na przebieg termoluminescencji; definiuje też emisyjne właściwości termometrów luminescencyjnych [1].

Zjawisko długotrwałej poświaty – luminescencji trwającej nawet godziny po zaprzestaniu ekspozycji materiału na promieniowanie wzbudzające. Zjawisko występuje głównie w półprzewodnikach i izolatorach o dużej przerwie energetycznej. Energie poziomów elektronowych (zajętych lub pustych), które biorą udział w pułapkowaniu wzbudzonych nośników energii – elektronów i/lub dziur - powinny być precyzyjnie dostosowane względem pasm walencyjnych i przewodnictwa całego układu. Dzięki temu mogą pełnić rolę pułapek dla wzbudzonych nośników ładunku. Gdy pułapki zostaną wypełnione w wyniku napromieniowania, w temperaturze otoczenia może wystąpić poświata. Prawdopodobieństwo uwolnienia nośników ładunku z pułapki jest silnie zależne od temperatury [2]. Natomiast termometria luminescencyjna pozwala na nieinwazyjne monitorowanie temperatury w wysokiej rozdzielczości, np. wewnątrz żywych komórek w warunkach fizjologicznych [3].

Połączenie termoluminescencji i termometrii luminescencyjnej ma ogromny potencjał w diagnostyce i leczeniu nowotworów, w naszym planach badawczych szczególnie czerniaka i raka piersi. Wykorzystując materiały oparte na perowskitach potrójnie domieszkowanych jonami Cr^{3+} i starannie dobranymi jonami

Ln^{3+} , możemy stworzyć nanomateriał, który potencjalnie generuje światło termoluminescencyjne do celów diagnostycznych, a jednocześnie pozwala na odczyt temperatury określonych komórek/organelli w celu ukierunkowanego leczenia komórek nowotworowych.

NOWE POLIMERY NA BAZIE POCHODNYCH NATURALNEGO KWASU ITAKONOWEGO

Artur Kołaciak-Hulbój, Kacper Mielczarek, Szczepan
Bednarz

*Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Koło
Naukowe Makromolekuły, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków,
e-mail: kolaciak.artur@gmail.com*

słowa kluczowe: polymers, itaconic acid derivatives, fungal metabolites

Polimery stanowią kluczową grupę materiałów wykorzystywanych w wielu sektorach gospodarki. W ostatnich latach obserwuje się intensywny rozwój w obszarze opracowywania polimerów otrzymywanych z surowców odnawialnych. Niniejsze badania wpisują się w ten nurt, koncentrując się na zastosowaniu pochodnych kwasu itakonowego. Analizie poddawane są zarówno związki syntetyczne pochodne kwasu itakonowego, jak i metabolity otrzymywane z hodowli grzybów białej zgnilizny.

W dotychczas przeprowadzonych eksperymentach wykonano polimeryzację rodnikową itakonianu dimetylu (DMI) z użyciem inicjatora AIBN, prowadzoną w silikonowych formach w temperaturze 65 °C przez 48 godzin. W jednej z iteracji zastosowano dodatkowo czynnik sieciujący [di(itakonian monometylu) 1,3- propanodiol], co umożliwiło uzyskanie usieciowanej struktury polimeru oraz poprawy jego właściwości mechanicznych, porównywalnych ze szkłem akrylowym.

Jako alternatywną ścieżkę pozyskiwania pochodnych kwasu itakonowego wykorzystuje się hodowle wybranych gatunków grzybów z rodziny żagwiowatych (Polyporaceae) na surowcach ligninocelulozowych, a następnie selektywną ekstrakcję otrzymanych metabolitów.

Omawiane badania wskazują na duży potencjał biotechnologicznie otrzymywanych pochodnych kwasu itakonowego jako monomerów do syntezy nowych, przyjaznych środowisku materiałów polimerowych. Zastosowanie podejścia łączącego chemię

polimerów i biotechnologię może w przyszłości przyczynić się do opracowania innowacyjnych rozwiązań w dziedzinie zrównoważonych tworzyw sztucznych.

BIOAKTYWNE MATERIAŁY CERAMICZNE WSPOMAGAJĄCE ODBUDOWĘ KOŚCI

Monika Biernat*, Agata Kurzyk, Agnieszka Antosik,
Paulina Tymowicz-Grzyb, Piotr Szterner

*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych,
Grupa Badawcza Biomateriały, ul. Cementowa 8, 31-983 Kraków,
* e-mail: monika.biernat@icimb.lukasiewicz.gov.pl*

słowa kluczowe: hydroksyapatyt, synteza, morfologia, bioaktywność

Naturalnie występującym minerałem tworzącym fazę mineralną kości jest hydroksyapatyt (HAP), który poza wapniem i fosforem może zawierać również szereg innych pierwiastków, zapewniających mu unikalne właściwości. Stąd podczas projektowania nowych biomateriałów do implantacji kości szczególną wagę przykłada się opracowaniu i otrzymaniu odpowiedniego syntetycznego materiału apatytowego. Stechiometryczny stosunek Ca/P w hydroksyapatycie wynosi 1,67. Syntetyczne hydroksyapatyty charakteryzują się jednak często zmiennymi stosunkami wapnia do fosforu. Celowe modyfikacje Ca/P mogą dostosować właściwości apatytu do konkretnych zastosowań w biomedycynie. Stosunek Ca/P około 1,67 zwiększa stabilność materiału w organizmie. HAP z niedoborem wapnia (Ca/P 1,60) wykazuje nieco wyższą bioaktywność w porównaniu ze stechiometrycznym HAP. Stosunek Ca/P przekraczający 1,67 wskazuje na nadmiar wapnia, co potencjalnie prowadzi do modyfikacji biozgodności, kinetyki rozpuszczania i właściwości mechanicznych. Niektóre z syntetycznych HAP wspomagają tworzenie nowej tkanki kostnej poprzez zwiększenie adhezji komórek, usprawnienie różnicowania komórek oraz zmniejszenie stanu zapalnego. W zależności od metody produkcji, dodatek HAP może skutkować inną morfologią i mikrostrukturą, co znacząco wpływa na interakcję między żywą tkanką a implantem, wymianę składników odżywczych, osteointegrację i osteoindukcję.

W pracy przedstawiono wyniki badań nad wpływem parametrów reakcji oraz sposobem domieszkowania na właściwości zarówno samych cząstek HAp, jak też właściwości biokompozytów z ich udziałem. Wyniki wskazują, że na rodzaj otrzymanego produktu wpływ mają: stężenie wyjściowych roztworów (prekursorów wapnia i fosforu), temperatura, ciśnienie, pH, szybkość dozowania substratów oraz czas reakcji. Duże znaczenie pod kątem biologicznym ma również dotowanie HAp innymi pierwiastkami, np. bakteriobójczymi.

Badania były realizowane w ramach projektu "Wielofunkcyjne kompozyty aktywne biologicznie do zastosowań w medycynie regeneracyjnej układu kostnego" (POIR.04.04.00-00-16D7/18) realizowanego w ramach programu TEAM - NET Fundacji na rzecz Nauki Polskiej finansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

WALORYZACJA ODPADÓW SKÓRZANO-TEKSTYLNÝCH NA Z WYKORZYSTANIEM METOD KONWERSJI TERMICZNEJ W WARUNKACH BEZTLENOWYCH

Maciej Życki^{1,2}, Anna Kowalik-Klimczak²,
Zbigniew Mikołajczyk¹

¹ Instytut Włókiennictwa, Politechnika Łódzka ul. Żeromskiego 116
e-mail: maciej.zycki@dokt.p.lodz.pl

² Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji ul.
Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom,

Słowa kluczowe: odpady skórzano-tekstylne, konwersja termiczna, wartość opałowa, piroliza, przemysł tekstylny

W roku 2020 globalna produkcja włókien tekstylnych wynosiła ok. 109 mln ton, co w porównaniu do ok. 58 mln ton w roku 2000 stanowi niemalże jej podwojenie. Na rok 2030 prognozowany jest kolejny wzrost do wartości 145 mln ton. Przeciętny Europejczyk kupuje rocznie 26 kg ubrań z czego wyrzuca 11kg, a z tego tylko 1% poddaje się recyklingowi ze względu na ograniczenia technologiczne. Najpowszechniejszymi obecnie metodami zagospodarowania zużytych materiałów tekstylnych i skórzanych jest ich wywóz poza kraje UE oraz ich spalanie bądź składowanie (87%). Przytoczone dane dobitnie pokazują potrzebę poszukiwania innowacyjnych metod zagospodarowania odpadów tekstylnych oraz skórzanych, które w większości przypadków występują razem jako mieszanina w obrębie jednego wyrobu odzieżowego (np. obuwie). W niniejszej pracy proponuje się wykorzystanie odpadów tekstylnych w postaci bawełny oraz pozostałości wygarbowanych skór jako surowców do wytworzenia produktów o potencjale energetycznym lub innych właściwościach wartościowych z punktu widzenia Gospodarki o Obiegu Zamkniętym na drodze konwersji termicznej w warunkach beztlenowych (pirolizy). Odpady tekstylne (bawełna) oraz skórzane (skóra garbowana chromowo) poddano procesowi pirolizy. Warunki prowadzenia procesu zostały dobrane

na podstawie analizy literatury oraz własnych doświadczeń. Pirolizę prowadzono w temperaturze 360°C w atmosferze CO₂ przez 30 min, natomiast prędkość narastania temperatury wynosiła 300°C/h. Dokonano analiz fizykochemicznych próbek przed i po procesie metodą wagosuszkową (wilgotność, sucha masa), określono ich skład pierwiastkowy metodą XRF, oraz oznaczono procentową zawartość CHNS metodą mikroanalizy elementarnej przy użyciu detektora przewodnościowo-cieplnego (TCD), a także wyznaczono ciepło spalania. Zarówno dla próbek tekstylnych jak i skórzanych zauważono wzrost udziału węgla w próbkach karbonizatów po pirolizie w stosunku do materiału wyjściowego (48,26%-52,20 dla skóry oraz 43,73%-61,30 dla bawełny) oraz wzrost ciepła spalania o 6,847 MJ/g dla bawełny oraz 4,110 MJ/g dla skóry. Przeprowadzone badania pokazują, że już przy stosunkowo niskich parametrach temperaturowych procesu możliwe jest uzyskanie frakcji stałej o potencjale energetycznym wyższym niż materiał przed obróbką. W kolejnym etapie badań oznaczony zostanie potencjał energetyczny wytworzonego gazu syntezowego oraz zostanie przeprowadzona analiza strukturalna wytworzonej frakcji stałej w celu określenia innych potencjalnych zastosowań (wykorzystanie jako zamiennik grafitu).

BIODEGRADACJA W ROLNICTWIE: NAUKA, PRAKTYKA I LEGISLACYJNE WYZWANIA

Jagoda Józwik-Pruska, Magdalena Szalczyńska, Anna
Milczarek

*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny
ul. Skłodowskiej-Curie 19/27, 90-570 Łódź, e-mail: jagoda.jozwik-
pruska@lit.lukasiewicz.gov.pl*

słowa kluczowe: biodegradation, agriculture, legislation, methods

Prezentowany poster stanowi przegląd aktualnego stanu wiedzy na temat badań biodegradowalności w rolnictwie w kontekście obowiązujących wytycznych Unii Europejskiej. Przedstawiono również potencjalne metody rozkładu produktów rolniczych, ze szczególnym uwzględnieniem materiałów organicznych i polimerowych.

Ekologiczne rolnictwo opiera się na zrównoważonych praktykach produkcji żywności, które minimalizują wpływ na środowisko naturalne. System ten promuje stosowanie naturalnych środków ochrony roślin oraz nawozów, wspierając ochronę bioróżnorodności i jakość żywności.

Jednym z kluczowych aktów prawnych regulujących rynek nawozów w UE jest Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. Dokument ten harmonizuje przepisy dotyczące udostępniania produktów nawozowych na rynku, wprowadzając szczegółowe wymagania w zakresie bezpieczeństwa i jakości. Choć rozporządzenie nie definiuje ogólnych kryteriów biodegradowalności, przewiduje ich doprecyzowanie do 16 lipca 2025 r. – co, według stanu na listopad 2025 r., nie zostało jeszcze zrealizowane.

Brak jednoznacznych norm dotyczących metod badań biodegradacji oraz kryteriów ich oceny otwiera możliwość stosowania procedur opracowanych przez wyspecjalizowane laboratoria.

W rolnictwie coraz częściej stosuje się także tekstylia i geosyntetyki, w tym wykonane z włókien i polimerów naturalnych. W przypadku tych materiałów obowiązujące normy (PN-EN ISO 11721-1:2002, 11721-2:2005 oraz PN-EN 12225:2020) określają metody oceny odporności na działanie mikroorganizmów poprzez testy zakopywania w glebie.

OCENA CYTOTOKSYCZNOŚCI MATERIAŁÓW DO ZASTOSOWAŃ W INTERFEJSACH NEURONOWYCH Z WYKORZYSTANIEM LUDZKICH KERATYNOCYTÓW

Patryk Śniarowski^{1,2}; Longina Madej-Kiełbik¹,
Anna Bednarowicz¹, Nina Tarzyńska¹, Dorota Zielińska¹,
Justyna Kamińska¹, Karolina Gzyra-Jagiela¹.

- 1 *Łukasiewicz Research Network – Łódź Institute of Technology, Marii Skłodowskiej-Curie 19/27 St, 90-570 Łódź, Poland; karolina.gzyra-jagiela@lit.lukasiewicz.gov.pl;
longina.madej-kiełbik@lit.lukasiewicz.gov.pl;
anna.bednarowicz@lit.lukasiewicz.gov.pl;
nina.tarzynska@lit.lukasiewicz.gov.pl;
dorota.zielinska@lit.lukasiewicz.gov.pl;
piotr.czarniecki@lit.lukasiewicz.gov.pl;*
- 2 *Institute of Materials Science and Engineering, Lodz University of Technology, 1/15 Stefanowskiego st. 90-924. Lodz, Poland, Doctoral School*

Słowa kluczowe: keratynocyty, cytotoksyczność, interfejs neuronowy, egzoproteza

Badania in vitro stanowią podstawowy etap oceny bezpieczeństwa i przydatności biologicznej materiałów przeznaczonych do zastosowań medycznych. Umożliwiają one ocenę wpływu badanych materiałów na żywe komórki poza organizmem, co pozwala określić ich potencjał toksyczny na poziomie komórkowym, w tym upośledzoną adhezję, zmniejszoną szybkość proliferacji, wpływ na integralność błony komórkowej i zmniejszoną aktywność metaboliczną. Spośród dostępnych modeli komórkowych szczególnie ważne są ludzkie keratynocyty (linie komórkowe HaCaT lub komórki pierwotne), ponieważ są one wrażliwe na skład chemiczny, topografię powierzchni i obecność związków uwalnianych z powierzchni materiału. Dlatego też służą one jako skuteczny wskaźnik potencjalnych reakcji cytotoksycznych. Zgodnie z wymaganiami normy ISO 10993-5 ocena cytotoksyczności jest niezbędnym etapem weryfikacji

biokompatybilności materiałów medycznych. Badania z wykorzystaniem ludzkich keratynocytów (HaCaT) pozwalają określić, czy materiał lub jego składniki mogą wywoływać niepożądane reakcje komórkowe, takie jak zmniejszona żywotność lub zmiany morfologiczne. Włączenie testów opartych na keratynocytach do oceny zgodnej z normą ISO 10993-5 jest kluczowym elementem potwierdzającym bezpieczeństwo kontaktu materiału z tkankami ludzkimi. Z tego powodu badania cytotoksyczności z wykorzystaniem keratynocytów stanowią kluczowy etap oceny przedklinicznej, łącząc inżynierię materiałową z aspektami bezpieczeństwa biologicznego w kontekście zaawansowanych zastosowań, takich jak bioaktywne opatrunki na rany lub interfejsy neuronowe. Badania takie przeprowadza się przy użyciu różnych testów komórkowych, często z wykorzystaniem barwników komórkowych.

Przykładem jest test alamarBlue™, który opiera się na biochemicznej redukcji barwnika resazuryny (niebieskiej, utlenionej postaci) do resorufiny (różowej, zredukowanej postaci), silnie fluorescencyjnego związku. Proces ten zachodzi dzięki aktywności enzymów mitochondrialnych i innych enzymów oksydoredukcyjnych obecnych w żywych komórkach. Wysoki poziom redukcji resazuryny odzwierciedla intensywny metabolizm komórkowy, a co za tym idzie, większą liczbę żywych, aktywnych metabolicznie komórek. W martwych lub uszkodzonych komórkach aktywność enzymów redoks jest znacznie zmniejszona, co powoduje słabszy sygnał; mechanizm ten umożliwia ilościowe określenie cytotoksyczności badanego materiału. W niniejszym badaniu test ten został wykorzystany do oceny materiałów przeznaczonych do projektowania interfejsów neuronowych.

Ocenę cytotoksyczności w modelu biologicznym *in vitro* przeprowadza się poprzez pośrednie pomiary aktywności enzymów komórkowych, które pozwalają ocenić różnice metaboliczne między żywymi, aktywnymi metabolicznie komórkami a martwymi, nieaktywnymi komórkami. Przykładem takiego testu jest test alamarBlue™, w którym wykorzystuje się niebieski barwnik resazurynę, który w redukującym środowisku żywych komórek przekształca się w różową resorufinę, wykazującą intensywną

fluorescencję. Proces ten zachodzi dzięki aktywności enzymów mitochondrialnych i innych enzymów oksydoredukcyjnych obecnych w żywych komórkach. Wysoki poziom redukcji resazuryny odzwierciedla intensywny metabolizm komórkowy, a zatem większą liczbę żywych komórek. W martwych lub uszkodzonych komórkach aktywność enzymów redoks jest znacznie zmniejszona, co koreluje z mniejszą redukcją barwnika i zmniejszoną intensywnością koloru oraz sygnałem fluorescencyjnym. Mechanizm ten pozwala na ilościowe określenie potencjału cytotoksycznego badanego materiału w stosunku do badanych komórek (procentowa redukcja barwnika alamarBlue™).

W badaniu wykorzystano test alamarBlue™ do oceny cytotoksyczności materiałów przeznaczonych do projektowania interfejsów neuronowych. Jako model biologiczny do oceny cytotoksyczności wykorzystano ludzkie komórki keratynocytów HaCaT (Cytion, Niemcy), spontanicznie unieśmiertelnioną linię komórkową. Wyniki testu alamarBlue™ wykazały, że ekstrakty uzyskane z folii aluminiowej (AF), elektrody węglowej (Ce), elektrody grafenowej (NRV2) i filcu węglowego (CF) nie wywoływały efektów cytotoksycznych w keratynocytach HaCaT w określonych warunkach testowych. Komórki wystawione na działanie ekstraktów wykazały poziom redukcji resazuryny wynoszący 77,0% dla AF, 76,0% dla Ce, 91,3% dla NRV2 i 81,3% dla CF, co jest porównywalne z aktywnością metaboliczną obserwowaną w grupie kontroli negatywnej (K^-) wynoszącą 87,5% i grupie referencyjnej TCP wynoszącą 83,7%.

Zgodnie z normą ISO 10993-5 materiał testowy uznaje się za niecytotoksyczny, jeśli względna żywotność komórek w przypadku 100% ekstraktu wynosi $\geq 70\%$ w porównaniu z kontrolą negatywną. Ekstrakty z folii aluminiowej (AF), elektrody węglowej (Ce), elektrody grafenowej (NRV2) i filcu węglowego (CF) nie miały negatywnego wpływu na żywotność komórek, co potwierdza ich niecytotoksyczność w warunkach eksperymentalnych. Kontrola pozytywna (K^+) zawierająca 10% Triton X-100 potwierdziła czułość i wiarygodność testu, wywołując silną reakcję cytotoksyczną, przy średnim spadku żywotności wynoszącym zaledwie 1,9%.

W zastosowanych warunkach testowych 24-godzinne ekstrakty badanych składników nie powodowały cytotoksyczności w keratynocytach HaCaT po 24 godzinach ekspozycji. Ocena aktywności metabolicznej i morfologicznej potwierdziła, że materiały spełniają kryteria niecytotoksyczności określone w normie ISO 10993-5. W związku z tym badane próbki można uznać za biokompatybilne na podstawie badań cytotoksyczności in vitro.

Projekt NerveRepack jest wspierany przez wspólne przedsięwzięcie Chips (dawniej Key Digital Technologies) i jego członków, a także przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach wspólnego przedsięwzięcia Chips (dawniej Key Digital Technologies).



Rzeczpospolita
Polska



European Partnership



Współfinansowane przez
Unię Europejską



WYTWARZANIE P3HB METODAMI BIOTECHNOLOGICZNYMI Z SUROWCÓW ODPADOWYCH Z PRZEMYSŁU SPOŻYWCZEGO

Renata Kurek, Katarzyna Kozak, Joanna Chojniak-Gronek,
Jolanta Janiszewska, Otton Roubinek

*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Chemii Przemysłowej im. prof.
I. Mościckiego, ul. Rydygiera 8, 01-793 Warszawa,
renata.kurek@ichp.lukasiewicz.gov.pl*

słowa kluczowe: biopolimer, P3HB, surowce odpadowe

Ze względu na ochronę środowiska od lat dąży się do zmniejszenia ilości odpadów z tworzyw sztucznych. Doskonałą alternatywą są biopolimery z grupy polihydroksyalkanianów (PHA), wytwarzane przez drobnoustroje. Do tej grupy należy P3HB (poli-3-hydroksymaślan), który może być wytwarzany z różnych surowców odpadowych. P3HB to termoplastyczny, biodegradowalny biopolimer. Jest tworzywem biozgodnym, dzięki czemu znajduje coraz szersze zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym oraz implantologii. Właściwości P3HB można poprawić poprzez modyfikację warunków wzrostu mikroorganizmów (dzikich lub modyfikowanych genetycznie), które wytwarzają ten biopolimer. Wpływając na wielkość cząstek poli(3-hydroksymaślanu), można modyfikować jego właściwości mechaniczne i przetwórcze.

Celem pracy było opracowanie metody wytwarzania i określenie jak zmieniają się parametry określające przydatność przetwórczą polimeru P3HB (M_n - średnia liczbowa masa cząsteczkowa, M_w - średnia wagowa masa cząsteczkowa i PDI- z ang. polydispersity index) w zależności od stosowanego źródła węgla. W badaniach wykorzystano genetycznie modyfikowaną *Escherichia coli*. Proces biosyntezy prowadzono w warunkach tlenowych, w sposób okresowy lub półokresowy. W hodowlach wykorzystano różne źródła węgla – glukozę i odpadowe surowce z przemysłu spożywczego: młóto browarniane i melasę. Bioreaktory ustawiono na następujące warunki: temperatura 37°C,

pH 7,2, częstotliwość mieszania 150-980 obr./min, zakres napowietrzania 5-20 dm³/min. W trakcie prowadzenia eksperymentów prowadzono pomiary: OD₆₀₀, temperatury, pH, intensywności mieszania i rozpuszczonego tlenu (z ang. dissolved oxygen- DO).

W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano biopolimer P3HB. Wartość PDI, w porównaniu do polimeru komercyjnego, była dla hodowli na: (i) glukozie o około 30% mniejsza, (ii) melasie o około 80 % większa, a (iii) młócie o około 16 % większa. Wzrost stopnia polidispersyjności (PDI) powoduje pogorszenie właściwości mechanicznych polimeru, ale zwiększa zakres temperatury zeszklenia i płynięcia. W niektórych procesach przetwórczych preferowane są polimery o wyższym PDI, ze względu na to, że frakcje polimeru o małej masie działają jako plastyfikator, polepszając jego przetwarzalność. Stosując różne źródła węgla i warunki hodowli można uzyskać polimer, który znajdzie zastosowanie w różnych aplikacjach.

OD ODPADÓW PO WYSOCE APLIKACYJNE NANOSTRUKTURY PRZYSZŁOŚCI

Natalia Jasiak

Szkoła Doktorska Nauk Ścisłych UAM, Wydział Fizyki i Astronomii, Zakład Fizyki Materiałów Funkcjonalnych, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 2, 61-614 Poznań, e-mail: natjas10@amu.edu.pl

słowa kluczowe: plastik, PVC, PET, recykling, nanostruktury, węglowe kropki kwantowe, CQDs

Nieprawidłowe praktyki gospodarowania odpadami przyczyniły się w ostatnich dekadach do nagromadzenia znacznych ilości tworzyw sztucznych w środowisku naturalnym. Globalny wzrost produkcji plastiku doprowadził do poważnych problemów ekologicznych, zdrowotnych oraz gospodarczych. Przedostając się do wód oraz gleby stanowi on poważne zagrożenie nie tylko dla zwierząt, ale i również dla człowieka. Przyczynia się do rozwoju chorób układu oddechowego, zaburzeń hormonalnych czy nawet chorób nowotworowych [1]. Wśród szeroko rozumianego plastiku, można wyróżnić m.in. termoplastyczny polichlorek winylu (PVC), który jest polimerem o wyjątkowej trwałości chemicznej oraz szerokim zastosowaniu w przemyśle budowlanym, medycznym oraz elektronicznym, a także politereftalan etylenu (PET), wykorzystywany przede wszystkim do produkcji opakowań i materiałów tekstylnych [2]. Pomimo swoich licznych zalet użytkowych, zarówno PVC jak i PET należą do najbardziej problematycznych tworzyw sztucznych pod względem ich utylizacji oraz recyklingu. Proces spalania wymienionych polimerów prowadzi do powstania toksycznych dla naszego zdrowia produktów reakcji, takich jak chlorowcopochodne, dioksyny, furany (PVC) oraz aldehydów (PET). W przypadku obróbki termicznej politereftalanu etylenu dochodzi dodatkowo do wydzielania dwutlenku węgla, gazu cieplarnianego, będącego przyczyną globalnego ocieplenia naszego klimatu.

Z uwagi na znaczenie problemu, wielu badaczy aktualnie zajmuje się opracowaniem nowoczesnych metod recyklingu materiałów PVC oraz PET [3]. Europejski przemysł podejmuje liczne inicjatywy mające na celu ograniczenie negatywnego wpływu niniejszych polimerów na środowisko. Jednak pomimo ogromnych postępów w dziedzinie recyklingu, wciąż napotyka się na wiele wyzwań technologicznych oraz ekonomicznych. W ostatnim czasie rośnie zainteresowanie wykorzystaniem PVC i PET jako prekursorów w nanotechnologii, a szczególnie w procesie otrzymywania węglowych kropek kwantowych (CQDs), luminescencyjnych struktur zerowymiarowych (0D) o rozmiarach mniejszych niż 10 nm [1,2]. CQDs są biokompatybilnymi strukturami o wysokiej stabilności chemicznej, co czyni je niezwykle wysoce aplikacyjnymi nanomateriałami. Wytwarzanie węglowych kropek kwantowych z tworzyw sztucznych PVC oraz PET stanowi innowacyjne podejście do dotychczasowego recyklingu. Otwiera szerokie możliwości wykorzystania, jak dotąd szkodliwego dla naszego zdrowia plastiku m.in. w medycynie (bioobrazowaniu, leczeniu chorób nowotworowych), chemii analitycznej (budowie czujników chemicznych), ochronie środowiska (magazynowaniu energii oraz oczyszczaniu środowiska z toksycznych odpadów). Z uwagi na rosnące zainteresowanie innowacyjnymi metodami recyklingu tworzyw sztucznych, celem niniejszej pracy jest przegląd aktualnego stanu wiedzy na temat przetwarzania PVC oraz PET prowadzącego do otrzymania węglowych kropek kwantowych, a także zilustrowanie perspektyw ich przyszłego wykorzystania w wielu dziedzinach nauki.

Literatura

- [1] H. Kaur, K. Garg, A. Gupta, S. Chakroborty, T. J. Jose, I. A. Darwish, S. K. Shukla, One-pot synthesis of waste poly (vinyl-chloride) derived carbon dots for antimicrobial applications, *Journal of Molecular Liquids* 417 (2025) 126540
- [2] M. Farooq, S. Bind, H. Singh, S. Das, H. Sharma, PET-Derived Carbon Quantum Dots as Nano Tracers for Sandstone Reservoirs, *Energy Fuels* 38 (2024) 23407–23421.
- [3] Z. Guo, J. Wu, J. Wang, Chemical degradation and recycling of polyethylene terephthalate (PET): a review, *RSC Sustainability* 3 (2025) 2111-2133.

ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI ANTYBAKTERYJNYCH WŁÓKNIN FILTRACYJNYCH ZAWIERAJĄCYCH AKTYWNE NANOCZĄSTKI ZNS, TiO₂ ORAZ NANO-AG

Dominik Borkowski, Konrad Sulak, Piotr Czarnecki, Stanisław Gałęcki, Sławomir Kęska, Justyna Olczyk, Monika Szkopiecka

*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny, ul.
Skłodowskiej-Curie 19/27, 90-570 Łódź, e-mail:
dominik.borkowski@lit.lukasiewicz.gov.pl*

słowa kluczowe: nonwoven of PLA, titanium (IV) oxide, zinc sulfide, nano_Ag, antimicrobial activity testing, SEM/EDS

Zanieczyszczenie wód powierzchniowych bakteriami Gram dodatnimi i Gram ujemnymi stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia ludzi, zwierząt oraz ekosystemów wodnych. W pracy przedstawiono opracowanie biodegradowalnego materiału filtracyjnego o właściwościach antybakteryjnych, bazującego na włókninach z polilaktydu (PLA) modyfikowanych nanocząstkami ZnS, TiO₂ oraz nano-Ag. Włókniny PLA otrzymano metodą igłowania, a następnie ich powierzchnię pokryto zawiesziną nanocząstek z wykorzystaniem aerografu. Proces sieciowania inicjowano promieniowaniem UV. Strukturę morfologiczną oraz równomierność rozkładu nanododatków analizowano przy użyciu mikroskopii skaningowej SEM z detektorem EDS, potwierdzając obecność i trwałe związanie nanocząstek z powierzchnią włókien. Właściwości antybakteryjne zmodyfikowanych włóknin oceniono metodą ASTM E2149-13a z wykorzystaniem szczepów *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 oraz *Escherichia coli* ATCC 11229. Wyniki badań wykazały, że najlepsze właściwości redukujące uzyskano dla włóknin zawierających nano-Ag, które wykazały silną aktywność antybakteryjną wobec obu rodzajów bakterii. Włókniny modyfikowane TiO₂ i ZnS wykazały natomiast umiarkowaną skuteczność, przy czym ZnS charakteryzował się tendencją do tworzenia aglomeratów na powierzchni włókien.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że zastosowanie nanocząstek srebra, tlenku tytanu oraz siarczku cynku w biodegradowalnych matrycach PLA jest skuteczną metodą nadania im właściwości antybakteryjnych. Opracowane materiały mogą znaleźć zastosowanie jako ekologiczne i efektywne filtry do oczyszczania wód powierzchniowych z zanieczyszczeń mikrobiologicznych, stanowiąc alternatywę dla konwencjonalnych materiałów filtracyjnych pochodzenia syntetycznego.

„ZIELONA FUNKCJONALIZACJA” TKANINY BAWELNIANEJ NANOCZĄSTKAMI SREBRA STABILIZOWANYMI ALGINIANEM I KWASEM HIALURONOWYM

Beata Tkacz-Szczęsna^{1*}, Alicja Nejman¹, Dorota Bociąga²,
Małgorzata Cieślak¹

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny, ul. Marii Skłodowskiej-Curie 19/27, 90-570 Łódź, Polska

² Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Materiałowej, ul. Stefanowskiego 1/15 90-537 Łódź, Polska

* e-mail: beata.tkacz-szczesna@lit.lukasiewicz.gov.pl

słowa kluczowe: bawełna, nanocząstki srebra, alginian sodu, „zielona synteza”, funkcjonalizacja

Rozwój nowoczesnych materiałów włókienniczych o właściwościach bioaktywnych stanowi jeden z kluczowych kierunków badań ze względu na ich szerokie zastosowanie w biomedycynie, ochronie środowiska oraz przemyśle. Integracja osiągnięć nanotechnologii cząstek bioaktywnych ze strukturami włókienniczymi, umożliwia wytwarzanie innowacyjnych, ukierunkowanych rozwiązań w zakresie inżynierii materiałów funkcjonalnych [1,2].

Opracowano metodę modyfikacji tkaniny bawełnianej (CO) w celu nadania jej aktywności przeciwdrobnoustrojowej przy jednoczesnym zapewnieniu biogodności. Do funkcjonalizacji użyto nanocząstek srebra stabilizowanych jonami alginianowymi (AgNPs-ALG), które zsyntezowano metodą redukcji chemicznej, spełniającej wymagania „zielonej chemii” oraz ich mieszaniny z kwasem hialuronowym – naturalnym biopolimerem charakteryzującym się doskonałymi właściwościami nawilżającymi, biogodnością oraz zdolnością do tworzenia stabilnych filmów [3].

Charakterystyka fizykochemiczna nanocząstek AgNPs-ALG, przeprowadzona z wykorzystaniem mikroskopii TEM oraz metody DLS i spektroskopii UV-Vis, potwierdziła wytworzenie monodispersyjnych i stabilnych w czasie nanocząstek srebra.

Efekty modyfikacji tkaniny bawełnianej oceniono za pomocą mikroskopii SEM/EDS oraz analizy AAS. Właściwości powierzchniowe i termiczne badano technikami goniometrycznymi, DSC i TG/DTG. Aktywność biologiczną opracowanych materiałów oceniono wobec bakterii Gram+ (*Staphylococcus aureus*) i Gram- (*Klebsiella pneumoniae*), a analizę biogodności przeprowadzono w oparciu o badania cytotoksyczności za pomocą testu żywotności komórkowej MTT.

Wyniki badań wskazują na skuteczność zastosowanej metody w nadawaniu tkaninie bawełnianej właściwości przeciwdrobnoustrojowych i biogodnych, co otwiera perspektywy wykorzystania tego rozwiązania w produktach przeznaczonych do ochrony zdrowia.

Badania finansowano z subwencji 00/BCW/01/00/1/3/0215.

Piśmiennictwo

1. Krishnan PD, Banas D, Durai RD, et al, 2020;12(9):1-27. doi:10.3390/pharmaceutics12090821
2. Malyshko V V., Fedulova L V., Sokolov ME, et al. Biophys (Russian Fed. 2023;68(2):295-301. doi:10.1134/S000635092302015X
3. Ren Y, Zhang D, He Y, et al. Gels. 2021;7(7):204. doi: 10.3390/gels7070204

BIOAKTYWNA WŁÓKNINA WISKOZOWO-POLIESTROWA MODYFIKOWANA NANOCZĄSTKAMI SREBRA I TLENKU CYNKU

Alicja Nejman^{1*}, Beata Tkacz-Szczęsna¹,
Małgorzata Krzyżowska², Małgorzata Cieślak¹

- 1 Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny, ul. Marii Skłodowskiej-Curie 19/27, 90-570 Łódź
 - 2 Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii im. gen. Karola Kaczkowskiego, ul. Kozielska 4, 01-163 Warszawa
- * email: alicja.nejman@lit.lukasiewicz.gov.pl

słowa kluczowe: HCoV-229E, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, wiskoza, poliestr, test MTT, TG/DTG, analiza goniometryczna.

Pandemia COVID-19 wywołana przez koronawirusa SARS-CoV-2 spowodowała wzrost intensywności badań nad opracowaniem bioaktywnych materiałów włókienniczych.

Nasze poprzednie badania wykazały, że różne materiały włókiennicze modyfikowane w ten sam sposób wykazują różne działanie wobec czterech różnych wirusów [1]. Dlatego ważny jest, dobór materiału i metody jego bioaktywnej funkcjonalizacji, uwzględniający specyfikę danego wirusa [2]. Przedstawione badania prowadzono wobec ludzkiego koronawirusa HCoV-229E, uznawanego w badaniach aktywności antywirusowej za homologa [3] wirusa SARS-CoV-2.

Włókninę wiskozowo-poliestrową (Vi/PES) funkcjonalizowano metodą powlekania zanurzeniowego nanocząstkami srebra (AgNPs), syntezowanymi metodą redukcji chemicznej, oraz komercyjnymi nanocząstkami tlenku cynku (ZnONPs) i ich mieszaniną. Aby zwiększyć adhezję nanocząstek, włókninę poddano wstępnej obróbce eterem dietylowym, a następnie modyfikowano polidopaminą. W kolejnym etapie, włókniny zanurzono na 10 minut w 10 ml koloidów AgNPs, ZnONPs i AgNPs/ZnONPs o stężeniu 100 ppm i wysuszono w temperaturze 25 °C.

Efekty modyfikacji oceniono za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM/EDS), atomowej spektroskopii absorpcyjnej (AAS), analizy termograwimetrycznej (TG/DTG) i analizy goniometrycznej.

Właściwości antywirusowe modyfikowanych materiałów wobec HCoV-229E zostały zbadane równolegle z oceną toksyczności wobec HaCat – nienowotworowej, nieśmiertelnej linii komórek keratynocytów ludzkich oraz A549 – linii komórek ludzkiego gruczolakoraka płuca za pomocą testu MTT. Aktywność antybakteryjną oceniano w odniesieniu do bakterii Gram-dodatnich (*Staphylococcus aureus*) i Gram-ujemnych (*Klebsiella pneumoniae*).

Włókniny Vi/PES modyfikowane nanocząstkami AgNP, ZnONP i AgNP/ZnONP wykazują aktywność antywirusową (Mv), odpowiednio 2,68, 2,60, 2,79. Nie mają działania toksycznego. Charakteryzują się również silną aktywnością przeciwbakteryjną.

Piśmiennictwo

1. Cieślak, M.; Kowalczyk D.; Krzyżowska, M.; Janicka, M.; Witczak, E.; Kamińska, I. *Materials* **2022**, *15*, 6164, <https://doi.org/10.3390/ma15176164>.
2. Nejman, A.; Tkacz-Szczęsna, B.; Chodkowski, M., Krzyżowska, M.; Cieślak, M. *International Journal of Biological Macromolecules* **2025**, *310*, 143386, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.143386>
3. Ding, X. L.; Jia, Q. L.; To, S. F. **2021**, Mar 1, 428, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.21501-X>.

Finansowanie

Badania wykonano w ramach projektu DOB-SZAFIR/02/B/004/02/2021 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

INNOWACYJNA KONCEPCJA WYKORZYSTANIA KRÓTKIEGO WŁÓKNA LNIANEGO

Barbara Romanowska¹, Anna Kicińska – Jakubowska¹,
Jacek Kołodziej¹, Edyta Kwiatkowska¹,
Joanna Ratajczak², Rafał Perz^{2,3}

¹ Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich – Państwowy Instytut
Badawczy, ul. Wojska Polskiego 71B, 60-630 Poznań, e-mail:
barbara.romanowska@iwnirz.pl

² Genvita Sp. z o.o., Al. Jana Pawła II 27, 00-867 Warszawa

³ Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny
Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska

słowa kluczowe: flax fibers, innovation, textile industry, functional product

Len należy do najstarszych roślin włóknodajnych wykorzystywanych przez człowieka. Użytkowanie włókien lnianych znane jest od kilku tysięcy lat i są wykorzystywane po dziś dzień w różnych dziedzinach przemysłu. Wpisują się w obecne trendy „green deal” dzięki poprawie ekologiczności produktów, z nich powstałych lub z ich udziałem, poprzez zmniejszenie emisji CO₂ w procesach produkcyjnych, przyczyniając się również do poprawy ich biodegradowalności [1].

Włókna lniane znajdują również zastosowanie w sektorze wyrobów medycznych. Z powodzeniem stosuje je się do wytwarzania opatrunków i bandaży dedykowanych na trudno gojące się rany, biodegradowalnych opakowań, kompozytów do rusztowań w inżynierii tkankowej, a także implantów i nici chirurgicznych [2]. W założeniu innowacyjnej koncepcji przedstawianej w niniejszej pracy było wykorzystanie krótkich włókien lnianych do produkcji częściowo biodegradowalnych maseczek typu II. Innowacyjna koncepcja stanowi rozwiązanie do kwestii recyklingu odpadów z tworzyw sztucznych w sektorze ochrony zdrowia. Naturalna warstwa, wykonana z włókniny z bielonych kotonizowanych włókien lnianych i bawełnianych, jest w pełni biodegradowalna i pomaga zredukować negatywny wpływ zużytych maseczek na

środowisko. Ponadto, innowacyjna struktura włókniny zapewnia skuteczną barierę ochronną przed cząstkami pyłów, nie pogarszając przy tym przepuszczalności powietrza.

W celu realizacji innowacyjnej koncepcji częściowo biodegradowalnej maseczki wyselekcjonowano włókna lniane, które poddano procesowi uszlachetniania. Uszlachetnianie włókien lnianych polegało na poddaniu włókien lnianych kotonizacji, w którym zostały one mechanicznie przetworzone (tj. oczyszczone, skrócone i rozdzielone na mniejsze kompleksy) za pomocą urządzenia typu RCz. W efekcie, struktura włókien uległa zmianie: skróciły się, a ich wiązki zostały podzielone wzdłużnie. Parametry włókna lnianego zostały w ten sposób zbliżone do parametrów włókien bawełny, a tym samym pozwoliło to na przerób włókien łykowych na bawełniarskim parku maszynowym.

Włókna lniane wykazują wysoki potencjał do poprawy efektywności środowiskowej tradycyjnej maseczki typu II i sprostania wyzwaniu ochrony użytkowników przed szkodliwymi mikroorganizmami [3].

Bibliografia

1. Li, H., Tang, R., Dai, J., Wang, Z., et al. Recent Progress in Flax Fiber-Based Functional Composites. *Adv. Fiber Mater.* 4, 171–184 (2022).
<https://doi.org/10.1007/s42765-021-00115-6>
2. Wojtasik, W., Kostyn, K., Preisner, M., Czuj, T., et al. Cottonization of Decorticated and Degummed Flax Fiber - A Novel Approach to Improving the Quality of Flax Fiber and its Biomedical Applications. *J. Nat. Fibers* 21(1), 2368143 (2024). <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2368143>
3. Mańkowski, J., Zimniewska, M., Gieparda, W., Romanowska, B., et al. Development of a Layer Made of Natural Fibers to Improve the Ecological Performance of the Face Mask Type II. *Materials* 16, 5668 (2023).
<https://doi.org/10.3390/ma16165668>

CHARAKTERYSTYKA I ZRÓŻNICOWANIE STRUKTURY LIGNOCELULOZOWEJ BIOMASY FORM JEDNOPIENNYCH I DWUPIENNYCH KONOPI PRZEMYSŁOWYCH (*CANNABIS SATIVA* L.) JAKO SUROWCA W GOSPODARCE CYRKULARNEJ

Aleksandra Wawro, Marcin Praczyk, Weronika Gieparda,
Szymon Rojewski, Krzysztof Bujnowicz

*Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich- Państwowy Instytut
Badawczy, ul. Wojska Polskiego 71b, 60-630 Poznań, e-mail:
aleksandra.wawro@iwnirz.pl*

słowa kluczowe: konopie przemysłowe, delignifikacja, hydroliza enzymatyczna, biokompozyty,

Konopie przemysłowe (*Cannabis sativa* L.) są jednorocznymi roślinami charakteryzującymi się wysokim potencjałem plonowania biomasy, co czyni je wartościowym surowcem w kontekście rozwoju gospodarki o obiegu zamkniętym. Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu odmiany oraz formy botanicznej konopi na skład chemiczny i strukturę biomasy w aspekcie jej wykorzystania do wytwarzania bioproduktów. Analizie poddano dwie odmiany jednopienne oraz dwie odmiany dwupienne charakteryzujące się wysokim plonem ogólnym.

Biomasa została poddana procesowi delignifikacji z zastosowaniem roztworu alkalicznego (NaOH), a następnie przeprowadzono hydrolizę enzymatyczną, zoptymalizowaną metodą powierzchni odpowiedzi (RSM). Zawartość glukozy w hydrolizatach oznaczano techniką wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC). Pozostała po hydrolizie frakcja stała została rozdrobiona (<0,5 mm), poddana analizie sitowej oraz modyfikacji chemicznej z wykorzystaniem silanów, co przyczyniło się do poprawy kompatybilności z matrycą polilaktydu (PLA) w otrzymanych biokompozytach. Oceniono właściwości mechaniczne, morfologię i strukturę uzyskanych materiałów kompozytowych.

Integracja metod hodowlanych, biochemicznych i inżynierii materiałowej umożliwia pełne wykorzystanie potencjału biomasy

konopi przemysłowych, wspierając rozwój zrównoważonych technologii i gospodarki o obiegu zamkniętym.

POTENCJAŁ ROŚLIN WŁÓKNISTYCH ORAZ ZIELARSKICH JAKO MATERIAŁÓW PASZOWYCH

Joanna Foksowicz-Flaczyk

*Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich Państwowy Instytut
Badawczy, ul. Wojska Polskiego 71B, 60-630 Poznań, e-mail:
joanna.flaczyk@iwnirz.pl*

słowa kluczowe: rośliny włókniste, rośliny zielarskie, materiały paszowe.

Rośliny włókniste, głównie len i konopie mogą stanowić alternatywę lub uzupełnienie dla roślin żywnościowych wykorzystywanych jako komponenty paszowe. Włókno roślinne działając jak błonnik usprawnia pracę układu pokarmowego, a wytloki pozostałe po tłoczeniu oleju z nasion są bogatym źródłem białka. W Polsce, podobnie jak we wszystkich krajach europejskich występuje niedobór białka paszowego, związany z wprowadzonym w 2004 roku zakazem skarmiania zwierząt gospodarskich mączkami mięsno-kostnymi. Główną rolę w uzupełnieniu powstałych niedoborów białka odegrały i odgrywają importowane śruty roślin oleistych, a w szczególności soi, która w 90% stanowi soję modyfikowaną genetycznie (GMO). Poważnym problemem warunkującym wykorzystanie soi są jednak zastrzeżenia co do bezpieczeństwa żywności genetycznie modyfikowanej i niechęć społeczeństwa do tego typu żywności. Poszukuje się więc nowych źródeł białka paszowego zarówno z mączek rybnych, owadów, jak i roślin strączkowych, rzepaku czy też z surowców drugiej generacji.

W 2006 roku Unia Europejska wprowadziła zakaz dodawania antybiotykowych stymulatorów wzrostu do pasz. Ponownie odbiło się to na sytuacji ekonomicznej producentów mięsa i wpłynęło stymulująco na badania naukowe i rozwój przemysłu materiałów paszowych. Wzrosło zainteresowanie badaczy problemem efektywności stosowania dodatków ziół w żywieniu zwierząt. Rośliny zielarskie mają ogromny potencjał w profilaktyce i poprawie dobrostanu zwierząt gospodarskich. Nazywane

fitobiotykami, stanowią naturalny i bezpieczny składnik wpływający na produktywność i bezpieczeństwo chowu. Powszechnie wiadomo, iż substancje chemiczne występujące w roślinach mogą działać na organizm zwierząt leczniczo wykazując działanie przeciwbakteryjne oraz przeciwutleniające, zapobiegać rozwojowi choroby, a także stymulować wzrost poprzez wspomaganie apetytu. Odpowiednio dobrane składniki roślinne mogą przyczyniać się do rozwoju prawidłowej mikrobioty jelitowej (ograniczając liczebność mikroorganizmów chorobotwórczych), obniżać pH treści jelitowej i poprawiać trawienie paszy, a także podnosić odporność organizmu oraz wpływać korzystnie na dobrostan zwierząt. Poprawa wyników produkcyjnych i zwiększenie zdrowotności zwierząt przekłada się bezpośrednio na obniżenie kosztów produkcji i poprawy rachunku ekonomicznego gospodarstwa. Jest to również związane z bezpiecznym chowem i hodowlą zwierząt gospodarskich, odbywającym się w naturalnych warunkach i z ograniczonymi możliwościami zastosowania "nienaturalnych" sposobów produkcji przyspieszających ich wzrost.

Celowym jest zwrócenie uwagi na efektywność stosowania wysokobiałkowych składników paszowych z biomasy konopi przemysłowych, a więc surowca drugiej generacji, niewykorzystywanego bezpośrednio na cele żywieniowe, wzbogaconych składnikami biologicznie aktywnymi zawartymi w roślinach zielarskich.

Biorąc pod uwagę aspekty poprawy chowu i hodowli zwierząt, ochrony środowiska oraz mając na względzie rosnącą oporność na środki przeciwdrobnoustrojowe najbardziej właściwe wydaje się poszukiwanie i propagowanie naturalnych alternatyw, w tym bardziej wszechstronne wykorzystanie w rolnictwie roślin włóknistych oraz zielarskich.

Źródło finansowania badań: Dotacja Celowa MRiRW nr 5.1 pt. Analiza potencjału krajowych surowców zielarskich jako dodatków do pasz, które mogą ograniczać konieczność stosowania środków przeciwdrobnoustrojowych, w tym antybiotyków u zwierząt

ROŚLINY WŁÓKNISTE JAKO SUROWIEC ODNAWIALNY DO WYTWARZANIA BIOPRODUKTÓW

Jolanta Batog

Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Wojska Polskiego 71B, 60-630 Poznań, e-mail: jolanta.batog@iwnirz.pl

słowa kluczowe: konopie włókniste, len uprawny, biokompozyty, biopaliwa zaawansowane

Rośliny włókniste stanowią materiał naturalny, będący źródłem ekologicznych surowców biodegradowalnych, które znacznie zyskują na znaczeniu w kontekście zrównoważonego rozwoju i gospodarki o obiegu zamkniętym.

Należą do nich zarówno len uprawny i konopie włókniste (siewne, przemysłowe), które w pełni są legalne, gdyż poziom związku odurzającego i narkotycznego (THC), zgodnie z przepisami wspólnej polityki rolnej, jest w nich bardzo niski i musi wynosić poniżej 0,3%.

Len uprawny to roślina jednoroczna o wzroście do 1,5 metra i plonie suchej masy do 8 ton z hektara, która stanowi doskonały przedplon dla pszenicy ozimej.

Konopie włókniste to natomiast roślina jednoroczna o szybkim wzroście do 4 metrów i plonie suchej masy do 15 ton z hektara, odporna na warunki glebowe i doskonale adoptująca się do różnych warunków klimatycznych, która może sekwestrować 9-15 ton CO₂ z hektara.

Ogólnie istnieją możliwości wszechstronnego wykorzystania całych roślin, stąd są one źródłem surowców w różnych sektorach gospodarki, stanowiąc innowacje w obszarze materiałów biopochodnych, takich jak:

- biokompozyty na podstawie polimerów termoplastycznych/biodegradowalnych, co stanowi dobre rozwiązanie ograniczające ilości wprowadzanych do środowiska polimerów (Dyrektywa UE Single Use Plastics 2019), redukuje koszty surowcowe

zapewniając jednocześnie odpowiednie właściwości mechaniczne i użytkowe wyrobów, które znajdują liczne zastosowanie: rynek opakowań o krótkim cyklu życia (wyroby jednorazowe oraz wielokrotnego użytku wykorzystywane w rolnictwie i ogrodnictwie), branża budowlana (deski tarasowe, elementy architektury krajobrazu), przemysł motoryzacyjny (elementy wyposażenia wnętrza pojazdów), przemysł meblarski,

- biopaliwa zaawansowane jako dodatek do paliw płynnych - biomasa z roślin włóknistych, szczególnie z konopi, stanowi korzystną opcję dla obecnie stosowanych paliw i spełnienia Dyrektywy UE RED III (2023), wg której wkład zaawansowanych biopaliw i biogazu m.in. z surowców lignocelulozowych, jako udział w końcowym zużyciu energii w sektorze transportu, powinien wynieść do 2030 roku co najmniej 5,5%, ponadto dla rolników - rozwój produkcji rolnej na cele biopaliwowe niekonkurującej z produkcją żywności i pasz oraz społeczeństwa - poprawa zdrowia w związku ze zmniejszeniem emisji zanieczyszczeń z transportu.

Reasumując, rośliny włókniste to z pewnością odnawialne zasoby biologiczne posiadające duże znaczenie dla wzmacniania roli biogospodarki w kształtowaniu zrównoważonej przyszłości i przyspieszeniu zielonej transformacji.

Dotacja Celowa MRiRW 2025 zad.2.5 - Określenie potencjału plonowania i możliwości przemysłowego wykorzystania biomasy rodzimych gatunków roślin włóknistych.

ROŚLINY WŁÓKNISTE SUROWCEM O SZEROKICH MOŻLIWOŚCIACH APLIKACYJNYCH

Jacek Kołodziej, Anna Kicińska-Jakubowska, Barbara Romanowska, Patrycja Przybylska, MD Masud Alam, Katarzyna Schmidt-Przewoźna

Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich-PIB, ul. Wojska Polskiego 71b, 60-630 Poznań, e-mail: anna.jakubowska@iwnirz.pl

słowa kluczowe: len (flax), konopie włókniste (industrial hemp), paździerz (hurds)

Rośliny włókniste jak len (*Linum usitatissimum* L.) oraz konopie włókniste (*Cannabis sativa* L.) należą do jednych z najstarszych roślin uprawnych. Obecnie stają się coraz bardziej popularne, głównie dzięki możliwości wszechstronnego ich wykorzystania w różnych sektorach gospodarki w tym w przemyśle włókienniczym, budowlanym, spożywczym, kosmetycznym, farmaceutycznym czy energetycznym. Współcześnie, w obliczu globalnego trendu powrotu do natury oraz rosnącej świadomości ekologicznej, coraz większy nacisk kładzie się na racjonalne gospodarowanie zasobami naturalnymi i ograniczenie stosowania surowców nie odtwarzalnych. Skutkuje to wzrostem znaczenia włókien łykowych oraz paździerzy, czyli drewna otrzymywanego w wyniku wydobycia włókna ze słomy. Surowce te są doskonałym materiałem do produkcji różnych wyrobów.

ROZWIĄZANIA GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM DLA PRZEMYSŁU METALURGICZNEGO

Paulina Copik

*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
ul. Karola Miarki 12-14, 44-100 Gliwice, e-mail:
paulina.copik@git.lukasiewicz.gov.pl*

słowa kluczowe: gospodarka o obiegu zamkniętym; symbioza przemysłowa; karbonizacja hydrotermalna, spiekanie niskoemisyjne

Produkcja stali w tradycyjnych technologiach pozostaje silnie uzależniona od paliw kopalnych, co sprawia, że sektor metalurgiczny jest jednym z kluczowych emitentów gazów cieplarnianych, odpowiadając za około 8% globalnych emisji CO₂. Lokuje to hutnictwo w centrum europejskich działań dekarbonizacyjnych realizowanych w ramach Zielonego Ładu oraz strategii osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 roku. Osiągnięcie znaczącego ograniczenia emisji wymaga jednak nie tylko dalszej optymalizacji istniejących technologii, lecz także wdrażania nowych, zasobooszczędnych rozwiązań opartych na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym i zrównoważonych źródeł energii. W tym kontekście niniejsze badanie prezentuje koncepcyjny model symbiozy przemysłowej, łączący oczyszczalnie ścieków z procesem spiekania rud żelaza, oraz przedstawia wstępne wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych.

Oczyszczalnie ścieków wytwarzają znaczne ilości osadów ściekowych, co obecnie stanowi zarówno wyzwanie w zakresie utylizacji, jak i rosnące koszty operacyjne. W proponowanym podejściu osady ściekowe są przetwarzane poprzez hydrotermalną karbonizację (HTC), termochemiczną konwersję prowadzoną w gorącej wodzie pod ciśnieniem, która przekształca mokrą biomasę w bogatą w węgiel substancję stałą bez konieczności wstępnego suszenia. Otrzymany hydrochar oferuje obiecujące

właściwości fizykochemiczne, które umożliwiają częściowe zastąpienie koksiku stosowanego w spiekaniu rudy żelaza.

Proces spiekania, polegający na aglomeracji drobnych rud żelaza z paliwami stałymi w celu wytworzenia spieku do eksploatacji w wielkim piecu, charakteryzuje się wysokim zapotrzebowaniem na energię i znacznym zużyciem węgla kopalnego. Nawet niewielkie zmniejszenie ilości koksiku może znacząco wpłynąć na ślad węglowy spiekalni. W niniejszym badaniu prace eksperymentalne przeprowadzono z wykorzystaniem półprzemysłowej instalacji spiekania, wyposażonej w pełny monitoring profili temperatur, składu gazu, przepuszczalności złoża i parametrów jakościowych po spiekaniu. Taka konfiguracja umożliwia realistyczne odwzorowanie przemysłowych warunków pracy i wiarygodną ocenę paliw alternatywnych.

Wstępne próby przeprowadzono z 5% zastąpieniem konwencjonalnego koksu hydrocharem. Testy koncentrowały się na ocenie jakości spieku, wydajności procesu i potencjalnych korzyściach w zakresie emisji CO₂. Wstępne wyniki wskazują, że jakość spieku nie uległa pogorszeniu, a emisja zanieczyszczeń nie wzrosła, co potwierdza, że hydrochar może stanowić realne wtórne źródło węgla, wspierając jednocześnie obieg zamknięty zasobów między systemami komunalnymi a hutniczymi. To otwiera drogę do strategii integracji przemysłowej, które zmniejszą obciążenie odpadami, obniżą zużycie paliw kopalnych i wspomogą szersze przejście na metalurgię niskoemisyjną.

ANALIZA ZJAWISK FIZYCZNYCH ZE WZGLĘDU NA SKUTECZNOŚĆ DETEKCJI PROMIENIOWANIA NADFIOLETOWEGO W ZMODYFIKOWANYCH ŚWIATŁOWODACH WŁÓKNISTYCH

Katarzyna Kuchta, Jacek M. Kubica

*Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701, e-mail: kakuc@ciop.pl*

słowa kluczowe: promieniowanie nadfioletowe, światłowody włókniste, czujniki światłowodowe

W pracy przedstawiono wyniki szczegółowej analizy zjawisk fizycznych wykorzystywanych w światłowodowych czujnikach promieniowania nadfioletowego (UV), ze szczególnym uwzględnieniem ich wpływu na skuteczność detekcji. Przegląd obejmuje ponad pięćdziesiąt konstrukcji czujników opisanych w literaturze naukowej w latach 2002–2025, sklasyfikowanych według zastosowanych mechanizmów detekcji, takich jak fotoluminescencja, fotochemiczna reaktywność związków azobenzenowych, czy przesunięcie widmowe w światłowodowych siatkach Bragga pod wpływem naprężeń.

Najliczniejszą grupę stanowią czujniki luminescencyjne, w których promieniowanie UV jest konwertowane na światło widzialne w powłoce lub w rdzeniu światłowodu. Wysoką czułość uzyskuje się dzięki zastosowaniu luminoforów nieorganicznych (np. $\text{La}_2\text{O}_2\text{S:Eu}$, Tb^{3+} , ZnO , Ag) i organicznych (np. fosforów na bazie 1,3,5-trifenyl-4,5-dihydro-1H-pirazolu) w matrycach epoksydowych, poliuretanowych lub polimerowych (PMMA). Należy tu rozróżnić czujniki z naniesioną warstwą luminoforu oraz czujniki z domieszkami w materiale, z którego wykonany jest właściwy światłowod.

Drugą grupę stanowią czujniki oparte na światłowodowych siatkach Bragga (FBG) pokrytych materiałami fotoaktywnymi przy zastosowaniu efektu fotomechanicznego. Na skutek absorpcji

promieniowania UV pojawiają się naprężenia prowadzące do zmiany długości fali Bragga w konfiguracji odbiciowej lub transmisyjnej, co pozwala na precyzyjną detekcję promieniowania. W roli aktywnego pokrycia stosowane są azo-polimery, jak również tlenek grafenu (GO).

Kolejna grupa to struktury z warstwą zawierającą azobenzen, wykorzystujące zjawisko odwracalnej fotoizomeryzacji (trans-cis), prowadzącej do zmiany współczynnika załamania pod wpływem promieniowania UV. Zmiana współczynnika załamania prowadzi do zmian we właściwościach optycznych struktury światłowodowej, np. do zmiany wartości natężenia sygnału. Mechanizm ten może być wykorzystany w konstrukcji światłowodowych czujników UV o wysokiej czułości i szybkości działania.

Przeprowadzona analiza umożliwiła identyfikację kluczowych zalet oraz ograniczeń każdego z rozpatrywanych rozwiązań. Wyniki analizy mogą posłużyć do wyboru konstrukcji o największym potencjale wdrożeniowym w zakresie monitorowania warunków środowiskowych i ochrony pracowników przed nadmiernym narażeniem na promieniowanie UV.

OTRZYMYWANIE I CHARAKTERYSTYKA FOTOKATALIZATORÓW NA BAZIE NANORUTYLU

Agnieszka Wanag, Aleksander Albrecht,
Ewelina Kusiak-Nejman, Antoni W. Morawski

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Katedra Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska, ul. Pułaskiego 10, 70-322 Szczecin, Polska, e-mail: awanag@zut.edu.pl

słowa kluczowe: fotokataliza, fotokatalizator, nanorutyl

Rozwój cywilizacji i przemysłu jak i nowoczesny styl życia, w krajach rozwiniętych przyczynia się nie tylko do poprawy poziomu życia ludzi, ale także pozostawia swój ślad w środowisku. Zanieczyszczenie wody i powietrza, stanowią bardzo poważny problem, który spowodował, że dotychczas stosowane metody oczyszczania stały się niewystarczające. W przypadku zanieczyszczeń wody, bardzo obiecujące oraz szeroko badane, w ostatnich latach, są metody zaawansowanego utleniania (AOP – Advanced Oxidation Process), które mogą stanowić alternatywę i uzupełnienie dla klasycznych metod. Jedną z takich metod jest fotokataliza, czyli proces chemiczny polegający na zmianie szybkości reakcji chemicznej z udziałem światła i fotokatalizatora, który absorbując kwant promieniowania przyczynia się do przemiany reagentów. Dzięki fotokatalizie możliwy jest rozkład zanieczyszczeń do prostych związków nieorganicznych jak dwutlenek węgla i woda. Metoda ta jest zgodna z zasadami zielonej chemii, gdyż nie wymaga stosowania rozpuszczalników czy innych szkodliwych substancji chemicznych. Najpopularniejszym fotokatalizatorem jest ditlenek tytanu (TiO_2), który jest tani, łatwo dostępny, inertny chemicznie oraz termicznie. W przyrodzie występuje w trzech odmianach polimorficznych: anatazu, rutylu i brukitu. W wyniku syntezy TiO_2 najczęściej syntetyzowany jest nanokrystaliczny anataz, natomiast rutyl otrzymywany wysokich temperaturach charakteryzuje się

dużym rozmiarem krystalitów, co jest niekorzystne dla aktywności. Podstawową wadą anatazu jest natomiast jego aktywacja pod wpływem promieniowania z zakresu UV oraz niska aktywność pod wpływem promieniowaniem z zakresu widzialnego co ogranicza jego praktyczne zastosowanie. Rutyl może być aktywowany w zakresie widzialnym, ale wykazuje znacznie słabszą aktywność niż anataz ze względu na szybszą rekombinację.

Biorąc powyższe pod uwagę, podstawowym celem badań było otrzymanie nanokrystalicznego rutylu ditlenku tytanu (TiO_2) charakteryzującego się zwiększoną powierzchnią właściwą i małym rozmiarem krystalitów. Nanorutyl został otrzymany metodą hydrolizy w niskich temperaturach i przy użyciu izopropoksyd tytanu jako prekursora TiO_2 . Ważnym etapem badań był dobór odpowiednich parametrów procesu takich jak pH roztworu, obecność i rodzaj rozpuszczalnika, temperatura, dodatki organiczne, warunki mieszania itp. Otrzymane fotokatalizatory zostały poddane rozszerzonej i systematycznej charakterystyce. Określono również wpływ parametrów modyfikacji na właściwości fizykochemiczne otrzymanego nanomateriału.

Badania zostały wykonane w ramach grantu nr 2022/47/D/ST5/02679, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

BADANIA WPŁYWU INTERAKCJI AUDIOWIZUALNYCH NA UCIĄŻLIWOŚĆ WARUNKÓW PRACY

Leszek Morzyński, Rafał Młyński, Szymon Suszek,
Emil Kozłowski

*Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: lmorzyns@ciop.pl*

słowa kluczowe: uciążliwość warunków pracy, hałas, interakcje audiowizualne, praca biurowa, dobrostan

Współcześnie podczas analizy warunków pracy coraz większą uwagę zwraca się na dobrostan pracowników, co przekłada się na ograniczenie chorób wywoływanych stresem i wzrost efektywności pracy. Na dobrostan pracownika duży wpływ ma postrzeganie przez niego otoczenia w którym przebywa. Brak pozytywnego postrzegania warunków pracy może być natomiast stowarzyszony z poczuciem uciążliwości pracy. Uciążliwości środowiska pracy mają istotny wpływ na dobrostan pracowników na stanowiskach pracy umysłowej, takich jak praca biurowa. Na postrzeganie otoczenia w którym przebywa pracownik biurowy zasadniczy wpływ mają bodźce słuchowe oraz wzrokowe. Niestety, praca biurowa nadal często wiąże się z przebywaniem w otoczeniu wizualnym i akustycznym, które może powodować rozproszenie uwagi, irytację i zmęczenie, przez co warunki pracy stają się uciążliwe i obniżają jej wydajność. Najnowsze wyniki badań wskazują, że interakcje między otoczeniem wizualnym i akustycznym mogą zmieniać wrażenia wywoływane przez każdy z tych elementów środowiska z osobna. Szans na zwiększenie dobrostanu pracowników biurowych można zatem upatrywać w modyfikacjach otoczenia wizualnego i akustycznego stanowisk pracy biurowej, polegających w szczególności na wprowadzeniu do środowiska pracy obrazów i odgłosów przyrody. Celem prezentowanych badań jest zbadanie wpływu interakcji audiowizualnych w środowisku pracy na uciążliwość warunków pracy, a w perspektywie wskazanie możliwości kształtowania

audiowizualnego środowiska pracy w celu poprawy warunków pracy. Omówiono sposób realizacji badań z wykorzystaniem dwóch stanowisk laboratoryjnych, z których pierwsze stanowi stanowisko do odtwarzania dźwięku przestrzennego, natomiast drugie jest zlokalizowane w pomieszczeniu typu semi-CAVE. Przedstawiono zastosowane narzędzia badawcze a następnie omówiono rezultaty badań dotyczących postrzegania warunków otoczenia oraz wpływu tego otoczenia na samopoczucie i sprawności psychofizyczne.

TERMOMETRIA LUMINESCENCYJNA I TERMOLUMINESCENCJA – KIERUNKI BADAŃ BIOMEDYCZNYCH

Dominika Jurkowska, Eugeniusz Zych, Justyna Zeler

Wydział Chemii, Uniwersytet Wrocławski

ul. F. Joliot-Curie 14, 50-383 Wrocław, e-mail: 345333@uwr.edu.pl

słowa kluczowe: termometria luminescencyjna, termoluminescencja

Temperatura to jeden z najważniejszych parametrów fizycznych wpływających na zachowanie systemów biologicznych i inżynierskich. Jest to parametr bezpośrednio wpływający na przebieg termoluminescencji; definiuje też emisyjne właściwości termometrów luminescencyjnych [1].

Zjawisko długotrwałej poświaty – luminescencji trwającej nawet godziny po zaprzestaniu ekspozycji materiału na promieniowanie wzbudzające. Zjawisko występuje głównie w półprzewodnikach i izolatorach o dużej przerwie energetycznej. Energie poziomów elektronowych (zajętych lub pustych), które biorą udział w pułapkowaniu wzbudzonych nośników energii – elektronów i/lub dziur - powinny być precyzyjnie dostosowane względem pasm walencyjnych i przewodnictwa całego układu. Dzięki temu mogą pełnić rolę pułapek dla wzbudzonych nośników ładunku. Gdy pułapki zostaną wypełnione w wyniku napromieniowania, w temperaturze otoczenia może wystąpić poświata. Prawdopodobieństwo uwolnienia nośników ładunku z pułapki jest silnie zależne od temperatury [2]. Natomiast termometria luminescencyjna pozwala na nieinwazyjne monitorowanie temperatury w wysokiej rozdzielczości, np. wewnątrz żywych komórek w warunkach fizjologicznych [3].

Połączenie termoluminescencji i termometrii luminescencyjnej ma ogromny potencjał w diagnostyce i leczeniu nowotworów, w naszym planach badawczych szczególnie czerniaka i raka piersi. Wykorzystując materiały oparte na perowskitach potrójnie domieszkowanych jonami Cr^{3+} i starannie dobranymi jonami Ln^{3+} ,

możemy stworzyć nanomateriał, który potencjalnie generuje światło termoluminescencyjne do celów diagnostycznych, a jednocześnie pozwala na odczyt temperatury określonych komórek/organelli w celu ukierunkowanego leczenia komórek nowotworowych.

Literatura

[1] C. D. S. Brites, P. P. Lima, N. J. O. Silva, A. Millán, V. S. Amaral, F. Palacio, L. D. Carlos, *Nanoscale* **4** (2012) 4799.

[2] S. W. S. McKeever, *Thermoluminescence of Solids*, (1985).

[3] R. Piñol, J. Zeler, C. D. S. Brites, Y. Gu, P. Téllez, A. N. Carneiro Neto, T. E. da Silva,

R. Moreno-Loshuertos, P. Fernandez-Silva, A. I. Gallego, L. Martinez-Lostao, A. Martínez,

L. D. Carlos, A. Millán, *Nano Lett* **20** (2020) 6466.

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach grantu OPUS nr 2023/49/B/ST5/04265.

BADANIE WŁAŚCIWOŚCI FIZYKO-CHEMICZNYCH MIESZANEK KOPOLIESTRU ALIFATYCZNO-AROMATYCZNEGO (IBPE) Z INNYMI POLIMERAMI

Justyna Olczyk, Monika Szkopiecka, Dominik Borkowski,
Sławomir Kęska, Piotr Czarnecki, Stanisław Gałęcki

*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny
ul. Skłodowskiej-Curie 19/27, 90-570 Łódź,
e-mail: justyna.adamczyk@lit.lukasiewicz.gov.pl*

słowa kluczowe: kopoliester alifatyczno-aromatyczny, poliestry, polimery biodegradowalne

W obliczu rosnących wymagań dotyczących zrównoważonego rozwoju oraz potrzeby ograniczenia negatywnego wpływu tworzyw sztucznych na środowisko, coraz większe znaczenie zyskują badania nad nowoczesnymi materiałami polimerowymi o ulepszonych właściwościach użytkowych i biodegradowalności. Kopoliestrowe materiały alifatyczno-aromatyczne, takie jak IBPE¹, stanowią interesującą grupę polimerów, łączącą korzystne cechy sztywności i odporności chemicznej komponentów aromatycznych z elastycznością i podatnością na degradację części alifatycznych. Celem niniejszej pracy jest analiza właściwości fizyko-chemicznych mieszanek kopoliestru alifatyczno – aromatycznego (IBPE) z wybranymi polimerami, w kontekście ich potencjalnego zastosowania w przemyśle opakowaniowym, rolnictwie oraz innych dziedzinach wymagających materiałów o określonych parametrach mechanicznych, termicznych i środowiskowych. W szczególności skupiono się na ocenie wpływu rodzaju i udziału procentowego domieszek na strukturę, stabilność termiczną, właściwości mechaniczne. Wykonano mieszanki ekstruderowe kompozycji IBPE z komercyjnymi polimerami takimi jak: polikwas mlekowy², skrobia termoplastyczna³ i polibursztynian butylenu⁴. Udział procentowy planowanych polimerów w stosunku do bazowego IBPE to 10% i 20 % wag.

Literatura:

- 1 K. Twarowska-Schmidt et al., Investigation on the Melt Processing of Biodegradable Aliphatic-Aromatic Polyester into Fibrous Products, Fibres and Textiles in Eastern Europe, 2016, 24, 6 (120), 58-64,
- 2 N.G. Khouri et al., Polylactic acid (PLA): Properties, synthesis, and biomedical applications – A review of the literature, Journal of Molecular Structure, 2024, 1309, 138243,
- 3 A. Mohammadi Nafchi et al., Thermoplastic starches: Properties, challenges, and prospects, Starch/Starke, 2013, 65, 61–72,
- 4 L. Aliotta et al., A Brief Review of Poly (Butylene Succinate) (PBS) and Its Main Copolymers: Synthesis, Blends, Composites, Biodegradability, and Applications, Polymers 2022, 14, 844.

Uzyskane wyniki pozwalają na kompleksową ocenę wpływu rodzaju i proporcji domieszek na właściwości funkcjonalne mieszanek IBPE, co może stanowić podstawę do dalszych prac nad ich optymalizacją i wdrożeniem w zastosowaniach przemysłowych.

STRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI BLENDY PLA–KOPOLIESTER ALIFATYCZNO-AROMATYCZNY W KONTEKŚCIE PRZETWÓRSTWA NA WŁOKNA METODĄ ZE STOPU

Karolina Gzyra-Jagięła, Konrad Sulak,
Sławomir Kęska, Piotr Cichacz, Piotr Czarnecki,
Sylwia Jagodzińska

*Łukasiewicz –Łódzki Instytut Technologiczny, ul. Marii Skłodowskiej-Curie
19/27, 90-570 Łódź*

Słowa kluczowe: polikondensacja, blenda polimerowa, włókna ciągłe,

W pracy przedstawiono wyniki badań nad otrzymywaniem i charakterystyką blend polilaktydu (PLA) z kopoliestrem alifatyczno-aromatycznymi, opracowanych jako biodegradowalne modyfikatory właściwości przetwórczych PLA. Syntezę kopoliestrów przeprowadzono metodą dwuetapową, obejmującą wymianę estrową i polikondensację^(1,2), uzyskując polimery o zróżnicowanej masie molowej i właściwościach termicznych (tab).

Tabela. *Charakterystyka kopoliestrów*

parameter	IBPE	oligoIBPE
M_w , g/mol vel PS	85 400	37 200
T_g , °C	-27,7	-30,0
T_m , °C	113,0	122,0

Proces modyfikacji PLA przeprowadzono dla stężenia modyfikatorów w ilości 10% wag. dla oligoIBPE oraz 5 i 10% wag. dla IBPE. Modyfikacja PLA kopoliestrami wpłynęła na zmianę rozkładu mas molowych, obniżenie lepkości stopu i wzrost współczynnika płynięcia (MFR), przy jednoczesnym zachowaniu stabilnej temperatury zeszklenia (T_g). Analizy DSC i GPC/SEC potwierdziły kompatybilność składników oraz występowanie pojedynczego przejścia szklistego, wskazującego na jednorodny charakter uzyskanych blend. Następnie z blend wytworzono

włókna ciągłe metodą przędzenia ze stopu. Opracowano warunki przetwórstwa umożliwiające prowadzenie procesu przędzenia ze stopu w sposób stabilny i powtarzalny. Formowanie włókien prowadzono z wykorzystaniem doświadczalnej przędzarki wyposażonej

w ekstruder i głowicę przędzalniczą z filierą 24-otworową oraz pompkę dozującą. Włókna w procesie formowania były odbierane z prędkością 900 m/min i następnie rozciągane na rozciągarko - skręcarce. Uzyskano ciągłe włókna o jednorodnej strukturze i symetrycznym rozkładzie średnicy, które po procesie rozciągania charakteryzowały się wysokim stopniem orientacji i stabilnością wymiarową. Włókna niemodyfikowane wykazały wytrzymałość właściwą na poziomie 14 cN/tex przy rozciągu 3,35, natomiast po modyfikacji 10% wag. oligo IBPE 28cN/tex i dla 5% wag. IBPE 23cN/tex dla $R_c=3,28$. Natomiast Siła zrywająca wyniosła przed modyfikacją 140cN a po modyfikacji oligoIBPE ponad 290cN i dla IBPE 270 cN. Dla włókien modyfikowanych uzyskano wyższe wartości parametrów fizyko-mechanicznych przy zastosowaniu mniejszej krotności rozciągu.

Otrzymane wyniki potwierdzają, że zastosowanie kopoliestrów alifatyczno- pozwala na efektywną modyfikację PLA, poprawiając jego właściwości reologiczne, przetwórcze i formowalne. Uzyskane blendy PLA-kopoliester wykazują potencjał zastosowania w wytwarzaniu biodegradowalnych włókien metodą przędzenia ze stopu, co otwiera możliwości ich wykorzystania w nowoczesnych, przyjaznych środowisku materiałach polimerowych.

NANOPOROWATE MATERIAŁY WĘGLOWE PRECYZYJNIE DOMIESZKOWANE SIARKĄ: SYNTEZA, CHARAKTERYSTYKA I ZASTOSOWANIA

Marlena Bytniewska, Mariusz Barczak

Instytut Nauk Chemicznych, Wydział Chemii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, pl. Marii Curie-Skłodowskiej 5, 20-031 Lublin, mariusz.barczak@mail.umcs.pl

słowa kluczowe: kompozyty węglowo-siarkowe, nanoporowate węgle, adsorpcja, baterie aluminiowo-siarkowe

Domieszkowanie materiałów węglowych siarką przyciągnęło znaczną uwagę ze względu na rosnące zainteresowanie ich zastosowaniami takich materiałów jako materiałów elektrodowych do baterii litowo-siarkowych¹, lecz również np. jako materiałów fotoaktywnych². Siarkę można inkorporować w strukturę nanoporowatych węgli różnymi metodami, jednakże często są one energochłonne, wykorzystują szkodliwe rozpuszczalniki lub oferują ograniczoną skalowalność oraz niską kontrolę nad ilością i miejscem alokacji siarki³.

Celem badań było opracowanie i przetestowanie metody hydrotermalnej do wprowadzania siarki w strukturę nanoporowatego węgla, celem uzyskania kompozytów węglowo-siarkowych o kontrolowanej porowatości, zawartości siarki i jej alokacji zależnej od wielkości porów. Otrzymane materiały zostały szczegółowo scharakteryzowane szeregiem technik instrumentalnych takich jak pomiary adsorpcji azotu, XPS, termogravimetria, SEM, XRD czy analiza elementarna w celu znalezienia dokładnych zależności pomiędzy kluczowymi parametrami syntezy a właściwościami końcowymi otrzymanych materiałów.

Otrzymane materiały zostały przetestowane jako adsorbenty do usuwania leków cytostatycznych ze ścieków szpitalnych oraz materiałów elektrodowych do baterii aluminiowo-siarkowych (Al-

S). Uzyskane wyniki potwierdziły ich użyteczność ww/w aplikacjach.

Literatura

- 1 D. Lv, J. Zheng, et al., Adv. Energy Mater. 5 (2015) 1402290.
- 2 T.J. Bandosz, et al., Carbon 156 (2020) 10–23.
- 3 M. Barczak, et al., Adv. Funct. Mater. 34 (2023) 2310398.

Podziękowania: *Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki, grant nr 2023/51/B/ST5/01911, pt. Nowe zaawansowane węgle dostrajane siarką: synteza, charakterystyka i zastosowania.*

CHITOZAN Z JEDWABNIKÓW (*BOMBYX MORI*) JAKO REKOMENDOWANY SUROWIEC DO PRODUKCJI OPAKOWAŃ BIODEGRADOWALNYCH

Aleksandra Dziopa¹, Oskar Zimak-Krótkopad¹,
Mateusz Szymańczyk², Aleksandra Kryszak¹,
Judyta Cielecka-Piontek^{1,3}

1. *Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich – Państwowy Instytut Badawczy (IWNiRZ), Zakład Farmakologii i Fitochemii, ul. Kolejowa 2, 62-064 Plewiska, Polska*
2. *Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich – Państwowy Instytut Badawczy (IWNiRZ), Zakład Hodowli i Botaniki Roślin Użytkowych, ul. Wojska Polskiego 71B, 60-630 Poznań, Polska*
3. *Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Katedra i Zakład Farmakognozji i Biomateriałów, ul. Rokietnicka 3, 60-806 Poznań, Polska*

słowa kluczowe: chitozan, opakowania, biodegradowalność

Chitozan, będący deacetylowaną pochodną chityny, stanowi jeden z najbardziej obiecujących biopolimerów do zastosowań w produkcji opakowań. Wykazuje wysoką biodegradowalność, nietoksyczność, właściwości przeciwdrobnoustrojowe i zdolność tworzenia elastycznych folii, dzięki czemu może skutecznie zastępować tworzywa sztuczne w przemyśle spożywczym (1–3). Coraz większe znaczenie ma także pozyskiwanie chitozanu z alternatywnych źródeł, w tym z poczwerek *Bombyx mori*, które stanowią bogate źródło chityny o wysokim stopniu czystości (4,5). Uzyskany w ten sposób chitozan charakteryzuje się dobrą rozpuszczalnością, wysokim stopniem deacetylacji i aktywnością biologiczną porównywalną, a często nawet wyższą, niż w przypadku surowców skorupiakowych (4). Chitozan pozyskiwany z poczwerek *Bombyx mori* stanowi przyjazny środowisku surowiec, który może znaleźć zastosowanie w przemyśle opakowaniowym i biomateriałowym, wspierając rozwój biogospodarki opartej na odnawialnych zasobach biologicznych (1,5).

Proces deacetylacji chityny pozyskiwanej z poczwerek *Bombyx mori* przeprowadzono w roztworach wodorotlenku sodu o zróżnicowanych stężeniach, przy temperaturach mieszczących się w przedziale 60–120 °C. Otrzymany w ten sposób chitozan poddano analizie FT-IR w celu określenia stopnia deacetylacji i czystości, a następnie zestawiono jego właściwości z parametrami materiału komercyjnego. Zastosowanie planu Boxa–Behnkena (BBD) w modelu powierzchni odpowiedzi (RSM) umożliwiło optymalizację parametrów procesu. Uzyskane wyniki potwierdzają możliwość efektywnego pozyskiwania chitozanu o wysokiej czystości z *Bombyx mori*, stanowiącego obiecujący surowiec do wytwarzania biodegradowalnych materiałów opakowaniowych.

Literatura:

1. Babaei-Ghazvini, B. Acharya, and D. R. Korber, "Antimicrobial biodegradable food packaging based on chitosan and metal/metal-oxide bio-nanocomposites: A review," Aug. 02, 2021.
2. Yarahmadi, B. Dousti, M. Karami-Khorramabadi, and H. Afkhami, "Materials based on biodegradable polymers chitosan/gelatin: a review of potential applications," 2024.
3. M. Flórez, E. Guerra-Rodríguez, P. Cazón, and M. Vázquez, "Chitosan for food packaging: Recent advances in active and intelligent films," Mar. 01, 2022.
4. D. P. Gulabrao, N. Amarnatha, H. Reddy, T. D., K. N. M., and N. C. Reddy, "Physicochemical Properties of Chitosan Extracted from Silkworm (*Bombyx mori* L.) Exuviae," *J Adv Biol Biotechnol*, vol. 27, no. 8, pp. 1402–1410, Aug. 2024.
5. M. Rabha, A. R. Chetia, K. Rahul, and M. Maheswari, "Extraction and characterization of chitosan from silkworm pupae and egg shells of *Bombyx mori* L. (Race Nistari)," *Indian J. Seric*, vol. 58, no. 2, pp. 28–34, 2024.

OD KOKONU DO BIOMATERIAŁU: BADANIA FIBROINY JEDWABIU METODAMI FTIR I XRPD

Aleksandra Kryszak¹, Oskar Zimak-Krótkopad¹, Mateusz Szymańczyk², Aleksandra Dziopa¹, Judyta Cielecka-Piontek^{1,3}

1. *Zakład Farmakologii i Fitochemii, Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich - Państwowy Instytut Badawczy, Kolejowa 2, 62-064 Plewiska, aleksandra.kryszak@iwnirz.pl*
2. *Zakład Hodowli i Botaniki Roślin Użytkowych, Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich Państwowy Instytut Badawczy, ul. Wojska Polskiego 71 b, 60-630, Poznań, Polsk, mateusz.szymanczyk@iwnirz.pl*
3. *Zakład Farmakognozji i Biomateriałów, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Rokietnicka 3, 60-806, Poznań, judyta.piontek@iwnirz.pl*

słowa kluczowe: fibroin, silk, biomaterials, FTIR, XRPD

Fibroina jedwabiu, charakteryzuje się unikalnymi właściwościami mechanicznymi i wysoką biokompatybilnością, dzięki czemu stanowi wielofunkcyjny biomateriał mający potencjalne zastosowanie między innymi w medycynie regeneracyjnej oraz jako nośnik substancji aktywnych. W ramach niniejszych badań fibroinę pozyskano z kokonów różnych odmian jedwabników z hodowli prowadzonej w Instytucie Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich. Struktura otrzymanych próbek została szczegółowo scharakteryzowana przy użyciu spektroskopii w podczerwieni (FTIR) oraz proszkowej dyfrakcji rentgenowskiej (XRPD). Analiza umożliwiła ocenę stopnia uporządkowania struktury krystalicznej oraz różnic pomiędzy poszczególnymi odmianami. Wyniki dostarczają istotnych informacji dotyczących właściwości fizykochemicznych fibroiny pozyskanej z dziewięciu odmian jedwabników.

MATERIAŁY WŁÓKNIENNICZE W HODOWLI ŚLIMAKÓW W POLSCE I EUROPIE: WYZWANIA TECHNOLOGICZNE, ŚRODOWISKOWE ORAZ KIERUNKI INNOWACJI

Anita Ilska¹, Daniel Jan Marcasii²

1. Sieć Badawcza Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny, ul. Marii Skłodowskiej-Curie 19/27, 90-570 Łódź, email: anita.ilska@lit.lukasiewicz.gov.pl*
- 3 MARCASII (independent research initiative), Łódź, Poland, www.marcasii.com, e-mail address: danieljanmarcasii@gmail.com
*autor korespondencyjny

słowa kluczowe: heliculture, Cornu aspersum, Helix pomatia, agro-textiles, technical textiles, functional durability of textile products, sustainable production, microplastics, material innovations, environmental resistance, eco-technology, bio-based composites, circular economy

Hodowla ślimaków jadalnych (m.in. *Cornu aspersum* – syn. *Helix aspersa* – oraz *Helix pomatia*) stanowi dynamicznie rozwijający się segment agrotechniki ekologicznej w Polsce oraz innych krajach europejskich. Pomimo rosnącego zainteresowania helikulturą, brakuje kompleksowych analiz dotyczących materiałów włókienniczych wykorzystywanych w infrastrukturze ferm ślimaczych – takich jak siatki ochronne i cieniujące, osłony barierowe, maty czy worki siatkowe do suszenia i transportu.

Celem pracy jest przegląd aktualnego stanu wiedzy na temat funkcji i ograniczeń stosowanych tekstyliów technicznych, identyfikacja problemów zgłaszanych przez jednego hodowcę (studium przypadku; n=1), wskazanie luk badawczych w zakresie trwałości, bezpieczeństwa środowiskowego i funkcjonalności materiałów włókienniczych oraz potencjalnych kierunków rozwoju innowacyjnych rozwiązań.

Analiza literatury naukowej (Scopus, Web of Science) i źródeł branżowych z lat 2018–2025, uzupełniona obserwacjami pojedynczego hodowcy, sugeruje szereg wyzwań w tym m.in. niską trwałość worków transportowych, gromadzenie zanieczyszczeń na stołach reprodukcyjnych, niejednorodność

mikroklimatu inkubacyjnego, obecność drapieżników (np. gryzoni), a także ryzyko degradacji tworzyw syntetycznych (PP, PE, PET) i emisji mikroplastiku do gleby oraz organizmów ślimaków.

Zidentyfikowano lukę badawczą w zakresie badań wyrobów włókienniczych wykorzystywanych w hodowli ślimaków, w tym m.in. ich funkcjonalności, trwałości i oddziaływań środowiskowych, **oraz** ich wpływu na właściwości produktu końcowego. W pracy wskazano również potencjalne kierunki rozwoju innowacyjnych materiałów zawierających produkty pochodzenia ślimaczego (np. śluz, muszle CaCO_3).

Wnioski podkreślają potrzebę interdyscyplinarnych badań łączących inżynierię włókienniczą, ekotechnologię i praktykę fermową w celu opracowania nowych standardów materiałowych dla zrównoważonej helikultury w Europie.

GEOKOMPOZYTY NA BAZIE MATERIAŁÓW ODPADOWYCH DO ZABEZPIECZENIA ZBOCZY

Maciej Boguń, Mariusz Sawicki

Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny, ul. Marii Skłodowskiej-Curie 19/27 Łódź, mail: maciej.bogun@lit.lukasiewicz.gov.pl

słowa kluczowe: geokompozyty, zabezpieczenie zboczy, włókniny, materiały odpadowe

Rozwój inżynierii lądowej stwarza możliwości dla kreowania nowych rozwiązań w zakresie różnego typu materiałów włókienniczych do zastosowań technicznych. W chwili obecnej ze względu na dość ograniczone możliwości terenowe wykonywania inwestycji zarówno przemysłowych, drogowych, jak i mieszkaniowych ich realizację dokonuje się na terenach, które wymagają konieczności dodatkowego zabezpieczenia. W tym celu wykorzystuje się między innymi zastosowanie wyrobów geotekstylnych lub pokrewnych w celu ograniczenia lub zapobieżenia przemieszczaniu się gruntu lub innych cząstek na powierzchni, np. stosowania geomat. Wyroby włókiennicze (geotekstyli) mogą także pełnić inną rolę w procesach zabezpieczenia terenów, chociażby funkcje drenażowe lub stanowić odpowiednie zbrojenie.

Produkcja wyrobów włókninowych oraz kompozytowych generuje powstawanie różnych typów odpadów na bazie struktur włókienniczych. W tym kontekście stwarza to konieczność ich utylizacji, co wymiennie wpływa na rentowność produkcji. Dlatego też istotne jest poszukiwanie rozwiązań, które w znaczący sposób zagospodarują powstające w cyklu produkcyjnym odpady, co w konsekwencji powinno skutkować wzrostem efektywności ekonomicznej i mieć korzystny wpływ na środowisko naturalne.

W ramach realizacji prac koncepcyjnych opracowano nowe rozwiązania z zakresu materiałów geoinżynierskich bazujących na odpadowych strukturach włókienniczych powstających jako

kompozyty przy wytwarzaniu wyrobów dla sektora energetycznego. Uzyskane materiały charakteryzują się dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi oraz posiadają zdolność do wiązania nadmiaru wody, która może być w następnej kolejności uwalniana do gleby i wspierać porost terenów roślinami odpowiedzialnymi za jego wzmocnienie. W pewnej części zastąpić to może metalowe lub ceramiczne rozwiązania stosowane w geoinżynierii.

AKTYWNE OPAKOWANIA NA BAZIE CHITOZANU WZBOGAĆCONE EKSTRAKTEM Z LIŚCI MORWY (*MORUS ALBA*) O WŁAŚCIWOŚCIACH ANTYOKSYDACYJNYCH

Oskar Zimak-Krótkopad, Aleksandra Kryszak,
Aleksandra Dziopa, Mateusz Szymańczyk,
Judyta Cielecka-Piontek

*Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich Państwowy Instytut
Badawczy, Poznań*

Aktywne opakowania oparte na biopolimerach stanowią obiecującą alternatywę dla tradycyjnych materiałów syntetycznych, łącząc funkcje ochronne z dodatkowymi właściwościami funkcjonalnymi. Celem pracy jest ocena właściwości antyoksydacyjnych maceratów z liści morwy białej (*Morus alba*) w kontekście ich potencjalnego wykorzystania jako naturalnego dodatku funkcjonalnego do aktywnych opakowań na bazie chitozanu.

Chitozan jest biopolimerem, uzyskiwanym m.in. z jedwabników (*Bombyx mori*), o szerokim spektrum zastosowań, charakteryzującym się m.in. biodegradowalnością, aktywnością przeciwdrobnoustrojową oraz zdolnością do tworzenia filmów o korzystnych właściwościach barierowych. Cechy te sprawiają, że stanowi on materiał o dużym potencjale w technologii opakowań żywności.

Liście morwy białej stanowią bogate źródło związków bioaktywnych, takich jak kwasy fenolowe, flawonoidy czy 1-DNJ, które nadają im cenne właściwości prozdrowotne. W niniejszej pracy maceraty z liści *M. alba* (zebranych w różnych miesiącach) poddano analizie *in vitro* z wykorzystaniem testów CUPRAC, DPPH oraz FRAP, co pozwoliło potwierdzić ich aktywność przeciwutleniającą oraz porównać ją między różnymi okresami zbiorów. Otrzymane wyniki wskazują, że macerat z liści morwy może być wartościowym dodatkiem funkcjonalnym do folii chitozanowych, wzmacniając ich zdolność do ochrony produktów spożywczych przed niekorzystnymi procesami oksydacyjnymi.

Opracowane maceraty stanowią perspektywiczną propozycję w kierunku zrównoważonych, aktywnych systemów pakowania żywności, łącząc właściwości biodegradowalne chitozanu z naturalną aktywnością antyoksydacyjną ekstraktu z liści morwy.

NOWE MATERIAŁY NA BAZIE CHITOZANU ORAZ ICH WYBRANE ZASTOSOWANIA W BIOTECHNOLOGII I MEDYCYNIE

Monika Sikora, Maria Wiśniewska-Wrona

*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny, Centrum Gospodarki o Obiegu Zamkniętym, ul. Brzezińska 5/15, 92-103 Łódź,
e-mail: monika.sikora@lit.lukasiewicz.gov.pl; maria.wisniewska-wrona@lit.lukasiewicz.gov.pl*

słowa kluczowe: chitozan, biopolimery, inżynieria tkankowa, hodowle komórkowe, materiały opatrunkowe, matryce polimerowe

Chitozan jest związkiem, który może być stosowany na szeroką skalę w biomedycynie, m.in. jako nośnik leków czy też matryca dla związków biologicznie czynnych, jako materiał opatrunkowy przeznaczony do przyspieszonego gojenia ran, zwłaszcza zakażonych, ale również jako rusztowania komórkowe w hodowlach komórkowych i inżynierii tkankowej. Chitozon spełnia najważniejsze kryteria dla biomateriałów, m.in. kompatybilność, odpowiednie właściwości mechaniczne, morfologia i porowatość, nietoksyczność i biodegradowalność. Chitozan wspomaga adhezję, przyspiesza różnicowanie i proliferację komórek. Z chitozanu można tworzyć różne formy funkcjonalne w zależności od potrzeb i wymagań, w tym: hydrożele 3D, gąbki 3D, folie i membrany oraz nanowłókna. Ze względu na unikalne właściwości fizykochemiczne biopolimer ten może być również wykorzystany do oczyszczania białek terapeutycznych z endotoksyn bakteryjnych, co jest dziś istotnym problemem w oczyszczaniu produktów biotechnologicznych stosowanych w medycynie i farmacji. Chitozan wykazuje duży potencjał w leczeniu trudnogojących się ran, w antynowotworowych terapiach celowanych, inżynierii tkankowej oraz szeroko pojętej medycynie regeneracyjnej.

ROLA CHITOZANU W OCHRONIE ŚRODOWISKA I ZDROWIA SPOŁECZEŃSTWA JAKO POLIMERU POZYSKIWANEGO ZE ŹRÓDEŁ ODNAWIALNYCH

Maria Wiśniewska-Wrona, Monika Sikora

*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny, Centrum
Gospodarki o Obiegu Zamkniętym,
ul. Brzezińska 5/15, 92-103 Łódź, e-mail: [maria.wisniewska-
wrona@lit.lukasiewicz.gov.pl](mailto:maria.wisniewska-wrona@lit.lukasiewicz.gov.pl); monika.sikora@lit.lukasiewicz.gov.pl*

słowa kluczowe: chitozan, ochrona środowiska, ochrona zdrowia społeczeństwa, bioaktywność, biodegradowalność

Chitozan należy do polimerów przyszłości, który cieszy się od wielu lat zainteresowaniem naukowców. Jest również najważniejszą pochodną chityny – biopolimeru, który jest drugim po celulozie najbardziej rozpowszechnionym w przyrodzie polisacharydem, wytwarzanym na drodze naturalnej biosyntezy [1-2]. Chityna należy do polisacharydów zwierzęcych, gdyż występuje głównie w pancerzach skorupiaków morskich (takich jak kraby, krewetki, kryl), w szkielecie zewnętrznym owadów oraz ścianach komórkowych niektórych grzybów, drożdży czy pleśni. Chitozan otrzymuje się w wyniku procesu alkalicznej lub enzymatycznej deacetylacji chityny. Źródło pochodzenia chityny, jej właściwości oraz warunki prowadzenia procesu deacetylacji (temperatura, czas oraz stężenie alkaliów) mają istotny wpływ na chemiczną czystość i jakość parametrów związanych z biologiczną aktywnością i technologiczną użytecznością chitozanu, do których należy m.in. stopień deacetylacji i średnia masa molowa [3-4].

Olbrzymie zainteresowanie chitozanem oraz chityną wynika z ich właściwości fizykochemicznych oraz aktywności biologicznej. Oba te biopolimery znalazły zastosowanie w wielu dziedzinach gospodarki m.in. w przemyśle kosmetycznym, ochronie środowiska, rolnictwie, weterynarii, ale przede wszystkim w przemyśle farmaceutycznym i medycynie [5-7]. Z uwagi na lepszą rozpuszczalność i reaktywność, wyższą aktywnością

biologiczną charakteryzuje się chitozan i to ten polimer cechuje się znacznie szerszym spektrum zastosowań niż chityna [8].

Istotny wpływ na właściwości fizykochemiczne tego polisacharydu ma obecność w łańcuchu jego makrocząsteczki reaktywnych grup funkcyjnych, które przyczyniają się do występowania licznych wewnątrz- międzycząsteczkowych wiązań wodorowych. Rozpuszczalność chitozanu w wodnych roztworach kwasów, w wyniku sprotonowania wolnych grup aminowych, uważana jest za istotną zaletę tego polisacharydu. Zachowanie polikationowe, wynikające z obecności wolnych, protonowanych grup aminowych pozwala na tworzenie kompleksów z pochodnymi noszącymi ładunki ujemne, mogą to być polimery, białka, barwniki, DNA, RNA. Chitozan tworzy także chelaty z jonami metali, wymagając zaangażowania grup $-OH$ i $-O-$ w resztach D-glukozoaminowych jako ligandy, albo w innym wypadku dwóch lub więcej grup aminowych z pojedynczego łańcucha wiążących ten sam jon metalu. Wolne grupy aminowe w chitozanie są znacznie bardziej efektywne do kompleksowania jonów metali niż grupy acetylowe w chitynie [9-10].

Jego biodegradowalność, nietoksyczność i właściwości funkcjonalne sprawiają, że stanowi on ekologiczną alternatywę dla tworzyw sztucznych i ma szerokie zastosowanie w zarówno w ochronie środowiska, w tym w oczyszczaniu ścieków z metali ciężkich oraz w rolnictwie, jako naturalny środek stosowany do poprawy fizycznych właściwości gleby, tworząc lepsze warunki do wzrostu roślin oraz jako ekologiczny elicytor odporności roślin, który w sposób naturalny indukuje odporność całej rośliny na szereg chorób wywołanych przez patogeny [11-12].

Specyficzną właściwością chitozanu, która decyduje o jego medycznym zastosowaniu w ochronie zdrowia społeczeństwa jest bioaktywność, będąca wynikiem zachodzenia szeregu procesów i zjawisk takich jak: biodegradacja, oddziaływanie na membranę żywej komórki czy naturalne stymulowanie odporności organizmu. Aktywność biologiczna chitozanu uwarunkowana jest między innymi podatnością tego polimeru na degradację enzymatyczną, w wyniku działania enzymów występujących w płynach ustrojowych człowieka, w wyniku której powstają bioaktywne

oligomery glukozoaminy i N-acetylo-D-glukozoaminy. Prowadzone badania wykazały, że heksaminy do których należy N-acetylo-D-glukozoamina, przyspieszają ziarninowanie rany, a tym samym przyspieszają proces ich gojenia [13-14].

Literatura:

1. M. Mucha, *Chitozan wszechstronny polimer ze źródeł odnawialnych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, ISBN 978-83-204-3566-5, Warszawa, 2010.
2. K. Piekarska, M. Sikora, M. Owczarek, J. Jóźwik-Pruska and M. Wiśniewska-Wrona, *Chitin and Chitosan as Polymers of the Future—Obtaining, Modification, Life Cycle Assessment and Main Directions of Application*. *Polymers* 2023, 15, 793. <https://doi.org/10.3390/polym15040793>
3. M. Rinaudo, *Review, Main properties and current applications of some polysaccharides as biomaterials*. *Polym Int* 57: 2008; 397-430.
4. M. H. Struszczyk, *Chitin and Chitosan. Part I Properties and production*, *Polimery* 45, 2002, 316-323.
5. M.H. Struszczyk, *Chitin and Chitosan. Part II: Applications of chitosan*, *Polimery* 47, 2002, 396-401.
6. M. N. V. Ravi Kumar, *A review of chitin and chitosan applications*, *React. Funct. Polym.*, 46, 2000, 1-27.
7. M. Rinaudo, *Chitin and chitosan: Properties and applications*, *Prog. Polym. Sci.*, 31, 2006, 603-632.
8. I. Aranaz, M. Mengibar, R. Harris, I. Paños, B. Miralles, G. Acosta, G. Galed, Á. Heras, *Functional Characterization of Chitin and Chitosan*, *Curr. Chem. Biol.*, 3, 2009, 203-230.
9. P. Radomski, M. Piątkowski, D. Bogdał, A. Jarosiński, *Zastosowanie chitozanu oraz jego modyfikowanych pochodnych do usuwania śladowych ilości metali ciężkich ze ścieków przemysłowych*, *Chemik* 2014, 68, 1, 39-46.
10. M. Sikora, M. Wiśniewska-Wrona, M. Arabski, *Biomedyczne właściwości chitozanu – zastosowanie w inżynierii tkankowej*, *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej / Advances in Hygiene and Experimental Medicine*, DOI: 10.2478/ahem-2021-0015 • AHEM • Vol. 75/2021 • 1020-1037
11. K. Li, R. Xing, S. Liu, and P. Li, *Chitin and Chitosan Fragments Responsible for Plant Elicitor and Growth Stimulator*, *J. Agric. Food Chem.* 2020, 68, 12203-12211, <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.0c05316>
12. W. F. Abobatta, *Chitosan: A promising plant stimulant*, *Int. J. Agric. Sc. Food. Technol.* 2023, 9(4): 098-103. DOI: <https://dx.doi.org/10.17352/2455-815X.000199>
13. P. Mazurek, S. Kuliński, J. Gosk, *Możliwości wykorzystania chityny i chitozanu w leczeniu ran*, *Polim. Med.* 2013, 43, 4, 297-302.
14. H. Naveena A, A. Kumar, A. Agrawal, L. Mavely, and D. Bhatia, *Characterization of a Bioactive Chitosan Dressing: A Comprehensive Solution for Different Wound Healing Phases*, *ACS Appl. Bio Mater.* 2025, 8, 1921-1933

CZY PAPIER = EKO? RECYKLOWALNOŚĆ OPAKOWAŃ W ŚWIETLE BADAŃ LABORATORYJNYCH

Justyna Wietecha, Patrycja Miros-Kudra

Sieć Badawcza Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny, ul. Marii Skłodowskiej-Curie 19/27, 90-570 Łódź

Słowa kluczowe: opakowania papierowe, recykling, eko-projektowanie

Ekologiczność opakowań papierowych wynika nie tylko z ich potencjalnej biodegradowalności, lecz przede wszystkim z możliwości ich efektywnego recyklingu materiałowego. W podejściu eco-design oraz oceny cyklu życia (LCA) kluczowe jest projektowanie wyrobów tak, aby ich skład chemiczny, struktura oraz zastosowane komponenty (warstwy funkcjonalne, powłoki, kleje, barwniki) nie ograniczały procesów rozwłókniania, odzysku włókien oraz ich ponownego przetwarzania. Za materiał ekologiczny uznaje się więc taki, który:

- umożliwia odzysk wysokiego udziału włókien celulozowych przy minimalnej ilości odrzutu,
- charakteryzuje się stabilną jakością odzyskanych włókien, pozwalającą na ich ponowne wykorzystanie w procesach papierniczych,
- generuje niską zawartość substancji rozpuszczonych (ekstrakty, środki chemiczne) w obiegu wodnym,
- nie wprowadza do procesu recyklingowego komponentów utrudniających separację (np. barier polimerowych, silnie usieciowanych powłok, „stickies”).

Prowadzone w Łukasiewicz-ŁIT badania laboratoryjne umożliwiają ocenę rzeczywistej recyklowalności wyrobów papierowych i pozwalają na weryfikację, czy zastosowane rozwiązania materiałowe są zgodne z wymaganiami gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) oraz europejskimi kryteriami eco-designu. Badania prowadzone są zgodnie z procedurą CEPI *"Paper and Board – Recyclability Laboratory Test Method – Part I – Recycling Mill with Conventional Process"* (ver. 3, 2025). Realizowane

badania mają na celu wspieranie rozwoju innowacyjnych metod wytwarzania wyrobów papierowych zgodnych z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) oraz dostarczanie wiarygodnych danych niezbędnych do optymalizacji procesów recyklingowych w przemyśle opakowaniowym.

SESJA III BIO

INTEGRACJA PROCESU PROJEKTOWANIA WYROBÓW MEDYCZNYCH Z WYMAGANIAMI ROZPORZĄDZENIA 2017/745

Karolina Skołucka- Szary

*Global Certification Body Sp. z o.o., Ul. Królewska 18, 00-103 Warszawa,
e-mail: k.szary@gcbcrt.com*

słowa kluczowe: innovation, medical devices, biomaterials, certification, conformity assessment

Proces projektowania nowego wyrobu medycznego, obejmujący cały jego cykl życia – od etapu koncepcji po wprowadzenie na rynek – wymaga ścisłego powiązania z wymaganiami Rozporządzenia (UE) 2017/745 (MDR), odpowiednimi normami zharmonizowanymi oraz wspólnymi specyfikacjami. Kluczowym elementem tego procesu jest właściwe zaplanowanie działań umożliwiających przeprowadzenie oceny zgodności, a w przypadku wyrobów klasy Is, Im, Ir, IIa, IIb oraz III – uzyskanie certyfikacji od niezależnej Jednostki Notyfikowanej.

W procesie projektowania należy uwzględnić nie tylko wymagania MDR, lecz także odpowiednie normy, takie jak ISO 13485, ISO 14971, IEC 62366, IEC 60601-1 dla wyrobów aktywnych oraz ISO 62304 dla oprogramowania. Istotnym etapem jest również planowanie badań przedklinicznych i klinicznych, opracowanie oceny klinicznej oraz – w przypadku zastosowania procedur specjalnych – uwzględnienie czasu potrzebnego na pełną ocenę zgodności, zwłaszcza w odniesieniu do wyrobów zawierających pochodne tkanek ludzkich lub zwierzęcych bądź substancje lecznicze.

Starannie zaplanowany i przeprowadzony proces projektowania stanowi kluczowy czynnik wpływający na efektywność oceny zgodności oraz skuteczne wprowadzenie wyrobu medycznego na rynek.

BIOKOMPOZYTY POLIMEROWO-CERAMICZNE DO REGENERACJI KOŚCI

Monika Biernat^{1*}, Anna Sylla¹, Lidia Ciołek¹, Agnieszka Kubiś², Natalia Karska², Justyna Sawicka², Mirosława Panasiuk³, Milena Chraniuk³, Beata Gromadzka³, Sylwia Rodziewicz-Motowidło²

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Grupa Badawcza Biomateriały, ul. Cementowa 8, 31-983 Kraków

² Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Zakład Chemii Biomedycznej, ul. Wita Stwosza 63, 80-308 Gdańsk

³ Instytut Biotechnologii i Medycyny Molekularnej, Zakład Badań In Vitro, ul. Kampinoska 25, 80-180 Gdańsk

* e-mail: monika.biernat@icimb.lukasiewicz.gov.pl

słowa kluczowe: biokompozyty, chitozan, bioszkoło, peptydy

Biozgodność, odpowiednie właściwości użytkowe i łatwa dostępność to podstawowe wymagania jakie stawia się biomateriałom do zastosowań w implantologii.

Opracowano wielofunkcyjne biomateriały do wypełnień i regeneracji tkanki kostnej, w postaci porowatych struktur na podstawie biokompozytu chitozanowego z udziałem bioszkoła. Chitozan, jako naturalny i nietoksyczny polimer, posiada właściwości przeciwdrobnoustrojowe, przeciwwzkrzepowe i przeciwutleniające. W rekonstrukcji i leczeniu tkanki kostnej reguluje proces regeneracji komórek oraz mineralizacji odtwarzanych struktur. Zastosowany w prezentowanym kompozycie wypełniacz w postaci bioszkoła stanowi prekursor bioaktywności, a jego odpowiednio dobrany skład zapewnia również właściwości przeciwdrobnoustrojowe. Porowata struktura sprawia, że kompozyt chitozan/bioszkoło jest doskonałym nośnikiem aktywnych biologicznie peptydów, którymi wzbogacono skład. Zastosowano biologicznie aktywne peptydy wykazujące właściwości: antybakteryjne, proregeneracyjne lub przeciwzapalne. Poprzez wzajemne i synergistyczne oddziaływanie poszczególnych składników omawianych biomateriałów, możliwe jest nie tylko

zapewnienie podstawowych wymagań stawianych biomateriałom, ale również dodatkowo wzmocnienie właściwości istotnych pod względem aplikacji biomedycznych w implantacji tkanki kostnej. Przedstawiane biomateriały są bioaktywne, cytozgodne *in vitro* i wykazują właściwości antybakteryjne. Dodatkowo dla wybranego biokompozytu chitozan/bioszkło/peptyd potwierdzono koncepcję materiału implantacyjnego w warunkach użytkowania i wykazano biozgodność *in vivo* w badaniach implantacyjnych na małym modelu zwierzęcym.

Badania były realizowane w ramach projektu „Wielofunkcyjny materiał kompozytowy o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych i pro-regeneracyjnych do odbudowy tkanki kostnej” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (TECHMATSTRATEG2/ 406384/7/NCBR/2019).

PO CO NAM OPATRUNKI SPECJALISTYCZNE?

Przemysław Lipiński, Agnieszka Lipińska

Pracownia Leczenia Ran, Łódź

Leczenie ran trudno gojących się polega na poszukiwaniu przyczyny wstrzymującej fizjologiczny proces gojenia oraz na podejmowaniu działań zmierzających do usunięcia rozpoznanych przeszkód. Czynniki uniemożliwiające gojenie mogą być zarówno natury ogólnoustrojowej, jak i dotyczyć okolicy gdzie znajduje się rana, np. konkretnej kończyny, albo też być ściśle związane z samą raną. Może również występować koincydencja wielu wymienionych czynników. W tym kontekście postępowanie miejscowe w obrębie rany jest tylko wycinkiem procesu diagnostyczno-terapeutycznego.

Wyroby medyczne, w tym opatrunki, mogą odgrywać rolę zarówno w usuwaniu przeszkód związanych z samą raną, jak i przy nieprawidłowym doborze, nieadekwatnym do aktualnego stanu miejscowego, mogą same stanowić przeszkodę w gojeniu. Prawidłowo dobrany opatrunek zapewnia wytworzenie i utrzymanie właściwego, wilgotnego środowiska, optymalnego dla przebiegu procesów fizjologicznych.

Naturalny proces oczyszczania rany a następnie regeneracji uszkodzonych tkanek może być również wspierany aktywnie, przy zastosowaniu wyrobów opatrunkowych nowej generacji. Opatrunek może być nośnikiem substancji przyspieszających autolizę martwicy, redukujących obciążenie bakteryjne, zmieniających środowisko rany, uzupełniających deficytowe substraty, albo wiążących czynniki niepożądane. Może również wprost dostarczać ustrukturyzowane komponenty do „wbudowania” w tkanki.

Właściwy dobór opatrunku, uwzględniający różne aspekty fizjologicznego i nefizjologicznego gojenia jest ważnym elementem kompleksowego procesu leczenia chorego z raną trudno gojącą się, natomiast nie może być traktowany jako jedyna i główna forma terapii.

SESJA IV ECO

KONIEC CYKLU ŻYCIA PRODUKTU – PROBLEMATYKA WYCOFANIA Z UŻYTKOWANIA ŚRODKÓW OCHRONY INDYWIDUALNEJ

Joanna Szkudlarek

*Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Wierzbowa 48, 90-133 Łódź, e-mail: joszk@ciop.lodz.pl*

słowa kluczowe: bezpieczeństwo pracy, środki ochrony indywidualnej, data przydatności, stan techniczny, degradacja, procesy starzeniowe, sektor off-shore

Decyzję o wycofaniu z użycia środków ochrony indywidualnej (ŚOI) może podjąć sam użytkownik tych środków lub osoba odpowiedzialna za bezpieczeństwo pracy w zakładzie. ŚOI dzielą się na jednorazowe lub wielorazowe. Jednorazowe ŚOI, zgodnie z nazwą wycofujemy z użycia po pierwszym założeniu, stanowią one często odpady niebezpieczne i muszą być poddawane specjalistycznej utylizacji. Wielorazowe ŚOI wymagają innego postępowania. Mogą być czyszczone, dezynfekowane i serwisowane do momentu decyzji o utracie właściwości ochronnych. Taka decyzja powinna wynikać z niezbędnej wiedzy i doświadczenia. Na podstawie badania ankietowego oraz licznych rozmów ze specjalistami BHP wynika, że nie jest to temat łatwy a procedura oceny stanu technicznego ŚOI wymaga wsparcia. To również duża odpowiedzialność, ponieważ zbyt odwołana decyzja o wycofaniu z użytkowania może przyczynić się do zagrożenia zdrowia i życia użytkownika, z drugiej strony może skutkować posądzeniem o niegospodarność.

Istnieje wiele czynników, które mogą wpływać na skrócenie terminu przydatności ŚOI, wśród tych oczywistych, jak intensywność użytkowania i warunki użytkowania należy uwzględnić wpływ materiału, z którego są wykonane i jego podatność na przyspieszone starzenie. Stąd, właściwe podejście do szacowania terminu przydatności do użycia to odrębne podejście dla każdego typu ŚOI z wyszczególnieniem sektorów pracy o ekstremalnych warunkach eksploatacji (m.in. sektor off-shore).

Brak jest dotychczas usystematyzowania wiedzy specjalistów BHP i użytkowników sprzętu ochronnego na temat rzeczywistego czasu przydatności do użycia ŚOI. Postępowanie z ŚOI na końcu cyklu życia wymaga opisanie i wprowadzenia wytycznych do stosowania w praktyce. Obszar ten zidentyfikowano jako wymagający wsparcia, co stanowiło podstawę do podjęcia w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy-Państwowym Instytucie Badawczym działań w celu opracowania narzędzi wspierających decyzyjność.

NOWE MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA GRZYBÓW ENTOMOPATOGENNYCH – BIOTRANSFORMACJA I BIODEGRADACJA ZEARELENONU

Sylwia Różalska, Monika Nowak

*Uniwersytet Łódzki, Katedra Mikrobiologii Przemysłowej i Biotechnologii,
Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, ul. Banacha 12/16, 90-235 Łódź,
e-mail: sylwia.rozalska@biol.uni.lodz.pl*

słowa kluczowe: grzyby entomopatogenne, biokontrola, biodegradacja

Grzyby entomopatogenne to mikroorganizmy infekujące i zabijające stawonogi, odgrywające kluczową rolę w naturalnej regulacji liczebności owadów. Dzięki możliwościom masowej produkcji są szeroko stosowane w rolnictwie oraz ogrodnictwie integrowanym i ekologicznym jako bioinsektycydy. Drobnoustroje te stanowią bezpieczniejszą alternatywę dla tradycyjnych środków chemicznych, których stosowanie jest systematycznie ograniczane. Należy jednak zaznaczyć, że potencjał aplikacyjny tej grupy drobnoustrojów wydaje się być znacznie szerszy i wykracza poza zwalczanie stawonogów. Przykładem może być poprawa wzrostu roślin, transfer azotu z martwego owada do rośliny oraz, rzadziej opisywana, ich zdolność do biotransformacji i biodegradacji związków toksycznych. Zdolność tę wykazano m.in. u gatunków z rodzaju *Metarhizium*, które potrafią rozkładać herbicydy triazynowe, takie jak ametryna i atrazyna, a także zanieczyszczenia fenolowe, np. nonylofenol.

W ostatnio przeprowadzonych badaniach wykazaliśmy, że grzyby entomopatogenne w wydajny sposób przekształcają mykotoksynę fuzaryjną zearalenon (ZEN), która jest silnie toksyczna i ma działanie estrogenowe. Jest to związek szczególnie niebezpieczny dla ludzi i zwierząt, bardzo często wykrywany w paszach i zbożach przeznaczonych do spożycia.

Na szczególną uwagę zasługuje zdolność *Metarhizium anisopliae* do przekształcania i biodegradacji ZEN. Kluczowym etapem rozkładu ZEN jest rozszczepienie wiązania laktonowego, co może znacząco

obniżyć toksyczność tego związku. W przeprowadzonych badaniach wykazaliśmy, że reakcja ta zachodzi również po w zredukowanych formach ZEN. Udokumentowaliśmy także dalszy rozkład metabolitów ZEN po rozszczepieniu wiązania laktonowego, poprzez sekwencyjne skracanie łańcucha alifatycznego, głównie w wyniku naprzemiennego utleniania i demetylacji, prowadzący do powstania trihydroksybenzenu. Podwyższone poziomy mRNA monooksygenaz cytochromu P450 (CYP450) u *M. anisopliae* sugerują ich istotny udział w degradacji ZEN, a hamowanie CYP450 poprzez inhibitory powoduje wyraźne przesunięcie stosunku epimerów α/β zearalenoli i zearalanoli w kierunku form β . Uzyskane wyniki podkreślają przydatność *M. anisopliae* w bioremediacji środowisk zanieczyszczonych nie tylko pestycydami, ale i mykotoksynami, a także wyznaczają kierunki dalszego doskonalenia strategii aplikacyjnych.

Badania częściowo finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektów OPUS (2024/53/B/NZ9/01058) i MINIATURA (2023/07/X/NZ9/00547).

ZASTOSOWANIE FRAKCJONOWANIA PIANOWEGO DO EKOLOGICZNEJ SEPARACJI BIOSURFAKTANTÓW Z ORZECHA PIORĄCEGO (*SAPINDUS MUKOROSSEI* GAERTN.)

Mateusz Sochacki¹, Piotr Michorczyk², Otmar Vogt²

¹*Politechnika Krakowska, Szkoła Doktorska PK, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Warszawska 24, Kraków, 31-155, Polska*

²*Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Warszawska 24, Kraków, 31-155, Polska*

słowa kluczowe: frakcjonowanie pianowe, separacja, orzech piorący, saponiny, biosurfaktanty

Surfaktanty za sprawą swoich właściwości znajdują szerokie zastosowanie w wielu produktach codziennego użytku. Stosowanie surfaktantów jest często niezbędne, ale bywa również nadużywane w przemyśle, co wiąże się z dużym zużyciem tych związków i stanowi rosnące zagrożenie dla środowiska naturalnego, a w konsekwencji dla zdrowia i życia ludzkiego. W momencie uwolnienia do środowiska zanieczyszczają gleby oraz zbiorniki wodne, następnie akumulują się w organizmach żywych. Ich utrudniona biodegradacja oraz przemiany pogłębiają jedynie skalę zagrożenia. Biosurfaktanty stanowią ekologiczną alternatywę dla przemysłowych detergentów. Do grupy naturalnych detergentów zalicza się m.in. saponiny, klasyfikowane jako glikozydy roślinne o właściwościach amfifilowych. Saponiny wykazują doskonałe właściwości powierzchniowo-czynne lecz są również biodegradowalnym, odnawialnym oraz bezpiecznym źródłem detergentów. Produkcja saponin w skali przemysłowej jest obecnie kosztowna i mało wydajna, co łączy się z wysokimi kosztami stosowania tego typu produktów. W związku z powyższym celowe jest wprowadzenie innych metod ich otrzymywania, tańszych i zgodnych z prawami „zielonej chemii”. Jedną z metod umożliwiającą otrzymywanie naturalnych saponin z materiału roślinnego, jest technologia frakcjonowania pianowego. Technologia wykorzystuje spontaniczną adsorpcję surfaktantów na

granicy gaz-ciecz. Ich zawartość na granicy międzyfazowej jest zazwyczaj znacząco zwielokrotniona w stosunku do ich zawartości w głębi cieczy. Omawiana technologia frakcjonowania pianowego wykorzystuje adsorpcję saponin na powierzchni pęcherzy powietrza, wspieraną przez barbotaż gazu do wnętrza wodnych roztworów. W procesie generowana jest piana wzbogacona w saponiny, co umożliwia ich selektywną separację z roztworów wieloskładnikowych.

W bieżącej pracy zaprezentowane zostaną podstawowe mechanizmy frakcjonowania pianowego oraz liczne zastosowania technologii. Przedstawione zostaną również wyniki badań nad separacją saponin triterpenoidowych zawartych w owocach orzecha piorącego (*Sapindus mukorossi* Gaertn.). W badaniach zastosowana została nowatorska kolumna separacyjna wykonana z wykorzystaniem technologii druku 3D. Zaprojektowana aparatura badawcza może pracować w trybie okresowym, jedno i dwustopniowym, zapewniając wysoką wydajność separacji saponin z rozcieńczonych roztworów wodnych. W kolumnie jednostopniowej możliwe jest wzbogacenie stężenia saponin z 0,06 do 3,00 mg/cm³, co odpowiada współczynnikowi wzbogacenia równemu 48,23 i odzyskowi wynoszącemu 16,00%. W optymalnych warunkach pracy tryb dwustopniowy umożliwił separację saponin, osiągając całkowity procent odzysku wynoszący 71,63%, czyli znacznie więcej niż w trybie jednostopniowym. Wzbogacony produkt poddano analizie FT-IR, UV-VIS i HPLC UV-VIS/DAD, potwierdzając zawartość glikozydów cyklicznych i acyklicznych. Opracowana technologia zapewnia maksymalną wydajność separacyjną na poziomie ponad 100-krotnego zateżenia i wzrost stężenia saponin do 7,04 mg/cm³.

ZAAWANSOWANE KOMPOZYTY WĘGLOWO-SIARKOWE JAKO PERSPEKTYWICZNE MATERIAŁY W OCHRONIE ŚRODOWISKA I OCHRONIE ZDROWIA

Marlena Bytniewska^a, Dominika Filas^a, Anna Michalicha^b,
Dorota Kołodyńska^a, Anna Belcarz-Romaniuk^b,
Mariusz Barczak^a

^a*Instytut Nauk Chemicznych, Wydział Chemii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, pl. Marii Curie-Skłodowskiej 5, 20-031 Lublin, POLSKA*

^b*Katedra i Zakład Biochemii i Biotechnologii, Wydział Farmaceutyczny, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, ul. Chodźki 1 (Collegium Universum), 20-093 Lublin, marlena.bytniewska@mail.umcs.pl*

słowa kluczowe: platyna, chemioterapeutyki, adsorbenty, ścieki, odzysk, hydrożele, adsorpcja

Platynowe leki przeciwnowotworowe stosowane są nawet w 70% wszystkich chemoterapii, co niesie za sobą w konsekwencji wydalanie ich z organizmu pacjenta głównie z moczem, skąd trafiają do ścieków, gdzie stanowią trwałe i potencjalnie szkodliwe dla środowiska zanieczyszczenia. Platyna jest szkodliwa, ponieważ jej związki mogą reagować z białkami, peptydami czy DNA powodując uszkodzenie komórek organizmów żywych, a także wywoływać reakcje alergiczne i stany zapalne w organizmie np. podczas narażenia przy ekspozycji zawodowej na sole platyny.

Z drugiej strony jest ona metalem ekonomicznie cennym, którego potencjalny odzysk nie tylko przyniósłby korzyści ekologiczne, ale również znalazłby ponowne zastosowanie jako materiał stosowany w elektrochemii, farmacji, stomatologii czy przemyśle [1]. Wychodząc naprzeciw temu problemowi niektóre szpitale opracowują systemy oczyszczania ścieków, często oparte na adsorpcji ze względu na jej wysoką skuteczność i niski koszt [2,3].

U podstaw skutecznego zastosowania technik sorpcyjnych zawsze było użycia wydajnych i tanich sorbentów [4,5]. Istnieje szeroka gama materiałów sorpcyjnych testowanych w powyższych

zastosowaniach, ze względu na liczne zalety metod adsorpcyjnych, tj. prostotę, ekologiczność i opłacalność. Należą do nich m.in. żywice, materiały typu MOF, nanocząstki magnetyczne, polimery syntetyczne, biomasa roślinna oraz węgle aktywne [6]. Te ostatnie okazały się szczególnie interesujące ze względu na dużą powierzchnię właściwą, niski koszt i możliwość wielokrotnej regeneracji, umożliwiające wyjątkowo skuteczne zastosowania sorbentów węglowych w wielu zastosowaniach.

W niniejszych badaniach postanowiliśmy przetestować zaawansowane kompozyty węglowo-siarkowe (STACs) jako nową klasę materiałów do adsorpcji chemioterapeutyków. W pełni kontrolowana obecność siarki oraz regulowana porowatość czynią je bowiem niezwykle obiecującymi kandydatami do ukierunkowanych zastosowań środowiskowych. Co więcej, zastosowana zrównoważona metoda SASI (*Steam Assisted Sulfur Insertion*) jest przyjazna środowisku, tania i łatwo skalowalna [7].

W niniejszej pracy przedstawiono syntezę nanoporowatych kompozytów węglowo-siarkowych do usuwania leków cytostatycznych na bazie platyny (cisplatyny, oksaliplatyny i karboplatyny) z wody i modelowych ścieków szpitalnych. Charakterystykę otrzymanych materiałów przeprowadzono m.in. za pomocą XPS, SEM, analizy elementarnej i sorpcji azotu. Materiały skutecznie adsorbowały związki platyny i umożliwiały ich częściowe odzyskanie, a jednocześnie wykazywały właściwości przeciwbakteryjne w środowisku ścieków. Ponadto włączenie STACs do matryc hydrożelowych pozwoliło w warunkach laboratoryjnych uzyskać materiały o unikalnych właściwościach, łączących biogodność alginianu z funkcjonalnością sorpcyjną i antybakteryjną STACs.

Podziękowania: Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki, grant nr 2023/51/B/ST5/01911, pt. Nowe zaawansowane węgle dostrajane siarką: synteza, charakterystyka i zastosowania.

Literatura

- 1 Y. Chen i in. Chen Y, *Nat Sustain* [Internet] (2021);4(7):618–26
- 2 S.N. Mahnik i in., *Chemosphere*, 66 (2007) 30–37
- 3 K. Lenz i in., *Water Sci. Technol.*, 56 (2007) 141–149

- 4 J. Dobrzyńska i in., *J. Environ. Chem. Eng.*, 9 (2021) 105302
- 5 L. Elci i in., *Anal. Sci.*, 19 (2003) 1621–1624
- 6 T.C. Maponya i in., *Environ. Nanotechnol. Monit. Manage.*, 20 (2023) 100805
- 7 M. Barczak i in., *Adv. Funct. Mater.*, 34 (2024) 2310398

EFEKTYWNOŚĆ OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW BYTOWYCH Z PRZEMYSŁU PIWOWARSKIEGO

Alicja Waleriańczyk, Alicja Szymańska,
Dorota Cierniak, Bogdan Wyrwas

Instytut Chemii i Elektrochemii Technicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań, e-mail: bogdan.wyrwas@put.poznan.pl

słowa kluczowe: ścieki, oczyszczalnia ścieków, surfaktanty, metoda MBAS, stopień redukcji zanieczyszczeń

Ścieki definiuje się jako zużyte ciecze, roztwory, koloidy lub zawiesiny, a także odpadowe ciała stałe, które są odprowadzane za pomocą odpowiednio przystosowanych rurociągów prowadzących do oczyszczalni ścieków, a także do odbiorników naturalnych, zbiorników lub cieków wodnych, itp. Substancje przemysłowe oraz odpady żywnościowe i fekalia z miejskich i osiedlowych gospodarstw domowych są do nich odprowadzane. Wśród ścieków można wyróżnić: ścieki bytowo-gospodarcze, ścieki przemysłowe, ścieki rolnicze, ścieki komunalne, wody opadowe. Oczyszczalnia ścieków to zespół budowli składający się z podstawowych obiektów technologicznych, służących bezpośrednio do oczyszczania ścieków i zneutralizowania osadów ściekowych oraz znajdujących się na wspólnym terenie obiektów pomocniczych, niezbędnych do dostarczania energii czy stworzenia odpowiednich warunków pracy, w tym przebiegu, kierowania i kontroli procesów technologicznych. Przemysł browarniczy odprowadza ścieki o wysokim stężeniu BZT i ChZT, więc oczyszczalnie są projektowane jako wydzielone jednostki w zakładzie albo współpracują z oczyszczalniami komunalnymi znajdującymi się w lokalnych miejscowościach. Browary coraz częściej korzystają z odzysku energii, np. z biogazu produkowanego na oczyszczalni ścieków — co redukuje zanieczyszczenia oraz koszty operacyjne. W praktyce obecnie nadal występują wyzwania związane z heterogenicznością strumienia ścieków, np. zmienne obciążenie, pH, zawiesiny.

Wyzwanie stanowi także potrzeba integracji oczyszczania mechanicznego, biologicznego i chemicznego, tak aby nie obciążać ściekami poprodukcyjnymi ekosystemu. Surfactanty (substancje powierzchniowo czynne) to związki chemiczne, które przejawiają aktywność powierzchniową, czyli efektywną zdolność do obniżania napięcia powierzchniowego na granicy dwóch faz. Ich zawartość w ściekach surowych jak i oczyszczonych można określić metodami: z użyciem testów kuwetowych, uproszczoną metodą MBAS (surfactanty anionowe) oraz BiAS-tio (surfactanty niejonowe). Stopień redukcji zanieczyszczeń to wskaźnik określający skuteczność i efektywność procesu oczyszczania ścieków poprzez porównanie ilości zanieczyszczeń przed i po oczyszczaniu. Wśród typów redukcji zanieczyszczeń pod względem zoptymalizowania stężenia danego składnika wyróżnia się: redukcję azotu ogólnego, fosforu ogólnego, zawiesiny ogólnej, BZT₅, ChZT.

Stopień redukcji zanieczyszczeń można wyznaczyć procentowo za pomocą wzoru:

$$\eta = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \cdot 100\%$$

gdzie:

η – stopień redukcji zanieczyszczeń [%]

C_{in} – stężenie zanieczyszczeń przed procesem oczyszczania

C_{out} – stężenie zanieczyszczeń po procesie oczyszczania.

SESJA V BIO

Integracja struktur podporowych z komponentami komórkowym w bioinżynierii układu naczyniowego

Bartosz Kempisty^{1,2,3,4}, Tomasz Górnicki⁵,
Aleksandra Partyńska⁵, Piotr Dzięgiel^{5,6}

- ¹ Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu, Zakład Anatomii Prawidłowej, 50-368 Wrocław, Chałubinskiego 6a, Polska. - bartosz.kempisty@umw.edu.pl
- ² University Hospital and Masaryk University, Department of Obstetrics and Gynecology, Brno 625 00, Czech Republic.
- ³ Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Instytut Medycyny Weterynaryjnej, 87-100 Toruń, ul. Gagarina 7, Polska.
- ⁴ North Carolina State University, Physiology Graduate Faculty, Raleigh, NC 27695, USA.
- ⁵ Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu, Zakład Histologii i Embriologii, 50-368 Wrocław, Chałubinskiego 6a, Polska.
- ⁶ Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu, Katedra Biologii Człowieka i Kosmetologii, 51-612 Wrocław, al Ignacego Jana Paderewskiego 35, Polska.

słowa kluczowe: bioinżynieria, medycyna regeneracyjna, inżynieria komórkowa, inżynieria tkankowa

Znaczący postęp w dziedzinie medycyny regeneracyjnej związany jest przede wszystkim z rozwojem dwóch gałęzi nauki, biologii komórkowej oraz inżynierii materiałowej. W medycynie regeneracyjnej układu naczyniowego dominującą rolę pełnią techniki podporowe. Wykorzystanie nowoczesnych materiałów umożliwia odtworzenie przebiegu naczyń oraz zaopatrywanie uszkodzeń mechanicznych. Pomimo udowodnionej skuteczności oraz zastosowania technik integracji urządzeń z lekami ułatwiającymi integrację z otaczającymi tkankami, użycie tych rozwiązań wiąże się z wieloma ograniczeniami oraz szeregiem potencjalnych powikłań. Opracowanie modelu integracji komórek budujących ścianę naczyń krwionośnych ze stosowanymi

powszechnie materiałami w inżynierii biomedycznej pozwalają przyjrzeć się bliżej w kontrolowanych warunkach morfologii oraz fenotypowi komórek a także zbadać funkcjonalną kompatybilność z testowanymi polimerami. Podobnie jak w przypadku prawie każdego organu w ludzkim ciele, w naczyniach krwionośnych obecne są również komórki macierzyste stanowiące rezerwuuar potencjału regeneracyjnego. Bezpośredni kontakt z materiałem obcym, pomimo braku zdolności do wywołania zapalenia, może mieć bezpośredni wpływ na ich zdolności do różnicowania, co może stanowić jedną z przyczyn zarostania protez oraz łat naczyniowych.

WYBÓR METODY STERYLIZACJI PODCZAS PROJEKTOWANIA NOWEGO WYROBU MEDYCZNEGO - DLACZEGO JEST TO ISTOTNE?

Radosław Wach

*Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny,
Politechnika Łódzka, ul. Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź,
e-mail: radoslaw.wach@p.lodz.pl*

słowa kluczowe: sterylizacja biomateriałów, sterylizacja termiczna, sterylizacja tlenkiem etylenu, sterylizacja promieniowaniem

Naukowcom często brakuje świadomości jak niezwykle istotnym jest rozważenie możliwości sterylizacji wyrobu medycznego, który właśnie projektują lub rozwijają. Nawet najbardziej innowacyjne rozwiązanie, które ma w założeniu ratować zdrowie i życie pacjenta, staje się bezużyteczne, jeżeli nie uda się przeprowadzić skutecznej sterylizacji (dotyczy wyrobów dostarczanych w stanie sterylnym lub podlegających konieczności sterylizacji w miejscu użycia). Wyroby zawierające materiał biologiczny, zbudowane z wielu biomateriałów, zawierające elektronikę lub posiadające elementy z materiałów ulegających reakcjom chemicznym w kontakcie z środkiem sterylizującym, które wymagają sterylności zawsze stanowią wyzwanie dla projektanta. Gdy wydaje się, że rozwijany biomateriał będzie miał doskonałe właściwości fizykochemiczne i biologiczne, a produkt właściwe własności użytkowe i pożądaną funkcjonalność, należy znaleźć odpowiedź na pytanie, w jaki sposób można go będzie wysterylizować bez pogorszenia tych kluczowych parametrów.

Do dyspozycji jest szereg dostępnych metod sterylizacji, dla których można udowodnić wymagany „poziom zapewnienia sterylności” ($SAL = 10^{-6}$, wg ISO 556-1) poprzez przeprowadzenie eksperymentów walidacyjnych kierując się wytycznymi w dedykowanych normach – PQ walidacja mikrobiologiczna. Jednakże, producent musi również udowodnić, że wyrób poddany danemu procesowi sterylizacji spełni wymagania użytkowe, czyli że

sterylizacja nie wpłynie negatywnie na biokompatybilność i nie pogorszy jego właściwości.

Zostaną zaprezentowane dostępne metody sterylizacji, kryteria wyboru oraz podane przykłady ich zastosowania do wybranych biomateriałów i produktów na etapie ich rozwoju.

INŻYNIERIA ELEKTRYCZNA W TECHNOLOGII WŁÓKIENNICZEJ

Tomasz Czapka

*Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Politechnika
Wrocławska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław,
e-mail: tomasz.czapka@pwr.edu.pl*

słowa kluczowe: elektroprzędzenie, nanowłókno, inżynieria wysokich napięć, polimer

Wytwarzanie nanowłókien w dobie miniaturyzacji wielu procesów technologicznych może stanowić istotny element współczesnego włókiennictwa. Szczególnie istotnym aspektem wydaje się być otrzymywanie nanostruktur w postaci nanowłókniстых materiałów kompozytowych o ukierunkowanych właściwościach, m.in. przez zastosowanie nanocząstek lub innych substancji aktywnych.

Jedną z najbardziej obiecujących metod uzyskiwania nanowłókien jest wykorzystanie silnych pól elektrycznych w procesie elektroprzędzenia. Wspomniany proces pozwala wydajnie wytwarzać włókna o średnicach od kilku nanometrów do kilku mikrometrów. Elektroprzędzone maty charakteryzują się wysoką porowatością, dużą przepuszczalnością gazów oraz wysoką powierzchnią właściwą (Rys. 1). Dzięki tym właściwościom nanowłókna znalazły szerokie zastosowanie w wielu obszarach życia codziennego, a także w licznych procesach technologicznych i przemysłowych, m.in. w filtracji powietrza, uzdatnianiu wody, opracowywaniu warstw aktywnych chemicznie do degradacji zanieczyszczeń, energetyce, a także medycynie. Medyczne zastosowania obejmują głównie innowacyjne materiały opatrunkowe, nośniki w systemach dostarczania i uwalniania leków, inżynierię tkankową, a także badania eradykacji komórek patogennych w terapii fotodynamicznej.

Prezentowana praca dotyczy opisu zjawiska elektrostatycznego wytwarzania nanowłókien polimerowych oraz

możliwości ich wykorzystania w zastosowaniach biologicznych i medycznych.



Rys. Elektroprzędzona nanowłoknista mata z octanu celulozy (fotografia własna)

MODULOWANIE WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW WĘGLOWYCH POPRAZ FUNKCJONALIZACJĘ ICH POWIERZCHNI

Justyna Frączyk

Instytut Chemii Organicznej Politechnika Łódzka Żeromskiego 114 90-543
Łódź, e-mail: justyna.fraczyk@p.lodz.pl

słowa kluczowe: materiały węglowe, funkcjonalizacja chemiczna, funkcjonalizacja fizyczna, aktywność biologiczna

Materiały węglowe stanowią zróżnicowaną grupę substancji zbudowanych z atomów węgla o zróżnicowanych strukturach, właściwościach a także zastosowaniach. Grupę szczególnie interesujących materiałów z uwagi na ich właściwości fizyczne, optyczne, mechaniczne stanowią nanomateriały węglowe [1]. Od 0D wymiarowych fulerenów, kropek węglowych, poprzez 1D nanorurki węglowe, włókna węglowe, po 2D grafen, arkusze grafitowe i 3D nanostrukturyzowane diamenty zawierających w swej budowie atomy węgla o hybrydyzacji sp^2 bądź sp^3 . Powoduje to, że materiały te charakteryzują się dużą aplikacyjnością. Często wykorzystanie nanomateriałów węglowych wymaga ich odpowiedniej funkcjonalizacji. Stosując metody funkcjonalizacji chemicznej związki modulujące właściwości nanomateriałów węglowych wprowadzane są na powierzchnię za pomocą stabilnych wiązań kowalencyjnych. W ten sposób otrzymywane są materiały stosowane w terapiach, systemach dostarczania leków czy też w diagnostyce medycznej [2].

Wykorzystanie narzędzi syntezy organicznej do funkcjonalizacji powierzchni nanomateriałów w celu modulowania ich właściwości pozwoliło na opracowanie strategii funkcjonalizacji chemicznej z wykorzystaniem obecności grup karboksylowych na powierzchni nanomateriałów węglowych do ich przekształcenia w estry triazynowe i następczą transformację w pochodne estrowe, amidowe, peptydowe przyłączone do powierzchni nanomateriału [3] oraz metodę z wykorzystaniem izokinetycznej mieszaniny amin aromatycznych. Metoda ta pozwala na jednoczesne wprowadzania

na powierzchnie nanomateriałów grup o charakterze elektrofilowym i nukleofilowym, umożliwiając dalszą ortogonalną modyfikację i finalnie uzyskiwanie nanomateriałów zawierających na powierzchni zróżnicowane pod względem biologicznym motywy. Chemiczne metody modyfikacji powierzchni zostały wykorzystane do funkcjonalizacji włókien węglowych w celu modulowania ich właściwości hydrofobowo-hydrofilowych. Wykorzystując funkcjonalizację fizyczną otrzymane zostały wielokompozytowe materiały oparte o włókninę węglową wykorzystywane w medycynie regeneracyjnej.

Literatura

1. Barhoum, A.; Shalan, A.E.; El-Hout, S.I.; Ali, G.A.; Abdelbasir, S.M.; Abu Serea, E.S.; Ibrahim, A.H.; Pal, K.A.; Shalan, A.E.; El-Hout, S.I.; et al. A broad family of carbon nanomaterials: Classification, properties, synthesis, and emerging applications. In Handbook of Nanofibers; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2019.
2. V. K. Thakur, M. K. Thakur Chemical Functionalization of Carbon Nanomaterials: Chemistry and Applications, CRC Press, 2016
3. J. Frączyk, M.E. Walczak, Ł. Szymański, Z. Kołacinski, H. Wrzosek, I. Majsterek, K. Przybyłowska-Sygut, Z.J. Kaminski, Carbon nanotubes functionalized with folic acid attached via biomimetic peptide linker, Nanomedicine, 2017, 12 (18), 2161–2182

SESJA VI BIO

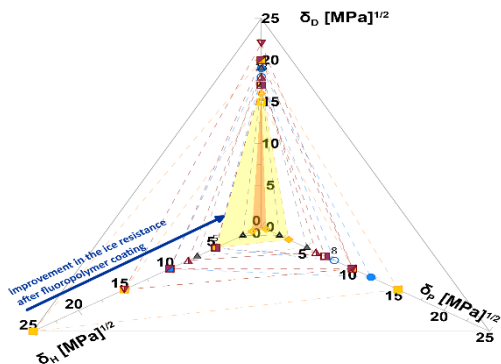
RECENT PROGRESS IN CARBON NANOMATERIALS AND THEIR COMPOSITES IN ANTI/DE-ICING COATINGS

Zahira Bano^a, Artur P. Terzyk^a

Physiochemistry of carbonaceous materials group, Faculty of Chemistry, Nicolaus Copernicus University, 87-100, Torun, Poland.

Keywords: Anti-icing, de-icing, Carbon, nanomaterials, Polymers,

Ice formation and accumulation pose significant safety hazards across many fields; for instance, ice accretion on high-voltage power lines can disrupt electricity transmission, while buildup on solar panels and wind turbines, reduces power generation efficiency, and aircraft wing icing critically compromises flight safety and endangers passengers. To address the problem of surface ice, traditional deicing methods—categorized as either physical or chemical—are employed to remove ice layers, yet these approaches often demand substantial manpower and material resources, carry operational risks, and can cause environmental damage. In recent years, moving beyond these conventional techniques, researchers have developed novel deicing strategies such as continuously injecting lubricating fluids into material surfaces, simulating antifreeze proteins, and creating coatings that modify surface energy, which can broadly be classified into active and passive deicing methods. Moreover, recent studies demonstrate that incorporating electrothermal and photothermal functionalities significantly enhances anti-icing performance. To gain deeper insights into the underlying anti-icing mechanisms, this review systematically analyzes literature data on CBAIMs using Hansen Solubility Parameters (HSPs), with results compiled in tabulated form. The analysis reveals that many materials critical to extreme environment applications—such as wind turbines, solar panels, aircraft wings, and asphalt roads—exhibit poor ice resistance primarily due to high dispersion force components (δ_D) in their HSP profiles. Consequently, surface modifications *via* functional coatings are necessary to improve performance



○ Wind turbine - min	▲ Asphalt roads - Bituminous - min
● Wind turbine - max	▲ Asphalt roads - Bituminous - max
□ Solar Panel - Glass AR - min	▲ Aircraft Wings - Metal surfaces - min
■ Solar Panel - Glass AR - max	▼ Aircraft Wings - Metal surfaces - max
◇ Solar Panel - Fluoropolymer coatings - min	▢ Aircraft Wings - Polyurethane-based coatings - min
◆ Solar Panel - Fluoropolymer coatings - max	▢ Aircraft Wings - Polyurethane-based coatings - max

References
 Zhang H, Guo H, Jiang R, Wan W, Deng P, Zhou X. Research progress of multifunctional anti-icing composites materials. Journal of Applied Polymer Science. 2024 Sep 20;141(36):e55922.

BIOMATERIAŁY NOWEJ GENERACJI: SYNTEZA POLI(3-HYDROKSYMAŚLANU) (P3HB) Z WYKORZYSTANIEM MIKROORGANIZMÓW MODYFIKOWANYCH GENETYCZNIE

Joanna Chojniak-Gronek, Renata Kurek, Jolanta Janiszewska

Łukasiewicz – Instytut Chemii Przemysłowej im. Prof. Ignacego Mościckiego, Grupa Badawcza Farmacji, Chemii Kosmetycznej i Biotechnologii, ul. Rydygiera 8, 01-793 Warszawa, e-mail: joanna.chojniak-gronek@ichp.lukasiewicz.gov.pl

słowa kluczowe: biomateriały, biopolimery, P3HB, biotechnologia, synteza mikrobiologiczna

Biomateriały to materiały pochodzenia biologicznego lub kompatybilne biologicznie, które znajdują zastosowanie w medycynie, inżynierii środowiska oraz przemyśle opakowaniowym. W dobie rosnącej świadomości ekologicznej i potrzeby ograniczenia zużycia tworzyw sztucznych pochodzenia petrochemicznego, biomateriały stanowią kluczowy element strategii zrównoważonego rozwoju.

Jednym z najbardziej obiecujących biopolimerów jest poli(3-hydroksyśmałan) (P3HB), należący do grupy polihydroksyalkanianów (PHA). P3HB charakteryzuje się wysoką biodegradowalnością, biokompatybilnością oraz właściwościami mechanicznymi zbliżonymi do polipropylenu, co czyni go atrakcyjnym zamiennikiem dla tradycyjnych tworzyw sztucznych. Jego produkcja biologiczna odbywa się z udziałem mikroorganizmów, które naturalnie syntetyzują PHA jako materiał zapasowy. W celu zwiększenia wydajności i obniżenia kosztów produkcji P3HB, coraz częściej wykorzystuje się mikroorganizmy modyfikowane genetycznie, które zostały zoptymalizowane pod kątem efektywnej syntezy polimeru. Dodatkowo, odpowiednia modyfikacja genetyczna mikroorganizmów pozwala na zwiększenie tolerancji na toksyczne produkty uboczne oraz poprawę efektywności wykorzystania substratów.

W ostatnich latach intensywnie rozwijane są metody inżynierii genetycznej, umożliwiające modyfikację szlaków metabolicznych mikroorganizmów w celu zwiększenia wydajności syntezy P3HB. Istotnym aspektem tej technologii jest zastosowanie alternatywnych, tanich i odnawialnych substratów węglowych, takich jak melasa buraczana, glicerol odpadowy z produkcji biodiesla czy resztkowe produkty przemysłu spożywczego. Wykorzystanie takich surowców nie tylko obniża koszty procesu, ale również wpisuje się w ideę gospodarki o obiegu zamkniętym i minimalizacji śladu węglowego. Integracja technologii fermentacyjnych z procesami oczyszczania i odzysku polimeru stanowi istotny element optymalizacji całego łańcucha produkcyjnego. Coraz więcej badań skupia się także na projektowaniu szczepów zdolnych do produkcji P3HB w warunkach przemysłowych, przy ograniczonym zużyciu energii i wody. Takie podejście sprzyja rozwojowi zrównoważonych technologii materiałowych, które mogą znaleźć zastosowanie w medycynie, rolnictwie oraz przemyśle opakowaniowym.

CYTOTOKSYCZNOŚĆ W OCENIE BEZPIECZEŃSTWA

Justyna Kamińska, Longina Madej-Kiełbik, Nina Tarzyńska

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny

ul. Skłodowskiej-Curie 19/27, 90-570 Łódź, e-mail:

justyna.kaminska@lit.lukasiewicz.gov.pl; Longina.Madej-

Kiełbik@lit.lukasiewicz.gov.pl; nina.tarzynska@lit.lukasiewicz.gov.pl.

słowa kluczowe: biozgodność, cytotoksyczność, badania *in vitro*, linie komórkowe, bezpieczeństwo wyrobu

Biozgodność, czyli zdolność materiału do współistnienia z żywymi tkankami bez wywoływania niepożądanych reakcji biologicznych stanowi kluczowy aspekt oceny bezpieczeństwa przy kontakcie produktu końcowego z tkankami ludzkimi, np. skórą, błoną śluzową, nabłonkiem dróg oddechowych, nabłonkiem wyściełającym przewód pokarmowy. Istotnym elementem oceny biozgodności jest analiza cytotoksyczności, która należy do podstawowych badań pozwalających ocenić bezpieczeństwo wyrobu poprzez określenie jego zdolności do uszkodzania lub niszczenia komórek. Badanie cytotoksyczności jest pierwszym krokiem w szeregu testów niezbędnych do kompleksowej oceny bezpieczeństwa wyrobów, zwłaszcza wyrobów medycznych oraz odgrywa istotną rolę w procesie ich certyfikacji [1,2].

Czynniki toksyczne egzogenne, pochodzące ze środowiska, mogą stanowić istotne źródło zagrożeń dla organizmu człowieka. Ich wektorami są często przedmioty codziennego użytku – materiały opakowaniowe, tekstylia użytkowe, ubrania, środki kosmetyczne, detergenty. W kontakcie z ludzkimi tkankami mogą one uwalniać substancje szkodliwe o działaniu cytotoksycznym. Drogami wnikania szkodliwych substancji do organizmu są m.in. skóra, błony śluzowe, drogi oddechowe, układ pokarmowy. Bezpośrednia, często przewlekła ekspozycja na związki chemiczne w wyrobach gotowych może skutkować podrażnieniami, reakcjami alergicznymi, prowadzić do zaburzeń układu odpornościowego,

hormonalnego, rozrodczego a nawet przyczyniać się do rozwoju chorób nowotworowych [3].

Podstawy bezpieczeństwa, związanego z narażeniem na chemikalia obecne w produktach codziennego użytku, na terenie Unii Europejskiej reguluje Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*). Porządkuje ono zasady rejestracji, oceny i ograniczeń w stosowaniu substancji chemicznych, zapewniając ochronę zdrowia ludzi i środowiska. Rozporządzenie to jak i różnego rodzaju inicjatywy certyfikacyjne (np. OEKO-TEX®), czy inne standardy branżowe koncentrują się głównie na kontroli obecności wybranych substancji niebezpiecznych. Nie uwzględniają natomiast kompleksowej oceny toksyczności wyrobów gotowych przy kontakcie z komórkami ludzkimi. W efekcie powstaje luka w systemie oceny bezpieczeństwa, którą mogą wypełnić badania cytotoksyczności przeprowadzane w modelu biologicznym *in vitro*, pozwalające realnie zweryfikować oddziaływanie gotowych wyrobów na poziomie komórkowym [4].

Testy cytotoksyczności prowadzone są w oparciu o normę ISO 10993-5:2009, która pierwotnie została opracowana do biologicznej oceny wyrobów medycznych [5]. Metodologia tej normy może jednak zostać zaadaptowana do innych zastosowań wymagających oceny interakcji materiałów z tkankami ludzkimi [4]. Badania biogodności wykorzystują metody *in vitro* oraz *in vivo* prowadzone na zwierzętach doświadczalnych. Badania *in vitro* pozwalają ocenić wpływ materiału na poziomie komórkowym, sprawdzając jego cytotoksyczność. Badania *in vivo* oceniają zachowanie materiału w środowisku organizmu, uwzględniając reakcje zapalne, odpowiedzi hormonalne, interakcje z komórkami i procesy degradacji biomateriału [6].

Badania cytotoksyczności *in vitro* mogą znaleźć zastosowanie m.in. w branży tekstylnej przy ocenie bezpieczeństwa tkanin pozostających w długotrwałym kontakcie ze skórą, przemyśle opakowaniowym (opakowania produktów spożywczych i kosmetycznych), branży chemicznej oraz sektorze innych materiałów użytkowych – np. powłok, polimerów. Rozszerzenie zakresu normy pozwala wykorzystać ugruntowaną metodykę do

kompleksowej oceny bezpieczeństwa biologicznego różnych grup wyrobów, nie tylko medycznych.

Literatura

1. Kandárová H, Pôbiš P. (2024) *The "Big Three" in biocompatibility testing of medical devices: implementation of alternatives to animal experimentation-are we there yet?* Front Toxicol. Jan 8; 5:1337468. doi: 10.3389/ftox.2023.1337468.
2. Sharma, A., Luthra, G. (2023). *Significance of ISO 10993 standards in ensuring biocompatibility of medical devices: A review.* Journal of Pharmaceutical Research International, 35(8), 23–34. <https://doi.org/10.9734/JPRI/2023/v35i87342>.
3. Li, D., Suh, S. (2019). *Health risks of chemicals in consumer products: A review.* Environment International, 123, 580–587. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.033>.
4. Machado, V., Marinho, A., Vieira de Castro, P., Silva, T. (2025). *From Fabric to Finish: The Cytotoxic Impact of Textile Chemicals on Humans Health.* Textiles, 5(2), 16. <https://doi.org/10.3390/textiles5020016>.
5. International Organization for Standardization. (2009). *ISO 10993-5:2009. Biological evaluation of medical devices — Part 5: Tests for in vitro cytotoxicity.*
6. Williams, D. F. (2008). *On the mechanisms of biocompatibility.* Biomaterials, 29(20), 2941–2953. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.04.023>.