PODPIS ZAUFANY
JOLANTA
BATOG
24.03.2022 16:55:19 [GMT+1]
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

AUTOREFERAT

prezentujący dorobek i osiągnięcia naukowe habilitanta

dr Jolanta Batog

Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich
Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Inżynierii Bioproduktów
ul. Wojska Polskiego 71B
60-630 Poznań

Poznań 2022

Spis treści

1. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe……..……3

2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych……..3

3. Osiągnięcie będące podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego……3

4. Omówienie celu naukowego prac zgłoszonych do postępowania habilitacyjnego i osiągniętych wyników…….5

4.1. Wstęp……...5

4.2. Enzymatyczna obróbka ligniny w procesie otrzymywania ekologicznych kompozytów lignocelulozowych……7

4.3. Obróbka wstępna biomasy lignocelulozowej w procesie otrzymywania bioetanolu 2-generacji……10

4.4. Nanolignina jako czynnik antybakteryjny i blokujący promieniowanie UV dla wyrobów włókienniczych……...15

4.5. Wnioski……..20

5. Informacja o pozostałych osiągnięciach naukowo-badawczych z uwzględnieniem aktywności naukowej w więcej niż jednej jednostce naukowej……21

6. Informacja o osiągnięciach organizacyjnych, dydaktycznych i popularyzujących naukę…….....28

7. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego……31

1. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

Magister chemii - 1987
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Wydział Chemii, Zakład Analizy Instrumentalnej
Tytuł pracy: Adsorpcyjna woltamperometria ketotifenu.
Promotor: Prof. dr hab. Walenty Szczepaniak

Doktor nauk leśnych w zakresie drzewnictwa - 2007
Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu
Wydział Technologii Drewna
Tytuł rozprawy: Aktywacja kompozytów lignocelulozowych enzymami utleniającymi.
Promotor: Prof. dr Ryszard Kozłowski

2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich - Państwowy Instytut Badawczy (IWNiRZ-PIB)
Wojska Polskiego 71B, 60-630 Poznań
- 1972-1992 Instytut Krajowych Włókien Naturalnych
- 1992-2008 Instytut Włókien Naturalnych
- 2009-2020 Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich
- 2021 - obecnie Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich - Państwowy Instytut Badawczy

Zakład Inżynierii Bioproduktów (zakład BP)
- do 2002 roku Zakład Płyt Lignocelulozowych i Produktów Ubocznych
- 2002-2012 Zakład Kompozytów
- 2012-2021 Zakład Innowacyjnych Biomateriałów i Nanotechnologii
- 2021 - obecnie Zakład Inżynierii Bioproduktów

- 2018 - obecnie kierownik Zakładu BP
- 2009-2018 z-ca kierownika Zakładu BP
- 2004 - obecnie kierownik akredytowanych Laboratoriów Badawczych
- 1998-2007 kierownik Laboratorium Toksyczności (Zakład BP)
- 2007 - obecnie adiunkt
- 1990-2007 starszy asystent
- 1988-1990 asystent
- 1987-1988 chemik

3. Osiągnięcie będące podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

Jako osiągnięcie naukowe wynikające z art. 219 ust. 1 pkt 2b Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2021 poz. 478 z późniejszymi zmianami) będące podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego wskazuję cykl publikacji składający się z 9 oryginalnych publikacji, w tym 7 artykułów z listy *Journal Citation Reports* (JCR), 2 artykułów spoza listy JCR oraz 1 patentu europejskiego przedstawiających wyniki interdyscyplinarnych badań pod tytułem **„Aspekt ligniny w pozyskiwaniu bioproduktów - ekologicznych kompozytów lignocelulozowych, biopaliw 2-generacji i tkanin o właściwościach prozdrowotnych”**. Przedstawione publikacje omawiają zagadnienie ligniny w procesach otrzymywania innowacyjnych produktów z surowców lignocelulozowych m.in. kompozytów o obniżonym zużyciu żywic syntetycznych i zaawansowanych biopaliw, a także w nadaniu wyrobom włókienniczym wielofunkcyjnych właściwości - barierowych przed promieniowaniem UV i antybakteryjnych.

Usystematyzowany wykaz publikacji stanowiących jednotematyczny cykl składający się na osiągnięcie naukowe obejmuje następujące pozycje:

1. **Batog J.**, Przepiera A. 2011. Enzymatic processing of lignin in production of lignocellulosic composites. *Cellulose Chemistry and Technology,* 45 (7-8), 503-505.
   MEiN$_{2011}$ 20 pkt/ IF$_{2011}$ 0,550
   Mój udział: koncepcja badań i publikacji, wykonanie badań aktywacji surowca lignocelulozowego, analiza wyników badań, przygotowanie publikacji

2. **Batog J.**, Wojcik R. 2013. Enzymatic treatment of lignocellulosic composites for reduced toxicity. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW, Forestry and Wood Technology,* 81, 16-21.
   MEiN$_{2013}$ 6 pkt
   Mój udział: koncepcja badań i publikacji, wykonanie badań aktywacji surowca lignocelulozowego, analiza wyników badań, przygotowanie publikacji

3. **Batog J.**, Pieprzyk-Kokocha D., Wawro A., Skibniewski Z. 2016. Chemical processes (acidic and alkaline) in saccharification of sorghum biomass for biofuel production. *Cellulose Chemistry and Technology,* 50 (3-4), 397-400.
   MEiN$_{2016}$ 30 pkt/ IF$_{2016}$ 0,763
   Mój udział: koncepcja badań i publikacji, współudział w analizie wyników badań, przygotowanie publikacji

4. **Batog J.**, Wawro A. 2021. Chemical and biological deconstruction in the conversion process of sorghum biomass for bioethanol. *Journal of Natural Fibers,* 1-12, DOI: 10.1080/15440478.2021.1889444.
   MEiN$_{2021}$ 140 pkt/ IF$_{2021}$ 5,323
   Mój udział: koncepcja badań i publikacji, współudział w analizie wyników badań, przygotowanie publikacji

5. Wawro A., **Batog J.**, Gieparda W. 2019. Chemical and enzymatic treatment of hemp biomass for bioethanol production. *Applied Sciences,* 9(24), 5348, DOI:10.3390/app9245348.
   MEiN$_{2019}$ 70 pkt/ IF$_{2019}$ 2,474
   Mój udział: współudział w koncepcji badań, analizie wyników badań i przygotowaniu publikacji

6. **Batog J.**, Bujnowicz K., Gieparda W., Wawro A., Rojewski S. 2021. Effective utilisation of halophyte biomass from saline soils for biorefinering processes. *Molecules*, 26*,* 5393, DOI:10.3390/molecules2617539.
   MEiN$_{2021}$ 140 pkt/ IF$_{2021}$ 4,412
   Mój udział: koncepcja publikacji, współudział w koncepcji badań i analizie ich wyników w zakresie biopaliw, przygotowanie publikacji

7. Zimniewska M., Kozlowski R., **Batog J.** 2008. Nanolignin modified linen fabric as a multifunctional product. *Molecular Crystals and Liquid Crystals, Taylor & Francis Inc.,* 484, 43/[409]-50/[416].
   MEiN$_{2008}$ 10 pkt/ IF$_{2008}$ 0,537
   Mój udział: koncepcja, wykonanie, analiza i opracowanie wyników badań w zakresie nanoszenia nanoligniny oraz współudział w przygotowaniu publikacji

8. Kozłowski R., Zimniewska M., **Batog J.** 2008. Nanolignina jako czynnik antybakteryjny oraz blokujący promieniowanie ultrafioletowe w wyrobach włókienniczych. *Przemysł chemiczny,* 87(12), 1178-1180.
   MEiN$_{2008}$ 10 pkt/ IF$_{2008}$ 0,254
   Mój udział: koncepcja, wykonanie, analiza i opracowanie wyników badań w zakresie nanoszenia nanoligniny oraz współudział w przygotowaniu publikacji

9. Zimniewska M., **Batog J.**, Bogacz E., Romanowska B. 2012. Functionalization of natural fibres textiles by improvement of nanoparticles fixation on their surface. *Journal of Fiber Bioengineering & Informatics,* 5:3, 321-339.

Mój udział: koncepcja, wykonanie, analiza i opracowanie wyników badań w zakresie nanoszenia nanoligniny oraz współudział w przygotowaniu publikacji

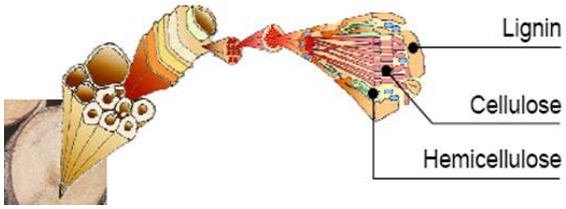
10. Kozlowski R., Zimniewska M., **Batog J.** Patent EP 2150649, 2012. Cellulose fibre textiles containing nanolignins, a method of applying nanolignins onto textiles and the use of nanolignins in textile production.
Mój udział: współudział w koncepcji patentu, wykonanie i analiza wyników badań w zakresie nanoszenia nanoligniny oraz współudział w opracowaniu patentu

Suma punktów MEiN: **426** (Punkty 2008-2018 = 76; Punkty 2019-2020 = 350)
(zgodnie z Wykazem czasopism naukowych aktualnym dla roku opublikowania artykułów)
Sumaryczny wskaźnik wpływu (Impact Factor): **14,313** (wg roku opublikowania)

4. Omówienie celu naukowego prac zgłoszonych do postępowania habilitacyjnego i osiągniętych wyników

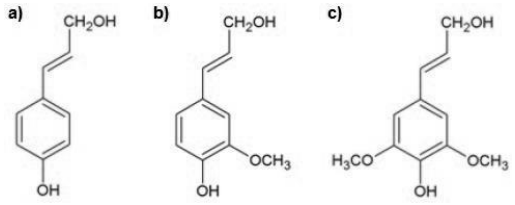
4.1. Wstęp

W dobie zrównoważonego rozwoju i coraz większej proekologicznej świadomości społeczeństwa istotnym zagadnieniem wydaje się poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań zastosowania dostępnych surowców lignocelulozowych. Materiały lignocelulozowe należą do odnawialnych naturalnych zasobów, które w swoim składzie zawierają biopolimery, takie jak: celuloza, hemicelulozy i lignina. W zależności od źródła pochodzenia biomasa lignocelulozowa zawiera ok. 38-50% celulozy, 23-32% hemiceluloz i 15-25% ligniny.
Poniżej na Rysunku 1 przedstawiono hierarchiczną strukturę biomasy lignocelulozowej. Fibryle celulozy są powleczone hemicelulozami tworząc otwartą sieć, której wolne przestrzenie wypełnione są ligniną.



Rys. 1. Struktura hierarchiczna biomasy lignocelulozowej

W panujący trend efektywnego wykorzystania odpadów i uniezależniania od rynku petrochemicznego wpisuje się zainteresowanie ligniną, która powstaje w dużych ilościach, towarzysząc generowaniu mas celulozowych. Lignina jest naturalnym biopolimerem o bardzo złożonej strukturze trójwymiarowej, zsyntetyzowanym z trzech monomerów - alkoholu *p*-kumarylowego, koniferylowego i sinapylowego (Rysunek 2). Budowa ligniny jest skomplikowana i wciąż niedostatecznie poznana, gdyż powstaje ona w wyniku polimeryzacji rodnikowej monomerów.



Rys. 2. Monomery ligniny: alkohol *p*-kumarylowy (a), koniferylowy (b) i sinapylowy (c)

Ten uboczny produkt w znacznym stopniu wykorzystywany jest w celach energetycznych. Jak dotąd nie opracowano reakcji chemicznych, które pozwoliłyby przekształcić ligninę w konkretny pojedynczy związek chemiczny, nadający się do dalszego przetwarzania. Trudności te powodują, że tylko 2% światowych zasobów

ligniny jest dalej przetwarzanych i obrabianych, przy czym powstające związki chemiczne posiadają relatywnie małą wartość dodaną.
Niemniej jednak ukryty w strukturze ligniny potencjał stwarza szanse na szersze kierunki rozwoju naukowego i przemysłowego. **To właśnie wystąpienie pierścieni aromatycznych otwiera drogę do licznych modyfikacji ligniny, które w połączeniu z jej biodegradowalnością i odnawialnością tworzą materiał bardzo atrakcyjny i perspektywiczny.** Obecnie można zaobserwować wzrost zainteresowania alternatywnym wykorzystaniem ligniny, a zdecydowana większość badań dedykowana jest jej depolimeryzacji lub funkcjonalizacji.
Lignina o małej masie cząsteczkowej może być stosowana do produkcji biodiesla czy bioplastików, z kolei lignina o dużej masie cząsteczkowej może zostać użyta do produkcji m.in. włókien węglowych.
Poprawiając jakość lignin, dąży się do wykorzystania ich właściwości antyutleniających, antymikrobiologicznych i antywirusowych, znajdując dla nich nowe zastosowania, takie jak:

- biocydy i biostabilizatory - środek usuwający szlam w przemyśle papierniczym, materiał powlekający i środek ogniochronny w materiałach polimerowych
- pestycydy w uprawie roślin
- dodatek w procesie tworzenia próchnicy
- kosmetyki - ochrona przed promieniowaniem UV
- nutraceutyki
- produkcja poliolefin i żywic epoksydowych.

Ponadto ligninę próbuje się modyfikować enzymami w celu otrzymania nowych produktów przyjaznych dla środowiska, które znalazły zastosowanie m.in. jako dodatek do syntetycznych polimerów, kleje do kompozytów lignocelulozowych, związki chelatowe, produkt pośredni w produkcji polimerów ligninowych, dodatek do materiałów porowatych oraz materiał powlekający i czynnik barwiący.

W ostatnich latach odnotowuje się, wg bazy naukowej Scopus, ogromny wzrost doniesień literaturowych związanych z ligniną, co wynika głównie, jak już wspomniałam, z jej unikalnej struktury chemicznej, cennych właściwości, jak i relatywnie dużej dostępności oraz świadczy o zwiększeniu świadomości proekologicznej społeczeństwa. Wskazuje to także na istotność tematyki, jak i konkurencyjność podejmowanych badań.

Materiały ligninowe wspierają biogospodarkę poprzez rozwój zrównoważonych procesów, zmniejszając zależność od materiałów kopalnych, co z kolei skutkować będzie niższą emisją gazów cieplarnianych. Jednak wprowadzenie nowych zastosowań lignin na skalę techniczną wymaga dalszych, intensywnych badań interdyscyplinarnych - w dziedzinie chemii i mikrobiologii oraz poprawy procesów m.in. ich skuteczności przy niższych kosztach.

Zatem biorąc pod uwagę postępującą degradację środowiska naturalnego, wyczerpywanie się dostępnych zasobów paliw kopalnych oraz trendy proekologiczne podjęłam wielokierunkowe inicjatywy badawcze nad opracowaniem nowych metod wykorzystania surowców odnawialnych, w tym biomasy lignocelulozowej, w celu otrzymania bezpiecznych dla środowiska materiałów o sprecyzowanych właściwościach użytkowych. A w nurt moich rozważań idealnie wpasowała się lignina, która obok celulozy i hemiceluloz stanowi jeden z głównych, a zarazem bardzo interesujący składnik lignocelulozy.

Pierwszym nurtem moich badań nad istotnością ligniny w surowcu lignocelulozowym jest wykorzystanie aktywacji enzymatycznej ligniny w procesie wytwarzania kompozytów lignocelulozowych **[1, 2]**. Skutkowało to otrzymaniem materiałów płytowych bardziej proekologicznych w porównaniu do płyt klasycznych, stwarzając możliwość redukcji o ok. 50% zarówno ilości żywicy syntetycznej, jak i emisji toksycznego formaldehydu.
Aktywacja ligniny enzymami posiada ogromny potencjał oraz stanowi nie tylko przyjazną środowisku procedurę, ale także nowatorskie narzędzie w perspektywie rozwoju lignocelulozowych kompozytów płytowych.

Innym aspektem poznania roli ligniny w surowcu lignocelulozowym jest fakt, że podczas obróbki chemicznej obecność ligniny jest często niepożądana, stąd w zależności od zakładanych właściwości końcowego produktu, konieczna jest jej modyfikacja, częściowa degradacja lub całkowite usunięcie. Ostatni proces nazywany delignifikacją może być prowadzony przy wykorzystaniu m.in.: zasad, kwasów, rozpuszczalników organicznych,

cieczy jonowych czy też enzymów. Fakt ten wykorzystałam w swoich pracach nad zaawansowanymi biopaliwami w celu opracowania efektywnej obróbki wstępnej w procesie otrzymywania bioetanolu 2-generacji z biomasy lignocelulozowej [**3, 4, 5, 6**].

Rozważając proces delignifikacji surowca lignocelulozowego należy dodać, że w zależności od warunków prowadzenia procesu uzyskuje się ligninę o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych.
W moich zainteresowaniach nad ligniną prowadziłam także prace nad wykorzystaniem ligniny kraft pozyskanej w procesie siarczanowym jako naturalnego absorbentu promieniowania słonecznego nadającego wyrobom włókienniczym wielofunkcyjne właściwości - barierowe przed promieniowaniem UV i antybakteryjne **[7, 8, 9, 10]**.
Lignina kraft jest najbardziej rozpowszechnionym materiałem ligninowym produkowanym przez przemysł celulozowy jako materiał odpadowy i jak dotychczas jest bardzo słabo zagospodarowana.
Wykorzystanie ligniny jako czynnika UV-blokującego do naturalnych wyrobów włókienniczych stanowi innowacyjne i bardzo interesujące rozwiązanie we włókiennictwie.

Dzięki przeprowadzonym badaniom poprzez aspekt ligniny w pozyskiwaniu bioproduktów potencjał tego biopolimeru został na nowo poznawany, otrzymano materiały bardziej bezpieczne dla środowiska, co idealnie wpasowuje się w myśl koncepcji zrównoważonego rozwoju i stanowi wartościowy wkład w rozwój procesów wykorzystania surowców lignocelulozowych.

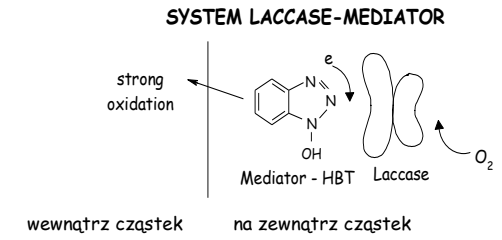
4.2. Enzymatyczna obróbka ligniny w procesie otrzymywania ekologicznych kompozytów lignocelulozowych

W pracach związanych z surowcami lignocelulozowymi zwrócono uwagę na wykorzystanie ich chemicznej aktywności w celu wytworzenia w nich naturalnych sił wiążących. Większość metod aktywacji polega na działaniu na surowce lignocelulozowe związkami utleniającymi, takimi jak: ozon, nadtlenek wodoru, kwas nadoctowy czy kwas azotowy.

Jednak w ciągu ostatnich dziesięcioleci w wielu dziedzinach nauki i techniki zwrócono uwagę na korzyści wynikające z celowego wykorzystania przyjaznych środowisku i zrównoważonych procesów biotechnologicznych. W zakresie aktywacji surowców lignocelulozowych obiecujące okazały się wyniki wstępnego traktowania drewna grzybami/enzymami w celu uaktywnienia naturalnych sił wiążących i możliwości wykorzystania tego zjawiska w produkcji tworzyw drzewnych. Enzymatyczna obróbka materiału lignocelulozowego działa w sposób podobny do związków utleniających, ale znacznie łagodniej i bezpieczniej dla środowiska.

W skali komercyjnej wprowadzono nową generację enzymów utleniających - lakaza, peroksydaza. **Enzym lakaza** należy do enzymów z grupy oksydoreduktaz i **może być użyty do wiązania surowców lignocelulozowych poprzez utlenianie związków fenolowych**, wykorzystując tlen jako akceptor elektronów i wytwarzając wodę jako produkt uboczny. Lakazy wykazują zdolność lignolityczną, jak i polimeryzacyjną.

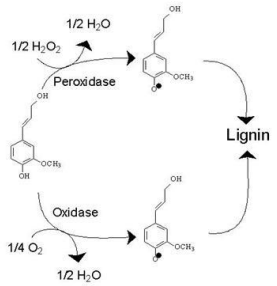
Lakaza może utleniać jedynie fenolowe jednostki ligniny na powierzchni substratu, których udział w drewnie wynosi poniżej 20% ligniny. Stąd w wielu zastosowaniach biotechnologicznych wymagana jest obecność mediatorów lakazy, małocząsteczkowych związków, które pozwalają utlenić niedostępny substrat we włóknach/cząstkach surowca oraz w jego niefenolowych strukturach. Tworzy się system lakaza-mediator (LMS), gdzie mediator pełni prawdopodobnie funkcję nosiciela elektronu (Rysunek 3).



Rys. 3. Rola mediatora w reakcji lakazy z ligniną

W układach tych mediator jest najpierw utleniany przez lakazę, a następnie dyfunduje przez ścianę komórki utleniając ligninę niedostępną dla lakazy. W ten sposób mediatory zwiększają działanie lakazy, powodując rozszerzenie obszaru utleniania ligniny, obejmujące fenolowe i niefenolowe związki.

Największą podatność na oddziaływanie czynników aktywujących przypisuje się ligninie. Wiąże się to z faktem, że zarówno w drewnie litym, jak i rozdrobnionym, najbardziej dostępne dla czynników zewnętrznych są silnie zdrewniałe składniki tkanki drzewnej, tj. blaszka środkowa i pierwotna błona komórkowa. Podczas inicjowanego enzymem procesu parowania rodników monomery ligniny ulegają polimeryzacji do trójwymiarowego, aromatycznego polimeru (Rysunek 4).



Rys. 4. Enzymatyczne utlenianie związków fenolowych

Zdolność lakazy do tworzenia reaktywnych rodników w ligninie może być wykorzystana w ukierunkowanej modyfikacji materiałów lignocelulozowych. Zasadniczo taki proces wykorzystuje zdolność lakazy do tworzenia rodników fenoksylowych, które sprzęgają się, gdy włókna ulegają sprasowaniu w płyty. Ponadto czynnikami, które przyczyniają się do wzrostu zaklejenia mogą być - powierzchniowe splątanie cząsteczek, kondensacja produktów rozpadu hemiceluloz oraz wiązania wodorowe. W cząsteczkach ligniny oprócz grup hydroksylowych występują także lub mogą powstawać grupy funkcyjne - karbonylowe i karboksylowe, które w określonych warunkach mogą reagować tworząc wiązania chemiczne o energii znacznie większej niż wiązania wodorowe.

W ramach pracy doktorskiej „Aktywacja kompozytów lignocelulozowych enzymami utleniającymi", której promotorem był Prof. dr Ryszard Kozłowski przeprowadziłam w skali laboratoryjnej prace nad określeniem możliwości wykorzystania lakazy i jej sztucznych mediatorów do obróbki i wiązania surowców z włóknistych roślin jednorocznych w kompozyty płytowe.

Uprawianymi od stuleci włóknistymi roślinami jednorocznymi są głównie m. in.: len, konopie, juta czy kenaf. Z roślin tych uzyskuje się nie tylko włókno - 25% masy, ale także znaczną ilość masy lignocelulozowej - 75%. Paździerze, otrzymywane jako produkt odpadowy, są zupełnie zdrewniałe i stanowią interesujący surowiec pod względem przemysłowego wykorzystania, tj. do wyrobu płyt, brykietów opałowych oraz w połączeniu z wapnem lub cementem portlandzkim - jako materiał budowlany i izolacyjny.

Stwierdzono, że paździerze lniane są materiałem korzystnym do produkcji płyt, a cenną zaletą jest ich kształt i smukłość, które korzystnie wpływają na wypełnienie wolnych przestrzeni w wytwarzanej płycie.

W pracy określiłam warunki obróbki i wiązania paździerzy lnianych przy użyciu lakazy z grzyba *Aspergillus sp.*, poprzez oznaczenie wytrzymałości na zginanie otrzymanych formatek płyt. Ponadto przebadałam wpływ na wzmocnienie działania lakazy dodatku jej trzech mediatorów, tj. związku ABTS - kwas 2,2'-azyno-di(3-etylobenzo-tiazolo-6-sulfonowy), HBT- 1-hydroksybenzotriazol i NHA - N-hydroksyacetanilid.

Badania wykazały, iż surowce lignocelulozowe wykazują podatność na działanie enzymu - lakaza. Nastąpił wzrost wytrzymałości na zginanie kompozytów płytowych w odniesieniu do formatek płytowych bez użycia enzymu, który został wzmocniony po zastosowaniu mediatorów lakazy: HBT, a zwłaszcza NHA.

Wyniki badań wskazały na możliwość znacznego ograniczenia zużycia syntetycznych środków wiążących w procesie wytwarzania kompozytów lignocelulozowych.

Podsumowując, w nurt często badanych reakcji z udziałem lakazy wpisuje się enzymatyczna obróbka materiałów lignocelulozowych, która stanowi wciąż aktualny i obiecujący przykład metod aktywacji, posiada wysoki potencjał tworzenia specyficznych reakcji, pozwala na rozwój procesów mniej szkodliwych dla środowiska, a także na zmniejszenie zużycia zasobów i ostatecznie obniżenie kosztów. Jednak chociaż płyty wykonane z włókien/cząstek poddanych działaniu lakazy wykazują lepsze parametry mechaniczne w porównaniu do płyt kontrolnych, to nie spełniają one wszystkich wymagań dotyczących wytrzymałości mechanicznej i stabilności przestrzennej.

W tym kontekście celowym było podjęcie dalszych badań w tej interesującej dziedzinie, polegających na wykorzystaniu zarówno sposobu enzymatycznej obróbki surowców lignocelulozowych, jak i dodatku żywicy syntetycznej podczas procesu zaklejania kompozytów płytowych. **[1, 2]** Prace te zostały wykonane w ramach Działalności Statutowej Instytutu Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich, których byłam pomysłodawcą, kierownikiem i wykonawcą badań aktywacji surowca lignocelulozowego.

Przemysł drzewny zmaga się z coraz większą globalną konkurencją, rygorystycznymi przepisami dotyczącymi ochrony środowiska oraz nowymi wymaganiami rynku. Popyt na płyty drewnopochodne systematycznie rośnie ze względu na potrzeby użytkowników końcowych, tj. przemysłu mieszkaniowego, meblarskiego czy podłogowego.

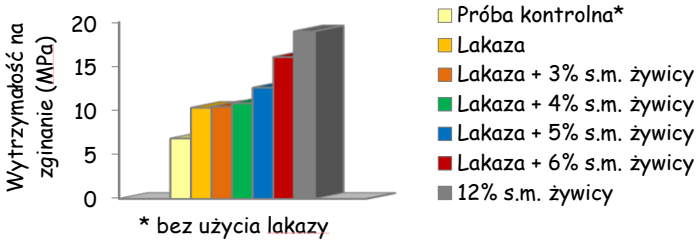
Żywice syntetyczne używane do ich produkcji, przede wszystkim żywice mocznikowo-formaldehydowe, żywice melaminowo-mocznikowo-formaldehydowe i żywice fenolowo-formaldehydowe stanowią około 10% masy płyty i pochodzą ze źródeł nieodnawialnych, tj. ropy naftowej i gazu. Stosowanie tych żywic wiąże się z kilkoma negatywnymi skutkami - zmianą dostępności i kosztów związanych ze zmiennymi kosztami surowców, emisją toksycznego formaldehydu podczas produkcji i użytkowania płyt oraz ograniczoną możliwością ponownego ich wykorzystania lub spalania w celu pozyskania energii. Dlatego tak ważne jest zmniejszenie udziału tego typu spoiw m.in. przez wykorzystanie naturalnej reaktywności chemicznej surowca lignocelulozowego.

Przeprowadzone badania ukierunkowane były na poznanie i wyjaśnienie wpływu wstępnej obróbki lakazą na strukturę i proces łączenia pździerzy lnianych przy użyciu zmniejszonej ilości żywicy mocznikowo-formaldehydowej (zaklejanie 3, 4, 5 i 6% suchej masy żywicy), co pozwoliło na wyznaczenie parametrów obróbki, dodatku żywicy syntetycznej i parametrów prasowania. Określono wytrzymałość na zginanie otrzymanych formatek płytowych zgodnie z normą PN-EN 310:1994 oraz zawartość formaldehydu w płytach wg normy PN-EN 120:1994.

Jak już wspomniałam, najlepszą metodę i warunki wiązania pździerzy lnianych z lakazą zaobserwowano przy zastosowaniu mediatora NHA, a określone parametry aktywacji i klejenia wytworzonych płyt były następujące:

- obróbka: 40°C, 30 min., pH 7,21, lakaza 12 LAMU·g^{-1} s.m., NHA 25 µM·g^{-1} s.m.
- prasowanie: 180°C, 20 min., 2,5 MPa.

Wartości wytrzymałości na zginanie płyt z pździerzy lnianych po aktywacji lakazą i przy użyciu mniejszej ilości żywicy mocznikowo-formaldehydowej przedstawiono na Rysunku 5, gdzie próba kontrolna została przygotowana bez użycia lakazy.

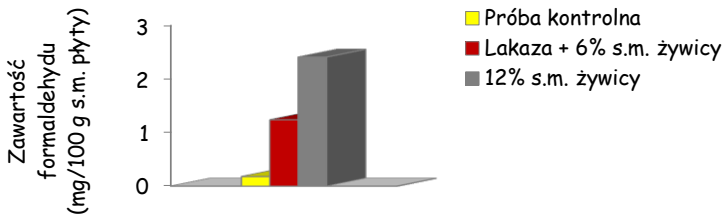


Rys. 5. Wytrzymałość na zginanie płyt z pździerzy lnianych

Przeprowadzone badania wykazały, że istnieje możliwość znacznego ograniczenia ok. 50% zużycia żywicy mocznikowo-formaldehydowej w wytwarzaniu płyt z pździerzy lnianych poprzez zastosowanie lakazy, przy uzyskaniu wytrzymałości na zginanie na podobnym poziomie do płyt klasycznie zaklejanych tylko żywicą syntetyczną (12% suchej masy żywicy).

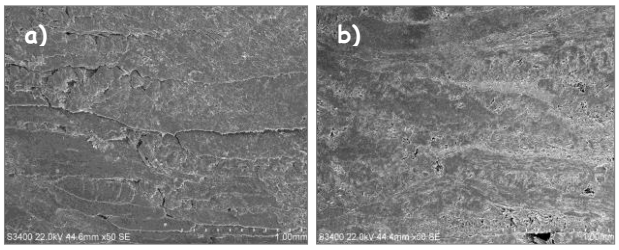
Stwierdziłam, że wysoką wytrzymałość na zginanie uzyskano, gdy paździerze lniane aktywowano lakazą i mediatorem NHA, a stopień zaklejenia wynosił 6% suchej masy żywicy mocznikowo-formaldehydowej.

Ponadto istotną zaletą płyt z paździerzy lnianych aktywowanych lakazą i zaklejanych przy użyciu 6% suchej masy żywicy mocznikowo-formaldehydowej w porównaniu z płytami wytworzonymi przy użyciu tylko żywicy syntetycznej jest zmniejszenie emisji formaldehydu o ok. 50% (Rysunek 6).



Rys. 6. Zawartość formaldehydu w płytach z paździerzy lnianych

Dodatkowo zdjęcia wykonane przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) Hitachi S-3400N wskazują na podobieństwo powierzchni płyt z paździerzy lnianych uzyskanych po aktywacji surowca lakazą i płyt zaklejonych tylko żywicą mocznikowo-formaldehydową (12% suchej masy żywicy) - Rysunek 7.



Rys. 7. Przekroje płyt z paździerzy lnianych (SEM): a) lakaza; b) 12% s.m. żywicy mocznikowo-formaldehydowej

Na podstawie przeprowadzonych prac dowiodłam, że wiązanie surowców lignocelulozowych po wstępnej obróbce enzymatycznej w kompozyty płytowe pozwala na znaczną eliminację chemicznych środków wiążących, co stanowi zaletę zarówno ze względu na ochronę środowiska naturalnego, jak i ekonomikę produkcji tworzyw drzewnych. Wyraźną zaletą przeprowadzonych badań jest redukcja emisji toksycznego formaldehydu podczas produkcji i użytkowania otrzymanych kompozytów płytowych.

Ogólnie ujmując, dzięki osiągniętym rezultatom wytwarzanie kompozytów lignocelulozowych ma szansę stać się procesem bardziej przyjaznym dla środowiska naturalnego.

Wykonane badania poza cennym i oryginalnym wkładem w dziedzinę modyfikacji materiałów lignocelulozowych w kierunku łączenia ich w ekologiczne kompozyty płytowe, dobrze wpisują się w nurt reakcji z udziałem lakazy, które są przyjazne dla środowiska i mają duże możliwości zastosowań biotechnologicznych.

4.3. Obróbka wstępna biomasy lignocelulozowej w procesie otrzymywania bioetanolu 2-generacji

Wzrost zużycia paliw kopalnych, zanieczyszczenie środowiska i groźba efektu cieplarnianego wymusiły w ostatnich latach dynamiczny rozwój alternatywnych źródeł energii.

Państwa członkowskie UE zostały zobowiązane do osiągnięcia określonego udziału biopaliw w transporcie oraz do podjęcia działań na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych. Zgodnie z Dyrektywą w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych RED II z 2018 roku, przewiduje się, że wkład biopaliw zaawansowanych i biogazu wytwarzanych m.in. z surowców lignocelulozowych, jako udział w finalnym zużyciu energii w sektorze transportu wyniesie co najmniej: 0,2% do 2022 r., 1% do 2025 r. i 3,5% do 2030 r.

Poprawa wydajności produkcji bioetanolu z substratów organicznych stanowi zatem jedno z głównych wyzwań naukowych. Nieustannie poszukuje się alternatywnych rozwiązań, które bezpośrednio wpłyną na ilość i jakość biopaliw pozyskiwanych z biomasy lignocelulozowej.

Proces przetwarzania biomasy roślinnej na bioetanol składa się z kilku etapów, od przygotowania materiału roślinnego, poprzez rozkład polisacharydów do cukrów prostych, aż po fermentację etanolową.

Jak już wspomniałam we wstępie, struktura lignocelulozy jest krystaliczna i trudna w obróbce. Celuloza (polimer glukozy) oraz hemicelulozy (galaktozy, mannozy, ksylozy i arabinozy), stanowią potencjalne substraty do efektywnego wykorzystania w procesach fermentacji etanolowej.

Największym problemem jest jednak rozkład wielocukrów do cukrów prostych, które mogą ulegać fermentacji.

Skuteczną przeszkodę w sacharyfikacji biomasy stanowi lignina, której aromatyczny charakter i złożona struktura utrudniają degradację. Ponadto splata się ona z hemicelulozami i pokrywa mikrofibryle krystalicznej celulozy, co utrudnia dostęp do nich celulaz oraz wiąże celulazy i prowadzi do ich dezaktywacji.

To wszystko zmusza do poddania materiału lignocelulozowego obróbce wstępnej w celu poprawy biodegradowalności celulozy przez usunięcie ligniny i/lub hemiceluloz, zmniejszenie stopnia polimeryzacji (PD) i krystaliczności składnika celulozowego, a tym samym zwiększenia wydajności procesu fermentacji.

Przetwarzanie biomasy polega na rozpadzie fazy stałej i uszkodzeniu zwartej lignocelulozy. W celu rozbicia biomasy i usunięcia ligniny testowanych jest kilka rodzajów metod obróbki wstępnej - fizyczna, chemiczna, biologiczna. W zależności od zastosowanej metody w obrębie kompleksu lignocelulozowego zachodzą różne zmiany. Do fizycznych metod obróbki biomasy zalicza się rozdrabnianie, mielenie i szatkowanie, a także metodę ekstruzji i obróbkę ultradźwiękami. Procesy chemiczne obejmują obróbkę rozcieńczonym kwasem, zasadową i obojętną (ciecze jonowe, gorąca woda LHW), proces organosolv z użyciem rozpuszczalników organicznych, wybuch pary wodnej, SO_2 czy amoniaku (AFEX), recyrkulacyjną perkolację w roztworze amoniaku (ARP) i ozonolizę. Metody obróbki biologicznej wykorzystują mikroorganizmy rozkładające ligninę i celulozę (grzyby brązowej zgnilizny) oraz mikroorganizmy trawiące celulozę i ligninę (grzyby białej i czerwonej zgnilizny).

Skuteczna obróbka wstępna powinna zapewnić m.in. zniszczenie krystalicznej struktury celulozy, **rozdział ligniny od węglowodanów**, a tym samym wzrost dostępności substratu do dalszych procesów produkcji biopaliw.

Istotnym jest także istniejący w Polsce wysoki potencjał pod względem surowców i areału, w tym obszarów zdegradowanych, do rozwoju produkcji biopaliw z surowców lignocelulozowych.

Obecnie jednym z alternatywnych surowców, który można wykorzystać do wytwarzania bioenergii jest sorgo. Jest to roślina jednoroczna osiągająca wysokość 4 m, dająca wysokie plony suchej masy 28 $t \cdot ha^{-1}$ w tzw. mleczno-woskowej fazie nasion i posiadająca dużą tolerancję na suszę.

W tym kontekście celowym było podjęcie badań nad oceną wpływu różnego typu obróbek wstępnych na proces otrzymywania bioetanolu z biomasy sorgo. [**3, 4**] Prace wykonane zostały w ramach projektu Programu Badań Stosowanych nr PBS1/A8/9/2012 „Opracowanie innowacyjnej technologii produkcji bioetanolu II generacji z biomasy sorgo (*Sorghum* sp.) i miskanta (*Miscanthus* sp.)", w którym byłam kierownikiem prac nt. bioetanolu w Instytucie oraz w ramach Działalności Statutowej Instytutu, w której byłam pomysłodawcą i kierownikiem badań wykorzystania lakazy w procesie otrzymywania bioetanolu.

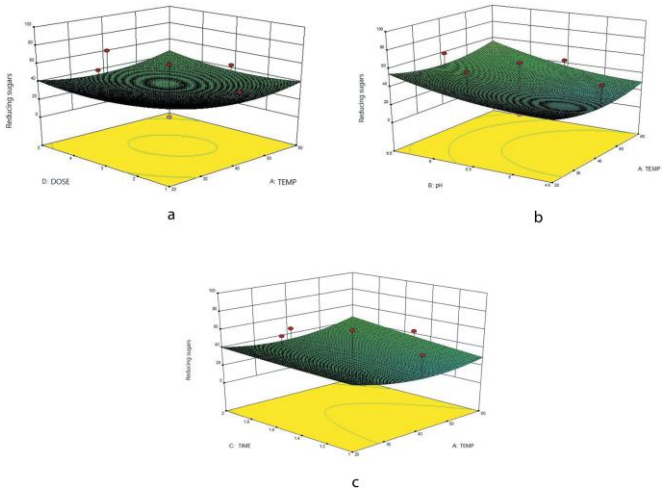
Wykonano próby optymalizacji obróbki kwasowej, zasadowej i biologicznej biomasy sorgo o frakcji 4 mm, którą określono na podstawie oznaczonej metodą Millera zawartości cukrów redukujących uzyskanych po 2 godzinach testu enzymatycznego przy użyciu enzymu Celluclast 1,5L oraz przeanalizowano zmiany w strukturze chemicznej i powierzchniowej biomasy podczas degradacji kompleksu lignocelulozowego (skład chemiczny, widma FTIR, zdjęcia SEM), ze szczególnym uwzględnieniem aspektu ligniny.

Wpływ stężenia kwasu siarkowy na biomasę sorgo określono przy użyciu stężenia kwasu 0,1-2% w 10-minutowej inkubacji. Następnie oceniono efekt procesu autoklawowania dla temperatur 100, 121 i 134 °C przez 15-60 minut. Wartości cukrów redukujących z biomasy sorgo po obróbce kwasem siarkowym uwolnionych w teście

enzymatycznym pozwoliły na dobranie optymalnych parametrów procesu: 2% stężenie H_2SO_4, autoklawowanie w temperaturze 121/134°C przez 60 minut.

Optymalizację warunków alkalicznego traktowania biomasy sorgo przeprowadzono po 5-godzinnym traktowaniu 0,5-2% wodorotlenkiem sodu w temperaturze 90°C. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że biomasa sorgo jest podatna na obróbkę alkaliczną przy optymalnym stężeniu 1,5% NaOH.

Następnie przeprowadzono optymalizację warunków biologicznej obróbki biomasy sorgo przy użyciu lakazy i jej mediatorów (ABTS, HBT, NHA). **Wykorzystanie lakazy w produkcji biopaliw opiera się na zrozumieniu jej roli w degradacji i modyfikacji lignocelulozy**. Metodą płaszczyzny odpowiedzi (RSM), przy użyciu parametrów: temperatura 20-60°C, czas 1-2 godz., pH 4,5 - 6,5 i dawka enzymu 1-5 $U \cdot g^{-1}$ suchej masy, określono wpływ lakazy na zawartość uwolnionych w teście enzymatycznym cukrów redukujących (Rysunek 8).

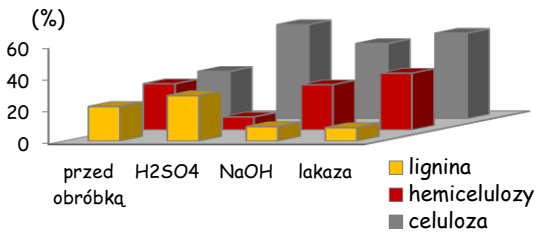


Rys. 8. RSM dla obróbki biomasy sorgo lakazą: a) dawka lakazy + temp.; b) pH + temp.; c) czas + temp.

Stwierdzono, że optymalne warunki obróbki biomasy sorgo lakazą uzyskano dla 5% substratu, przy użyciu enzymu o stężeniu 1 $U \cdot g^{-1}$ s.m., dla parametrów procesu: 60°C, pH 6,5 i 2 godziny, dla których zawartość uwolnionych cukrów redukujących wyniosła 75,5 $mg \cdot g^{-1}$.
Następnie określono wpływ mediatorów lakazy w ilości 25 $\mu M \cdot g^{-1}$ s.m na zawartość uwolnionych cukrów redukujących, która wynosiła dla ABTS, HBT i NHA odpowiednio: 101,95 $mg \cdot g^{-1}$, 83,38 $mg \cdot g^{-1}$ i 77,01 $mg \cdot g^{-1}$.

W kolejnym etapie porównano trzy rodzaje obróbki wstępnej, tj. 2% kwasem siarkowym (10 min) i proces autoklawowania (121°C, 1 godz.), 1,5% wodorotlenkiem sodu (90°C, 5 godz.) i lakazą (ABTS, 60°C, 2 godz.) oraz określono ich wpływ na poprawę procesu sacharafikacji biomasy sorgo. W tym celu, po 24 godzinach testu enzymatycznego przy użyciu preparatu Celluclast 1,5L, zmierzono zawartość uwolnionych cukrów redukujących, która wynosiła odpowiednio 212 $mg \cdot g^{-1}$, 577 $mg \cdot g^{-1}$ i 613 $mg \cdot g^{-1}$.

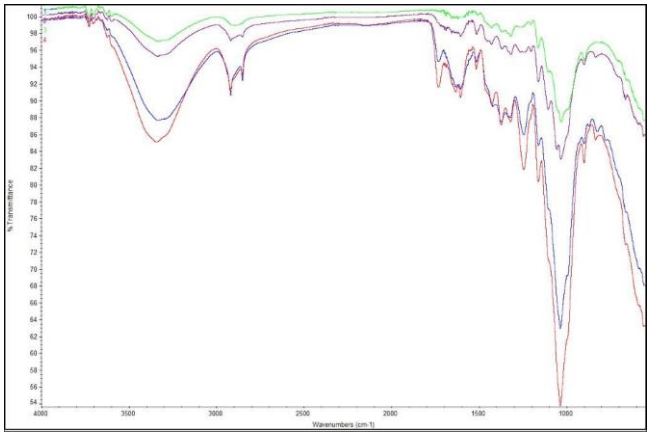
Wykazałam, że obróbka lakazą i wodorotlenkiem sodu są dla biomasy sorgo skutecznymi metodami degradacji lignocelulozy. Potwierdził to oznaczony skład chemiczny (celuloza wg normy TAPPI T17 m-55, hemicelulozy jako różnica holocelulozy wg normy TAPPI T9 m-54 i celulozy, lignina wg normy TAPPI T13 m-54) biomasy sorgo przed i po obróbce wstępnej we frakcji stałej (Rysunek 9).



Rys. 9. Skład chemiczny biomasy sorgo przed i po obróbce wstępnej

Obróbka alkaliczna i lakazą obejmowała zasadniczo proces delignifikacji, a przy alkalicznym traktowaniu nastąpiło także usuwanie grup kwasu acetylowego i uronowego obecnych na hemicelulozach, co poprawia jeszcze dostępność struktury biomasy dla enzymów w procesie hydrolizy.
Natomiast działanie kwasu siarkowego polegało na rozpuszczeniu większości hemiceluloz, które odzyskano w fazie ciekłej (ksyloza 9,53 $g \cdot L^{-1}$, arabinoza 1,08 $g \cdot L^{-1}$), ale doprowadziło też do tworzenia silnych inhibitorów hydrolizy enzymatycznej, takich jak: kwas octowy (1,44 $g \cdot L^{-1}$), HMF (0,28 $g \cdot L^{-1}$) i furfural (0,18 $g \cdot L^{-1}$).

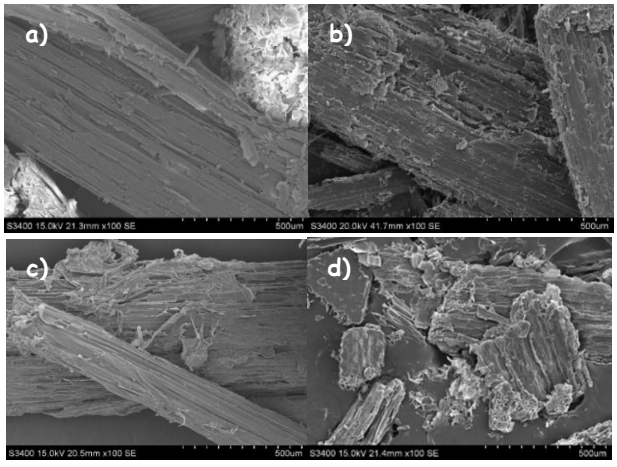
Pomiary absorpcji światła w widmie podczerwieni mają duże znaczenie w badaniu struktury substancji chemicznych, ponieważ pomagają one określić grupy funkcyjne i ich lokalizacje. Widma nieprzetworzonej biomasy sorgo wykonane metodą spektrofotometrii w podczerwieni (FTIR) przy użyciu spektrofotometru Bruker typu ISS 66 v/S, w zakresie długości fali 550-4000 cm^{-1}, wraz z widmami biomasy traktowanej kwasem siarkowym, wodorotlenkiem sodu i lakazą przedstawiono na Rysunku 10.



Rys. 10. Widma FTIR biomasy sorgo przed i po obróbce wstępnej (niebieski: przed obróbką; fioletowy: kwas siarkowy; zielony: wodorotlenek sodu; czerwony: lakaza)

Porównując widma FTIR biomasy niepoddanej i poddanej obróbce wstępnej przy długości fali 1510 cm^{-1} (wiązanie C-C pierścienia aromatycznego) i długości fali 1270 cm^{-1} (wiązanie C-C pierścienia gwajacylowego) można wnioskować, że doszło do delignifikacji biomasy sorgo, zwłaszcza po obróbce wodorotlenkiem sodu. Natomiast dla kwasu siarkowego zaobserwowano spadek przy długości fali 1730 cm^{-1}, paśmie charakterystycznym dla grup karbonylowych zawartych w hemicelulozach. Ponadto w przypadku lakazy można zaobserwować wzrost intensywności pasma przy długości fali 898 cm^{-1} i spadek przy długości fali 1427 cm^{-1}, co wskazuje na niższą krystaliczność i wzrost amorficznej formy celulozy w wyniku obróbki biologicznej.

Cechy morfologiczne biomasy sorgo przed i po obróbce wstępnej określono na podstawie zdjęć wykonanych na skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) Hitachi typu S-3400N i przedstawiono na Rysunku 11.



Rys. 11. Zdjęcia SEM biomasy sorgo: przed obróbką (a) i po obróbce H_2SO_4 (b), NaOH (c), lakazą (d)

Zaobserwowano, że nietraktowana biomasa sorgo posiada na powierzchni warstwę osadową, która może zawierać woski, hemicelulozy, ligninę lub inne materiały wiążące. Podczas obróbki wstępnej warstwa ta została usunięta, co spowodowało odsłonięcie wewnętrznej struktury i włókien. Obrazy SEM wstępnie obrobionej biomasy wskazują na wyraźną szorstkość i luźniejszą strukturę w porównaniu z próbką niepoddaną obróbce, dzięki czemu włókna są bardziej podatne na kolejne etapy procesu otrzymywania bioetanolu.

Obróbka wstępna biomasy lignocelulozowej stanowi zatem kluczowy etap w wytwarzaniu etanolu celulozowego i powinna ona maksymalizować odzyskiwanie dostępnych cukrów, minimalizować ich degradację i powstawanie ewentualnych inhibitorów.

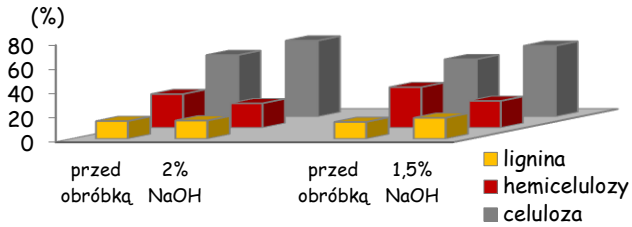
Ponadto w Polsce intensywnie rozwijana jest uprawa konopi włóknistych (*Cannabis sativa* L.) na cele nasienne, w związku z tym na polu pozostaje niezagospodarowana biomasa konopna, która może stanowić odpowiedni surowiec do produkcji bioetanolu. Rośliny te charakteryzują się krótkim okresem wegetacji (3-4 miesiące), szybkim wzrostem do 4 m wysokości, których plon suchej masy wynosi 10-15 $t \cdot ha^{-1}$. Polepszają one jakość gleby i są przydatne do rekultywacji terenów zdegradowanych, a 1 ha konopi wiąże ok. 11 t CO_2, co w istotny sposób ogranicza efekt cieplarniany.

Ważnym jest też fakt, że obszar zasolenia gleb w Europie rośnie z każdym rokiem, powodując poważne szkody gospodarcze (ok. 1-3 mln ha w rozszerzonej UE), a remediacja tych gleb lub wdrażanie nowych sposobów ich wykorzystania są niezbędne do przywrócenia produkcji rolnej na tych terenach.

Biorąc zatem pod uwagę potencjał konopi w procesie konwersji biomasy do bioetanolu oraz potrzebę zrównoważonego wykorzystania nieużytecznych terenów dla potrzeb rolnictwa podjęłam ciekawe badania nad określeniem wpływu alkalicznej obróbki konopi z upraw tradycyjnych i z terenów zasolonych na zmianę struktury biomasy (skład chemiczny, widma FTIR), szczególnie uwzględniając zmiany dot. ligniny. **[5, 6]**

Prace nad wykorzystaniem konopi w procesie otrzymywania bioetanolu prowadzone były w ramach Programu Wieloletniego MRiRW 2017-2020 „Odbudowa i zrównoważony rozwój produkcji oraz przetwórstwa naturalnych surowców włóknistych dla potrzeb rolnictwa i gospodarki" Zadanie 2.5. Efektywna technologia otrzymywania bioetanolu II generacji z biomasy konopi włóknistych o zwiększonych wartościach użytkowych, którego byłam kierownikiem. Natomiast badania nad wykorzystaniem biomasy konopi z terenów zasolonych do pozyskania bioetanolu wykonane zostały w ramach Programu ERA-NET FACCE SURPLUS 2 w projekcie nr FACCE SURPLUS/II/HALOSYS/02/2018 „Integrated system of bioremediation - biorefinering using halophyte species", w którym pełniłam rolę kierownika całego projektu NCBR, jak i zadania nt. bioetanolu.

Przeprowadzono obróbkę surowca o frakcji 2 mm z dodatkiem wodorotlenku sodu (traktowanie 1,5-3% NaOH) dla optymalnego stężenia 2% dla konopi pozyskanych z uprawy tradycyjnej i 1,5% dla konopi z terenów zasolonych, w temperaturze 90°C w czasie 5 godzin. Oznaczono skład chemiczny we frakcji stałej biomasy konopi przed i po obróbce (Rysunek 12).



Rys. 12. Skład chemiczny przed i po alkalicznej obróbce biomasy konopi pozyskanej z uprawy tradycyjnej (2% NaOH) i z terenów zasolonych (1,5% NaOH)

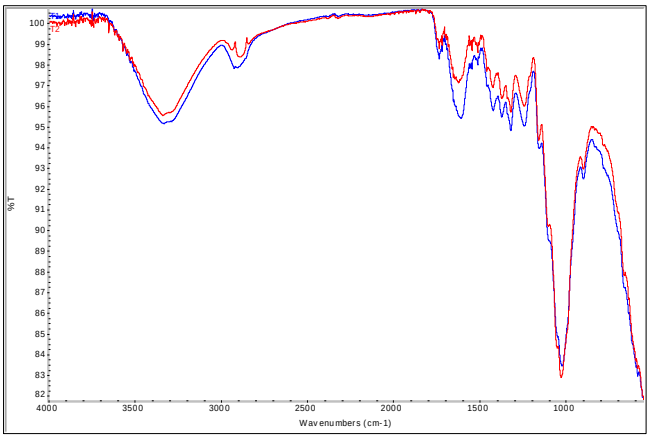
Potwierdziłam skuteczność przeprowadzonej obróbki alkalicznej przy użyciu NaOH dla biomasy konopi z uprawy tradycyjnej, jak i z terenów zasolonych oraz stwierdziłam, że ogólnie dla obu biomas wykazuje ona podobne tendencje - wzrost zawartości celulozy, częściową degradację hemiceluloz i nieznaczny wzrost ligniny.

Wykorzystanie biomasy konopnej z terenów zdegradowanych solą do produkcji biopaliw to cenna idea biorafinacji pozyskanego surowca lignocelulozowego, stanowiąca istotny wkład w rekultywację terenów zasolonych i rozwój zrównoważonej bioprodukcji rolnej w ramach gospodarki o obiegu zamkniętym.

Stwierdziłam także, biorąc pod uwagę aspekt delignifikacji surowca w procesie otrzymywania bioetanolu, że biomasa konopi posiadająca wiele zalet - wysoki plon, wysoka odporność i możliwość rekultywacji terenów zdegradowanych, stanowi odmienny rodzaj surowca niż biomasa sorgo (Rysunek 9 i 12).

Po obróbce wodorotlenkiem sodu w biomasie konopi, zamiast spadku zawartości ligniny jak w przypadku biomasy sorgo, nastąpił nieznaczny jej wzrost, co zapewne wynika z włóknistej struktury konopi w porównaniu do biomasy sorgo, ale może być też skutkiem wyższego poziomu degradacji hemiceluloz niż w przypadku biomasy sorgo. Natomiast celuloza dla obu surowców po obróbce NaOH uległa wzrostowi, przy czym wyższe wartości i nieco wyższy wzrost uzyskano dla biomasy konopi.

Różnice zmian składu chemicznego zachodzące po obróbce alkalicznej w biomasie sorgo i konopi zostały potwierdzone przez widma FTIR (Rysunek 10 i 13).



Rys. 13. Widma FTIR biomasy konopi: niebieski - przed obróbką; czerwony - po obróbce NaOH

Na widmie FTIR biomasy konopi podobnie jak w przypadku widma biomasy sorgo po obróbce alkalicznej zaobserwowano typowe pasma pochodzące od celulozy położone przy długości fali 3300 cm^{-1} (grupa O-H), 2900 cm^{-1} (grupa C-H), 1610 cm^{-1} (wiązania O-H) i 1420 cm^{-1} (grupa CH_2). Pasmo przy długości fali 1610 cm^{-1} wynikające z zaadsorbowanej wody w próbce, zmniejszyło się, co przypisać można utracie wody w wyniku suszenia próbki. Ponadto pasmo grupy karbonylowej (hemicelulozy) widoczne przy długości fali 1730 cm^{-1} uległo zmniejszeniu. Problem stanowiło jednak usunięcie ligniny, a pasma przy długości fali 1270 cm^{-1} i 1510 cm^{-1} potwierdzają brak delignifikacji biomasy konopi. Pokazuje to, jak złożonym i skomplikowanym jest proces degradacji lub fragmentacji ligniny, najprawdopodobniej ze względu na obecność silnych wiązań C-C i grup funkcyjnych, takich jak grupy aromatyczne, a jego efekt w dużej mierze zależy od struktury surowca lignocelulozowego.

Podsumowując, wykazałam, że biomasa sorgo i konopi, choć nieco inaczej, jest podatna na obróbkę wstępną i stanowi bardzo interesujące i obiecujące źródło do wykorzystania w produkcji biopaliw, będących alternatywą dla paliw kopalnych na bazie ropy naftowej, co powinno pozytywnie wpłynąć na redukcję emisji gazów cieplarnianych.

W przeprowadzonych badaniach wskazałam także na możliwość zagospodarowania gleb zasolonych przez produkcję biomasy na cele przemysłowe, w tym biopaliwa zaawansowane, co idealnie wpisuje się w ideę zrównoważonego rolnictwa.

4.4. Nanolignina jako czynnik antybakteryjny i blokujący promieniowanie UV dla wyrobów włókienniczych

Światło słoneczne jest warunkiem koniecznym istnienia życia na Ziemi, ale może być także niebezpieczne dla organizmu ludzkiego. Obserwowane w ostatnich latach zjawisko pocienienia warstwy ozonowej, czego wynikiem jest zauważona nad biegunami dziura ozonowa, jest przyczyną docierania na powierzchnię Ziemi znacznie

większej ilości promieniowania UV. Promienie słoneczne powodują najpierw opalenie skóry, potem oparzenia słoneczne, aż wreszcie uszkadzając chromosomy w komórkach ciała stają się przyczyną powstania raka skóry.

W celu uniknięcia przykrych skutków nadmiernego napromieniowania UV, przewlekłych jak i ostrych, człowiek powinien ograniczyć swoją ekspozycję na promienie słoneczne oraz stosować odpowiednie środki ochronne, do których, oprócz powszechnie stosowanych kosmetyków i okularów słonecznych z filtrami UV-B i UV-A, należeć powinna odzież.

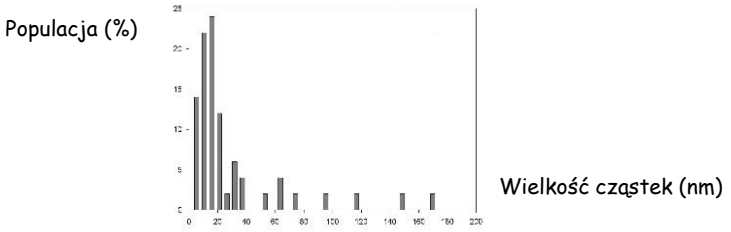
W literaturze wzmiankuje się o wykorzystaniu naturalnych pigmentów i **lignin jako naturalnych absorbentów promieniowania UV.**

Jednocześnie należy zauważyć, że chętnie noszoną odzieżą letnią, ze względu na przewiewność, chłodny chwyt i wysoką higroskopijność, stała się odzież z włókien łykowych - lnu, konopi, które w swoim składzie zawierają ligninę (len 0,6 - 5,0%, konopie 3,5 - 5,5%). Jednak w celu uzyskania skutecznej ochrony przed promieniowaniem UV, koniecznym jest zwiększenie jej zawartości w wyrobach włókienniczych.

Lignina jako naturalny polimer nie stanowi żadnego zagrożenia dla zdrowia człowieka. W kontakcie ze skórą nie powoduje podrażnień, ani niepożądanych oddziaływań. **Wykazuje nawet,** jak już wspomniałam we wstępie, **właściwości antybakteryjne.**

Próby zastosowania wykończenia UV-cutting tkanin z surowców naturalnych ligniną w celu skutecznej ich ochrony przed promieniowaniem UV zostały podjęte w projekcie nr FP6-NMP2-2004-505864 „Multifunctional barriers for flexible structures textile, leather, paper", w ramach VI Ramowego Programu Unii Europejskiej, w którym byłam głównym wykonawcą oraz w projekcie nr KB/50/13223/IT1-B/U/08 „Modyfikacja lignocelulozowych wyrobów włókienniczych za pomocą biopolimerów o strukturze nano, w celu nadania produktom wielofunkcyjnych właściwości", realizowanym w ramach Inicjatywy Technologicznej I, pełniąc rolę kierownika projektu i wykonawcy prac w zakresie nanoszenia nanoligniny. **[7, 8, 9, 10]**

W badaniach wykorzystano ligninę kraft, którą rozdrobniono do skali nano przy użyciu ultradźwięków otrzymując stabilny roztwór wodny nanoligniny o stężeniu < 1 $g \cdot L^{-1}$. Wielkość cząstek nanoligniny oceniono przy użyciu transmisyjnego mikroskopu elektronowego Joel typu JEM 1200 EX II i stwierdzono, że największą liczbę nanocząstek ligniny uzyskano do wielkości 20 nm (Rysunek 14).



Rys. 14. Rozrzut cząstek nanoligniny

Uzyskanie lignin w dyspersji - nanolignin jest zagadnieniem zupełnie nowym i dzięki dużej powierzchni właściwej i większej jednorodności cząstek umożliwia otrzymanie produktu o wyższej jakości w porównaniu do skali makro czy mikro, co powoduje zwiększenie efektywności nanoszenia lignin na tekstylia.

Roztwór nanoligniny nanoszono na powierzchnię tkaniny lnianej o splocie płóciennym i masie powierzchniowej 150 $g \cdot m^{-2}$ metodą napawania w temperaturze 18-20°C dla 2, 4, 6, 8 i 10 pasaży. Po każdym etapie nanoszenia nanoligniny tkaninę suszono w temperaturze 40-60°C.

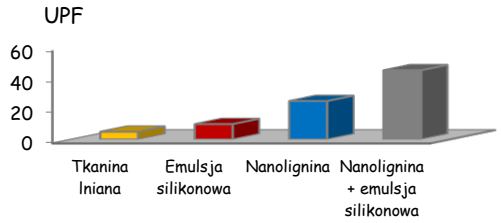
Ocenę współczynnika UPF barierowości przed promieniowaniem UV dla badanych tekstyliów prowadzono przy użyciu aparatu Cary 50 Solascreen zgodnie z normą PN-EN 13758-1:2007 (Tabela 1).

Tab. 1. Klasyfikacja współczynnika barierowości przed promieniowaniem UV

Kategoria ochrony UVR	Zakres UPF
Dobra ochrona	15-24
Bardzo dobra ochrona	25-39
Doskonała ochrona	40-50, powyżej 50

Stwierdziłam, że naniesienie roztworu nanoligniny na tkaninę lnianą znacznie poprawia jej właściwości barierowe przed promieniowaniem ultrafioletowym, a najlepszy rezultat uzyskano po 8 pasażach naniesienia nanoligniny (UPF 25).

Następnie dla uzyskania efektu lepszego związania nanocząstek ligniny z powierzchnią tkaniny użyto emulsji silikonowej o stężeniu: 5, 25 i 50 g·L^{-1}. Wykorzystanie emulsji silikonowej, jako środka wspomagającego proces nanoszenia nanolignin na powierzchnię tkaniny lnianej, wpłynęło na znaczną poprawę efektywności procesu, a najwyższy wzrost wskaźnika UPF, do wartości 45 uzyskano przy stężeniu emulsji silikonowej 25 g·L^{-1}. Podwyższenie wartości wskaźnika barierowości przed promieniami UV obserwowane po zastosowaniu emulsji silikonowej jest uwarunkowane wzrostem równomierności rozkładu nanocząstek ligniny.
Porównanie wskaźników UPF po naniesieniu poszczególnych składników roztworu przedstawiono na Rysunku 15.



Rys. 15. Wskaźnik UPF tkaniny lnianej przed i po naniesieniu (8 pasaży) poszczególnych składników roztworu

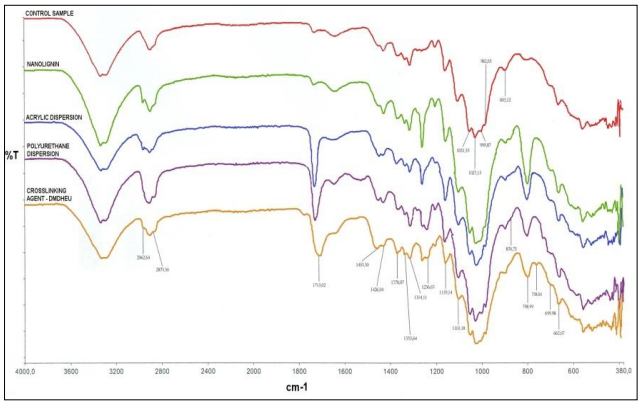
Roztwór nanoligniny z emulsją silikonową został także naniesiony (8 pasaży) na powierzchnię włókniny lnianej o masie powierzchniowej 85 g·m^{-2} i zaobserwowano wzrost wskaźnika UPF z wartości 25 do 50.

Niemniej jednak odporność na pranie tkanin lnianych powlekanych nanoligniną powinna być ulepszona i w tym celu wykorzystano dodatkowe środki pomocnicze. Wykonano próby z zastosowaniem środka hydrofobowego - związek fluorowęglowy i środków wiążących - dyspersja akrylowa, poliuretanowa i octanu winylu oraz środek sieciujący na bazie DMDHEU. Roztwór nanoligniny z dodatkiem emulsji silikonowej (25 g·L^{-1}) wraz z odpowiednimi środkami pomocniczymi nanoszono na powierzchnię tkaniny lnianej metodą napawania (8 pasaży) w temperaturze 18-20°C. Po każdym etapie nanoszenia preparatów nanoligniny, tkaniny poddawano suszeniu czy też procesowi kondensacji w zależności od zastosowanego środka pomocniczego.

Określono optymalne dodatki dla poszczególnych środków, przy których uzyskano najwyższy wzrost wskaźnika UPF przed oraz po 1 i 3 cyklach prania wykonanych wg normy PN-EN ISO 6330:2002:
- związek fluorowęglowy (30-60 g·L^{-1}) - 30 g·L^{-1}, suszenie w 90-100°C i sieciowanie w 140°C przez 3 minuty,
- dyspersja akrylowa (30-70 g·L^{-1}) - 30 g·L^{-1}, suszenie w 90-100°C i sieciowanie w 150-160°C przez 2 minuty,
- dyspersja poliuretanowa - 50 g·L^{-1}, suszenie w 130°C,
- dyspersja octanu winylu (30-70 g·L^{-1}) - 70 g·L^{-1}, suszenie w 90-100°C i sieciowanie w 140-150°C przez 4-5 minut,
- środek sieciujący na bazie DMDHEU (120-140 g·L^{-1}) - 120 g·L^{-1}, suszenie w 90-100°C i sieciowanie 160-175°C przez 1-1,5 minuty.

Należy zauważyć, że chemiczna modyfikacja powierzchni włókna związkiem fluorowęglowym, jak i dyspersją akrylową, poliuretanową i polioctanu winylu, tworzy elastyczną, delikatną folię, która utrwala roztwór nanoligniny z emulsją silikonową na powierzchni tkaniny. W przypadku zastosowania środka sieciującego na bazie DMDHEU trwałe utrwalenie z włóknami celulozowymi następuje, głównie przez wiązania mostkowe, ze względu na obecność grup -OH.

Dodatkowo określenie właściwości chemicznych powierzchni tkanin lnianych pokrytych nanoligniną i roztworem nanoligniny ze środkami wiążącymi - dyspersją akrylową i poliuretanową oraz środkiem sieciującym DMDHEU, wykonano z wykorzystaniem metody spektrofotometrii w podczerwieni przy użyciu spektrofotometru typu Perkin-Elmer Spectrum 100 FTIR w zakresie długości fali 380-4000 cm^{-1} (Rysunek 16).



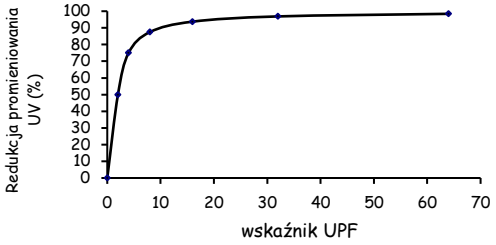
Rys. 16. Widma FTIR tkanin lnianych pokrytych nanoligniną ze środkami wiążącymi

W analizowanych widmach zaobserwowano charakterystyczne pasma absorpcyjne, które przy określonej długości fali można powiązać z określonymi wiązaniami:

- 2963 cm^{-1} - wiązanie C-H pierścienia aromatycznego ligniny,
- 1713 cm^{-1} - wiązanie C=O grupy karbonylowej środków wiążących,
- 1237 cm^{-1} - wiązanie C-C pierścienia guaiacylowego ligniny,
- 799 cm^{-1} - wiązanie C-H pierścienia aromatycznego ligniny (poza płaszczyzną),
- 799 cm^{-1} - wiązanie Si-OH emulsji silikonowej.

Następnie analiza wartości współczynnika UPF tkaniny lnianej po 1, 3, 5 i 10 cyklach prania pozwoliła na określenie optymalnego składu kąpieli zawierającej nanoligniny, tj. roztwór nanoligniny z emulsją silikonową (25 $g \cdot L^{-1}$) i z dodatkiem dyspersji akrylowej (30 $g \cdot L^{-1}$), dla którego uzyskano tkaniny lniane o bardzo dobrych właściwościach chroniących przed promieniowaniem UV (UPF 25) i o trwałym naniesieniu preparatu nanoligniny.

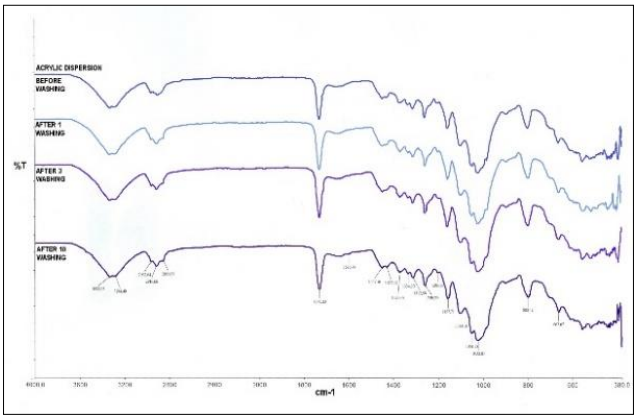
Dyspersja akrylowa została wytypowana jako najbardziej efektywny środek w zakresie utrwalania naniesienia nanocząstek ligniny na powierzchnię włókien z roślin łykowych pomimo, że jej dodanie spowodowało częściowe obniżenie zdolności nanoligniny na absorbowanie promieniowania UV.
Należy zwrócić jednak uwagę na fakt, że istnieje nieliniowa zależność między współczynnikiem UPF wyrobu włókienniczego, a procentową redukcją promieniowania UV przez dany wyrób (Rysunek 17).



Rys. 17. Procentowa redukcja promieniowania UV, a wartość wskaźnika UPF

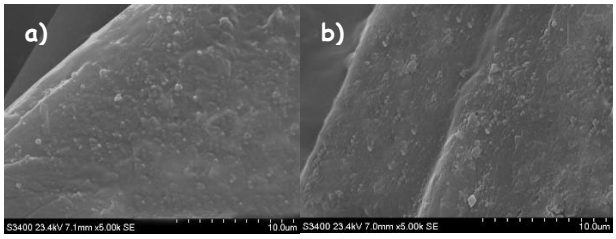
Do wartości wskaźnika UPF równej 15 widoczny jest gwałtowny wzrost redukcji promieniowania UV, po czym dla dalszych wartości UPF przyrosty redukcji promieniowania UV są nieznaczne np. podwojenie wskaźnika UPF z 20 do 40 nie oznacza podwojenia procentowej redukcji promieniowania UV przez wyrób - zmieni się tylko ona z 95% na 97%.

Wykonano także widma FTIR próbek tkaniny lnianej z naniesionym roztworem nanoligniny z emulsją silikonową i dyspersją akrylową przed praniem oraz po 1, 3 i 10 cyklach prania (Rysunek 18). Piki wskazujące na obecność nanolignin i środków wiążących są niezmienione nawet po dziesięciu cyklach prania, co potwierdza prawidłowe wiązanie nanocząstek ligniny z włóknami celulozowymi.



Rys. 18. Widma FTIR tkaniny lnianej z naniesioną nanoligniną i dyspersją akrylową przed oraz po 1, 3 i 10 cyklach prania

Potwierdzeniem trwałości naniesienia i odporności na proces prania tkaniny lnianej impregnowanej roztworem nanoligniny z dyspersją akrylową są także obrazy wykonane na skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) Hitachi typu S-3400N, wykazujące obecność nanocząstek ligniny na powierzchni tkaniny przed i po 10 cyklach prania (Rysunek 19).



Rys. 19. Zdjęcia SEM tkaniny lnianej z nanoligniną i dyspersją akrylową: przed praniem (a) i po 10 cyklach prania (b)

Powlekanie tekstyliów nanoligniną powoduje nie tylko poprawę właściwości barierowych tekstyliów przed promieniowaniem UV, ale także wzmacnia ich aktywność biologiczną wobec mikroorganizmów. Przeprowadzone badania skryningowe aktywności antybakteryjnej wg normy AATCC 147-1998 wykazały, że tkanina lniana pokryta nanoligniną posiada działanie bakteriobójcze na osiem kultur bakterii najczęściej zagrażających zdrowiu człowieka, tj. *Corynebacterium xerosis, Bacillus licheniformis, Micrococcus flavus, Staphyloccocus haemolyticus, Staphyloccocus aureus, Klebsiella pneumoniae, Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa.*

W przeprowadzonych badaniach dowiodłam, że zastosowanie ligniny jako bariery UV wydaje się być bardzo dobrym rozwiązaniem problemów związanych z promieniowaniem UV, gwarantującym uzyskanie bezpiecznych dla skóry człowieka tekstyliów, skutecznie chroniących przed UV i posiadających właściwości antybakteryjne.

Stosowanie aplikacji wyrobów włókienniczych nanoligniną umożliwia także lepsze wykorzystanie lignin stanowiących produkt odpadowy oraz ogranicza stosowanie chemicznych absorbentów promieniowania UV, co pozytywnie wpłynie na środowisko naturalne.

Twórcom powyższego rozwiązania został przyznany Paten europejski EP 2150649 **[10]**.

Opracowane rozwiązanie nagrodzone zostało w 2010 roku przez Prezesa Krajowej Izby Gospodarczej za opracowanie innowacyjnego rozwiązania technologicznego dla gospodarki oraz wieloma medalami na międzynarodowych targach innowacyjności, tj.

- złote medale:
  - 36. International Exhibition of Inventions, New Techniques and Products 2008, Geneva, Switzerland
  - 2. International Warsaw Invention Show „IWIS 2008", Poland
  - 6. International Exhibition (SuZhou) of Inventions, Shanghai, China, 2008
  - 2008 Taipei International Invention Show & Technomart INST, China oraz nagroda specjalna za najwybitniejszy wynalazek

- srebrny medal:
  - 56. „Brussels Eureka 2007", The Belgian and International Trade Fair for Technological Innovation, Belgium
- brązowe medale:
  - 6. International Fair of Inventions, New Ideas, Products and Technologies „ARCA", Zagreb, Croatia, 2008
  - 2009 The Second International Inventor's Day Convention, Bangkok, Thailand
  - 9. Invention & Innovation Awards „Malaysia Technology EXPO", Kuala Lumpur, Malaysia, 2010.

Dodatkowo na Korea International Women's Invention Exposition 2009 w Seulu uzyskałam srebrną nagrodę dla twórcy za rozwiązanie: Nanolignin as an antibacterial factor and UV blocker for textiles.

Natomiast w 2017 roku została podpisana Umowa licencyjna dla PPH OTTIMI Janina Szprync, Poznań na korzystanie z prac B+R „Wyroby włókiennicze z włókien celulozowych zawierające nanoligniny, metoda nakładania nanolignin oraz metoda zastosowania nanolignin w produkcji włókienniczej".

4.5. Wnioski

Konkludując, w przedstawionych badaniach wykazałam złożoność surowca lignocelulozowego przez **aspekt ligniny w procesach otrzymywania przyjaznych dla środowiska bioproduktów** - ekologicznych kompozytów lignocelulozowych, zaawansowanych biopaliw i tkanin o właściwościach prozdrowotnych.

Lignina to bardzo skomplikowany naturalny polimer i często wymaga modyfikacji w celu poprawy jej działania.
Fakt ten wykorzystałam w pracach nad aktywacją enzymatyczną ligniny w surowcu w procesie wytwarzania kompozytów lignocelulozowych w celu ograniczenia stosowania syntetycznych spoiw. Wysoką wytrzymałość na zginanie uzyskałam, gdy paździerze lniane aktywowano lakazą i mediatorem NHA, a stopień zaklejenia wynosił 6% suchej masy żywicy mocznikowo-formaldehydowej. W efekcie powstały **płyty o mniejszej zawartości żywicy syntetycznej,** a tym samym **o ograniczonej emisji formaldehydu podczas produkcji i użytkowania o ok. 50%**.

Innym aspektem poznania roli ligniny w surowcu lignocelulozowym jest fakt, że obecność ligniny jest często niepożądana i konieczne jest jej usunięcie, jak to miało miejsce w pracach nad procesem otrzymywania bioetanolu 2-generacji z biomasy lignocelulozowej. Lignina ze względu na aromatyczny charakter i złożoną strukturę stanowi skuteczną przeszkodę w sacharyfikacji biomasy lignocelulozowej.
Wykonane próby obróbki kwasowej (H_2SO_4), zasadowej (NaOH) i biologicznej (lakaza) biomasy sorgo wykazały, że obróbka lakazą i wodorotlenkiem sodu obejmuje zasadniczo proces delignifikacji i jest skuteczną metodą degradacji lignocelulozy, co poprawia dostępność struktury biomasy dla enzymów w procesie hydrolizy. Wykazałam także podatność biomasy konopi na obróbkę wodorotlenkiem sodu o stężeniu 2% dla biomasy konopi pozyskanych z uprawy tradycyjnej i 1,5% dla biomasy konopi z terenów zasolonych.
Stwierdziłam, że **biomasa** zarówno **sorgo**, jak **i konopi**, choć nieco inaczej, **są podatne na obróbkę wstępną i stanowią bardzo interesujące i obiecujące źródło do wykorzystania w produkcji biopaliw**, jako alternatywy dla paliw kopalnych opartych na ropie naftowej.

Natomiast zastosowanie ligniny w strukturze nano to najnowsze rozwiązanie, które pozwala na wytwarzanie produktów wysokiej jakości, przyjaznych dla człowieka i środowiska.
Lignina w strukturze nano w wyraźniejszym stopniu wykazuje właściwości przypisane ligninie. W miarę zmniejszania się wielkości cząstek, dostęp do grup funkcyjnych ligniny jest zwiększony i umożliwia procesy, których nie można zaobserwować dla większych wymiarów, w szczególności aspekty związane z wychwytywaniem wolnych rodników m.in. absorpcja UV czy obniżenie palności.
Wykorzystanie nanoligniny w procesie wykańczania tekstyliów to nowy sposób na poprawę właściwości bariery UV tekstyliów wykonanych z włókien naturalnych. Opracowałam sposób nanoszenia roztworów nanoligniny na płaskie wyroby włókiennicze, nadając produktom właściwości barierowe przed promieniowaniem UV i antybakteryjne. Zastosowanie roztworu nanoligniny z dodatkiem emulsji silikonowej i dyspersji akrylowej pozwoliło na uzyskanie tkanin lnianych o bardzo dobrych właściwościach chroniących przed promieniowaniem UV i o trwałym naniesieniu preparatu nanoligniny.

5. Informacja o pozostałych osiągnięciach naukowo-badawczych z uwzględnieniem aktywności naukowej w więcej niż jednej jednostce naukowej

Od początku pracy w Instytucie realizowałam **badania związane z toksycznością i jej obniżaniem z materiałów drewnopochodnych** w warunkach użytkowania.

Pod koniec lat 80. XX wieku bardzo ważnym zagadnieniem była szkodliwość formaldehydu emitowanego z płyt cząstkowych podczas produkcji i użytkowania. W Polsce norma PN-EN 120 wskazywała, że zawartość formaldehydu w płytach powinna być w klasie E-1 (0-10 $mg \cdot 100\ g^{-1}$), a zgodnie z Zarządzeniem Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej (Dz.U. nr 4, 15.01.1986) oraz Rozporządzeniem Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (Dz.U. nr 15, 14.03.1990) maksymalne stężenie formaldehydu w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi ograniczono do poziomu 0,05 $mg \cdot m^{-3}$ powietrza (ok. 0,04 ppm).

W latach 1987-1988 i 1992-1993 brałam udział, oznaczając zawartość formaldehydu metodą perforatora i emisję formaldehydu metodą komorową, w przeprowadzeniu kontroli pod kątem wydzielania formaldehydu z płyt oraz w uzyskaniu ocen higienicznych płyt w Instytucie Medycyny Morskiej i Tropikalnej w Gdyni dla 6 wytwórni płyt wiórowo-paździerzowych, tj. KZPL Płytolen w Koszalinie, KZPL Linum w Pakości, ZPL Lenwit w Witaszycach, OZPL Linopłyt w Wołczynie, ZPL Makop w Malborku i PZPL Lenpol w Szczytnie.

1. Kozłowski R., Mścisz J., Batog J. (1993): Zawartość i emisja wolnego formaldehydu z płyt paździerzowych i paździerzowo-wiórowych. Część II. *Natural Fibres - Włókna Naturalne*, 37, 81-87.
2. Kozłowski R., Mścisz J., Brűske J. (później Batog J.) (1988): Zawartość i emisja formaldehydu z płyt paździerzowych i wiórowo-paździerzowych. *Materiały IV Środowiskowej Konferencji Naukowej Chemików*, 25-26 październik, Poznań.
3. Kozłowski R., Mścisz J., Brűske J. (1988): Zawartość i emisja formaldehydu z płyt paździerzowych i wiórowo-paździerzowych. *Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Higieniczność materiałów stosowanych do produkcji mebli i wyposażenia wnętrz mieszkalnych"*, 4-5 listopad, Poznań, 70-75.
4. Mscisz J., Kozlowski R., Bruske J. (1989): Content and emission of formaldehyde from Polish shive boards glued with urea-formaldehyde resins. *Proceedings of the 23rd International Particleboard/Composite Materials Symposium*, April 4-6, Pullman, USA.

W związku z istotnością problemu emisji formaldehydu z płyt cząstkowych Instytut we współpracy z Washington State University w Pullman, jednostką amerykańską o dużych osiągnięciach w dziedzinie materiałów płytowych, podjął w ramach II Polsko-Amerykańskiego Wspólnego Funduszu im. M. Skłodowskiej-Curie (1992-1996) badania nad opracowaniem technologii wytwarzania płyt lignocelulozowych na bazie żywic mocznikowo-formaldehydowych i roślin jednorocznych o obniżonej zawartości i emisji formaldehydu (Załącznik 7).

W realizowanym projekcie przeprowadzono próby obniżenia zawartości i emisji formaldehydu z płyt cząstkowych zarówno przez zmianę technologii prasowania płyt, jak i modyfikację żywic mocznikowo-formaldehydowych (Silekol M, Silekol W-1 i 112E) przy użyciu opracowanego w Polsce scavenger'a formaldehydu. Przeprowadzone próby potwierdziły skuteczność scavenger'a formaldehydu w redukcji emisji formaldehydu w otrzymanych płytach, przy optymalnym dodatku scavenger'a 10% i stopniu zaklejenia 11% oraz parametrach prasowania płyt zgodnych z technologią wytwarzania płyt wiórowo-paździerzowych. Proponowany scaveger reaguje selektywnie z formaldehydem, nie zmieniając reaktywności mieszanki klejowej i nie zakłócając procesu utwardzania żywicy.

W trakcie realizacji projektu odbyłam konsultacje w Washington State University u Prof. Thomasa Maloney'a, których wynikiem było wykonanie prób wytwarzania płyt na instalacji w Wood Materials and Engineering Laboratory. W ramach projektu rozwinęła się także współpraca z Prof. dr hab. Stefanem Kinastowskim z Katedry Chemii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Ponadto opracowana technologia produkcji płyt lignocelulozowych o obniżonej toksyczności została wdrożona w polskich wytwórniach płyt wiórowo-paździerzowych - Komers Holding ZPL Makop (Malbork), ZPL Lenwit (Witaszyce) i OZPL Linopłyt (Wołczyn), co podniosło higieniczność produkowanych płyt.

1. Kozlowski R., Batog J., Przepiera A., Kinastowski S. (1995): Particleboards of reduced toxicity. *Natural Fibres - Włókna Naturalne*, 39, 177-185.

2. Kozlowski R., Batog J., Przepiera A. (1993): Shive and wastewood-based particleboard with low free formaldehyde emission properties. *Proceedings of the 27th International Particleboard/Composite Materials Symposium*, March 30 - April 1, Pullman, USA, 282.
3. Kozlowski R., Batog J., Przepiera A. (1993): Flax board of lowered formaldehyde emission. *3rd European Regional Workshop on Flax*, June 15-17, Bonn, Germany.
4. Kozlowski R., Batog J., Przepiera A. (1994): Particleboards of lowered toxicity. *Non-Textile Application of Flax*, November 14-15, Poznan, Poland.
5. Kozłowski R., Batog J., Przepiera A. (1995): Redukcja emisji formaldehydu z płyt lignocelulozowych poprzez modyfikację środka wiążącego. *Materiały konferencyjne - Wymagania Unii Europejskiej, a stan higieniczności mebli i materiałów stosowanych do ich produkcji*, 4-5 grudzień, Poznań-Kiekrz, 97-105.
6. Kozlowski R., Batog J., Przepiera A., Kinastowski S. (1997): The influence of adhesive modification on particleboards toxicity. *Proceedings of the International Polymer Seminar*, June 26, Gliwice, Poland, 279-282.
7. Kozłowski R., Batog J., Przepiera A., Kinastowski S. (1998): Płyty lignocelulozowe, a środowisko naturalne. *Materiały VI Środowiskowej Konferencji Naukowej Chemików*, 5-6 listopad, Poznań.

Następnie moja **działalność naukowo-badawcza koncentrowała się na pracach związanych z bieleniem drewna, w szczególności usuwaniem przebarwień drewna m.in. sinizny z drewna iglastego**.

Drewno w warunkach niekorzystnych dla naturalnego suszenia (wysoka wilgotność, ciepło) lub długotrwałego składowania przy dużej wilgotności może ulegać działaniu grzybów powodujących przebarwienie drewna tzw. siniznę. Nie naruszają one elementarnej struktury drewna, ale występujące przebarwienia pogarszają estetykę jego wyglądu, obniżając jakość i wartość drewna, co dla handlu tym materiałem oznacza istotne straty finansowe.

W latach 90. XX wieku większość prac skierowana była na opracowanie i doskonalenie środków i sposobów zabezpieczenia drewna przed siniznąą, a tylko mała ich część dotyczyła bielenia drewna, a nieliczne z nich, jego odsiniania. W Polsce nie był produkowany żaden środek umożliwiający proces odsiniania tarcicy.

W ramach projektu celowego „Opracowanie technologii i uruchomienie produkcji nowego środka do usuwania zmian barwy drewna" (1995-1998) brałam aktywny udział w opracowaniu receptury, sposobu stosowania i technologii produkcji środka do wybielania drewna iglastego porażonego siniznąą oraz w uruchomieniu jego produkcji w Instytucie Włókien Naturalnych. Opracowany środek pod nazwą Antysin uzyskał Atest Higieniczny nr HK/B/0710/01/98 Państwowego Zakładu Higieny w Warszawie, a Urząd Patentowy RP przyznał świadectwo ochronne na znak towarowy Antysin nr 128455. Autorzy rozwiązania uzyskali projekt wynalazczy Know-How nr 432/98 „Technologia produkcji środka do usuwania zmian barwy drewna w szczególności sinizny".

Obecnie preparat Antysin produkowany jest w Przedsiębiorstwie Innowacyjno-Wdrożeniowym Delta w Dolsku (umowa licencyjna z 2003 roku). Antysin jest środkiem przeznaczonym do profesjonalnego stosowania w zakładach przerabiających drewno: tartaki, fabryki mebli, zakłady stolarki budowlanej, który nie zmienia struktury powierzchniowej i zabarwienia drewna oraz nie wpływa ujemnie na jego wytrzymałość.

1. Kozłowski R., Batog J., Przepiera A. (2001): Usuwanie sinizny z drewna iglastego przy zastosowaniu preparatu Antysin. *Przemysł drzewny*, 7-8, 24-26.
2. Batog J., Kozłowski R., Przepiera A. (2010): Sinizna drewna i środek do jej usuwania. *Przywrócić naturalną barwę. Uszlachetnianie powierzchni drewna. Część II*, 32-34.
3. Kozłowski R., Batog J., Przepiera A. (2000): Usuwanie sinizny z drewna iglastego przy zastosowaniu preparatu „Antysin". *Materiały szkoleniowo-promocyjne z Forum Meblarstwa'2000 dla głównych technologów, szefów produkcji i kierowników laboratoriów przemysłu meblarskiego,* 13-21 wrzesień, Zakopane, 123-130.

W kolejnych latach prowadziłam w szerokim zakresie **prace naukowo-badawcze nad możliwością wykorzystania czynników biotycznych do uaktywnienia naturalnych sił wiążących materiałów lignocelulozowych w celu zmniejszenia lub eliminacji syntetycznych środków wiążących**.

Specjalne miejsce wśród metod aktywacji, jak już opisałam to dokładnie w punkcie 4.2, przypisuje się obróbce enzymatycznej, a koncepcja wiązania materiałów lignocelulozowych oparta jest na reaktywności grup funkcyjnych związków aromatycznych, w szczególności ligniny, aktywowanych przez oksydoreduktazy.

W pierwszym etapie moich badań nad wykorzystaniem enzymu lakaza w zaklejaniu płyt lignocelulozowych, wykorzystałam zarówno sposób jednoskładnikowy służący do aktywowania lignin surowca (paździerze lniane i konopne), jak i sposób dwuskładnikowy, w którym enzymatycznie aktywowane ligniny techniczne, podobnie do konwencjonalnych środków wiążących łączone są z surowcem.

Prace wykonałam w ramach projektu badawczego „Opracowanie enzymatycznego systemu zaklejania kompozytów lignocelulozowych na bazie roślin jednorocznych" (1999-2001), którego kierownikiem był Prof. dr hab. Stefan Kinastowski z Katedry Chemii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu (Załącznik 7), a także w latach 2000-2005 w ramach prac WG 2: Bioprocessing of bast fibres w Programie Wspólnoty Europejskiej COST Action 847 „Textile Quality and Biotechnology" oraz w V Ramowym Programie UE Network - Wood Modification (2000-2003).

Enzymatyczne utlenianie ligniny w surowcu lignocelulozowym wykonałam przy użyciu lakazy bakteryjnej z grzyba *Aspergillus* sp. (Novozymes) oraz w obecności mediatorów lakazy, tj. związku ABTS, HBT, NHA (punkt 4.2), co wstępnie polepszyło efekt aktywacji ligniny, zarówno dla paździerzy lnianych, jak i konopnych.

Natomiast w celu wytworzenia naturalnych środków wiążących na bazie lignin technicznych aktywowanych lakazą wykorzystałam ługi czarne powstałe przy roztwarzaniu drewna sosnowego metodą siarczanową.

Stwierdziłam, że ligniny techniczne można wykorzystać jako enzymatycznie aktywowany klej do produkcji płyt lignocelulozowych, w szczególności w przypadku paździerzy lnianych. Polimeryzacja dodanej ligniny do wysokocząsteczkowego naturalnego kleju jest możliwa, gdyż enzym pozostaje stabilny do temperatury 70°C.

1. Kozlowski R., Batog J., Konczewicz W., Kozlowska J., Sedelnik N. (2001): Overview of current activities related to bioprocessing of bast plants, fibres and by products. Part I and II. *Natural Fibres - Włókna Naturalne*, 45, 85-92, 93-102.
2. Batog J., Konczewicz W., Kozlowski R., Muzyczek M., Sedelnik N., Tanska B. (2006): Survey and recent report on enzymatic processing of bast fibres. *Journal of Natural Fibers*, 3, 2/3,113-129.
3. Kozlowski R., Batog J., Konczewicz W., Mackiewicz-Talarczyk M., Muzyczek M., Sedelnik N., Tanska B. (2006): Enzymes in bast fibrous plant processing. *Biotechnology Letters*, 28, 10, 761-765.
4. Kozlowski R., Batog J., Przepiera A., Kinastowski S. (2001): Lignocellulosic composite materials bonded by enzymatic system. *Proceedings of the 8th International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry,* June 4-8, Helsinki, Finland, 257-258.
5. Kozlowski R., Batog J., Przepiera A. (2003): Lignocellulosic composite materials bound by natural adhesives. *Proceedings of the 1st European Conference on Wood Modification*, April 3-4, Ghent, Belgium, 411-414.
6. Batog J., Kozlowski R., Przepiera A. (2005): Lignocellulosic composite materials bonded by enzymatic system. *Proceedings of the 7th Forum on International Lignin Institute*, April 27-28, Barcelona, Spain, 179-182.
7. Kozlowski R., Batog J., Konczewicz W., Mackiewicz-Talarczyk M., Muzyczek M., Sedelnik N., Tanska B. (2005): Latest state-of art in bast fibres bioprocessing. *11th International Conference for Renewable Resources and Plant Biotechnology - Narossa,* June 6-7, Poznan, Poland.
8. Batog J., Kozlowski R., Przepiera A. (2005): Enzymatic bonding of lignocellulosic composites boards. *Proceedings of the Conference on Physicochemistry of Lignin,* July 3-6, Arkhangelsk, Russia, 273-276.

Uzyskaną wiedzę i doświadczenie nt. enzymatycznego wiązania materiałów lignocelulozowych według sposobu jednoskładnikowego, wykorzystałam i rozwinęłam w ramach projektu promotorskiego „Aktywacja kompozytów lignocelulozowych enzymami utleniającymi" (2003-2006).

Przeprowadziłam próby obróbki i wiązania surowców z włóknistych roślin jednorocznych - paździerzy konopnych i lnianych, przy użyciu lakazy z grzyba *Aspergillus* sp. Wyznaczyłam parametry obróbki i łączenia surowców oraz określiłam wpływ na wzmocnienie działania lakazy dodatku jej mediatorów (ABTS, HBT, NHA), środowiska aktywacji (bufory i rozpuszczalnik organiczny - dioksan), a także wstępnej obróbki związkiem utleniającym (kwas nadoctowy). Wyznacznikiem skuteczności działania mediatorów, buforów, dioksanu i kwasu nadoctowego w obróbce surowców lakazą były oznaczenia wytrzymałości na zginanie płyt zgodnie z normą PN-EN 310:1994. Oceny procesu aktywacji surowców dokonałam przez pomiar zużycia tlenu podczas ich obróbki i analizę widm FTIR przed i po obróbce.

Rezultatem przeprowadzonych badań była, wspomniana już w punkcie 4.2, praca doktorska: Aktywacja kompozytów lignocelulozowych enzymami utleniającymi (2006), której promotorem był Prof. dr Ryszard Kozłowski. W badaniach wykazałam, że surowce lignocelulozowe przetwarzane z użyciem lakazy wykazują wyższą siłę wiązania niż bez użycia enzymu, w szczególności paździerze lniane.

Stwierdziłam, że w przyszłości w technologii wytwarzania kompozytów lignocelulozowych istnieje możliwość znacznego ograniczenia zużycia syntetycznych środków wiążących.

1. Batog J., Kozlowski R., Przepiera A. (2008): Lignocellulosic composites bonded by enzymatic oxidation of lignin. *Molecular Crystals and Liquid Crystals,* 484, 35/[401]-42/[408].
2. Batog J., Kozlowski R., Przepiera A. (2008): Activation of lignocellulosic composites by oxidizing enzymes. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW, Forestry and Wood Technology,* 63, 28-31.
3. Batog J., Kozłowski R., Przepiera A. (2008): Enzymatyczny sposób zaklejania kompozytów lignocelulozowych./ Enzymatic bonding of lignocellulosic composites. *Przemysl chemiczny,* 87 (12), 1198-1199.
4. Kozlowski R., Batog J., Przepiera A. (2006): More safe lignocellulosic composites bonded by lignin. *Meeting of COST Action 868 Biotechnical functionalisation of renewable polymeric materials,* December 18, Turin, Italy.
5. Batog J., Kozlowski R., Przepiera A. (2007): Activation of lignocellulosic raw materials by oxidizing enzymes. *Proceedings of the 8th Forum International Lignin Institute,* May 10-12, Rome, Italy, 129-131.
6. Batog J., Kozlowski R., Przepiera A. (2008): Application of oxidation enzyme for bonding lignocellulosic composites. *Proceedings of the 3rd International Conference on Environmentally-Compatible Forest Products,* September 10-12, Oporto, Portugal, 37-40.

Następnie w kręgu moich zainteresowań była **funkcjonalizacja biomateriałów nanoligniną**, której przykład wykorzystania jako wykończenie UV-cutting tkanin z surowców naturalnych szczegółowo opisałam w punkcie 4.4.

W ramach Inicjatywy Technologicznej I w projekcie „Modyfikacja lignocelulozowych wyrobów włókienniczych za pomocą biopolimerów o strukturze nano, w celu nadania produktom wielofunkcyjnych właściwości" (2008-2013) wykonałam także prace nad poprawą właściwości ochronnych przed promieniowaniem UV tkanin lnianych naturalnie barwionych.

Proces oparty na tradycyjnej metodzie barwienia barwnikami roślinnymi, może poprawić właściwości barierowe tkanin przed promieniowaniem UV. Niemniej jednak współczynniki barierowości UPF tkanin barwionych naturalnie są niewystarczające w warunkach dużego nasłonecznienia.

Wykonałam próby, w których tkaniny lniane, uprzednio barwione barwnikami naturalnymi - kurkumą, koszenilą i janowcem barwierskim, napawano wielokrotnie roztworem nanoligniny z emulsją silikonową (1-8 pasaży).

Przeprowadzone badania potwierdziły możliwość stosowania nanolignin w procesie barwienia naturalnego.

Stwierdziłam, że tkaniny barwione i pokryte nanoligniną posiadały wyższe wartości UPF od tkanin tylko barwionych oraz zauważyłam wyższą skuteczność nanoszenia preparatów nanoligniny na tkaniny barwione, niż w przypadku tkanin niebarwionych. W ten sposób wykazałam synergię pomiędzy tradycyjnym procesem barwienia naturalnego, a zastosowaniem najnowszej metody napawania roztworem nanoligniny, w celu poprawy właściwości barierowych UV tkaniny lnianej.

1. Zimniewska M., Batog J., Schmidt-Przewozna K., Bogacz E. (2010): Natural dyestuff supported by nanotechnology in finishing process of linen fabrics. *Monograph: Innovations in Clothes and Footwear,* Edited by M. Pawlowa & I. Frydrych, Kazimierz Pulaski Technical University of Radom, Poland, 397-402. ISBN 978-83-7351-377-8
2. Zimniewska M., Batog J., Schmidt-Przewozna K., Bogacz E. (2009): Application of nanolignin for improvement of UV barrier properties of naturally dyed fabrics. *Proceedings of the 28th Meeting of Dyes in History and Archaeology,* October 21-24, Poznan, Poland, 37.

Natomiast w ramach Programu COST Action MP 1105 „Sustainable flame retardancy for textiles and related materials based on nanoparticles substituting conventional chemicals" (2012-2016) skupiłam się na analizie zastosowania nanoligniny do redukcji palności tekstyliów.

W pracach tych wykorzystałam wiedzę i doświadczenie, które zdobyłam jako specjalista w Laboratorium Palności oraz jako ekspert w Polskim Komitecie Normalizacyjnym KT 27 ds. Elastycznych pokryć podłogowych i palności wyrobów włókienniczych.

Nanolignina z emulsją silikonową została nałożona na tkaninę lnianą metodą napawania (8 pasaży, temperatura kąpieli 18-20°C i suszenia 40-60°C).

Badania wpływu nanoligniny na palność tkanin przeprowadzono przy użyciu mikrokalorymetru pirolizy i spalania (PCFC) wg normy ASTM D7309-07a:2009. Określono temperaturę wydzielania ciepła, maksymalną właściwą szybkość wydzielania ciepła (HRR_{max}) oraz czas, w którym występuje HRR_{max}.

Wykazałam jeszcze szersze spojrzenie jak w punkcie 4.4, że dzięki zastosowaniu nanoligniny do wykończenia tkanin lnianych można uzyskać wielofunkcyjne wyroby tekstylne nie tylko o właściwościach barierowych UV i antybakteryjnych, ale także trudnopalnych.

1. Batog J., Wesolek D., Zimniewska M., Wojcik R. (2016): Flammability of textiles modified by nanolignin. *Book of abstracts COST MP 1105 Final Conference „Innovations in flame retardancy of textiles and related materials",* April 27-28, Poznan, Poland, 52.

Należy dodać, że w pracach wykorzystujących ligninę w strukturze nano ściśle współpracowałam z Centrum Badań i Rozwoju STFI - Packforsk AB ze Sztokholmu, Szwecja oraz z Prof. dr hab. Jerzym Langerem z Wydziału Chemii Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu. Zostałam także ekspertem w International Lignin Institute, Szwajcaria, który jest platformą działającą w szeroko rozumianej tematyce związanej z ligniną, inicjującej badania nad poprawą jakości lignin i wykorzystania ich właściwości do nowych zastosowań oraz organizuje cykliczne spotkania tzw. Forum ILI, w których brałam czynny udział.

Ponadto w projekcie celowym „Kompozyty z lignocelulozowych produktów ubocznych powstających podczas przerobu słomy konopnej, zaklejane różnymi środkami wiążącymi" (2009-2011) kierowałam w Instytucie **pracami badawczymi nad wykorzystaniem paździerzy konopnych do produkcji ekologicznych płyt izolacyjnych** w firmie STEICO w Czarnkowie, producenta ekologicznych materiałów budowlanych z surowców lignocelulozowych i lidera wśród producentów materiałów izolacyjnych.

Paździerze konopne były materiałem ubocznym powstającym podczas pozyskiwania włókna konopnego do produkcji płyt izolacyjnych STEICO*canaflex* i stanowiły interesujący surowiec do przemysłowego wykorzystania.

Na początku XXI wieku obserwowano znaczny wzrost zapotrzebowania na materiały płytowe nie tylko w klasie zawartości formaldehydu E-1, ale w klasie E-0,5 tzw. „Blue Angel" oraz wolnych od formaldehydu.

Stąd w projekcie wykonane zostały próby zaklejania impregnowanej przeciwogniowo mieszanki rozwłóknionego drewna iglastego i paździerzy konopnych nie tylko typowymi żywicami mocznikowo-, melaninowo- i fenolowo-formaldehydowymi, ale też żywicą izocyjanianową o obniżonej ilości grup izocyjanianowych.

Stwierdziłam, że otrzymane płyty o grubości 40 mm zaklejane żywicą izocyjanianową można zaklasyfikować do grupy materiałów praktycznie wolnych od formaldehydu (wartość perforatora wg normy PN-EN 120:1994 wyniosła 0,2 $mg \cdot 100\ g^{-1}$).

Natomiast pod względem zapalności przy działaniu pojedynczego płomienia wg normy PN-EN ISO 11925-2:2004 płyty zaklasyfikowano zgodnie z normą PN-EN 13501-1:2010 do wyrobów zdolnych przeciwstawić się w krótkim czasie oddziaływaniu małego płomienia, bez znaczącego rozprzestrzeniania płomienia - klasa E.

Efektem projektu było oprócz wykorzystania paździerzy konopnych w firmie STEICO, pojawienie się interesujących dla budownictwa płyt izolacyjnych, które rynek materiałów budowlanych przyjął bardzo dobrze.

1. Szuta J., Batog J. (2012): Kompozyty z lignocelulozowych produktów ubocznych powstających podczas przerobu słomy konopnej, zaklejane różnymi środkami wiążącymi. *Praca naukowo-badawcza w ramach projektu celowego nr 6ZR7 2008C/07026.* Maszynopis STEICO Sp. z o.o./IWNiRZ, stron 50, załączników 8.

W ostatnich latach moja **działalność naukowo-badawcza ukierunkowana jest na rozwój procesu otrzymywania biopaliw zaawansowanych**.

Proces produkcji bioetanolu z materiałów lignocelulozowych składa się z trzech etapów: obróbki wstępnej, która została dokładnie opisana w punkcie 4.3, procesu hydrolizy enzymatycznej i fermentacji etanolowej.

W ramach projektu Programu Badań Stosowanych „Opracowanie innowacyjnej technologii produkcji bioetanolu II generacji z biomasy sorgo (*Sorghum* sp.) i miskanta (*Miscanthus* sp.)" (2012-2015) kierowałam pracami nad opracowaniem, nie tylko metody obróbki wstępnej (punkt 4.3), ale także procesu hydrolizy enzymatycznej biomasy sorgo, który decyduje o ilości cukrów prostych, dalej metabolizowanych przez drożdże w procesie fermentacji etanolowej.

Hydroliza enzymatyczna została przebadana jako samodzielny proces poprzedzający proces fermentacji (SHF), w której preparaty mogą działać w temperaturze ok. 60°C.

W procesie hydrolizy kluczowym jest synergistyczne działanie trzech rodzajów celulaz: celobiohydrolaz, endoglukanaz i β-glukozydaz, które polega na ataku preparatów enzymatycznych na celulozę poprzez przyczepienie się do mikrofibryli celulozy w miejscach amorficznych, odginanie łańcuchów celulozowych, odcinanie z nich znacznych fragmentów, a następnie ich rozkład, aż do polimeru glukozy.

Badania obejmowały ocenę działania preparatów enzymatycznych (oznaczono aktywność celulolityczną i ksylanolityczną) - Flashzyme Plus 200 (AB Enzymes), Accellerase 1500 (Genencor), ACx3000L (Enzyme Supplies), Celluclast 1,5L (Novozymes) i AlternaFuel CMAX (Dyadic), na zawartość uwolnionych w teście enzymatycznym cukrów redukujących oznaczonych metodą Millera, co pozwoliło na określenie ich przydatność w procesie hydrolizy enzymatycznej.

Najbardziej efektywnym preparatem do hydrolizy biomasy sorgo, po obróbce wstępnej przy użyciu wodorotlenku sodu, okazał się preparat Flashzyme Plus 200 o składzie - endoglukanaza, celobiohydrolaza, celobioza, ksylanaza, mannaza, a jego suplementacja β-glukozydazą i ksylanazą spowodowała tylko nieznaczny wzrost zawartości uwolnionych cukrów redukujących.

Następnie na podstawie ilości uwolnionej glukozy (HPLC) metodą płaszczyzny odpowiedzi (RSM) określono parametry procesu hydrolizy - stężenie substratu 10%, dawka enzymu 30 $FPU \cdot g^{-1}$ oraz temperatura 50°C, pH 4,2 i czas 72 godziny.

Ponadto dla uzyskanej po obróbce chemicznej i enzymatycznej biomasy sorgo wykonano test fermentacyjny w temperaturze 37°C przez 120 godzin przy użyciu drożdży gorzelniczych *Saccharomyces cerevisiae* oraz drożdży modyfikowanych w Instytucie, metodą tasowania genomowego o wyższej odporności na środowiskowe czynniki stresowe - temperaturowy, kwasowy, osmotyczny.

Stwierdziłam, że enzymatyczna konwersja biomasy lignocelulozowej stanowi, oprócz obróbki wstępnej, istotny czynnik decydujący o wydajności procesu otrzymywania bioetanolu.

Przedstawione prace były realizowane w ścisłej współpracy z Prof. dr hab. Włodzimierzem Grajkiem z Katedry Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. (Załącznik 7)

1. Pieprzyk-Kokocha D., Wawro A., Batog J. (2016): Hydrolysis process of biomass sorghum and miscanthus with the use of cellulolytic enzymes for ethanol production. *Cellulose Chemistry and Technology,* 50 (3-4), 401-404.
2. Batog J., Wawro A. (2017): Efektywność obróbki chemicznej i enzymatycznej w procesie otrzymywania bioetanolu. *Postępy Mikrobiologii,* 56 (Supl. 2), 39.
3. Batog J., Wawro A. (2019): Process of obtaining bioethanol from sorghum biomass using genome shuffling. *Cellulose Chemistry and Technology,* 53 (5-6), 459-467.
4. Batog J., Frankowski J., Wawro A., Lacka A. (2020): Bioethanol production from biomass of selected sorghum varieties cultivated as main and second crop. *Energies,* 13, 6291, DOI:10.3390/en13236291.
5. Wawro A., Batog J., Gieparda W. (2020): Efektywność enzymatycznej konwersji biomasy sorgo i konopi do glukozy. *Przemysł chemiczny,* 99, 1731-1734, DOI:10.15199/62.2020.12.7.
6. Pieprzyk-Kokocha D., Batog J., Wawro A. (2015): Comparison of cellulolytic enzyme effect on hydrolysis in bioethanol production. *Proceedings of the International Conference on Environment and Renewable Energy ICERE2015,* May 20-21, Vienna, Austria.
7. Batog J., Wawro A., Pieprzyk-Kokocha D. (2015): The effect of chemical and enzymatic treatment of polysaccharides in sorghum biomass for biofuel production. *Book of abstracts 4th International Polysaccharide Conference EPNOE*

2015 „Polysaccharides and polysaccharide-based advanced materials: from science to industry", October 19-22, Warsaw, Poland, 281.

8. Wawro A., Batog J., Pieprzyk-Kokocha D. (2016): Wykorzystanie biomasy sorgo do produkcji bioetanolu. *Książka abstraktów I Ogólnopolska Konferencja „Nowe horyzonty w naukach przyrodniczych" BIOT 2016,* 6 maj, Poznań, 93.
9. Batog J., Wawro A. (2018): Proces otrzymywania bioetanolu z biomasy sorgo. *V Konferencja Naukowa Fundacji na rzecz Czystej Energii „Europejski wymiar bezpieczeństwa energetycznego, a ochrona środowiska. Rolnictwo i przemysł, a polityka energetyczna",* 24-25 maja, Poznań.

Natomiast w Programie Wieloletnim MRiRW „Odbudowa i zrównoważony rozwój produkcji oraz przetwórstwa naturalnych surowców włóknistych dla potrzeb rolnictwa i gospodarki" w latach 2017-2020 w zadaniu 2.5 kierowałam pracami nad opracowaniem efektywnej technologii otrzymywania bioetanolu z biomasy konopi włóknistych. Badaniami objęto konopie odmiany: Białobrzeskie, Tygra, Rajan i Henola.

Proces hydrolizy enzymatycznej prowadzono oddzielnie (SHF), w którym enzymy działały w temperaturze 50-60°C oraz jednocześnie z procesem fermentacji (SSF), w którym enzymy były dostosowane do warunków procesu fermentacji, czyli temperatury 30-40°C.

W celu doboru kompleksu enzymatycznego do procesów SHF i SSF przeprowadzono badania przy użyciu enzymu Flashzyme Plus 200 i Celluclast 1,5L (celulaza, ksylanaza) oraz ich suplementacji β-glukozydazą i ksylanazą. W zależności od odmiany konopi, na podstawie ilości uwolnionych po teście enzymatycznym cukrów redukujących, wybrano kompleksy enzymatyczne o odpowiednim składzie: dla odmiany Tygra - proces SHF: Flashzyme Plus 200, β-glukozydaza, ksylanaza, proces SSF: Flashzyme Plus 200:Celluclast 1,5L (70:30), ksylanaza, a dla odmiany Rajan - proces SHF: Flashzyme:Celluclast 1,5L (70:30), proces SSF: Flashzyme Plus 200:Celluclast 1,5L (50:50).

Następnie wykonano optymalizację (RSM) hydrolizy enzymatycznej biomasy konopi po obróbce alkalicznej, dla procesu SHF wg zakresów parametrów: stężenie substratu 5-10%, dawka enzymu 10-30 FPU·g^{-1} oraz temperatura 50-70°C, pH 4,2 - 5,4 i czas 24-72 godziny. Natomiast, aby zoptymalizować proces SSF zgodnie z RSM dobrano następujące zakresy parametrów: stężenie substratu 5-7%, dawka enzymu 10-30 FPU·g^{-1} przy użyciu drożdży *S. cerevisiae* w temperaturze 37°C, pH 4,8 i czasie 96 godzin.

Stwierdziłam, że wyższe stężenie etanolu uzyskano dla biomasy konopi Tygra w procesie SHF i wyniosło 10,5 g·L^{-1} (3,04 m^3·ha^{-1}), a dla biomasy Rajan w procesie SSF - 7,5 g·L^{-1} (2,23 m^3·ha^{-1}).

Podsumowując, biomasa konopi Tygra i Rajan okazała się interesującym i obiecującym surowcem do produkcji bioetanolu, a opracowany proces otrzymywania bioetanolu może posłużyć w podjęciu przez producentów zainteresowanych produkcją biopaliw zaawansowanych, decyzji o uruchomieniu produkcji pilotażowej.

W 2018 roku podpisany został List intencyjny o współpracy z Grupą LOTOS S.A. nt. bioetanolu II generacji z biomasy konopi oraz prowadzone były prace nad przygotowaniem wspólnego projektu do Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach POIR 2014-2020 w konkursie Szybka Ścieżka.

1. Wawro A., Batog J., Gieparda W. (2019): Chemical and enzymatic treatment of hemp biomass for bioethanol production. *Applied Sciences,* 9(24), 5348, DOI:10.3390/app9245348.
2. Wawro A., Batog J., Gieparda W. (2020): Efektywność enzymatycznej konwersji biomasy sorgo i konopi do glukozy. *Przemysł chemiczny,* 99, 1731-1734, DOI:10.15199/62.2020.12.7.
3. Frankowski J., Wawro A., Batog J., Burczyk H. (2021): New Polish oilseed hemp cultivar Henola - cultivation, properties and utilization for bioethanol production. *Journal of Natural Fibers,* 1-13, DOI: 10.1080/15440478.2021.1944439.
4. Wawro A., Batog J., Gieparda W. (2021): Polish varieties of industrial hemp and their utilisation in the efficient production of lignocellulosic ethanol. *Molecules*, 26, 6467, DOI: 10.3390/molecules26216467.
5. Batog J., Wawro A., Gieparda W. (2019): Proces enzymatycznej konwersji biomasy konopi w produkcji bioetanolu. *Materiały konferencyjne 53 Ogólnopolskiej Konferencji Mikrobiologicznej „Mikroorganizmy w zrównoważonym rolnictwie, ochronie środowiska i procesach biotechnologicznych",* 8-11 wrzesień, Poznań, 15.

W latach 2018-2021 kierowałam także pracami nad wykorzystanie biomasy halofitów do otrzymywania bioetanolu w europejskim projekcie „Integrated system of bioremediation - biorefinering using halophyte species" w ramach Programu ERA-NET FACCE SURPLUS 2.

Zasolenie europejskich krajów wzrasta co roku, co stanowi poważną formę degradacji gleby, zagrażając potencjalnemu ich wykorzystaniu oraz powoduje poważne straty gospodarcze, o czym wspomniałam już w punkcie 4.3. Konieczna jest remediacja tych terenów w celu przywrócenia produkcji rolnej oraz opracowanie procesów biorafinacji pozyskanej biomasy roślinnej do produkcji m.in. bioproduktów, bioenergii.

W badaniach nad procesem otrzymywania bioetanolu wykorzystałam biomasę halofitów z gleb zasolonych - kostrzewy trzcinowej i konopi włóknistych. Kostrzewa trzcinowa to trawa, która tworzy duże, gęste i głęboko zakorzenione kępy, wykazujące znaczną tolerancję na niekorzystne warunki siedliskowe, rosnące na poboczach dróg, łąkach i aluwiach.

W pierwszym etapie badań biomasę halofitów poddano wstępnej obróbce wodorotlenkiem sodu (punkt 4.3).

Następnie przebadano proces SSF przy użyciu wybranych kompleksów enzymatycznych, tj. kompleksu Flashzyme Plus 200:Celluclast 1,5L w proporcji 70:30 dla biomasy kostrzewy i w proporcji 50:50 dla biomasy konopi oraz przy ustalonych parametrach procesu: stężenie substratu 5%, dawka enzymu 10 $FPU \cdot g^{-1}$, temperatura 37°C, pH 4,8, drożdże *S. cerevisiae* (1 $g \cdot L^{-1}$), czas 72 godziny.

Wykazałam, że biomasa konopi włóknistych, jak i kostrzewy trzcinowej z terenów zasolonych może być wykorzystana do pozyskania bioetanolu oraz uzyskałam dla biomasy obu roślin stężenie etanolu na poziomie ok. 7 $g \cdot L^{-1}$ (14 $g \cdot 100\ g^{-1}$).

1. Batog J., Bujnowicz K., Gieparda W., Wawro A., Rojewski S. (2021): Effective utilisation of halophyte biomass from saline soils for biorefinering processes. *Molecules*, 26, 5393, DOI:10.3390/molecules2617539.
2. Batog J., Mańkowski J., Buchwald W., Baraniecki P., Bujnowicz K., Kołodziej J., Adamczak A., Bilińska E., Frankowski J., Gieparda W., Mordalski R., Rojewski S., Wawro A., Mackiewicz-Talarczyk M. (2020): Zintegrowany system bioremediacji - biorafinacja z wykorzystaniem gatunków halofitów, prace zrealizowane w 2019 roku. *Biuletyn Informacyjny Polskiej Izby Lnu i Konopi - Len i konopie,* 34, 2-7.

Należy dodać, że za działalność na rzecz rozwoju polskiego rolnictwa w dziedzinie włókien naturalnych zostałam odznaczona przez Prezydenta RP w 2010 roku Srebrnym Medalem za Długoletnią Służbę oraz dwukrotnie Krzyżem Zasługi - Srebrnym w 2000 i Złotym w 2020 roku.

6. Informacja o osiągnięciach organizacyjnych, dydaktycznych i popularyzujących naukę

W trakcie mojego zatrudnienia w Instytucie pracowałam i zdobywałam doświadczenie naukowe jako chemik (1987-1988), asystent (1988-1990), starszy asystent (1990-2007), a od roku 2007 pracuję na stanowisku adiunkta w Zakładzie Inżynierii Bioproduktów (Zakład BP), który przez lata zmieniał swoją nazwę (punkt 2).

W latach 2009-2018 pełniłam funkcję zastępcy kierownika Zakładu Kompozytów (od 2012 roku Zakład Innowacyjnych Biomateriałów i Nanotechnologii), a od 2018 roku kierownika Zakładu BP, który od 2021 roku działa pod nazwą Zakład Inżynierii Bioproduktów.

W czasie dotychczasowej pracy naukowo-badawczej kierowałam projektami realizowanymi przez Instytut oraz pracami w Instytucie w ramach projektów we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych oraz we współpracy z przedsiębiorstwami:

1. Modyfikacja lignocelulozowych wyrobów włókienniczych za pomocą biopolimerów o strukturze nano, w celu nadania produktom wielofunkcyjnych właściwości. Inicjatywa Technologiczna I (2008-2013) - kierownik projektu
2. Kompozyty z lignocelulozowych produktów ubocznych powstających podczas przerobu słomy konopnej, zaklejane różnymi środkami wiążącymi. Projekt celowy z firmą STEICO Sp. z o.o. (2009-2011) - kierownik prac realizowanych w IWNiRZ

3. Opracowanie innowacyjnej technologii produkcji bioetanolu II generacji z biomasy sorgo (*Sorghum* sp.) i miskanta (*Miscanthus* sp.). Program Badań Stosowanych (2012-2015), współpraca z Uniwersytetem Przyrodniczym w Poznaniu - kierownik prac nt. bioetanolu realizowanych w IWNiRZ
4. Odbudowa i zrównoważony rozwój produkcji oraz przetwórstwa naturalnych surowców włóknistych dla potrzeb rolnictwa i gospodarki. Program Wieloletni MRiRW (2017-2020) - kierownik zadania 2.5 nt. bioetanolu
5. Integrated system of bioremediation - biorefinering using halophyte species. Program ERA-NET FACCE SURPLUS 2 (2018-2021), współpraca z National Institute of Research and Development for Biological Sciences Biomaterials & Bioproducts, Rumunia - kierownik projektu NCBR i zadania nt. bioetanolu

W ramach realizowanej tematyki badawczej stworzyłam w Instytucie i kierowałam dwoma zespołami badawczymi wykonującymi prace badawcze, projekty nt. enzymatycznego systemu zaklejania kompozytów płytowych (1998-2016) oraz wykorzystania biomasy lignocelulozowej jako surowca w procesie otrzymywania biopaliw (2012-obecnie).

Ponadto w latach 1998-2007 pełniąc funkcję kierownika zmodyfikowałam i wyposażyłam Laboratorium Toksyczności w Zakładzie BP oraz uczestniczyłam we wdrożeniu systemu zarządzania i uzyskaniu w 1998 roku przez Laboratoria Badawcze Instytutu Certyfikatu Akredytacji nr AB 225 Polskiego Centrum Akredytacji.

Zakres prac Laboratorium Toksyczności przedstawiłam w 2000 roku w czasopiśmie Przemysł drzewny w artykule: Laboratoria badawcze Instytutu Włókien Naturalnych. Helwig M., Batog J., Rawluk M., Grygorowicz Z.

Natomiast od 2004 roku pełnię funkcję kierownika akredytowanych Laboratoriów Badawczych IWNiRZ, a od 2017 roku jestem członkiem rzeczywistym w Polskim Klubie Laboratoriów Badawczych POLLAB.

W latach 2007-2011 przedstawiałam działalność Laboratoriów Badawczych IWNiRZ na portalu Certyfikacja.info oraz od 2007 roku do dzisiaj na portalu Laboratoria.net.

Prowadzę także sukcesywnie szkolenia wewnętrzne dla personelu akredytowanych Laboratoriów Badawczych nt. doskonalenia systemu zarządzania i wymagań technicznych wg normy PN-EN ISO/IEC 17025.

W trakcie mojej pracy naukowo-badawczej byłam delegowana przez Instytut i powołana jako ekspert w krajowych i międzynarodowych organizacjach naukowych:

1. FAO/ESCORENA European Co-operative Research Network on Flax, Hemp and other Bast Plants, Working Group: Non-Textile Application of Flax, Rzym, Włochy (1993-obecnie)
2. Komitet Techniczny nr 27 ds. Elastycznych pokryć podłogowych i palności wyrobów włókienniczych, Polski Komitet Normalizacyjny (1999-obecnie) - Załącznik 7
3. Foresight technologiczny w zakresie materiałów polimerowych (2006-2008) - Załącznik 7
4. Polska Platforma Technologiczna Przemysłu Skórzanego, Kraków (2007-2010)
5. International Lignin Institute, Szwajcaria (2009-obecnie) - Załącznik 7
6. Grupa Robocza KIS 3 ds. biotechnologicznych procesów i produktów chemii specjalistycznej oraz inżynierii środowiska, Ministerstwo Rozwoju i Technologii (2015-obecnie) - Załącznik 7
7. Forum Inteligentnych Specjalizacji ds. biosurowców i żywności dla świadomych konsumentów, Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego (2015-obecnie) - Załącznik 7
8. Zespół ds. biogospodarki, MRiRW (2019-obecnie)
9. Wielkopolska Platforma Wodorowa, Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego (2019-obecnie) - Załącznik 7

W czasie pracy w Instytucie byłam członkiem Rady Naukowej kilku kadencji: 1990-1994, 2000-2003 i 2016-2020, która została przerwana w 2017 roku ze względu na zmianę przepisów, a także 2017-2021.

W ostatnich latach prowadziłam nadzór nad praktykami studentów i doktorantów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w zakładzie BP w tematyce biopaliw, modyfikacji włókien naturalnych i mikrobiologii przemysłowej.

Od 2015 roku wykonałam 7 recenzji publikacji naukowych w czasopismach wysokopunktowanych MEiN: Journal of Natural Fibers (4 prace), Energies (1 praca) i Applied Science (1 praca) oraz w czasopiśmie Electronic Journal of Polish Agricultural Universities (1 praca).

W ramach popularyzacji i upowszechniania wyników prowadzonych prac naukowo-badawczych brałam udział łącznie w ponad 90 krajowych i zagranicznych konferencjach naukowych, sympozjach, seminariach i spotkaniach, wśród których wykłady na zaproszenie nt. ograniczania palności materiałów, usuwania przebarwień drewna i biopaliw zaawansowanych to:

1. Środki ogniochronne stosowane w budownictwie. Kozłowski R., Helwig M., Batog J. Seminarium dla dyrektorów przemysłu azotowego i petrochemicznego, 02-04.10.1996, Ustrzyki Górne
2. Usuwanie sinizny z drewna iglastego przy zastosowaniu preparatu „Antysin". Kozłowski R., Batog J., Przepiera A. Forum Meblarstwa'2000 dla głównych technologów, szefów produkcji i kierowników laboratoriów przemysłu meblarskiego, 13-21.09.2000, Zakopane
3. Proces otrzymywania bioetanolu z biomasy sorgo. Batog J., Wawro A. Seminarium Naukowe Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego SeNaNEOP 2, 31.01.2018, Poznań
4. Bioetanol z biomasy konopnej jako polski dodatek do paliw płynnych. Batog J., Frankowski J., Wawro A., Gieparda W. Konferencja MRiRW „Innowacyjne rozwiązania dla polskiego rolnictwa" Polskie rośliny włókniste i zielarskie dla innowacyjnej biogospodarki, 19.09.2018, Warszawa
5. Biofuel from hemp biomass. Batog J., Wawro A., Frankowski J., Gieparda W. National Meeting in Poland disseminating knowledge about the European Commission's Standing Committee on Agricultural Research (SCAR), 14.11.2018, Warszawa
6. Efektywna technologia otrzymywania bioetanolu II generacji z biomasy konopi o zwiększonych wartościach użytkowych. Batog J., Wawro A., Gieparda W. Konferencja IWNiRZ „Konopie i len w polskiej biogospodarce" Program Wieloletni MRiRW, 29.10.2019, Poznań

Ponadto byłam autorem materiałów reklamowych o produktach, technologiach i efektach prac naukowo-badawczych powstałych w wyniku realizacji projektów m.in.:

1. Projekt celowy: Opracowanie technologii i uruchomienie produkcji nowego środka do usuwania zmian barwy drewna - ulotka preparatu Antysin
2. Projekt POIG: Ochrona patentowa - Tkaniny z włókien celulozowych zawierające nanoligniny, metoda zastosowania nanolignin na tkaninach i wykorzystanie nanolignin w produkcji tkanin - ulotka, rollup i poster w wersji polskiej i angielskiej, kalendarz na 2013 rok
3. Inicjatywa Technologiczna I: Modyfikacja lignocelulozowych wyrobów włókienniczych za pomocą biopolimerów o strukturze nano, w celu nadania produktom wielofunkcyjnych właściwości - wzorcowa odzież powleczona apreturą z nanoligniną
4. Program Badań Stosowanych: Opracowanie innowacyjnej technologii produkcji bioetanolu II generacji z biomasy sorgo (*Sorghum* sp.) i miskanta (*Miscanthus* sp.) - strona internetowa IWNiRZ o projekcie SORMISOL
5. Program Wieloletni MRiRW 2017-2020: Odbudowa i zrównoważony rozwój produkcji oraz przetwórstwa naturalnych surowców włóknistych dla potrzeb rolnictwa i gospodarki - ulotka i rollup nt. bioetanolu z biomasy konopi
6. Program ERA-NET FACCE SURPLUS 2: Integrated system of bioremediation - biorefinering using halophyte species - ulotka, rollup, strona internetowa IWNiRZ-PIB i ESCORENA o projekcie HaloSYS

Rezultaty realizowanych prac naukowo-badawczych nt. wykorzystania nanolignin w procesie wykończalniczym tekstyliów prezentowane były na targach wynalazczości zdobywając liczne nagrody - Nagroda Prezesa Krajowej Izby Gospodarczej INNOVATICA (2010) oraz 4 medale złote (2008), 2 srebrne (2007, 2009) i 3 brązowe (2008, 2009, 2010), a opracowany w Instytucie proces otrzymywania biopaliw 2-generacji z biomasy lignocelulozowej przedstawiany był na wystawach i konferencjach w MRiRW.

Osiągnięcia moich prac nt. enzymatycznej aktywacji kompozytów lignocelulozowych oraz wpływu nanoligniny na blokowanie promieniowania UV i palność tekstyliów szeroko przedstawiałam na konferencjach i spotkaniach Programu Wspólnoty Europejskiej COST Acion 846: Textile Quality and Biotechnology, COST Action 868: Biotechnical functionalisation of renewable polymeric materials i COST Action MP 1105: Sustainable flame retardancy for textiles and related materials based on nanoparticles substituting conventional chemicals oraz na Forum International Lignin Institute i Europejskiej Sieci Badawczej Współpracy ds. Lnu, Konopi i innych Roślin Łykowych pod patronatem FAO/ESCORENA.

Ponadto wykorzystanie nanoligniny jako czynnik antybakteryjny i blokujący promieniowanie UV dla wyrobów włókienniczych przedstawiłam w 2008 roku w Przeglądzie Farmaceutycznym - Przemysł w artykule: „Możliwości wykorzystania „agro-fine chemicals". Czyste produkty o pożądanych właściwościach" Kozłowski R., Banach J., Pieprzyk-Kokocha D., Kozłowska J., Batog J. i na konferencji Foresight Nowoczesne technologie dla włókiennictwa. Szansa dla Polski. Utkajmy przyszłość…w dniu 18.06.2013 w Warszawie, a wykorzystanie biomasy konopi włóknistych jako surowiec w procesie pozyskania biopaliw opisałam w 2020 roku w ulotce przygotowanej do Biuletynu MRiRW oraz w 2021 roku na portalu agronomist.pl w artykule „Rośliny włókniste jako istotne uzupełnienie upraw roślin żywnościowych, a czasami nawet rozsądna alternatywa" pod redakcją Marii Sikorskiej.

Uczestniczyłam też w przygotowaniu filmu o Instytucie Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich autorstwa Wiktora Niedzickiego w 2014 roku pod tytułem „Co kryją rośliny?" oraz w roku 2020, przedstawiając informacje nt. wytwarzania funkcjonalnej odzieży z lnu przy wykorzystaniu nanoligniny, a także biopaliw 2-generacji z biomasy lignocelulozowej.

Dodatkowo brałam czynny udział w 2013 roku w tworzeniu Wielkopolskiego Konsorcjum Infrastruktury Badawczej dla Biogospodarki AgroBioTech, w 2017 roku Programu Sektorowego INNOBIO, a w 2018 roku Programu BIOSTRATEG (NCBR) Zagadnienie badawcze 5: Rozwój biogospodarki w sektorze rolno-żywnościowym w zakresie wytwarzania bioproduktów i nośników energii oraz kompleksowych systemów energetycznych w gospodarstwach, wykorzystujących odnawialne źródła energii.

W zakresie biopaliw z surowców lignocelulozowych jako dodatek do paliw płynnych brałam też udział w 2019 roku w przygotowaniu projektu „Nowe technologie w zakresie energetyki" zgłoszonego jako Program Strategiczny przez MRiRW do NCBR, w 2020 roku w pracach klastra 6 „Żywność, biogospodarka, zasoby naturalne, rolnictwo i środowisko" Program Horyzont Europa, BIOEAST i Europejskiego Partnerstwa, a 2021 roku przygotowałam projekt „Biopaliwa zaawansowane z surowców lignocelulozowych jako dodatek do paliw płynnych" zaakceptowany w I turze przez MRiRW do Krajowego Planu Odbudowy.

7. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego

W Instytucie Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich - Państwowym Instytucie Badawczym zatrudniona jestem od 1987 roku, obecnie jako adiunkt i kierownik Zakładu Inżynierii Bioproduktów, a od 2004 roku także jako kierownik akredytowanych Laboratoriów Badawczych.

Specjalizuję się w szczególności w zakresie kompozytów płytowych na bazie roślin jednorocznych i niekonwencjonalnych środków wiążących, biopolimerów, w tym w skali nano - nowych kierunków ich zastosowania oraz procesów otrzymywanie biopaliw z biomasy lignocelulozowej.

W swojej pracy w Instytucie aktywnie uczestniczyłam w pracach naukowo-badawczych, jako:

- kierownik/główny wykonawca w 26 projektach badawczych (finansowanych przez KBN, MEiN, NCBR oraz we współpracy z USA, UE), w których najważniejsze osiągnięcia to:
  - technologia produkcji płyt lignocelulozowych o obniżonej toksyczności i jej wdrożenie w trzech wytwórniach płyt wiórowo-paździerzowych, tj. Komers Holding ZPL Makop, Malbork, ZPL Lenwit, Witaszyce i ZPL Linopłyt, Wołczyn - współpraca z Washington State University w Pullman, USA (1992-1996)
  - technologia produkcji jedynego krajowego środka do usuwania sinizny z drewna iglastego „Antysin" - sprzedaż licencji na stosowanie technologii wytwarzania środka i jej wdrożenie (2003)
  - enzymatyczny sposób łączenia materiałów lignocelulozowych (ekologiczne kompozyty)
  - otrzymanie lignin w skali nano i sposób ich wykorzystania do poprawy właściwości barierowych wyrobów włókienniczych przed promieniowaniem UV - Patent EP 2150649 (2012) - Nagroda Prezesa Krajowej Izby Gospodarczej INNOVATICA 2010, a także wyróżnienia na międzynarodowych targach wynalazczości (4 medale złote, 2 srebrne i 3 brązowe oraz wiele dyplomów i listów gratulacyjnych MEiN)
  - wdrożenie produkcji płyt izolacyjnych dla budownictwa w STEICO Sp. z o.o., Czarnków (2011)
  - opracowanie procesu otrzymywania bioetanolu z biomasy lignocelulozowej (biokomponent do paliw ciekłych)
- ekspert w projekcie Foresight technologiczny w zakresie materiałów polimerowych (2006-2008)

- uczestnik w Programie Wspólnoty Europejskiej Cost Action 847 Textile Quality and Biotechnology (2000-2005) i Cost Action 868 Biotechnical functionalisation of renewable polymeric materials (2006-2010)
- ekspert w pracach Urzędu Marszałkowskiego Województwa Wielkopolskiego w obszarze inteligentnych specjalizacji dla Wielkopolski (od 2014) i Platformy Wodorowej (od 2019)
- od 2015 ekspert w Grupie Roboczej Krajowych Inteligentnych Specjalizacji (KIS 3) ds. biotechnologicznych procesów i produktów chemii specjalistycznej oraz inżynierii środowiska, Ministerstwo Rozwoju i Technologii
- od 1999 ekspert KT 27 PKN ds. elastycznych pokryć podłogowych i palności wyrobów włókienniczych
- od 2009 ekspert w International Lignin Institute (Szwajcaria)
- od 2019 ekspert w Zespole ds. Biogospodarki, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi
- współautor 129 publikacji i doniesień konferencyjnych, 35 prac niepublikowanych, 28 opracowań naukowo-badawczych, 8 wdrożeń, patentu europejskiego, projektu wynalazczego, znaku towarowego i 34 ekspertyz nt. zabezpieczeń ogniochronnych i higieniczności wyrobów płytowych i tekstylnych
- recenzent merytoryczny w czasopismach specjalistycznych nt. kompozytów, biopolimerów, biopaliw.

Za działalność na rzecz rozwoju polskiego rolnictwa w dziedzinie włókien naturalnych zostałam odznaczona przez Prezydenta RP Srebrnym (2000) i Złotym (2020) Krzyżem Zasługi.

Poniżej przedstawiam w formie tabelarycznej zestawienie mojego dorobku naukowo-badawczego:

Lp.	Osiągnięcie/aktywność	Liczba pozycji
1.	Publikacje naukowe w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR)	20
2.	Monografie, publikacje naukowe w czasopismach innych niż z bazy JCR: - Rozdziały monografii w j. polskim - Rozdziały monografii w j. angielskim - Publikacje w innych czasopismach o zasięgu krajowym - Publikacje w innych czasopismach o zasięgu międzynarodowym - Publikacje w materiałach konferencyjnych o zasięgu krajowym - Publikacje w materiałach konferencyjnych o zasięgu międzynarodowym	 11 6 8 9 19 56
3.	Sumaryczny Impact Factor wg bazy Journal Citation Reports	32,849
4.	Punkty MEiN (punktacja wg roku opublikowania artykułów)	1095 w tym: 205 (2006-2018) 890 (2019-2020)
5.	Sumaryczna liczba cytowań wg bazy Web of Science - bez cytowań własnych	154 141
6.	Indeks Hirscha wg bazy Web of Science	6
7.	Prace niepublikowane, opracowania naukowo-badawcze, ekspertyzy	97
8.	Kierowanie projektami badawczymi lub udział w projektach: - międzynarodowe - krajowe	 11 15
9.	Udział w konferencjach naukowych, sympozjach, seminariach, spotkaniach: - międzynarodowe - krajowe	 62 31
10.	Patenty, wynalazki, znaki towarowe	3
11.	Recenzje	7
12.	Członkostwo w organizacjach naukowych	12
13.	Nagrody za działalność naukowo-badawczą	20

……

Podpis wnioskodawcy