



Wchodzi w skład monograficznej serii wydawniczej, wydanej w ramach programu Strategicznego Zadania Badawczego Nr 4 pt.: „Opracowanie nowych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych” koordynowanego przez Instytut Maszyn Przepływowych Szewalskiego PAN w Gdańsku i realizowanego w ramach umowy nr SP/E/4/65786/10 zawartej z NCBiR

Redaktorzy Serii:

Jan Kiciński, Adam Cenian, Piotr Lampart

Jan Kiciński, Adam Cenian, Piotr Lampart,
Anna Białous, Andrzej Białowiec, Dariusz Butrymowicz,
Sebastian Bykuć, Roman Borecki, Dariusz Czyłkowski,
Marcin Dębowski, Mirosław Dors, Witold Elsner, Maria Gazda,
Tomasz Golec, Janusz Golaszewski, Katarzyna Grochowska,
Bartosz Hrycak, Janina Ilmurzyńska, Tomasz Iluk,
Bogdan Jakubowski, Mariusz Jasiński, Anatol Jaworek,
Janusz Jewulski, Wiesław Jodkowski, Dariusz Kardaś,
Jarosław Karwacki, Jacek Kluska, Przemysław Kowalski,
Zbigniew Korczewski, Andrzej Krupa, Mirosław Krzemieniewski,
Jakub Kupecki, Roman Kwidziński, Marcin Lackowski,
Michał K. Łuczyński, Ryszard Michalski, Robert Miotk,
Jerzy Mizeraczyk, Ewelina Olba-Zięty, Janusz Piechocki,
Leszek Piechowski, Tomasz Przybyliński, Grzegorz Przybyła,
Krzysztof Remiszewski, Joanna Reszczyńska, Jacek Rudnicki,
Mirosław Sawczak, Andrzej Sitka, Mariusz Siudak,
Katarzyna Siuzdak, Gerard Śliwiński, Arkadiusz T. Sobczyk,
Aleksander Sobolewski, Sławomir Stelmach, Mariusz Stolarski,
Mariusz Szymaniak, Kamil Śmierciew, Marian Treła,
Dariusz Wiśniewski, Irena Wojnowska-Baryła, Kazimierz Wójs,
Marian Wysocki, Adriana Zaleska, Marcin Zieliński

Technologie i urządzenia zrównoważonej energetyki rozproszonej bazujące na substratach z biomasy i odpadów rolniczych



GDAŃSK 2015

Jan Kiciński, Adam Cenian, Piotr Lampart i inni

Technologie i urządzenia zrównoważonej energetyki rozproszonej
bazujące na substratach z biomasy i odpadów rolniczych

Recenzent:
dr hab. inż. Jerzy Świryczuk

Redaktor naukowy:
prof. dr hab. inż. Jan Kiciński

Opracowanie wydawnicze:
Aleksandra Nowaczewska, Rafał Jendrzewski

Projekt okładki:
Mirosław Sawczak

wydawnictwo Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szwalskiego
Polskiej Akademii Nauk, Gdańsk, 2015

ISBN 978-83-88237-48-5

Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych PAN
ul. J. Fiszer 14, 80-231 Gdańsk
tel. 58 6995141; fax 58 3416144; e-mail: redakcja@imp.gda.pl

Druk i oprawa: Expol, ul. Brzeska 4, 87-800 Włocławek

SPIS TREŚCI

1. Wstęp - ekoinnowacyjne technologie dla energetyki zrównoważonej rozwijane w Projekcie Strategicznym NCBiR	9
1.1. Zrównoważona energetyka prosumencka	9
1.1.1. Uwarunkowania geofizyczne	11
1.1.2. Energetyka prosumencka jako źródło rozwoju regionu	11
1.1.3. Rola lokalnych władz i środków publicznych jako "first mover" rozwoju	12
1.2. Autonomiczne Regiony Energetyczne	13
1.3. Technologie	14
1.4. Literatura	18
2. Pilotażowe instalacje kogeneracyjne/poligeneracyjne z układem ORC	19
2.1. Wprowadzenie	19
2.2. Modernizacja obiektów ciepłowniczych	19
2.3. Modelowy układ ORC	26
2.4. Układ gazowo/parowy ORC	28
2.5. Literatura	31
3. Strumieniowy układ produkcji chłodu	33
3.1. Wprowadzenie	33
3.2. Poprawa efektywności urządzeń strumieniowych	35
3.3. Regulacja wydajnością strumienicy	39
3.4. Uwagi końcowe	43
3.5. Literatura	44
4. Technologie zgazowania dla rozproszonej energetyki	47
4.1. Wstęp	47
4.2. Reaktor KAJOT	49
4.3. Kogeneracyjna instalacja pilotażowa z układem zgazowania pirolitycznego odpadów komunalnych i ściekowych	54
4.3.1. Analiza porównawcza wyników symulacji pracy instalacji z wynikami pomiarów instalacji rzeczywistej	55
4.4. Układ zagospodarowania energetycznego trudnoutylizowalnych odpadów pochodzenia rolniczego	58
4.4.1. Prototyp reaktora dolnociągowego bez przewężenia konstrukcyjnego	59
4.5. Zgazowanie biomasy o różnym rozdrobieniu i stopniu wilgotności	61

Stefanus F.A. – Ionization in Diesel combustion: mechanism, new instrumentation and engine applications, PhD thesis (UMI Number: 66645), Graduate School of Wayne State University, Detroit, Michigan, 11.

Loote H.F. – Ion Production and Recombination in Flames, in 8th International Symposium on Combustion, Williams and Wilkins, 1962, 184-9.

Augier A., Van Tiggelen A. – Identification of negative flame-ion, 10-th Int. Symp. on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, 1965, 621.

Goodings J.M., Bohme D.K., Sugden T.M. – Positive ion probe on methane-oxygen combustion, 16-th Symp. on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, 1976, 891-902.

Van Tiggelen A. – Progress in Astronautics and Aeronautics, 12, 1963, 5.

Gooding G.D., Goodings J.M., D.K. Bohme – Flame-ion probe of intermediates leading to NO_x in CH₄/O₂/N₂ flames, Combust. Flame 39, 1980, 1.

Trukhanov A.M., Titova N.S. – Kinetic of ion formation in the volumetric oxidation of methane with air, Combustion, Explosion and Shock Waves 38, 02, 253-268.

Thomsen S., Gaard H., Carlsen L. – Mechanistic aspects of ionic reactions in flames, J. Anal. and Appl. Pyrolyses 25, 1993, 361-370.

Janusz A. – Diagnostyka procesu spalania węglowodorów, Raport końcowy projektu badawczego PB1071/T10/2002/22, IMP PAN, Gdańsk 2002.

Janusz A., Piechowski L., Korczewski Z., Rudnicki J., Cenian W. – 102669 (dnia 5.02.2013) Układ monitorowania kąta samozapłonu paliwa, zwłaszcza w cylindrze silnika o zapłonie samoczynnym, z zastosowaniem sondy Langmuira, oraz EP14460001 (dnia 23.01.2014) System for the precise determination of crankshaft angular position for self-ignition, especially in the cylinder of diesel engine using Langmuir probe.

Korczewski Z., Rudnicki J., Piechowski L., Cenian A. – Badania diagnostyczne silnika laboratoryjnego Farymann Diesel D100 z zastosowaniem sondy Langmuira, Silniki Spalinowe/Combustion Engines 2, 2013, 75-82.

8. Oryginalne ścieżki konwersji masy lignocelulozowej do etanolu drugiej generacji i furfuralu

Janusz Gołaszewski, Michał Łuczynski, Mariusz Stolarski, Ewelina Olba-Zięty
Centrum Badań Energii Odnawialnej UWM w Olsztynie

Prowadzone badania dotyczą procesów rafineryjnych biomasy lignocelulozowej i wytwarzania biopaliw. Celem badań było opracowanie założeń procesowych wytwarzania etanolu i furfuralu z masy lignocelulozowej oraz zbudowanie instalacji demonstracyjnej z linią technologiczną wytwarzania etanolu II generacji. Badania ujęto w cztery wzajemnie powiązane bloki zagadnień badawczych. Badania wykonywane w ramach etapu dotyczącego konwersji lignocelulozy do bioetanolu są kluczowe dla rozwiązań procesowych i energetycznego wykorzystania paliwa, natomiast badania komplementarne związane z otoczeniem biorafinerii dotyczą części surowcowej – hodowli i produkcji biomasy lignocelulozowej wraz z analizami środowiskowymi oraz ekonomiczno-społecznymi i prawnymi. Podsumowanie prac stanowi etap związany z projektowaniem i budową instalacji. Ostatecznie, po przeprowadzonych testach w skali laboratoryjnej zostaną określone założenia techniczno-technologiczne instalacji docelowej.

8.1. Konwersja lignocelulozy do bioetanolu

Biomasa lignocelulozowa (drzewna) jest surowcem biologicznym występującym w obfitości w przyrodzie. Jednocześnie jest to główny surowiec w kontekście wytwarzania biopaliw II generacji w sposób nie konkurujący z produkcją rolniczą na cele żywnościowe.

W konwersji lignocelulozy do etanolu strategiczne dla jej powodzenia są procesy obróbki-wstępnej/prettreatmentu (mielenie, napromieniowywanie, działanie temperaturą i ciśnieniem, obróbka chemiczna, etc.) oraz hydrolizy chemicznej i/lub enzymatycznej powodujące degradację struktury biopolimerów celulozy, hemiceluloz i ligniny. W tym kontekście prowadzono badania nad wydajnością degradacji lignocelulozy pod wpływem promieniowania jonizującego, procedurami hydrolizy chemicznej i enzymatycznej wraz z wykorzystaniem środków powierzchniowo czynnych, zoptymalizowaniem warunków hydrolizy enzymatycznej i doborem warunków prowadzenia fermentacji alkoholowej. Równolegle prowadzono badania nad wykorzystaniem etanolu do zasilania etanolowego ogniwa paliwowego (DEFC – Direct Ethanol Fuel Cell) ener-

nym wykorzystaniem odpadów biorafineryjnych (ogniwo organiczne, tyczne wykorzystanie odpadowej frakcji ligninowej) oraz założeniami logicznymi wytwarzania furfuralu.

Proces dekontaminacji mikrobiologicznej i sterylizacji radiacyjnej surowiczych oraz wpływ wiązki wysokoenergetycznych elektronów na właściwości fizyko-chemiczne polimerów naturalnych występujących w drewnie i potencjalną możliwość rozwinięcia tej metody w przypadku produkcji weryjnej w dużej skali. W przeprowadzonych badaniach wykazano, że przy napromieniowaniu jonizującego (e^-) zrębków roślin lignocelulozowych wykorzystaniem akceleratora dawkami od 10-600 kGy odnotowano wzrost krystaliczności celulozy jak również, wzrost rozpuszczalności oraz ilości materiału roślinnego. Napromieniowanie dawką 100 kGy powodowało wzrost krystaliczności o około 6%, natomiast napromieniowanie dawką 600 kGy powodowało spadek krystaliczności o około 21%. Obserwowano zawartości glukozy oraz substancji rozpuszczalnych w zimnej i gorącej wodzie wraz ze wzrostem dawki napromieniowania, co wiąże się ze spadkiem porowatkości oraz świadczy o degradacji biopolimerów i uwalnianiu cukrów. Ponadto nastąpiły zmiany strukturalne powierzchni, nasilające się wraz ze wzrostem dawki. W porównaniu z próbą referencyjną, która posiadała powierzchnię, napromienienie powodowało jej spłaskanie; powstały zarysy o nierównych krawędziach. Odnotowano spadek średniej grubości ścianek porów oraz średniej średnicy porów, a w efekcie – wzrost porowatkości oraz zwiększenie się całkowitej powierzchni ścian w przeliczeniu na jednostkę objętości próbki. Wyznaczone (na podstawie izotermy adsorpcji) właściwości powierzchni, całkowitej objętości porów oraz średniej średnicy świadczą o tym, że promieniowanie jonizujące powoduje rozwinięcie powierzchni właściwej i wzrost średnicy porów przy braku wpływu na objętość porów.

Optimalizację procedury wstępnej degradacji biomasy metodami chemicznymi prowadzono w taki sposób, aby proces mógł być skutecznie prowadzony w warunkach jak najniższego ciśnienia i temperatury. Ponieważ skład roztworu, w którym prowadzona jest degradacja ma kluczowe znaczenie, w toku badań zbadano skutecznie działające substancje wspomagające i wyznaczyły minimalne efektywne stężenie w roztworze. Z obróbką wstępną wiąże się badania nad wpływem środków powierzchniowo czynnych na dyspergowanie mikrokrystalicznej celulozy, co w efekcie powinno przełożyć się na efektywniejszą hydrolizę. W badaniach analizowano: wielkość i morfologię krystalitów celulozy, wpływ różnych soli nieorganicznych na efektywność hydrolizy celulozy, wpływ surfaktantów jonowych i niejonowych na stopień dyspersji krystalitów celulozy oraz właściwości fizykochemiczne materiałów lignocelulozowych, i ostatecznie dobór optymalnego składu roztworu zapewniającego efektywną dyspersję celulozy. Wyniki analizy ilościowego rozkładu wielkości mikrokrystalitów oraz ich morfologii i składu roztworów dyspergujących zawierających kwas fosforowy

oraz surfaktant kationowy: CTAB, a także anionowy: SDS wykazały, że dzięki zastosowaniu odpowiednich układów dyspergujących można zwiększyć o kilka procent efektywność procesu hydrolizy i w efekcie ilość wytwarzanego bioetanolu.

Prace eksperymentalne przeprowadzono w oparciu o wcześniejsze wyniki badań przesiewowych dla mikrokrystalicznej celulozy. Jako optymalne warunki przyjęto temperaturę hydrolizy w zakresie 140-160°C oraz 2% roztwór kwasu fosforowego(V) lub dwuzasadowego fosforanu(V) sodu zawierający 0.005% surfaktanta wspomagającego (CTAB lub SDS).

Wyniki pomiarów stężenia glukozy oraz oligosacharydów zawartych w roztworach powstających w wyniku obróbki zrębków drewna (wierzba, topola, robinia) wskazują na pewną charakterystykę zmian zawartości tych cukrów w roztworze w każdym z testowanych warunków prowadzenia obróbki wstępnej, podobnie jak miało to miejsce w przypadku referencyjnej czystej celulozy. Istotną różnicą, w porównaniu z degradacją czystej celulozy jest pojawienie się w hydrolizatach monosacharydów innych niż glukoza, ponieważ drewno w odróżnieniu od czystej celulozy zawiera całą gamę biopolimerów ulegających degradacji w zastosowanych warunkach. Wybrane wyniki pomiarów HPLC stężenia glukozy w supernatantach degradowanej biomasy wierzby i topoli przedstawiono w tabeli 8.1.

Tabela 8.1. Wyniki pomiarów HPLC stężenia glukozy w supernatantach degradowanej biomasy wierzby i topoli [2]

	Degradacja zrębków wierzby			
	NaH ₂ PO ₄ + CTAB	H ₃ PO ₄ + CTAB	NaH ₂ PO ₄ + SDS	H ₃ PO ₄ + SDS
100°C	0,62	1,11	0,66	1,12
120°C	0,71	1,78	0,73	1,61
140°C	1,12	2,44	0,81	2,27
160°C	1,75	1,82	1,68	1,69
	Degradacja zrębków topoli			
	NaH ₂ PO ₄ + CTAB	H ₃ PO ₄ + CTAB	NaH ₂ PO ₄ + SDS	H ₃ PO ₄ + SDS
100°C	0,69	1,14	0,63	0,37
120°C	0,76	1,64	0,76	1,65
140°C	1,18	2,32	1,12	2,16
160°C	1,62	1,78	1,61	1,76

Uwzględniając jedynie ilość uwalnianej glukozy, dodatek surfaktanta kationowego (CTAB) w zauważalny sposób poprawia efektywność procesu degradacji. Efekt ten daje się zaobserwować zarówno w przypadku zastosowania roztworu dwuzasadowego fosforanu sodu jak również roztworu kwasu fosforowego. Zastosowanie roztworu dwuzasadowego fosforanu sodu prowadzi do

nia supernatantów o niższej niż w przypadku kwasu fosforowego zawiesiny glukozy, przy czym zwiększenie temperatury procesu nie powoduje zwiększenia stężenia tego cukru. Rezultat ten wskazuje na możliwość zwiększenia wydajności w jakiej prowadzona jest degradacja biomasy (a co za tym idzie wydajności procesu) bez ryzyka utraty wydzielanej glukozy w procesach fermentacyjnych. Podniesienie powyżej 140°C, temperatury degradacji w warunkach osuszenia kwasu fosforowego(V) powoduje obniżenie wydajności uwolnionej glukozy. Najbardziej prawdopodobnym wyjaśnieniem tego zjawiska może być przebiegająca równocześnie reakcja przekształcania się glukozy w fruktozę. Procesowi temu sprzyjają zarówno wysokie temperatury jak i niskie ciśnienia reakcji.

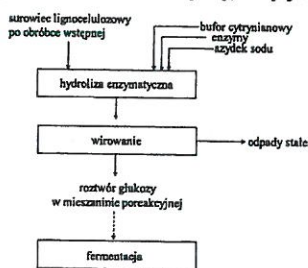
W ramach testowanych metod obróbki wstępnej drewna była eksplozja pary, która na gwałtownym obniżeniu ciśnienia w reaktorze, w tym w obecności wolnego kwasu siarkowego(VI). Badania dowiodły, że zwiększenie temperatury procesu powyżej 160°C wpływa istotnie na wzrost ubytku masy, co skutkuje w mniejszą efektywność procesu hydrolizy. Pozytywnym wynikiem metody eksplozji pary jest fakt, że produkt jest skutecznie dekontaminowany w następującym procesie hydrolizy enzymatycznej.

W ramach testowanych metod obróbki wstępnej drewna była eksplozja pary, która na gwałtownym obniżeniu ciśnienia w reaktorze, w tym w obecności wolnego kwasu siarkowego(VI). Badania dowiodły, że zwiększenie temperatury procesu powyżej 160°C wpływa istotnie na wzrost ubytku masy, co skutkuje w mniejszą efektywność procesu hydrolizy. Pozytywnym wynikiem metody eksplozji pary jest fakt, że produkt jest skutecznie dekontaminowany w następującym procesie hydrolizy enzymatycznej.

W ramach testowanych metod obróbki wstępnej drewna była eksplozja pary, która na gwałtownym obniżeniu ciśnienia w reaktorze, w tym w obecności wolnego kwasu siarkowego(VI). Badania dowiodły, że zwiększenie temperatury procesu powyżej 160°C wpływa istotnie na wzrost ubytku masy, co skutkuje w mniejszą efektywność procesu hydrolizy. Pozytywnym wynikiem metody eksplozji pary jest fakt, że produkt jest skutecznie dekontaminowany w następującym procesie hydrolizy enzymatycznej.

W ramach testowanych metod obróbki wstępnej drewna była eksplozja pary, która na gwałtownym obniżeniu ciśnienia w reaktorze, w tym w obecności wolnego kwasu siarkowego(VI). Badania dowiodły, że zwiększenie temperatury procesu powyżej 160°C wpływa istotnie na wzrost ubytku masy, co skutkuje w mniejszą efektywność procesu hydrolizy. Pozytywnym wynikiem metody eksplozji pary jest fakt, że produkt jest skutecznie dekontaminowany w następującym procesie hydrolizy enzymatycznej.

W ramach testowanych metod obróbki wstępnej drewna była eksplozja pary, która na gwałtownym obniżeniu ciśnienia w reaktorze, w tym w obecności wolnego kwasu siarkowego(VI). Badania dowiodły, że zwiększenie temperatury procesu powyżej 160°C wpływa istotnie na wzrost ubytku masy, co skutkuje w mniejszą efektywność procesu hydrolizy. Pozytywnym wynikiem metody eksplozji pary jest fakt, że produkt jest skutecznie dekontaminowany w następującym procesie hydrolizy enzymatycznej.



Rys. 8.1. Koncepcja technologiczna biorafinerii lignocelulozowej [5]

Badania wykazały, że szybkość reakcji hydrolizy enzymatycznej jest zależna od temperatury i pH mieszaniny reakcyjnej. W zakresie badanych wartości im niższa temperatura i wyższe pH tym stopień hydrolizy jest większy. Wyniki te są niezgodne z danymi dostarczonymi przez producenta stosowanych preparatów enzymatycznych. Optymalna, z punktu widzenia aktywności katalizacyjnej preparatu Cellic[®] CTec2, wartość temperatury wynosi 43,8°C, zaś optymalne pH wynosi 5,55. Początkowa szybkość reakcji jest liniowo zależna od stężenia preparatu Cellic[®] CTec2 w zakresie od 3 do 6% w/w. Aktywność preparatu Cellic[®] CTec2 dla hydrolizy czystej celulozy wynosi 0,02 FPU. Aktywność preparatu Cellic[®] CTec2 w T=45°C i pH=5,5 dla reakcji z użyciem surowca po obróbce metodą eksplozji pary wynosi 1,68 mg/ml/h_{g_{enzymu}}.

W kolejnych testach laboratoryjnych prowadzono procesy hydrolizy enzymatycznej z udziałem wybranej kompozycji enzymów celulozowych w substratach roślin lignocelulozowych potraktowanych wstępnie obróbką chemiczną alkaliczną i kwasową. Oceniano skład jakościowy i ilościowy cukrów prostych obecnych w hydrolizatach, zidentyfikowano inhibitory fermentacji obecne w hydrolizatach oraz określono wpływ zabiegu detoksykacji – przepłukiwania materiału po obróbce na eliminację inhibitorów.

Zawartość cukrów 6-węglowych (glukozy, galaktozy i mannozy) w hydrolizatach wierzby traktowanej wstępnie obróbką alkaliczną była ponad 4-krotnie wyższa od zawartości cukrów 5-węglowych (ksyloza i arabinoza). Spośród cukrów 6-węglowych odnotowano największe stężenie dla glukozy – 22,15 g/dm³, co wynika z dostępnej ilości celulozy w surowcu – 50,72% s.s. Niewielki udział ksylozy (5,14%) wynikał z proporcjonalnie niewysokiej zawartości hemiceluloz, uzależnionej od stopnia dojrzałości badanego materiału (9-12%). Istotnie większa zawartość cukrów 6-węglowych w stosunku do cukrów 5-węglowych stanowi korzystny aspekt w procesie fermentacji alkoholowej hydrolizatów – drożdże *Saccharomyces cerevisiae* nie posiadają zdolności do asymilacji cukrów 5-węglowych takich jak ksyloza lub arabinoza. Efekty obróbki wstępnej z zastosowaniem fosforanu sodu w największym stopniu były uzależnione od temperatury: dopiero 160°C spowodowało wzrost ilości uwolnionych cukrów redukujących do wartości 29,4 g/dm³. Wstępne traktowanie kwasem fosforowym pozwoliło na uzyskanie podobnych rezultatów w temperaturach 120°C lub 140°C, odpowiednio: 23,1 oraz 31,4 g/dm³. Zastosowanie surfaktanta w procesie obróbki z udziałem kwasu fosforowego skutkowało nieznacznym zwiększeniem ilości uwolnionych cukrów redukujących; w zakresie temperatur 120-160°C stężenie uwolnionych cukrów zawierało się w przedziale od 24,3 g/dm³ do 32,1 g/dm³.

Do inhibitorów hydrolizy i fermentacji alkoholowej zaliczono kwas mrówkowy, lewulinowy, 5-hydroksymetylofurfural, furfural, 4-hydroksybenzaldehyd oraz wanilinę. Wyniki badań detoksykacyjnych pokazują, że odrzucenie frakcji płynnej po obróbce alkaliczną i przepłukanie wodą frakcji stałej może być stosowane jako skuteczna metoda eliminowania inhibitorów procesu. Detoksykacja tego typu pozwoliła na około 6-krotne zmniejszenie stężenia kwasów

owego i lewulinowego w hydrolizatach wierzby, oraz 10-krotne zmniejszenie ilości kwasu mrówkowego i około 5-krotne kwasu lewulinowego w hytach robinii. Ponadto, oprócz istotnego usunięcia związków inhibitujących rozpuszczenie powoduje istotną redukcję hemiceluloz (26%). Oceniając jakość hydrolizatów kwasowych pod względem składu jakościowego owego cukrów dostępnych do fermentacji alkoholowej stwierdzono niewielki udział cukrów 5-węglowych w medium po hydrolizie. Uwzględniając te, dalsze badania ukierunkowano na dopracowanie parametrów fermentacji z udziałem drożdży gorzelnicznych. Testowano wydajność fermentacji w procesie symultanicznego (SSF) oceniając przy tym wpływ dodatków do zabiegu detoksykacji i dodatku związków odżywczych (N i P). Przeprowadzono również fermentację wstępnie zażęzonego hydrolizatu poprzedzonego reakcją jonowania. Hydrolizę prowadzono przez 72 h z materiałem potraconym obróbką wstępną: temperatura 121°C, czas 3h, dodatek NaOH 0,1 g/g wierzby. Zastosowano kompozycję enzymów celulazę i ksylanazę *ngibrachiatum* w dawkach – 15 CBU/g s.s. substratu oraz celobiazę (cyme 188) w dawce 30 CBU/g s.s. substratu.

Wpływ zabiegu detoksykacji na efektywność procesu fermentacji oceniano na podstawie doświadczeń przeprowadzonych z udziałem drożdży *S. cerevisiae* w warunkach fermentacji SHF – sekwencyjnej (szczypty mezo- i B4), oraz SSF – symultanicznej z hydrolizą (szczypty termofilne D2). Bazę do przygotowania brzezki do fermentacji stanowił hydrolizat atyczny wierzby, który po procesie detoksykacji zaszczepiono odpowiednio przygotowanymi szczepami drożdży (inokulum 24-godzinne). Badania z udziałem szczepów S.c.7 i B4 prowadzono metodą fermentacji okresowej w warunkach beztlenowych stosując temperaturę 30°C w czasie 72 godzin. Wzrost odfermentowanej oznaczano zawartość alkoholu, kwasowość, ekstrakcyjność. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono produktywność fermentacji. Otrzymane wyniki wskazują na zasadniczą rolę procesu detoksykacji w biokonwersji lignocelulozy do etanolu. Fermentacja hydrolizatów SHF wierzby nie poddanych detoksykacji miała sprawność całkowitą 45%, zaś po detoksykacji powyżej 60%.

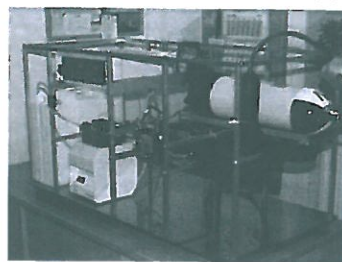
Substraty lignocelulozowe wykorzystywane w procesach fermentacji są bogate w składniki odżywcze niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmów, co wymaga dostarczenia składników pokarmowych (witamin, minerały, azot, fosfor, itp.). Dlatego, w kolejnym eksperymencie sprawdzono wpływ soli mineralnych: diwodorofosforan(V) potasu (KH_2PO_4) oraz amonu ($(NH_4)_2SO_4$), których dawki wyznaczono zależnie od ilości źródła węgla (cukru) w hydrolizacie. Fermentację podłoży sporządzonych na bazie hydrolizatów z dodatkiem w/w soli przeprowadzono z udziałem

U – dawka enzymu przekształcająca 1 μmol celobiozy do 2 μmoli glukozy w czasie 1 minuty

drożdży *S. cerevisiae* B4 lub 7 w temperaturze 30°C przez 72 h. Stwierdzono, że zastosowanie mineralnych źródeł azotu i fosforu pozwoliło na uzyskanie nieco wyższej sprawności fermentacji (61,2-65,6%) w porównaniu do efektów eksperymentu, w którym źródło substancji odżywczych stanowiły ekstrakty drożdżowy i pepton, zwłaszcza z udziałem szczepu drożdży przemysłowych *S. cerevisiae* B4.

Kolejny aspekt badań dotyczył sprawdzenia efektywności fermentacji hydrolizatów poddanych zażęzaniu w celu zwiększenia koncentracji cukrów fermentujących. Substrat – wierzbę poddano alkalicznej obróbce wstępnej i hydrolizie. Stwierdzono, że ponad dwukrotne zwiększenie koncentracji cukrów redukujących i towarzyszących im substancji ekstrakcyjnych z drewna w podłożu nie wpłynęło hamująco na proces fermentacji alkoholowej z udziałem badanych szczepów drożdży *Saccharomyces cerevisiae*. Dowodem tego jest uzyskanie sprawności całkowitej fermentacji na poziomie 58,64-63,61%, co stanowi wynik zbliżony do efektów doświadczenia, w którym hydrolizat wierzby nie został poddany zażęzaniu. Fermentacja brzezki sporządzonych na bazie zagęszczonych hydrolizatów enzymatycznych wierzby po obróbce alkalicznej pozwoliła na uzyskanie 2,80-2,99% (v/v) alkoholu w medium reakcyjnym, co odpowiada produktywności procesu na poziomie 0,39-0,42 $cm^3 A_{100}/dm^3$ podłoża.

Wyprodukowany etanol może być wykorzystany m.in. do wytwarzania energii elektrycznej w ogniwie paliwowym. Przenośne ogniwa paliwowe charakteryzują się wysokimi wartościami gęstości wytwarzanej energii elektrycznej na 1 kg masy oraz łatwością regeneracji, np. poprzez prostą wymianę pojemnika z paliwem. Efektem badań w tym zakresie jest instalacja ogniwa paliwowego typu DEFC o małej mocy (ok. 5-10 W) jako kompaktowego, przenośnego i ekologicznie czystego źródła energii elektrycznej (rys. 8.2). Docelowo ogniwo będzie zasilane bioetanołem II generacji. Równoległym elementem badań była kompleksowa, elektrochemiczna charakterystyka pracy powyższego ogniwa, z uwzględnieniem układu anody oraz katody, w tym charakterystyki dla pojedynczych ogniw w układzie stosu ogniw, z uwzględnieniem parametrów technicznych pracy urządzenia, w tym: dostarczanej mocy i energii elektrycznej oraz stabilności długotrwałej pracy w czasie jego eksploatacji. DEFC poddano testom na: szczelność przesyłu reagentów do ogniwa, szczelność połączeń ogniwa oraz poprawność pracy układów sterowania temperaturą.



Rys. 8.2. Instalacja ogniwa paliwowego typu DEFC o małej mocy [9]

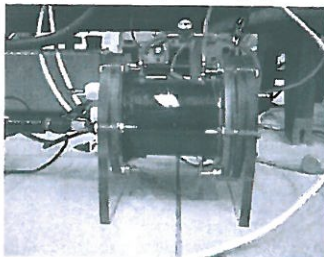
toku procesów biorafineryjnych generowane są odpady, które mogą być tymczasnie wykorzystane. W niniejszych badaniach prowadzono eksperymenty nad otrzymywaniem wodoru na drodze biokatalizowanej elektrolizy w organiczne/mikrobiologiczne) oraz w procesach termochemicznych.

Energia elektryczna uzyskana z mikrobiologicznego ognia paliwowego może być użyta do wytworzenia wodoru poprzez elektrolizę wody. Uzyskanie w ten sposób wodoru jest w takim układzie możliwe, jednak wydajność energetyczna liczona z uwzględnieniem energii wodoru do energii organicznego paliwa nie przekracza jednego z powodów tak niskiej wydajności jest występowanie w tej konfiguracji dwóch procesów obejmujących elektrochemiczną przemianę tlenu; z jednej strony w mikrobiologicznym ogniwie paliwowym i wytwarzanie w traktacji elektrolizy wody. Elektrochemiczne reakcje tlenu obejmują przeniesienie elektronów na mol wytworzonego lub redukowanego tlenu, stąd też procesy te będą one powodem do dużych strat energii (wysoki nadpotencjał).

W celu zwiększenia wydajności jest wyeliminowanie elektrochemicznych reakcji tlenu i bezpośrednie powiązanie utleniania substancji organicznej z redukcją jonów wodorowych do wolnego wodoru (biokatalizowana elektroliza). Wyniki uzyskane w kontekście testów na skonstruowanym laboratoryjnym układzie jednokomorowym (rys. 8.3) pokazują, że na obecnym etapie badawczym ograniczeniem są straty wydajności wodoru oraz wysoki nadpotencjał przy redukcji jonów wodorowych. Jednakże, poprawę wydajności można osiągnąć podwyższając powierzchnię anody i katody oraz zastosowanie elektrolizy jednokomorowej.

Ważnym problemem jest utrzymanie pH roztworu na poziomie 7.

W badaniach nad termiczną konwersją pozostałości biorafineryjnych analizowano frakcję ligninową surowca lignocelulozowego oraz pozostałości po fermentacji. Uwodnienie pozostałości po fermentacji sięgało około 80% dlatego materiał został wstępnie osuszony w piecu komorowym do wilgotności około 10%. Wykonano szczegółową analizę fizykochemiczną obu surowców odpadów pod kątem wykorzystania energetycznego. W trakcie badań w reaktorze jednokomorowym zbadano kinematykę reakcji pirolizy i zgazowania zarówno



Rys. 8.3. Laboratoryjny elektrolizator jednokomorowy [10]

ligniny, jak i pozostałości po fermentacji; a następnie zbadano kaloryczność uzyskiwanych paliw gazowych oraz frakcji stałej – karbonizatu. Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że paliwa gazowe uzyskane w procesie pirolizy i zgazowania wykazały korzystniejsze z energetycznego punktu widzenia właściwości pozostałości po fermentacji aniżeli ligniny. Kaloryczność paliwa gazowego z procesu zgazowania pozostałości po fermentacji w szczytce procesu wyniosła $4,9 \text{ MJ/m}_n^3$ natomiast dla pirolizy $8,5 \text{ MJ/m}_n^3$. Odpowiednio kaloryczność paliwa gazowego ze zgazowania ligniny w szczytce wynosiła $4,5 \text{ MJ/m}_n^3$ natomiast w pirolizie 7 MJ/m_n^3 . Udział procentowy w objętości gazów palnych CH_4 , CO , H_2 był podobny w obu procesach termicznych. W przypadku frakcji stałej uzyskano korzystniejsze wyniki dla pozostałości po fermentacji aniżeli dla ligniny. Ponadto, w procesie pirolizy ligniny powstawało wiele zanieczyszczeń mineralnych. Na podstawie przeprowadzonych badań frakcji stałej ligniny zawartość popiołu była na poziomie 11,6% przed procesem pirolizy i 27% w karbonizacie po procesie. Natomiast dla pozostałości po fermentacji zawartość ta wyniosła 4,3% przed procesem pirolizy i 6,27% w karbonizacie po procesie. Odnotowano bardzo dużą różnicę w zawartości siarki przy pirolizie ligniny odpowiednio 0,39% i dla odpadu po fermentacji 0,04%. Wartość opałowa dla pozostałości po fermentacji jest wyższa $17,478 \text{ GJ/kg}$ niż dla wsadu ligniny $16,9 \text{ GJ/kg}$. Natomiast w karbonizacie po pirolizie wynosiła ona odpowiednio $22,216 \text{ GJ/kg}$ dla pozostałości po fermentacji i $20,888 \text{ GJ/kg}$ dla ligniny. Reasumując można stwierdzić, że pozostałości z produkcji bioetanolu stanowią znaczący potencjał energetyczny, który w przypadku braku innych ścieżek, może być bezpośrednio wykorzystany dla potrzeb energetycznych procesów biorafineryjnych.

Furfural, jako półprodukt konwersji biomasy lignocelulozowej, ma duży potencjał jako kluczowy związek w waloryzacji hemicelulozy i w wytwarzaniu wielu bioproduktów, w tym biopaliw, poprzez takie procesy chemiczne jak utlenianie, uwodornienie, redukcyjne aminowanie, dekarbonylację, nitrowanie lub kondensację. W szczególności, z energetycznego punktu widzenia, istotną jest ścieżka waloryzacji furfuralu przez kondensację aldolową z acetonem, jako etap pośredni w syntezie drugiej generacji biopaliw otrzymywanych z biomasy lignocelulozowej. W wyniku przeprowadzonych badań wykazano, że głównymi produktami reakcji kondensacji furfuralu i acetonu są 4-(2-furyl)-3-buten-2-onu (FA), alkohol diacetonowy (DAA) i difurfuryloaceton (F-Ac-F). Mieszanina tych związków otrzymana odpowiednio z selektywnością 84/12/4 była poddana reakcjom uwodornienia F-Ac-F, co może stanowić produkt pośredni do otrzymywania węglowodorów na katalizatorze Ru/C. W badaniach testowano możliwość uwodornienia/redukcji grup funkcyjnych (FA) w przepływowym układzie katalitycznym pod ciśnieniem atmosferycznym w kierunku otrzymania cennych surowców chemicznych m.in. nasyconych i nienasyconych węglowodorów łańcuchowych. Udowodniono i potwierdzono możliwość uwodornienia FA wodorem z rozkładu metanolu. W wybranych warunkach reakcji najlepszą aktywność katalityczną zaobserwowano przy zastosowaniu $\text{Pd}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{ZrO}_2/\gamma\text{-}$

Al_2O_3 oraz sprzężonego układu $ZrO_2/\gamma-Al_2O_3/Pd/\gamma-Al_2O_3$. Reakcja prowadzona była w układzie przepływowym i wymagała podawania FA w rozpuszczalniku, co powodowało ograniczenia w zastosowaniu wyższych temperatur. Zwiększenie kwasowości katalizatorów może prowadzić do otrzymywania nasyconych węglowodorów łańcuchowych. Głównym produktem reakcji wobec wszystkich przebadanych układów katalitycznych był FA. Aktywność katalizatorów była oceniana na podstawie wydajności tego związku w produktach. Nie stwierdzono znaczącego wpływu zastąpienia metanolu gazowym wodorem. Biorąc pod uwagę bezpieczeństwo procesu można stwierdzić, że korzystniej jest prowadzić proces wobec gazów otrzymanych z rozkładu metanolu. Otrzymywanie acetonu furylowego stanowi jeden z potencjalnych etapów w wielkotonażowym procesie transformacji pozostałości rolniczych do alkanów ze względu na popyt na tego rodzaju produkty.

8.2. Dedykowana produkcja biomasy lignocelulozowej na użytkach rolnych o niskiej bonitacji gleb oraz uwarunkowania środowiskowe i ekonomiczne

Badania w zakresie produkcji surowca lignocelulozowego oraz aspektów środowiskowych jego produkcji na gruntach rolniczych są realizowane w zakresie: hodowli nowych form roślin lignocelulozowych o wysokim plonie, rozszerzenia produkcji wieloletnich roślin energetycznych na gleby o niskiej żyzności oraz zmian bioróżnorodności, zmian stosunków wodnych, oraz depozycji materii organicznej w glebie i emisji gazów cieplarnianych na plantacjach wieloletnich roślin energetycznych.

Wydajność hodowli nowych form roślin energetycznych zależy przede wszystkim od wczesnej selekcji wydajnych genotypów. Jednym z narzędzi wczesnej selekcji są markery molekularne sprzężone z grupami loci cech ilościowych (QTL) kontrolujących cechę, pod kątem której przeprowadzana jest selekcja. Identyfikacja QTL i zaznaczanie ich pozycji na genetycznych mapach sprzężeń będzie uzupełniać w najbliższym czasie klasyczną hodowlę wierzby i znacznie usprawni selekcję odpowiednich genotypów z użyciem markerów molekularnych. Dotychczas przeprowadzone badania umożliwiły wyselekcjonowanie 24 nowych form roślin pochodzących z krzyżówek między odmianami szwedzkimi i polskimi: Tordis x Torhild, Tordis x Sven, Sprint x UWM 079. Na bazie wytypowanych mieszańców założono doświadczenie polowe mające na celu przeprowadzenie końcowej ich oceny pod kątem wartości energetycznej (badania w toku).

Aktualnie bilansowany jest czwarty rok uprawy wieloletnich roślin energetycznych (topola, wierzba, robinia akacjowa) w warunkach doświadczalnych z wariantami zróżnicowanego nawożenia NPK, ligniną (założenie badawcze: dłuższe utrzymanie wody na glebach lekkich) oraz grzybami mikoryzowymi (założenie badawcze: większe przyrosty roślin). Najwyższy plon świeżej masy

w trzyletniej rotacji zbioru uzyskano w topoli $50,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, u wierzby i robinii akacjowej był odpowiednio niższy o około 10% i 65%. Plon suchej biomasy zwierzał się w przedziale od $6,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ u robinii akacjowej do $23,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ u topoli. Topola, wierzba i robinia najwyżej plonowały w obiektach, w których zastosowana łącznie lignina z nawożeniem. Plony te stanowiły odpowiednio 95%, 116% i 300% plonu z obiektów kontrolnych. Topola charakteryzowała się najwyższą zawartością węgla i najwyższym ciepłem spalania, jednakże ze względu na najwyższą wilgotność posiadała najniższą wartość opałową. Biomasa wierzby charakteryzowała się najniższą zawartością popiołu, azotu i chloru. Z kolei, najwyższą zawartością celulozy, oraz holocelulozy (bez ligniny i związków ekstrakcyjnych) charakteryzowała się biomasa wierzby. Po zakończeniu okresu wegetacji stwierdzono wyższą zawartość przyswajalnych form fosforu w obiektach, w których zastosowano ligninę w porównaniu do obiektów kontrolnych, co ma związek z pozytywnym oddziaływaniem ligniny na właściwości sorpcyjne gleby.

Plantacje wierzby nie miały wpływu na charakter i strukturę zbiorowisk chwastów sąsiadujących pól uprawnych. Pod względem liczby gatunków oraz zagęszczenia w zbiorowiskach roślinności towarzyszącej wierzbowi przewagę miały gatunki wieloletnie. Na plantacjach wieloletnich roślin lignocelulozowych stwierdzono dominację taksonów częściej spotykanych w siedliskach ruderalnych niż segetalnych. Na plantacjach wierzby w zbiorowiskach chwastów odnotowano słabszą dominację, a większą różnorodność gatunkową niż w kurydzy i pszenzycie.

Badania z kontekście bioróżnorodności mają na celu sprawdzenie czy i jak wprowadzanie upraw roślin lignocelulozowych w krajobrazie rolniczym wpływa na różnorodność biologiczną na poziomie gatunkowym oraz ekosystemowym. Jest to więc prognozowanie oddziaływania na środowisko przyrodnicze oraz poszukiwanie wskaźnika ekologicznego, który w przyszłości mógłby zostać wykorzystany do monitoringu stanu środowiska w agrocenozach z uprawami roślin energetycznych. Uprawy wierzby i innych roślin energetycznych wpływają na strukturę krajobrazu, zwiększając jego mozaikowość oraz zwiększając dopływ detrytus do układów glebowych oraz zbiorników wodnych. Zwiększa to zasoby pokarmowe dla detrytusofagów, podobnie jak zwiększanie ilości martwego drewna w uprawach leśnych. Badania faunistyczne i obserwacje, uwzględniające owady, płazy, ptaki i ssaki prowadzono w cyklu trzyletnim na kilkudziesięciu stanowiskach (stałe punkty badawcze) w uprawach i wokół upraw wierzby. Obserwacje wskazują na pozytywny wpływ plantacji wierzby energetycznej na bioróżnorodność w skali całego krajobrazu, przede wszystkim pozytywnie wpływając na gatunki zagrożone zabiegami intensywnego rolnictwa. Co więcej, w uprawach wierzby stwierdzono obecność kilku gatunków zwierząt rzadkich i ginących oraz chronionych prawem. Oznacza to, że plantacje wieloletnich roślin energetycznych mogą być czasowym schronieniem dla niektórych kręgowców oraz bazą pokarmową dla owadów, w szczególności dla melitofagów. Linie technologiczne na obrzeżach plantacji są ważnym elemen-

ruktury krajobrazu dla ochrony różnorodności biologicznej, zarówno esieniu do bylin jak i wielu gatunków owadów. Wynikać to może z rzad-
 obiegów koszenia oraz braku orki czy innych zabiegów, naruszających
 rę gleby (traktowanych jako zaburzenia ekologiczne). W badaniach fau-
 nych zidentyfikowano 17 gatunków ważek, 30 gatunków chrząszczy
 ch, 11 gatunków pluskwiaków wodnych, liczną populację kumaka nizin-
 Na terenie plantacji nie zostały stwierdzone gniazdujące gatunki znajdu-
 ę w Załączniku I Dyrektywy Ptasiej, a na terenach wokół plantacji
 lono 8 gatunków wymienionych w Dyrektywie. Nie stwierdzono do tej
 ickichkolwiek widocznych negatywnych wpływów upraw wierzby na bio-
 dność w skali krajobrazu rolnego. Reasumując, należy stwierdzić, że
 czasowe badania (okres 3 lat) wskazują na pozytywny wpływ plantacji
 y energetycznej na bioróżnorodność w skali całego krajobrazu.
 dania nad dynamiką zmienności stanów wód gruntowych oraz stężeń
 składników w warunkach produkcji biomasy charakteryzuje się dużą
 ścią w zależności od ukształtowania terenu. W celu stałego monitorin-
 gowania w terenie plantacji wieloletnich roślin energetycznych
 ę) i w punktach referencyjnych rozmieszczono piezometry, pobierając
 miesiącu wodę do analiz fizycznych i chemicznych takich jak kwaso-
 zawartość azotu i fosforu oraz zasolenie i przewodność elektrolityczną.
 czasowe wyniki badań wskazują na pewną fluktuację poziomu wód
 wych w zależności od konfiguracji terenu i okresu wegetacji, przy czym
 m zakresie różną w uprawach roślin lignocelulozowych i punktach refe-
 rych. Nie odnotowano niekorzystnego stężenia związków chemicznych,
 azotanów. W warunkach dobrej dostępności wody dla roślin (poziom
 untowych na głębokości ok. 1 m) uprawa wierzby na cele energetyczne,
 wnaniu z gruntami innymi wpływa na obniżenie zanieczyszczenia wód
 wych mineralnymi związkami azotu (szczególnie N-NO₃) i labilną w
 isku glebowym formą fosforu (P-PO₄). Oznacza to, że uprawa wierzby
 y energetyczne może przyczynić się do ochrony, jak również poprawy
 wód gruntowych na terenach użytkowanych rolniczo.
 dania dotyczące emisji gazów cieplarnianych i sekwestracji węgla na
 jach wieloletnich roślin energetycznych polegają na oznaczeniach emisji
 u węgla, metanu i podtlenku azotu, zaś poziom sekwestracji węgla
 ach określa się jako przyrost zawartości materii organicznej w czasie.
 wierdzono, aby uprawy tego typu pozostawiały istotny ślad środowisko-
 nadto, że względu na ograniczone nawożenie azotowe nie przyczyniają
 istotnym stopniu do emisji podtlenku azotu, nie stwierdzono również
 y emisji metanu. Główne źródła emisji wynikają z procesów produkcyj-
 zakładanie i eksploatacja plantacji). Wskaźniki emisji EqCO₂ związane ze
 aniem nawozów mineralnych NPK, które powinny być przyjmowane
 zeniach bilansu gazów cieplarnianych, wynoszą: 3603,7 g/kg N,
 /kg P i 244 g/kg K. Spalanie oleju napędowego w silnikach ciągników
 ny pracujących bezpośrednio na polu powoduje emisję EqCO₂ równą

82,040 kg/GJ paliwa, a w ciągnikach transportowych 74,422 kg/GJ paliwa.
 Emisja EqCO₂ związana z nakładami energetycznymi eksploatacji (oprócz zu-
 zycia paliw) i amortyzacji maszyn i ciągników została oszacowana na poziomie
 108,92 kg/GJ.

8.3. Założenia systemowe funkcjonowania biorafinerii lignocelulozowej

Badania w zakresie otoczenia biorafinerii lignocelulozowej obejmowały: LCA
 – analizę cyklu życia, analizę rynku biomasy lignocelulozowej, przegląd pol-
 skiego ustawodawstwa, a także doktryny i orzecznictwa sądów polskich w za-
 kresie budowy i funkcjonowania biorafinerii.

W bilansie LCA uwzględniano emisje powstające podczas spalania paliw
 silnikowych związane z pracą maszyn rolniczych i transportem biomasy, jak
 również proces produkcji nawozów i środków ochrony roślin oraz ich zastoso-
 wania w produkcji biomasy roślin lignocelulozowych, ponieważ właśnie te
 elementy miały największe oddziaływanie na środowisko w poszczególnych
 kategoriach wpływu. Spośród roślin lignocelulozowych najniższe wartości
 w poszczególnych kategoriach wpływu na środowisko uzyskano dla robinii.
 Uwzględniając etapy procesu biorafineryjnego największy wpływ na środowi-
 sko miała obróbka wstępna (alkaliczno-ciśnieniowa) oraz hydroliza enzyma-
 tyczna. Natomiast proces hydrolizy enzymatycznej wiąże się ze znacznymi
 nakładami energii elektrycznej i ciepła związanymi między innymi z produkcją
 enzymów. To jednoznacznie pokazuje, że w kontekście środowiskowym pretre-
 atment i hydroliza stanowią kluczowe źródła potencjalnie największej emisji
 gazów cieplarnianych i pośrednio definiują cele redukcyjne, np. poprzez wy-
 twarzanie energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych.

Produkcja bioetanolu II generacji z wieloletnich lignocelulozowych roślin
 energetycznych w porównaniu z produkcją bioetanolu I generacji z surowców
 konkurujących z produkcją żywnościową (zboża, rośliny oleiste) niesie wyraź-
 nie niższe oddziaływanie środowiskowe. Wyliczona emisja gazów cieplarni-
 anych z uprawy roślin wieloletnich była zbliżona do wartości emisji GHG poda-
 nych w Dyrektywie dla etanolu otrzymanego z drewna. Natomiast wartości
 emisji całkowitej otrzymanej dla bioetanolu II generacji były niższe od wartości
 podanych w Dyrektywie.

Podstawą badań rynkowych związanych z produkcją biomasy i jej przetwa-
 raniem do energii były wyniki ankiety przeprowadzonej wśród 123 producen-
 tów rolnych zajmujących się produkcją biomasy z przeznaczeniem na cele
 energetyczne oraz wśród 30 właścicieli (lub przedstawicieli kadry kierowniczej)
 podmiotów zajmujących się skupem i przetwórstwem biomasy. Regionem te-
 stowym było województwo warmińsko-mazurskie. Dokonano analizy procedur
 związanych z obrotem biomasą wykorzystywaną do produkcji bioetanolu
 a także uzyskanym produktem. Określono kluczowe problemy wymagające
 szczegółowej analizy prawnej. Główne wnioski dotyczyły braku stabilizacji cen

na rynku zbytu (60% respondentów) oraz potrzeby zapewnienia cen surowca na poziomie gwarantującym opłacalność produkcji. Jak wykazały badania, te rozszereżone opinie są efektem m.in. niskiego poziomu organizacji podmiotów zajmujących się przetwórstwem biomasy na cele energetyczne. Jednocześnie wszyscy respondenci wskazywali na potrzebę rozwoju mechanizmów wsparcia rynku biomasy i jej wykorzystania na cele energetycznej. Około 18% respondentów uważa także, że czynnikiem decydującym o rozwoju produkcji biomasy na cele energetyczne w gospodarstwach rolnych jest odpowiednia polityka państwa oraz regulacje prawne.

Konwersja masy lignocelulozowej do bioetanolu lub furfuralu określa tylko dwa z wielu możliwych procesów przetwarzania biomasy do bioproduktów innych niż energetyczne i zawiera się w koncepcji biorafinerii lignocelulozowej. Instalacji biorafinerii, tak jak każdej innej inwestycji wymaga od inwestora przebrnięcia przez regulacje prawne. W analizie aspektów prawnych wykorzystano metodę dogmatycznie prawną polegającą na analizie aktów prawnych oraz empiryczną polegającą na analizie zebranych danych ankietowych. W wyniku przeprowadzonej analizy prawnej stwierdzono, że uczestnikami rynku obrotu biomasą na mocy obowiązujących przepisów są rolnicy i producenci rolni oraz zarejestrowane w Agencji Rynku Rolnego przedsiębiorstwa skupujące i przetwarzające biomasę. Rejestr pośredników prowadzących skup i zakładów przetwórczych znajduje się w Internecie (<http://www.arr.gov.pl>). Obrót biomasą może się odbywać poprzez: umowy cywilnoprawne (sprzedaży, kontraktacji) oraz poprzez giełdy towarowe. Wytworzony w biorafinerii bioetanol jest zaliczany do biopaliw ciekłych. Kwalifikacji takiej dokonuje ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych², która jest następstwem implementacji do krajowego porządku prawnego dyrektywy 2003/30/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 8 maja 2003 r. w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych³ (zmienionej dyrektywą PE i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania energii ze źródeł odnawialnych i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE⁴). Prowadzenie działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania, magazynowania lub wprowadzania do obrotu biokomponentów jest działalnością regulowaną⁵ w rozumieniu przepisów ustawy o swobodzie działalności gospodarczej⁶ i wymaga wpisu do rejestru wytwórców, który prowadzi i udostępnia Agencja Rynku Rolnego. Na podsta-

² Dz. U. z 2006 r. Nr 169, poz. 1199 ze zm.

³ Dz. U. UE z 17.5.2003 r. L 123/42.

⁴ Dz. U. UE z 5.6.2009 r. L 140/16.

⁵ Działalność regulowana – działalność gospodarczą której wykonywanie wymaga spełnienia szczególnych warunków określonych przepisami prawa; art. 5 pkt. 5 ustawy z dnia 2 lipca 2004 r. o swobodzie działalności gospodarczej, Dz. U. 2004 Nr 173 poz. 1807 ze zm.

⁶ Dz. U. 2004 Nr 173 poz. 1807 ze zm.

wie przeprowadzonych analiz wskazano kilku problemów wymagających szczegółowej analizy prawnej, której konsekwencją mogłyby być zmiany legislacyjne. Zidentyfikowano bariery inwestycyjne, ekologiczne, związane ze wsparciem i polityką fiskalną, oraz administracyjne.

8.4. Literatura

1. Chmielewski A.G., Migdał W., Gryczka U., Chmielewska D., Antoniak M., Dubiel M. – Badanie wydajności degradacji materiałów lignocelulozowych pod wpływem promieniowania jonizującego, Raporty wewnętrzne podetapu 4.4.A, 2010-2012.
2. Góra M., Kozik B., Jamróży K., Dronka-Góra D. – Badania nad optymalizacją wstępnej, chemicznej degradacji masy lignocelulozowej, Raport wewnętrzny podetapu 4.4.B, 2010-2013.
3. Nattich-Rak M., Adamczyk Z. – Badanie wpływu środków powierzchniowo czynnych na proces wstępnej hydrolizy celulozy, Raporty wewnętrzne podetapu 4.4.C, 2010-2012.
4. Kardaś. D. Klein M., Heda Ł., Kazimierski P., Rzakiewicz M. – Efektywna technologia produkcji paliwa płynnego z biomasy i odpadów, Raporty wewnętrzne podetapu 4.4.D, 2011-2012.
5. Dąbkowska K., Piłarek M., Szewczyk K.W. – Dobór metod oraz optymalizacja warunków hydrolizy odpadów lignocelulozowych, Raporty wewnętrzne podetapu 4.4.E, 2010-2012.
6. Malinowski A. i wsp. – Konwersja surowca lignocelulozowego do furfuralu, Raporty wewnętrzne podetapu 4.4.F, 2010-2013.
7. Bednarski W., Lewandowska M., Świątek M. – Badania nad optymalizacją warunków hydrolizy enzymatycznej substratów lignocelulozowych, Raporty wewnętrzne podetapu 4.4.G, 2010-2013.
8. Lewandowska M., Świątek K., Kordala N. – Dobór oraz doskonalenie warunków fermentacji etanowej hydrolizatów lignocelulozowych, Raporty wewnętrzne podetapu 4.4.H, 2010-2013.
9. Pierożyński B. – Badanie kinetyki reakcji anodowego utleniania etanolu, Raporty wewnętrzne podetapu 4.4.I, 2010-2012.
10. Lieder M., Jabłońska M., Solski M., Rybarczyk M. – Produkcja wodoru z biomasy z użyciem mikrobiologicznego elektrolizera, Raport wewnętrzny podetapu 4.4.J, 2010-2013.
11. Wiśniewski D. – Energetyczne zagospodarowanie pozostałości po produkcji bioetanolu, Raporty wewnętrzne podetapu 4.4.K, 2010-2013.

2. Przyborowski J., Sulima P., Chodkowska N., Kuszewska A., Pilarek M., Załuski D. – Hodowla wysoko-produktywnych klonów wierzby oraz mieszańców wierzby, Raporty wewnętrzne podetapu 4.3.A, 2010-2015.
1. Stolarski M., Krzyżaniak M., Szczukowski S., Tworowski J. – Lignina w procesach humusotwórczych pod roślinami wieloletnimi i wykorzystanie grzybów mikoryzowych w produkcji biomasy oraz opracowanie adekwatnych technologii produkcji, Raporty wewnętrzne podetapu 4.3.B, 2010-2015.
1. Marks M., Jastrzębska M., Kostrzewa M., Treder K. – Konsekwencje zmian agro- i ekosystemów wskutek zwiększenia arealów pod uprawami roślin lignocelulozowych - modyfikacja i stabilizacja wykorzystania gruntów w głównych systemach rolniczych, Raporty wewnętrzne podetapu 4.3.C, 2010-2014.
1. Czachorowski S., Gencza J., Buczyński P., Głowacki Ł., Kurzątkowska A., Machałek A., Pakulnicka J. – Analizy bioróżnorodności wewnątrz i wokół plantacji, Raporty wewnętrzne podetapu 4.3.D, 2010-2014.
1. Szymczyk S., Cymes I., Kobus S., Potasznik A., Świtajska I. – Dynamika obiegu wody w warunkach produkcji biomasy lignocelulozowej na gruntach rolniczych, Raporty wewnętrzne podetapu 4.3.E, 2010-2014.
7. Warmiński K., Bęś A. – Bilans obiegu węgla i gazów cieplarnianych w produkcji i pozyskaniu biomasy, Raporty wewnętrzne podetapu 4.3.F, 2010-2014.
1. Gołaszewski J., Olba-Zięty E. – integracja zadań w bloku biorafinerii lignocelulozowej, Raporty wewnętrzne podetapu 4.5.A, 2010-2015.
1. Samson-Bręk I. – LCA, GHG i CO₂ w bilansie biorafinerii lignocelulozowej, Raporty wewnętrzne podetapu 4.5.B, 2011-2012.
1. Faber A., Pudelko R. - Modelowanie bazy surowcowej dla rafinerii lignocelulozowej, Raporty wewnętrzne podetapu 4.5.C, 2011-2012.
1. Brodziński Z., Brodzińska K., Kurowska K., Kryszk H., Pawlewicz A. – Społeczne i ekonomiczne uwarunkowania rozwoju produkcji bioetanolu z biomasy, Raporty wewnętrzne podetapu 4.5.D, 2012-2013.
2. Zięty J., Bauknecht A., Krzykowski M., Mariański M. – Prawne aspekty funkcjonowania biorafinerii, Raporty wewnętrzne podetapu 4.5.E, 2012-2013.

9. Założenia technologiczne hodowli alg olejowych, wytwarzanie biopaliwa i testy silnikowe

Janusz Gołaszewski, Marcin Dębowski, Ryszard Michalski, Marcin Zieliński, Mirosław Krzemieniewski

Centrum Badań Energii Odnawialnej UWM w Olsztynie

Badania dotyczące hodowli alg olejowych ujęto w dwóch zadaniach badawczych etapu 31 związanego z procesami biorafineryjnymi i przetwarzaniem biopaliw i odpadów rafineryjnych do energii. Dotyczyły one hodowli glonów olejowych w warunkach klimatycznych Polski, pozyskania oleju, estryfikacji oleju i testowania w silniku spalinowym.

Celem badań nad hodowlą alg było opracowanie wytycznych oraz koncepcji techniczno-technologicznej systemu hodowli i namnażania biomasy glonów na bazie odpadów pochodzących z przemysłu mleczarskiego (odpływ z reaktora beztlennowego oczyszczającego ścieki mleczarskie typu UASB, odciek pochodzący z komór fermentacyjnych biogazowni opartej na utylizacji serwatki i innych substratów organicznych).

Założenia projektowe oparto na wynikach uzyskanych podczas badań prowadzonych w trakcie realizacji projektu i dotyczących następujących aspektów technologii produkcji biomasy glonów:

- koncentracji wskaźników zanieczyszczeń istotnych z punktu widzenia namnażania biomasy glonów (ChZT, BZT₅, Nog., Pog.) zawartych w testowanym medium,
- efektywności wykorzystania i ograniczania stężeń podstawowych wskaźników zanieczyszczeń w systemach stosowanych do hodowli mikroglonów (ChZT, BZT₅, Nog., Pog.),
- jakości odpływu pochodzącego z instalacji namnażania biomasy mikroglonów,
- szybkości przyrostu biomasy glonowej na bazie odcieku pochodzącego z reaktorów fermentacyjnych,
- koncentracji suchej masy mikroglonów w eksploatowanych reaktorach,
- wymaganego natężenia światła na powierzchni medium hodowlanego,
- sposobu oraz efektywności procesu separacji biomasy mikroglonów z systemu hodowlanego,
- doboru metody higienizacji odcieków pochodzących z reaktorów bez-tlenowych przed wprowadzeniem do reaktorów glonowych.