

# **Bioetanol II generacji produkowany z roślin energetycznych. Uzasadnienie wyboru problemu do analizy**

## **1. Wstęp**

Obecny udział energii pozyskiwanej z odnawialnych źródeł energii szacuje się na 7,6%. Zaś udział odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym UE to około 18%. Do roku 2020 Światowa Komisja Rady Energetycznej przewiduje wzrost udziału energii odnawialnej do przynajmniej 21,3%, optymistyczny scenariusz zakłada wzrost nawet do 29,6%. Tak wysoki udział nośników odnawialnych w bilansie energetycznym wymaga uruchomienia i stosowania mechanizmów wspierających rozwój OZE [1].

Z Krajowego planu działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych jak i Polityki Energetycznej Polski do 2030 roku wynika, że podstawowym źródłem energii odnawialnej, wykorzystywanym w kraju będzie biomasa [2].

Decydują o tym następujące okoliczności :

- wyprodukowanie energii z biomasy wymaga znacznie mniejszych nakładów inwestycyjnych aniżeli innych rodzajów energii odnawialnej,
- biomasa, w zależności od jej składu chemicznego, może zostać przeznaczona do bezpośredniego spalania, wykorzystywana do produkcji biogazu, bądź paliw płynnych (biodiesel i bioetanol),
- ograniczenie emisji tlenków azotu i emisji CO<sub>2</sub> [3].

## **2. Biomasa w energetyce**

Biomasa jest najstarszym i najbardziej rozpowszechnionym źródłem energii odnawialnej, to trzecie co do wielkości naturalne źródło energii na świecie. Biomasa pochodzenia roślinnego bądź zwierzęcego może być przetworzona na biopaliwa, biogaz lub może zostać bezpośrednio spalona. Stanowią ją głównie uboczne produkty z rolnictwa, jak pomiot drobiu, gnojowica, odpady rzeźne, nadwyżki traw oraz te części roślin, które nie są przetwarzane na żywność lub paszę. Oprócz produktów ubocznych biomasę stanowią rośliny energetyczne.

Rolnictwo ma być w Polsce głównym producentem biomasy na cele energetyczne, ponieważ dąży się do zaprzestania wykorzystywania biomasy leśnej [4].

Rola odnawialnych źródeł energii w Polsce stale wzrasta i skierowana jest na wykorzystanie biomasy, jako głównego składnika bilansu energetycznego państwa. Co więcej, wykorzystanie biomasy nierozdzielnie wiąże się z redukcją emisji gazów cieplarnianych, poprawą bezpieczeństwa energetycznego oraz rozwojem społeczno – gospodarczym.

W zależności od metod konwersji, rozróżniamy kilka możliwości energetycznego wykorzystania biomasy [1].

**Tabela 1.** Możliwości energetycznego wykorzystania biomasy (Wojciechowski 2004).

BIOMASA		
BIOPALIWA	BIOPALIWA GAZOWE	BIOPALIWA CIEKŁE
pozostałości z rolnictwa: słoma zbóż, rzepaku, siano, łęty - drewno opałowe: ścinki, kora, wióry, zrębki, trociny, - odpady z produkcji zwierzęcej, - osady ściekowe odwodnione, - rośliny energetyczne drzewiaste i trawiaste.	biogaz rolniczy z fermentacji gnojowicy i odpadów rolniczych, - gaz drzewny, - gaz wysypiskowy z fermentacji odpadów komunalnych, - biogaz z fermentacji osadów ściekowych, - biogaz z fermentacji odpadów przetwórstwa spożywczego.	biodiesel - olej rzepakowy: - etanol - metanol - bio-oleje - oleje po smażeniu z placówek żywienia zbiorowego

### 3. Korzyści wynikające z rozwoju lokalnej energetyki odnawialnej.

Rozwój odnawialnych źródeł energii to dla rolników sposób na biznes, a co za tym idzie, dodatkowe źródło dochodów oraz nowe miejsca pracy [2].

Aby sprostać popytowi na biomasę stałą w 2015 roku, należy zwiększyć jej dostawy o około 1,5 mln ton, a do roku 2020 o ponad 5 mln ton. Nie będzie już możliwe wykorzystywanie odpadów leśnych, gdyż już teraz korzystanie z nich jest stopniowo ograniczane, aby w przyszłości zakazać go całkowicie. Już obecnie brakuje surowca drzewnego dla przemysłów: drzewnego, papierniczego, czy płytowego [2].

Jednakże sytuacja ta stanowi doskonałą szansę na rozwój produkcji roślin energetycznych. Rośliny energetyczne to takie, których plody wykorzystuje się do produkcji ciepła, energii elektrycznej bądź paliw ciekłych i gazowych. W relatywnie krótkim czasie uzyskują duży przyrost biomasy i charakteryzują się dobrymi właściwościami energetycznymi, są więc doskonałą alternatywą dla węgla oraz innych paliw tradycyjnych.

Jest możliwość zagospodarowania nawet do 400 tys. ha pod te uprawy. Jednak aby uzyskać tę powierzchnię, konieczne jest wdrożenie mechanizmów wspierających plantatorów roślin energetycznych, głównie w zakresie finansowego wsparcia, zakładania plantacji, a przede wszystkim właściwego zorganizowania „rynku biomasy”[1]. Co więcej, można zagospodarować odpady drzewne pochodzące z sadownictwa, zieleni miejskiej, nasadzeń przydrożnych, czy słomę [3]. Szacuje się, że w Polsce średnio, rocznie, pozyskuje się około 150 – 200 tys. ton drewna z sadów, upraw jagodowych, czy wycinki zakrzaczenia

śródpolnego. Stanowi to równowartość około 15 tys. ha wieloletnich upraw energetycznych, czyli więcej niż obecna powierzchnia upraw [5].

Inne uboczne produkty rolnictwa, to: łęty ziemniaczane (woj. łódzkie – 50 tys. ha), pozostałości upraw warzywnych (woj. łódzkie – 21 tys. ha), czy liście buraków (woj. łódzkie – 6,7 tys. ha)[5].

Produkcja i wykorzystanie biomasy to wiele możliwości na rozwój nowych działalności gospodarczych w zakresie:

- produkcji biomasy,
- organizacji zbioru, składowania, przetwarzania i transportu,
- zaopatrywania w paliwo biomasowe zainteresowanych zakładów energetycznych,
- dystrybucji paliw i urządzeń do ich spalania,
- usług w branży instalacyjnej,
- pomocy w pozyskiwaniu finansowania inwestycji związanych z produkcją biomasy .

Biomasa może być również wykorzystywana w gospodarstwie, do wytwarzania energii cieplnej [2].

Szacuje się, że aktualnie powierzchnia wieloletnich roślin energetycznych stanowi około 4 tys. ha. Potencjalną podaż biomasy z tych plantacji określa się na poziomie 50 mln ton o wartości energetycznej około 400 mln GJ, co jest energetycznie równoważne 20% węgla aktualnie zużywanego w polskiej energetyce (1 900 mln GJ). Aby pozyskać biomasę, która w całości zrównoważyłaby energetycznie używany węgiel, należałoby przeznaczyć na ten cel od 1,3 do 1,5 mln ha użytków rolnych [1].

Według rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008r. dotyczącego odnawialnych źródeł energii, jednostki wytwórcze zobowiązane są do corocznego zwiększania wykorzystania biomasy pochodzenia rolniczego. Udział wagowy tej biomasy uzależniony jest od typu instalacji. Tak też dla jednostek wytwórczych powyżej 5MW, udział ten powinien wynosić do 100% w roku 2017. W przypadku jednostek hybrydowych oraz jednostek spalających wyłącznie biomasę o mocy elektrycznej powyżej 20 MW, udział ten został określony na poziomie do 60% w roku 2017 [5].

Rozwój energetyki odnawialnej to przeciwdziałanie pogarszaniu stanu środowiska. Tak więc zagadnienia ochrony klimatu wpisują się w problematykę wielofunkcyjności rolnictwa – łączenie funkcji produkcyjnej z funkcją środowiskową oraz funkcją społeczną. Poza tym produkcja energii ze źródeł odnawialnych to stopniowe wprowadzanie samowystarczalności energetycznej w gospodarstwach rolnych [2].

#### 4. Źródła finansowania OZE

W latach 2007 – 2013 podstawowym instrumentem wsparcia przedsiębiorstw z branży energetycznej jest Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko. Dofinansowane mają być projekty związane, m.in. z budową lub zwiększeniem mocy jednostek wytwarzania energii elektrycznej, wykorzystujących energię wody w małych elektrowniach wodnych do 10MW, biogazu i biomasy, wiatru a także ciepła przy użyciu energii słonecznej i geotermalnej [2].

#### 5. Wybrane gatunki roślin, które mogą być wykorzystywane na cele energetyczne

Do gatunków roślin, które mogą znaleźć zastosowanie w warunkach polskich należą między innymi: wierzba krzewiasta, topola, robinia akacjowa; duży przyrost dają również byliny wieloletnie, takie jak: ślazier pensylwański, czy topinambur. Dużym zainteresowaniem cieszą się również trawy wieloletnie: miskanty, proso różgowate, palczatka Gerarda, spartina periowa, czy też mozga trzcinowata. Wszystkie z wyżej wymienionych, należą do grupy roślin wieloletnich, co zmniejsza koszty ponoszone na zakładanie plantacji. Jest to szczególnie istotne z uwagi na fakt, że w roku 2010 wycofano dopłaty do upraw roślin energetycznych. Aktualnie, do przyznania jednolitej płatności obszarowej kwalifikują się jedynie zagajniki drzew o krótkiej rotacji (brzoza, topola, robinia akacjowa i wierzba) [4].

Dobór gatunków roślin do uprawy na plantacjach energetycznych zależy w głównej mierze od warunków glebowo-klimatycznych. Ważną rolę w wyborze odgrywa również wyposażenie gospodarstwa pod względem technicznym, a często także wymagania zakładów energetycznych odnośnie jakości biomasy[4].

Decydując się na założenie plantacji roślin energetycznych, przy wyborze określonego gatunku roślin należy brać również pod uwagę lokalne zapotrzebowanie na surowiec, gdyż transport biomasy na odległości większe niż 50 km byłby prawdopodobnie nieopłacalny.

##### 5.1. Krzewy i drzewa szybko rosnące.

Biomasa roślin drzewiastych najlepiej nadaje się do spalania i współspalania węglem. Jest ona zbierana dwufazowo, a następnie składowana przez okres kilku miesięcy, w celu częściowego przeschnięcia.

- Wierzba (*salix viminalis*) to roślina wieloletnia o okresie użytkowania plantacji 15 – 20 lat. Najczęściej zbierana jest co 3 lata, gdyż uzyskuje się wówczas największy plon w przeliczeniu na rok. Dodatkowo, drewno ma wtedy wyższą wartość energetyczną, niż przy zbiorze corocznym. Wadą wierzby jest jednak stosunkowo wysoka wilgotność zbieranej biomasy (około 45-50%). Poza tym jej zbiór wymaga specjalistycznego, zmechanizowanego sprzętu. Jest to roślina o dużym zapotrzebowaniu na wodę, co w

warunkach klimatycznych naszego kraju może stwarzać pewien problem i jest podatna na choroby.

- Topola, podobnie jak wierzba, rozmnażana jest ze zrzewów. Zbierana w cyklach 4-6 letnich. Ma dominujący pęd główny, dzięki czemu jej zbiór jest znacznie łatwiejszy niż zbiór wierzby.
- Robinia akacyjowa to gatunek ciepłolubny. Wiąże azot z powietrza, więc wymaga mniejszych dawek azotu w porównaniu do wierzby, czy topoli. Dobrze toleruje niskie temperatury w okresie zimy, ale jest wrażliwa na przymrozki wiosenne i jesienne. Nie powinna być uprawiana na obszarze północno – wschodniej Polski. Najlepsze plony wytwarza na glebach wytworzonych z piasków słabo gliniastych oraz na glebach lekkich.

## 5.2. Byliny

Byliny to rośliny wieloletnie, osiągające stosunkowo duże plony.

- Ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby) należy do roślin wieloletnich. W pierwszym roku uprawy rozwija się bardzo powoli i w tym okresie przejawia największą wrażliwość na niskie temperatury. W kolejnych latach wzrost jest intensywny i zwiększa się odporność na przemarzanie i suszę. Ślazowiec pensylwański rozmnaża się generatywnie (przez nasiona) i wegetatywnie (sadzonki). Przed założeniem plantacji, należy starannie przygotować stanowisko. Plony mogą osiągnąć wielkość 10 – 18 ton suchej masy z 1ha, w zależności od stanowiska i warunków klimatycznych.

Młode rośliny ślazu są wymagające w stosunku do światła i wrażliwe na zachwaszczenie. Nie opracowano jeszcze skutecznych metod chemicznego odchwaszczania, należy więc odchwaszczać go mechanicznie. Należy również zwrócić uwagę na szkody wyrządzane przez gawrony i kawki. Po wydostaniu się łodyżki nad powierzchnię gleby, sadzonki masowo wyciągane są z gleby przez te ptaki i porzucane. Odbija się to ujemnie na plonach.

Ślazowiec pensylwański został sprowadzony z myślą o wykorzystaniu go jako rośliny włóknistej, jednak nie sprawdził się w tej roli. Gatunek ten ze względu na niską jakość włókna nie może być w żadnej mierze konkurencyjny w stosunku do lnu czy konopi. Dlatego też powinny zostać wykorzystane inne, bardziej cenne jego właściwości. Między innymi może być on wykorzystywany do rekultywacji częściowo odwodnionych osadów ściekowych. Niebagatelne znaczenie ma również fakt, iż jest to roślina miododajna, kwitnąca aż do przymrozków jesiennych. Poza tym jest on źródłem rutyny – składnika specyfików farmaceutycznych [6].

- Topinambur (słonecznik bulwiasty) charakteryzuje się wysokim potencjałem produkcyjnym (plon łodyg w granicach 10-20 t s. m./ha i bulw do 40 t/ha) oraz małymi wymaganiami siedliskowymi. Wysadzany jest jesienią i wczesnie rozpoczyna wegetację. Najbardziej przydatnym surowcem są jego bulwy, zaś części nadziemne,

ze względu na duże zawartości popiołu, chloru i siarki, stosowane są jedynie do spalania lub jako substrat w biogazowni.

### 5.3. Trawy wieloletnie

- Miskant to trawa kępowa pochodząca z Azji Południowo – Wschodniej. W Europie uprawiany jest od około 50 lat, początkowo jako roślina ozdobna a od kilkunastu lat na plantacjach energetycznych. Wytwarza grube, sztywne, wypełnione gąbczastym rdzeniem źdźbła o wysokości 200-350 cm. Najczęściej uprawiany w Polsce jest miskant olbrzymi (*Miscanthus giganteus*). Nie wydaje on płodnych nasion, więc rozmnażany jest wegetatywnie. Miskant osiąga pełną wydajność w trzecim roku po posadzeniu [4].

Jest rośliną tolerującą gorsze gleby, może więc być uprawiany nawet na V – VI klasie, jednak najwyższe plony osiąga na glebach III – IV klasy. Miskant może być uprawiany na gruntach odłogowych, średniozwięzłej glebie o piaszczystym podłożu nawet przy niskim poziomie wód gruntowych. Z uwagi na to, że optymalna ilość opadów w roku to 400 – 600 mm, może on być uprawiany na terenie całego kraju .

Miskant jest rośliną odporna na mrozy w okresie zimowym, jedynie w pierwszym roku uprawy ta odporność jest niższa. Zalecane jest zakładanie plantacji po wystąpieniu przewidywanych przymrozków wiosennych i ściółkowanie przed pierwszą zimą .

Zbioru dokonuje się najczęściej na przełomie lutego i marca, gdy wilgotność roślin wynosi ok 20%. Średni plon suchej masy to ok. 20 t/ha, co przy wartości energetycznej 14-17MJ/kg odpowiada 12 tonom węgla .

Spośród wielu korzystnych cech miskanta warto zwrócić uwagę na rolę tego gatunku w sekwestracji węgla. Poza tym, dzięki rozbudowanemu systemowi korzeniowemu, chroni on tereny podatne na erozję. Młode pędy miskanta można stosować jako paszę dla zwierząt [7].

Dzięki zdolności miskanta do przemieszczania z pędów i akumulowania dużych ilości składników pokarmowych w rhizomach, wymagania nawozowe tej rośliny są stosunkowo małe. Liście przeważnie opadają i pozostają na polu dlatego pobranie składników pokarmowych z gleby dotyczy tylko pędów [7].

Uzyskiwany plon suchej masy zależny jest od wieku plantacji, terminu zbioru, stanowiska, nawożenia oraz użytego materiału sadzonkowego. Plon ze zbioru jesienno jest wyższy niż plon ze zbioru wiosennego, różnice mogą wynosić od 14 do 30%. Co więcej opóźnienie zbioru wiąże się z obniżeniem wilgotności biomasy średnio o 1/3, a także redukcją zawartości chloru, którego obecność w biomacie może powodować emisję chlorowodoru i dioksyn [7].

Poniższe zdjęcia przedstawiają rośliny z rocznej, dwuletniej i trzyletniej plantacji (Rys. 5.3.1.), (Rys. 5.3.2.), (Rys. 5.3.3.).



**Rys. 5.3.1.** Roczna plantacja trawy wieloletniej *Miscanthus giganteus*.



**Rys. 5.3.2.** Dwuletnia plantacja trawy wieloletniej *Miscanthus giganteus*.





**Rys. 5.3.3.** Trzyletnia plantacja trawy wieloletniej *Miscanthus giganteus*.

Słoma miskanta może być również wykorzystywana jako składnik strukturalny do ściółki dla zwierząt, kompostów, wermikompostów, jako przykrycie zbiorników z gnojowicą [7].

#### 5.4. Słoma

W warunkach tradycyjnego gospodarowania, słoma w gospodarstwie wykorzystywana była na ściółkę oraz paszę, następnie powracała na pole w postaci nawozu organicznego. W ten sposób zamykał się obieg składników mineralnych i materii organicznej w ramach gospodarstwa. W ostatnim okresie produkcja zbóż wzrosła do około 70% średnio w kraju, a pogłowie zwierząt systematycznie się zmniejsza. Coraz więcej gospodarstw wyzbywa się inwentarza. W takich warunkach występują znaczne nadwyżki słomy, które z powodzeniem można wykorzystać na cele energetyczne [3]. Słoma jako paliwo w postaci bel wykorzystywana jest głównie do produkcji energii cieplnej [2]. Znane jest jednak również jej zastosowanie w produkcji bioetanolu. W energetyce może być użyta słoma wszystkich rodzajów zbóż. Wartość energetyczna słomy to około 15 MJ/kg czyli 1,5kg słomy równoważy 1 kg węgla [3].



Szacuje się, że rocznie w Polsce zbiera się około 28-29 mln ton słomy (zboż, rzepaku, roślin strączkowych). Wyniki przeprowadzonych szacunków wskazują, że w skali kraju, na cele energetyczne można przeznaczyć około 6 - 7 mln ton rocznie [3].

#### 5.5. Sorgo

Sorgo to roślina z rodziny traw wiechlinowatych pochodząca z Afryki, obejmuje 30 gatunków. Charakteryzuje ją wysoki potencjał produkcyjny, bardzo wysoka tolerancja na suszę oraz bardzo wysoka odporność na wyleganie. Sorgo z powodzeniem może być uprawiane na większości typów gleb, z wyjątkiem gleb zimnych i wilgotnych, które spowalniają wzrost roślin. Najlepiej rozwija się na glebach lekko kwaśnych [8].

Sorgo najczęściej sadzone jest razem z kukurydzą jako tak zwany mix cropping. Sorgo gospodaruje wodą dużo efektywniej niż kukurydza. W przypadku niedostatku wody, roślina wchodzi w stan uśpienia, kontynuuje wzrost wraz ze wzrostem wilgotności gleby. Sorgo posiada niespotykaną w naszej strefie klimatycznej dynamikę wzrostu [8].

### **6. Wybrane problemy z zakresu produkcji roślin energetycznych oraz opłacalność plantacji.**

Do celów energetycznych w pierwszej kolejności powinny być wykorzystywane lokalnie dostępne produkty uboczne rolnictwa oraz pozostałości z przetwórstwa rolno – spożywczego.

W Polsce nie wykształcił się jeszcze rynek biomasy na cele energetyczne. W dalszym ciągu nie wykształciły się więzi pomiędzy producentami a konsumentami biomasy. Co więcej, powierzchnia upraw od kilku lat utrzymuje się na niskim poziomie, około 5 tys. ha. Natomiast biomasa, czy bioetanol są importowane do Polski [5].

Jednym z argumentów przedstawianych rolnikom, w celu zachęcenia ich do podjęcia uprawy roślin energetycznych jest rzekoma konkurencyjność tych upraw, w stosunku do roślin rolniczych. Konkurencyjność ta ma polegać na łatwiejszej, mniej wymagającej technologii produkcji oraz na osiągnięciu lepszych wyników finansowych [9].

Jednakże analiza przeprowadzona przez dr inż. Mariusza Matykę z Instytutu Upraw, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, pokazuje, że przy bieżących relacjach cenowych, uprawa roślin na cele energetyczne jest konkurencyjna jedynie w stosunku do żyta i pszenżyta ozimego [9].

Jeszcze gorzej jest z opłacalnością produkcji samych roślin energetycznych. Porównanie przychodów i kosztów wskazuje, że w przypadku analizowanych plantacji, przychody żadnej z nich nie pokrywały kosztów. Jak podaje dr Matyka, strata ponoszona przez producenta to

kwota od 112zł/ha na rok dla miskanta do aż 366zł/ha na rok dla ślazuwca pensylwańskiego [9].

Założenie plantacji to najwyższy koszt ponoszony przez producenta. Założenie plantacji miskanta to najwyższy koszt wśród roślin energetycznych, głównie w uwagi na koszt sadzonek. Koszt założenia plantacji ślazuwca pensylwańskiego może być zróżnicowany, ze względu na możliwość wyboru spośród siewu nasion oraz sadzenia sadzonek. Należy jednak wziąć również pod uwagę późniejsze koszty prowadzenia plantacji, które w przypadku miskanta są najniższe, natomiast w przypadku ślazuwca pensylwańskiego znacznie wyższe w obu przypadkach [9].

Prowadzone w Lublinie badania nad aklimatyzacją ślazuwca, dowodzą, że plon suchej masy łodyg ślazuwca pensylwańskiego na dobrej glebie waha się w przedziale od 13,8 do 17,8 t/ha na rok. Podczas gdy potencjalnie plon tego gatunku, w optymalnych warunkach powinien osiągnąć poziom 30 t\ha na rok [10].

Zdaniem dr Matyki, przeprowadzona przez niego analiza pokazuje, że dla rozwoju produkcji roślin na cele energetyczne, konieczne jest stworzenie trwałej koncepcji rozwoju oraz większe wsparcie ze strony organów rządowych [7].

Polska należy do krajów unijnych o dość korzystnym wskaźniku zasobów ziemi rolniczej na 1 mieszkańca, a w aktualnym systemie gospodarowania tkwią znaczne rezerwy produkcyjne. Dlatego też niezbędna jest transformacja konwencjonalnej uprawy roślin do zrównoważonej produkcji żywności i surowców oraz do wytwarzania energii odnawialnej [10].

## **7. Uzasadnienie wyboru surowca do badań**

Na podstawie przeglądu literaturowego, śledzonych na bieżąco informacji z branży energii odnawialnej oraz konsultacji z producentem roślin energetycznych, dokonałam wyboru roślin wykorzystanych do zaplanowanych wcześniej badań. Roślinami, które znalazły się w obszarze mojego zainteresowania są: miskant olbrzymi (*miscanthus giganteus*), pszenica pszenna i sorgo.

Porównanie poczynione przez plantatora roślin energetycznych ukazało znaczne korzyści w uprawie miskanta nad uprawą ślazuwca pensylwańskiego. Dość dużym problemem w uprawie ślazuwca jest utrzymanie plantacji. Nie można bowiem używać do jego odchwaszczania żadnego z dostępnych preparatów chemicznych, gdyż grozi to zniszczeniem plantacji, jako że jest to roślina dwuliścienna. Wykonuje się zatem odchwaszczanie ręczne, które jest czasochłonne i kosztowne. Utworzenie plantacji ślazuwca może być wykonane w wyniku sadzenia sadzonek, bądź siewu nasion. Siew nasion jest opcją znacznie tańszą, jednakże utrzymanie plantacji w ten sposób utworzonej jest znacznie trudniejsze i

kosztowne. Roślina z nasion wybija znacznie później i rośnie wolniej. Co więcej, jest mniej odporna na chwasty, tak więc plon z nasion jest znacznie niższy.

Trudny w uprawie ślazier, nie jest również pożądanym przez elektrownie, które w głównej mierze zainteresowane są brykietem z miskanta. Ślazier natomiast ze względu na dość dużą zawartość białka może być stosowany jako pokarm dla zwierząt. Jest to również roślina miododajna. Problemem jest także zbiór ślazierca, który wymaga specjalistycznego sprzętu, choćby w celu właściwego odzyskania nasion.

Biorąc więc pod uwagę zastosowania roślin w celu ich dalszego przetworzenia na bioetanol, miskant jest tą bardziej odpowiednią, choćby z uwagi na kilka potencjalnych dróg odbioru i przeznaczenia.

Miskant olbrzymi jest jednym z najbardziej obiecujących gatunków traw wieloletnich pod względem możliwości wykorzystania na cele energetyczne. Za podjęciem jego uprawy przemawia jego szybki wzrost, począwszy od posadzenia w ziemi, niewielkie wymagania nawozowe, długi okres plonowania na względnie stałym poziomie oraz zbiór za pomocą typowych maszyn rolniczych. Istotne jest również małe zapotrzebowanie na wodę, co ma duże znaczenie przy ograniczonych zasobach wodnych naszego kraju [7].

W warunkach europejskich, miskant olbrzymi wykazuje bardzo dużą odporność na różne czynniki chorobotwórcze. Na plantacjach nie jest więc prowadzona ochrona chemiczna, co w znaczącym stopniu przyczynia się do obniżenia kosztów ich utrzymania.

## **8. Uzasadnienie wyboru lakazy produkowanej przez grzyba białej zgnilizny *Cerrena unicolor***

Rozwój naszej cywilizacji skutkuje negatywnym wpływem na środowisko. Dlatego też, narodziła się potrzeba rozwoju nowoczesnych, przyjaznych środowisku technologii wytwórczych, wykorzystujących procesy biologiczne w produkcji przemysłowej. Potrzeba ta stała się podstawą do rozwoju białej biotechnologii [11].

Zastąpienie tradycyjnych procesów chemicznych bioprocjami, pozwala na ukierunkowanie przemysłu na zmianę procesów technologicznych i nowe produkty. Głównymi obszarami zastosowań białej biotechnologii są: przemysł chemiczny, farmaceutyczny, spożywczy, celulozowo – papierniczy, włókienniczy i energetyczny [11].

Część gatunków grzybów zamieszkująca organizmy roślinne, wyspecjalizowała się w prowadzeniu procesu rozkładu drewna, a w nim ligniny, która jest strukturą sztywną i niezwykle odporną na rozkład. Odkrycie tego mechanizmu stało się podstawą do zainteresowania enzymami wydzielanymi przez grzyby. Jednym z nich jest lakaza [11].

Lignina jest drugim co do obfitości występowania polimerem na Ziemi, pierwszym jest celuloza. Zawiera około 30% całkowitego węgla organicznego, z wyłączeniem paliw kopalnych [11].

Delignifikacja jest niezbędnym krokiem w każdym procesie, w którym jako surowiec, wykorzystywany jest materiał lignocelulozowy. Struktura ligniny jest skomplikowana i jeszcze nie do końca zbadana, dlatego również wciąż prowadzone są badania nad udoskonaleniem procesu delignifikacji. Najczęściej stosowanymi są metody obróbki chemicznej, jednakże cały czas dąży się do zastąpienia ich obróbką biologiczną, z wykorzystaniem enzymów, które w przyrodzie z powodzeniem są wykorzystywane do rozkładu ligniny.

Biologiczny rozkład drewna, czy też innych materiałów zawierających, między innymi, ligninę i celulozę, polega na zastosowaniu głównie takich enzymów, jak: lakaza, peroksydaza ligniny (LiP), celulazy i ksylanaza. Enzymy te produkowane są przez określone gatunki grzybów, czy bakterii. Często ich właściwości lub parametry działania różnią się w zależności od organizmu, który go wyprodukował. Enzymy są to białka wytwarzane przez żywe komórki, ale mogą działać również poza nimi.

Transformacja lignocelulozy to proces biochemiczny. Do rozkładu niezbędna jest obecność tlenu i glukozy [11].

Lakaza, główny enzym w procesie delignifikacji, może być produkowany przez wyższe rośliny, grzyby i bakterie. Spośród grzybów, lakazę produkują te z klasy Ascomycetes, Deuteromycetes oraz Basidiomycetes, przede wszystkim grzyby białej zgnilizny [12].

Lakaza (EC 1.10.3.2) to oksydoreduktaza należąca do niewielkiej grupy miedzioprotein. Lakazy produkowane przez grzyby mają wyższy potencjał redukcyjny aniżeli te produkowane przez bakterie, przez co znajdują szerokie zastosowanie w biotechnologii. Począwszy od odbarwiania ścieków, poprzez detoksykację, bieleni pulpy, usuwanie związków fenolowych z wina, syntezę złożonych związków stosowanych w medycynie, aż po blokowanie migracji barwników w detergentach i proszkach do prania [12].

Zdolności lakazy sprawiają, że jest ona postrzegana jako bardzo atrakcyjny enzym, który może być wykorzystywany w przemyśle i w ochronie środowiska. Lakaza jest enzymem o stosunkowo niskiej specyficzności substratowej, zależnej od źródła, z którego ją wyizolowano [11].

Mechanizm działania lakazy polega na utlenianiu fenolowych związków ligniny. Natomiast wraz z mediatorem, odpowiednim związkiem mikrocząsteczkowym, jest ona w stanie utleniać również niefenolowe struktury ligniny.

Mediatory to związki zawierające specyficzne grupy funkcyjne, takie jak  $-NO$ ,  $-NOH$ , czy  $-HRNOH$ . Dzięki nim, mogą pośredniczyć w przekazywaniu elektronów z substratów do centrum aktywnego lakazy. Mediatorami lakazy mogą być, między innymi: kwas

hydroksyantranilowy, sól diamonowa, ABTS, hydroksyftalid, kwas wiołurowy, kwas syryngowy [11].

W zależności od źródła pochodzenia, lakaza może posiadać różne właściwości. Dlatego też często rozróżnia się lakazę pochodzenia roślinnego i tę pochodzenia grzybowego [11].

W przypadku grzybów białej zgnilizny drewna, lakaza przy udziale mediatorów jest głównym enzymem biorącym udział w rozkładzie ligniny.

Do bakterii produkujących lakazę należą, między innymi: *Azospirillum lipoferum*, *Bacillus subtilis*, *Streptomyces lavendulae*, *S.cyaneus* and *Marinomonas mediterranea*. Wśród roślin, producentów lakazy możemy znaleźć pośród drzew, warzyw kapustnych, rzep, buraków, jabłek, ziemniaków i innych warzyw. Wśród grzybów, to grzyby białej zgnilizny są najszerzej spotykanymi i najlepiej zbadanymi producentami lakazy.

Z uwagi na skomplikowaną naturę ligniny, jak i samego procesu delignifikacji, naukowcy na całym świecie prowadzą badania mające na celu jego usprawnienie. Najczęściej do badań tych wykorzystywana jest lakaza produkowana przez *M. tremellosus* Schrad., *Ganoderma applanatum*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Coriolus versicolor*, *Gloeoporus dichrous*, *Polyporus brumalis*, *Ceriporiopsis subvermispora*, *P. cinnabarinus*, czy *Trametes versicolor*.

Grzyby białej zgnilizny z klasy Basidiomycetes, jak *Ceriporiopsis subvermispora*, *P. cinnabarinus*, *Trametes versicolor*, czy *Cerrena unicolor*, są najlepiej zbadanymi producentami lakazy.

Grzyby, w zależności od uzdolnień do biosyntezy określonych enzymów, mogą rozkładać wybiórczo ligninę bądź celulozę, lub w różnych proporcjach równocześnie oba związki chemiczne [13]. Do rozkładu ligniny przez grzyby białej zgnilizny, wykorzystywane są trzy enzymy – fenolo-oksydazy: peroksydaza ligniny (LiP), peroksydaza Mn-zależna (MnP) i lakaza (Lac). Grzyby, w zależności od rodzaju, wykorzystują do delignifikacji różnych zestawów enzymów. Niektóre z nich produkują peroksydazę ligniny i Mn-peroksydazę, nie produkują zaś lakazy, podczas gdy inne produkują Mn-peroksydazę i lakazę, natomiast nie wytwarzają peroksydazy ligniny (LiP) [14].

Grzyby brunatnej zgnilizny prowadzą głównie rozkład celulozowych i hemicelulozowych składników drewna, chociaż w pewnym stopniu mogą również modyfikować ligninę. Natomiast grzyby białej zgnilizny powodują najpełniejszy rozkład drewna [11].

W celu otrzymywania lakazy do badań laboratoryjnych prowadzi się procesy biosyntezy enzymu na drodze hodowli. W warunkach laboratoryjnych lakazę otrzymuje się najczęściej z hodowli płynnych z zastosowaniem inokulum zaszczepionego porośniętymi grzybnią kawałkami agaru. Jednakże problemem w hodowlach laboratoryjnych jest niska wydajność

szczepów. Problem ten można rozwiązać stosując induktory – związki pobudzające. Niestety, induktory, które mogłyby być wykorzystane w procesie produkcji lakazy, to silne związki toksyczne, a nawet kancerogenne. Istnieje jednak gatunek grzyba, który bez użycia induktorów wytwarza lakazę z dużą wydajnością, to *Cerrena unicolor* [11].

*Cerrena unicolor* to grzyb białej zgnilizny drewna, należący do klasy Basidiomycetes. Występuje głównie na drzewach liściastych i ich obumarłych pniach. Przykładem takich drzew mogą być: buk, kasztan, klon, czy dąb. Występuje w Europie, Ameryce Północnej, Afryce i Australii. Jest to gatunek całoroczny, jednakże rzadko występujący [11].

Wybór grzyba *Cerrena unicolor*, jako producenta lakazy wykorzystywanej w doświadczeniach mających na celu delignifikację materiałów celulozowych wykorzystywanych do produkcji bioetanolu, nie był przypadkowy. Przede wszystkim samoistnie produkuje ona lakazę z taką wydajnością, z jaką inne gatunki grzybów produkują z pomocą induktorów. Co więcej, lakaza zachowuje długotrwałą stabilność podczas przechowywania w formie zamrożonej, przez czym należy unikać kilkukrotnego rozmrażania i ponownego zamrażania. Poza tym podlega ona efektywnej immobilizacji na różnych nośnikach [11], co mogłoby być idealnym rozwiązaniem dla przemysłu. Warto jednak pamiętać, że *Cerrena unicolor* jest gatunkiem nie do końca poznany.

Naturalna zdolność lakaz oraz pozostałych enzymów lignolitycznych do degradacji drewna, w tym rozkładu ligniny, świadczy o ich szerokich możliwościach jako katalizatorów rozkładu wielu skomplikowanych związków organicznych. Dodatkowo, dzięki niskiej specyficzności, niskim wymaganiom energetycznym oraz biodegradowalności, bio-katalizatory lakazowe bardzo dobrze spełniają wymogi zrównoważonej i przyjaznej środowisku produkcji. Niestety, niska wydajność biosyntezy tych enzymów w warunkach naturalnych uniemożliwia ich praktyczne zastosowanie w skali przemysłowej [11].

## 9. Biopaliwa

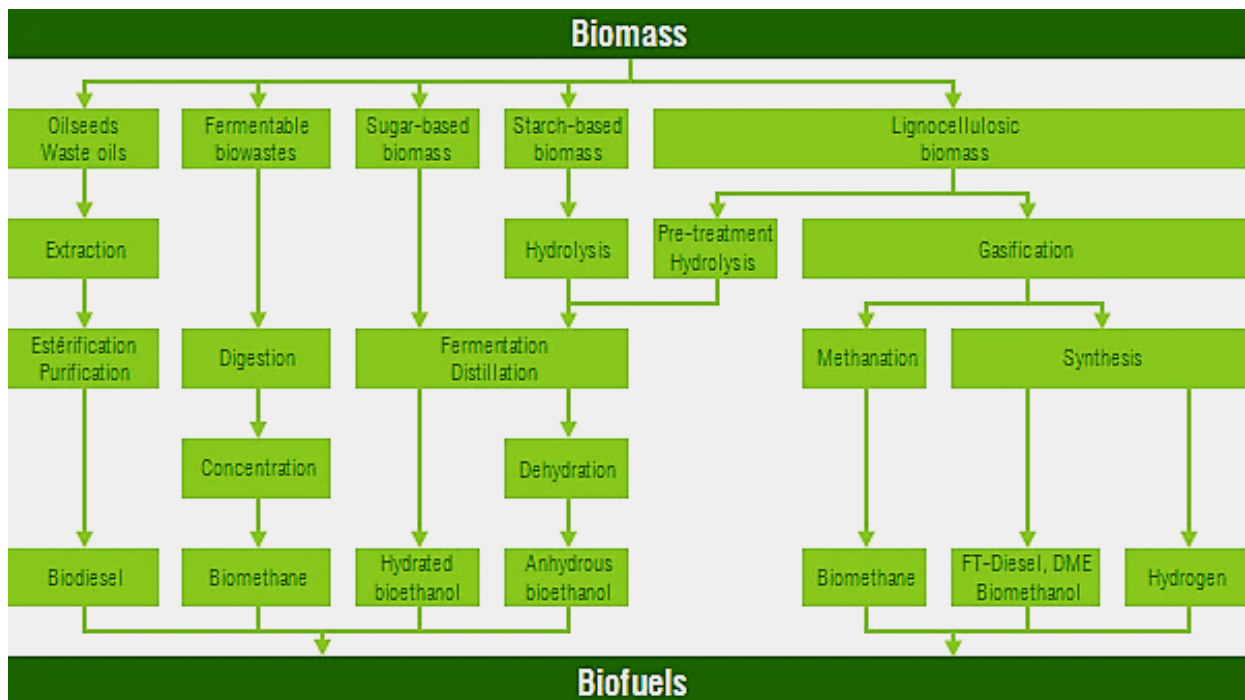
Redukcja gazów cieplarnianych to główny problem ludzkości naszych czasów. Podstawowym problemem jest szybko rozwijający się transport, jako że jest to główne źródło emisji CO<sub>2</sub>. W związku z tym ogromną uwagę poświęca się dziś biopaliwom płynnym. Oprócz wpływu na redukcję gazów cieplarnianych, ich rozwój ma i inne zalety, taki jak zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego oraz rozwój obszarów wiejskich [15].

Warto zauważyć, że nie wszystkie biopaliwa są równe i nie wszystkie wpływają na środowisko jednakowo dobrze [15]. Z drugiej jednak strony, aby uzyskać niezależność od paliw importowanych, konieczna jest produkcja paliw różnego rodzaju [16].

Płynną formą biopaliw, prawdopodobnie ze względu na łatwość użytkowania, jest najczęściej spotykana, jednak również biopaliwa gazowe cieszą się dość dużą popularnością. Biopaliwa



mogą być produkowane z różnych surowców i z użyciem różnych technologii [17]. Poniżej przedstawiono schemat produkcji biopaliw (Rys 9.1.).



**Rys. 9.1.** Schemat produkcji różnych rodzajów biopaliw [17].

Szacuje się, że w Unii Europejskiej, zapotrzebowanie na biopaliwo wzrośnie z 10 000 ktoe (kilotonnes of oil equivalent) w roku 2010, co stanowi około 4% całkowitej ilości paliwa transportowego, do 30 000 ktoe, co z kolei będzie stanowiło 8,6% całkowitej ilości paliwa transportowego w 2020 roku [15].

Aby osiągnąć założenia UE co do udziału biopaliw w rynku paliwowym, potrzebna będzie produkcja zarówno biodiesla, jak i bioetanolu. W większości będzie to zapotrzebowanie na biodiesel, z uwagi na znaczną popularność tego paliwa w Europie [15].

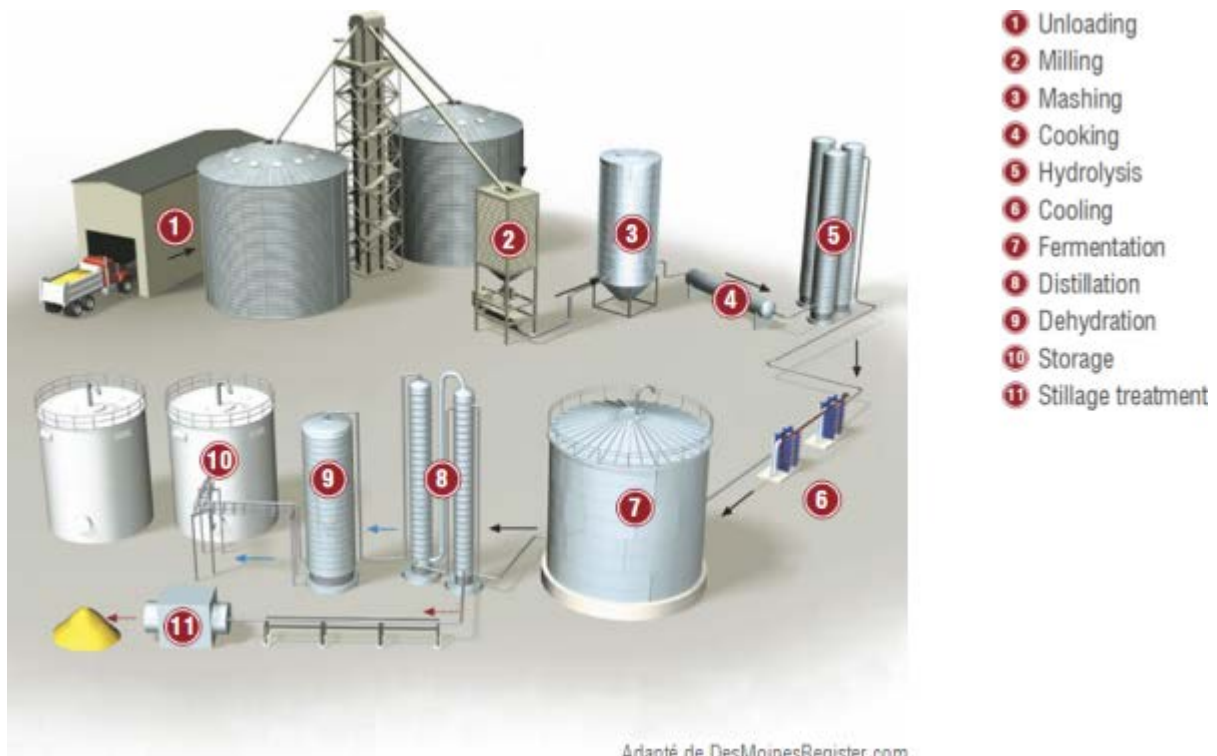
Istotne są również granice mieszania ze sobą biopaliw i benzyny bądź diesla. Istnieją bowiem maksymalne ilości tych biopaliw, jakie możemy dodać bez konieczności ingerowania w technologię pojazdów [15].

Bioetanol skrobiowy (I generacji) to najczęściej używane paliwo na świecie. Produkowany jest z roślin zawierających cukier, takich jak trzcina cukrowa, kukurydza, czy buraki. Podstawową technologią produkcji bioetanolu z materiałów skrobiowych jest proces fermentacji – dobrze znany proces biochemiczny. Biomasa jest rozkładana przez bakterie, a następnie drożdże zamieniają cukry obecne w biomacie w alkohol. Następnie alkohol jest destylowany i odwadniany. Etanol, najczęściej używany jest w silnikach o zapłonie iskrowym, głównie ze względu na dobre właściwości przeciwstukowe. Jednakże jako paliwo samo w sobie, etanol jest dość kłopotliwy. Powoduje korozję, z powodu zawartości wody. Nie jest to jednak problemem, jeśli etanol mieszany jest z benzyną w małych ilościach. Obecnie etanol

używany jest w wielu krajach UE, jednakże głównie w postaci ETBE (etylo tert butyl), jak w Hiszpanii czy Francji. Jest to spowodowane brakiem korozyjności ETBE. Bioetanol bez konieczności modyfikacji silnika może być mieszany z benzyną w ilościach do 20%, jednakże w większości krajów UE dopuszczalna ilość to 5% [18].

Bioetanol lignocelulozowy (II generacji) jest alternatywą przyszłości dla stosowanego obecnie bioetanolu skrobiowego. Bioetanol lignocelulozowy nie konkuruje z produkcją żywności o surowce, a co więcej przyczynia się do znacznie większej redukcji gazów cieplarnianych niż bioetanol I generacji. Biomasa lignocelulozowa składa się z polimerów węglowodanowych – celulozy i hemicelulozy, które mogą być zamienione na cukry i nie ulegającą fermentacji ligninę, w wyniku utylizacji której można uzyskać ciepło i energię elektryczną. Przetworzenie materiału do cukrów redukujących jest dość skomplikowanym procesem, natomiast fermentacja, destylacja i odwodnienie są procesami identycznymi do przeprowadzanych w procesie produkcji bioetanolu skrobiowego. Problem stanowi degradacja włóknistej struktury biomasy [www.refuel.eu]. Zbadano również, że delignifikacja w określonych warunkach może prowadzić do ponownego osadzania ligniny na warstwie celulozowej, co utrudniałoby efektywną hydrolizę celulozy [16].

Generalnie produkcja bioetanolu II generacji może być przeprowadzona przy użyciu kilku różnych technologii, jednakże najpopularniejszą jest metoda łącząca hydrolizę celulozy z fermentacją heksoz i pentoz w tym samym reaktorze – tzw. SSF (Simultaneous Saccharification and fermentation). Prowadzone są natomiast badania nad znacznie bardziej zaawansowanym procesem, który w jednym reaktorze łączy ze sobą produkcję enzymów, hydrolizę i fermentację, jest to CBP – Consolidated Bio-Processing [18].

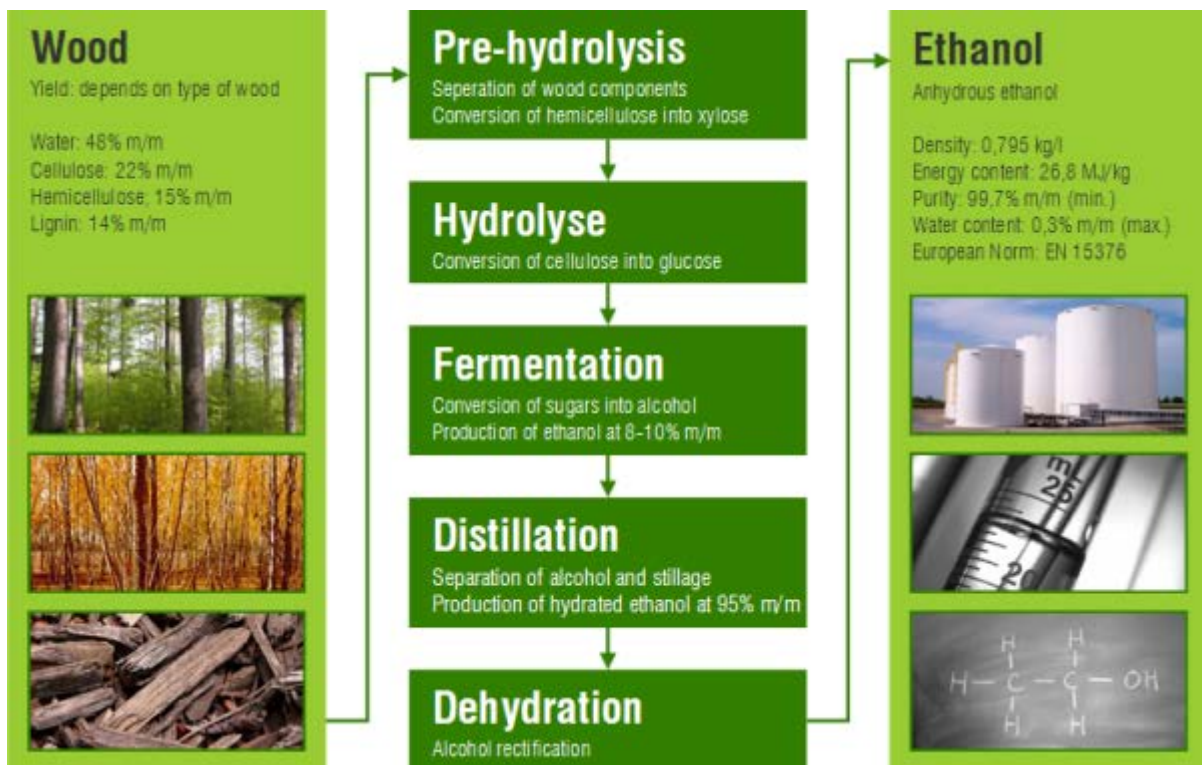


**Rys. 9.2.** Schemat procesu produkcji bioetanolu [17].

Poniżej przedstawiono schematy produkcji bioetanolu z kukurydzy oraz z drewna (Rys. 9.3) i (Rys. 9.4.).



**Rys. 9.3.** Schemat procesu produkcji bioetanolu z kukurydzy [17].

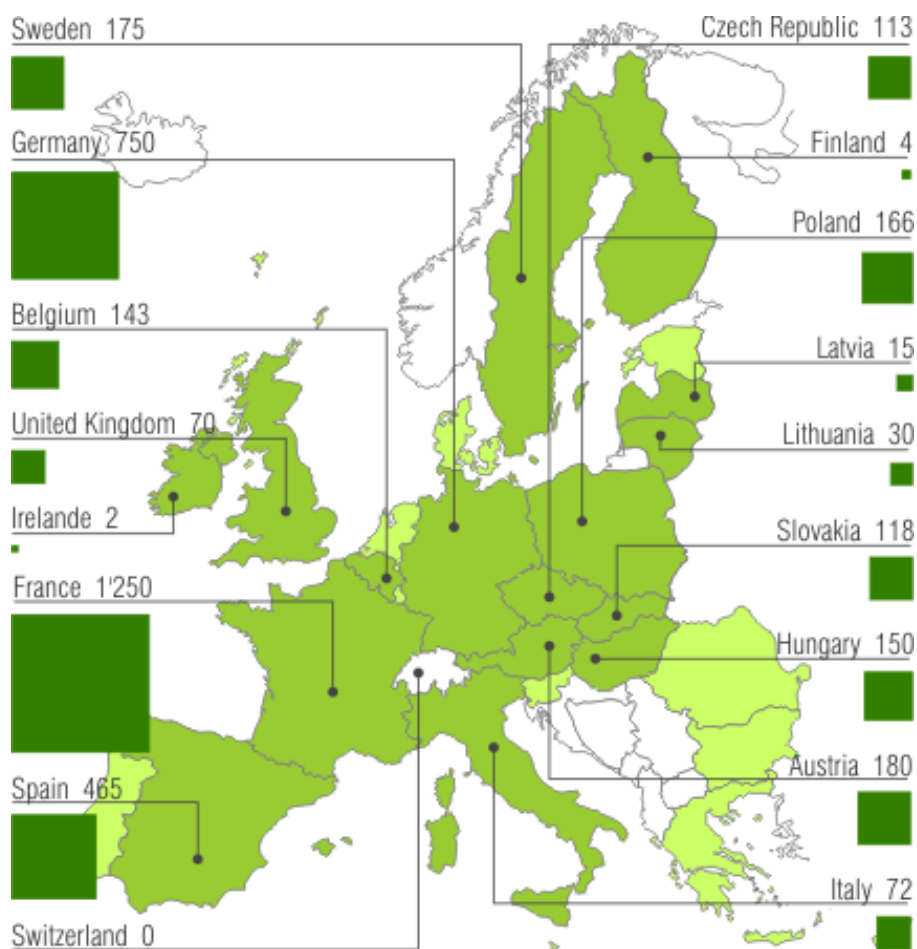


**Rys. 9.4.** Schemat procesu produkcji bioetanolu z drewna [17].

Głównym problemem w produkcji bioetanolu II generacji jest opracowanie efektywnej metody obróbki wstępnej biomasy lignocelulozowej. Jest kilka metod, które się w tym celu stosuje: mechaniczna, chemiczne, termalna, biologiczne i metody łączące kilka procesów. Jednakże żadna z nich nie okazała się idealna. Problemem zazwyczaj są koszt, niska wydajność, powstawanie niechcianych produktów ubocznych. Co więcej, sam koszt celulaz jest wysoki, a wydajność procesu niska. Alternatywą może być hydroliza kwasowa, jednakże ma ona negatywny wpływ na produkcję cukrów. Wydajność celulaz jest wciąż zwiększana, jednakże nie osiągnęła ona jeszcze żądanej wielkości. Wciąż prowadzone są badania nad idealnym organizmem fermentującym zarówno pentozy i heksozy. W tym celu stosuje się genetycznie modyfikowane drożdże, jednakże ich odporność wymaga udoskonalenia, aby mogły być bez przeszkód stosowane w przemyśle. Aktualnie większość badań nad udoskonaleniem procesu produkcji bioetanolu II generacji prowadzone jest w Stanach Zjednoczonych [18].

Uzasadnieniem dla badań nad ulepszeniem procesu produkcji bioetanolu II generacji jest możliwość wykorzystania, produkowanej w ogromnych ilościach biomasy odpadowej. Jako przykład, weźmy produkcję trzciny cukrowej. Jeden hektar produkuje około 10 ton cukru i 3 tony molasy, ale produkuje również 20 – 25 ton biomasy, która z powodzeniem może zostać przetworzona na bioetanol [17].

Większość bioetanolu na świecie produkują USA (54%) i Brazylia (34%). Według RFA (Renewable Fuel Association), w 2009 roku USA wyprodukowały ponad 40 miliardów litrów bioetanolu, głównie z kukurydzy. Brazylia, według Unica (União da Agroindústria Canavieira), wyprodukowała blisko 25 miliardów litrów w 2009 roku, w tym 4 miliardy na eksport. Bioetanol w Brazylii produkowany był głównie z trzciny cukrowej. W tym samym roku UE wyprodukowała 3,7 miliarda litrów, a Chiny ponad 2 miliardy litrów [17]. Poniższy rysunek przedstawia produkcję bioetanolu w milionach litrów (MI) w UE i Szwajcarii w roku 2009 (Rys. 9.5.).



Copyright © ENERS Energy Concept

**Rys. 9.5.** Produkcja bioetanolu w milionach litrów (ML) w UE i Szwajcarii w roku 2009 [17].

Na świecie nie ma zbyt wiele rafinerii bioetanolu II generacji. W dużej części są to instalacje demonstracyjne. Tradycyjne biorafinerie celulozowe mają wiele złożonych, kosztownych i energochłonnych procesów o niskiej wydajności. Najczęściej stosowany proces biokonwersji drewna ma swoje początki w latach 30 XX wieku. Składa się on z trzech etapów: mielenia i wstępnej obróbki termochemicznej, produkcja i aplikacja celulaz oraz fermentacja z użyciem drożdży bądź bakterii. Ostatnie badania pozwoliły na znaczne obniżenie kosztu enzymów i ulepszyły szczepy fermentujące, aby mogły prowadzić jednocześnie hydrolizę celulozy oraz fermentację glukozy [19].

Mimo, że technologia z enzymatyczną obróbką wstępną zdaje się mieć większy potencjał, na świecie pracują tylko 4 biorafinerie pilotażowe ją wykorzystujące. Są to fabryka NREL (USA) produkująca 120 000 litrów na rok, logen Corporation (Kanada) produkująca 320 000 litrów na rok, Sekab (Szwecja) 120 000 litrów na rok i Biogasol (Dania) 15 000 litrów na rok. Pozostała większość stosuje hydrolizę kwasem siarkowym w wysokich temperaturach [17].



Trwające wciąż badania mają na celu opracowanie takiej technologii, aby biorafinerie stały się opłacalne, wydajne i konkurencyjne, aby mogły sprostać wymaganiom transportowym i energetycznym [19].

Na podstawie badań NREL (National Renewable Energy Laboratory) stwierdzono, że efektywny rozkład hemicelulozy przy użyciu niestężonego kwasu, wymaga drogiego sprzętu i ma tendencje do degradacji cukrów. Delikatniejsza obróbka wstępna przy użyciu enzymów, może zmniejszyć koszty procesu i pozwoli uniknąć degradacji cukrów. Jednakże obróbka enzymatyczna ma mniejszą wydajność i wymaga odpowiednio dobranych koktajli enzymatycznych [16].

Prowadzi się wiele badań analizujących strukturę roślin lignocelulozowych i wiele badań genetycznych nad udoskonaleniem enzymów, drożdży i szczepów bakteryjnych stosowanych NREL, Genecor International oraz Novozymes powstał koktajl celulaz usprawniający proces hydrolizy i obniżający jego koszt dwudziestokrotnie [16].

Hydrolizat powstały po obróbce wstępnej i hydrolizie zawiera nie tylko cukry, ale również takie związki, jak kwas octowy, które są toksyczne dla organizmów przeprowadzających proces fermentacji. Toksyczne są również wysoka zawartość substancji stałych i wzrastające stężenie etanolu. Dlatego też prowadzone są badania nad stworzeniem takich mikroorganizmów, które będą odporne na trudne warunki procesu [16].

NREL wraz z NCGA (National Corn Growers Association) and CRA (Corn Refiners Association) udoskonaliły szczep drożdży tak, aby był zdolny fermentować arabinose, która stanowi 20% cukrów w materiałach lignocelulozowych. W tym celu przeniesiono trzy geny z bakterii do szczepu drożdży *Saccharomyces cerevisiae*. NREL udoskonaliło również szczep bakterii *Zymomonas mobilis* aby był odporny na kwas octowy oraz zdolny do fermentowania arabinozy i ksylozy [16].

Aby stworzyć opłacalną biorafinerię etanolu, należałoby zintegrować wszystkie etapy procesu. Jednakże, optymalizacja warunków jednego procesu może wpłynąć na wydajność innych procesów. W tym celu należy więc przeprowadzić wiele badań, w celu dogłębnego ich zbadania i dopasowania [16].

Bardzo duży wkład w optymalizację procesu produkcji bioetanolu II generacji będzie miała z pewnością inżynieria genetyczna. Już teraz prowadzone są badania nad genetyczną modyfikacją roślin energetycznych. Celem jest uniemożliwienie roślinom budowania złożonych struktur ścian komórkowych, aby tym samym ułatwić ich przyszłą konwersję do biopaliw i innych produktów [19].

Prace prowadzone nad ulepszaniem enzymów mają na celu identyfikację nowych klas enzymów i zrozumienie ich działania, określenie procesu odpowiedniej obróbki enzymatycznej, stworzenie tańszych i bardziej odpornych enzymów. Poza tym badania mają na celu dobranie odpowiednich celulaz do poszczególnych rodzajów biomasy [19].



Inną technologią produkcji bioetanolu z materiałów lignocelulozowych jest zgazowanie biomasy, po której przeprowadzana jest fermentacja beztlenowa. W procesie tym nie zachodzi potrzeba hydrolizy celulozowych i hemicelulozowych frakcji biomasy. Co więcej, w procesie tym również lignina może być przetworzona na bioetanol. Zgazowanie biomasy wciąż jednak jest przedmiotem wielu badań laboratoryjnych [18].

Przeciwnicy bioetanolu II generacji zwracają uwagę na zbyt krótki okres uprawy roślin energetycznych w naszej szerokości geograficznej i nie do końca znane następstwa tych upraw. Istnieją obawy, że uprawa wieloletnich roślin energetycznych może przyczynić się do utraty przez glebę związków odżywczych i wody [20]. Jednak dotychczasowe doświadczenia rolników mogą ... przypuszczenia te za bezzasadne.

## **10. Wnioski**

Biorąc pod uwagę ekonomiczne aspekty, wszędzie na świecie, z wyjątkiem Brazylii, ekonomiczna opłacalność biopaliw zależy ściśle od władz i rządów. Koszt wyprodukowania biopaliw jest wciąż widocznie wyższy niż koszt tradycyjnych paliw. Jednakże ewentualne obniżenie podatku nałożonego na biopaliwo uniemożliwiłoby czerpania niemałych zysków [17].

Rynek bioetanolu zdominowany jest przez bioetanol I generacji. Jednakże wady paliwa skrobiowego przemawiają za tym aby jak najszybciej zastąpić je bioetanolem II stopnia. Największą zaletą byłby brak rywalizacji o surowiec z przemysłem produkcji żywności, zagospodarowanie odpadów lignocelulozowych oraz nieużytków rolnych, obsadzając je roślinami energetycznymi.

Bioetanol II generacji nazywany jest paliwem przyszłości, gdyż jest on konkurencyjny również w stosunku do biodiesla, którego wpływ na obniżenie emisji GHG jest znikomy, zapotrzebowanie na wodę roślin oleistych duże, a dodatkowo, jego produkcja jest powodem deforestacji.

Niewątpliwie, pełna komercjalizacja procesów produkcji bioetanolu jest istotna, jednakże trzeba będzie na nią poczekać jeszcze jakiś czas. Obecnie większość instalacji bioetanolu drugiej generacji jest w fazie projektowej lub są to instalacje testowe (Rys. 10.1.) i (Rys. 10.2.).



Rys. 10.1. Biorafinerie produkujące bioetanol II generacji [17].



Rys. 10.2. Biorafinerie testowe, produkujące bioetanol II generacji [17].

## 11. Bibliografia

- [1] Szlachta J., „Zasoby biomasy, zapotrzebowanie na biomasę energetyki zawodowej, transportu oraz perspektywy przyszłego lokalnego rynku energii odnawialnej”, Akademia Rolnicza we Wrocławiu.
- [2] Grzybek A., (2011), „Alternatywne źródła energii i ich zastosowanie”, Polskie Towarzystwo Biomasy.
- [3] <http://www.pan-ol.lublin.pl>
- [4] Grzybek A., Ginalski Z., (2010), „Odnawialne źródła energii dla domu i biznesu”, Fundacja na Rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa.
- [5] Potencjał energetyczny polskiego rolnictwa Marek M., (2010), „Wykorzystanie biomasy pochodzenia rolniczego w polityce resortu rolnictwa” Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi.
- [6] Ślazier Pensylwański Borkowska H., Styk B., (1997), „Ślazier Pensylwański. Uprawa i wykorzystanie”, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie.
- [7] Kotecki A., Buzar M., Galek R., Góra J., Grzyś E., Hurej M., Kozak M., Piszcz U., Płaskowska E., Pusz W., Sawica-Sienkiewicz E., Spiak Z., Szlachta J., Twardowski J., Zalewski D., Zborszczyk T., Zdrojewski Z., (2010), „Uprawa Miskanta olbrzymiego. Energetyczne i pozaenergetyczne możliwości wykorzystania słomy”, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
- [8] [www.zorza.net.pl](http://www.zorza.net.pl)
- [9] [www.ekologia.pl](http://www.ekologia.pl), Kozłowska A.
- [10] Budzyński W., Szczukowski S., Tworowski J., „Wybrane problemy z zakresu produkcji roślinnej na cele energetyczne” Uniwersytet Warmiński – Mazurski w Olsztynie.
- [11] Antecka A., (2008), „Model kinetyczny biosyntezy lakazy przez *Cerrena unicolor* oraz zastosowanie tego enzymu do degradacji wybranych struktur aromatycznych”. Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej.
- [12] Kluczek Turpeinen B., (2007), „Lignocellulose degradation and humus modification by the fungus *Paecilomyces inflatus*. Division of Microbiology, Department of Applied Chemistry and Microbiology, University of Helsinki.
- [13] Górska E., Kopczyńska J., Russel S., (2006), „Wytwarzanie enzymów celulozowych i lignolitycznych w hodowli grzyba *Trametes versicolor* z dodatkiem słomy zbożowej o różnym stopniu rozdrobnienia”. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
- [14] Ohkuma M., Maeda Y., Johjima T., Toshiaki K., (2001), „Lignin degradation and roles of white rot fungi: Study on an efficient symbiotic system in fungus-growing termites and its application to bioremediation. RIKEN Review No. 42.
- [15] „Biofuels and indirect land use change. The case for mitigation”, (2011), Ernst & Young.
- [16] „Research Advances. Cellulosic Ethanol”. National Renewable Energy Laboratory.
- [17] [www.biofuels-platform.ch](http://www.biofuels-platform.ch)
- [18] [www.refuel.eu](http://www.refuel.eu)
- [19] „Breaking the Biological Barriers to Cellulosic Ethanol. A Joint Research Agenda”, (2006), U.S. Department of Energy.
- [20] Stewart A., Cromey M., (2012), „Biofuels: the need for disease risk management”, Future Science Ltd.