



system magazynowania, dystrybucji i sprzedaży biomasy



zielone miejsca pracy



zmp



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



SYSTEM MAGAZYNOWANIA, DYSTRYBUCJI I SPRZEDAŻY BIOMASY

Dr inż. Jarosław Osiak

Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Wydział Ekologii

Mgr inż. Marcin Dwórznik

Uniwersytet Warszawski, Wydział Nauk Ekonomicznych

Publikacja powstała w ramach projektu „**Innowacyjne możliwości tworzenia zielonych miejsc pracy szansą dla województwa podlaskiego**” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Priorytet VI „Rynek pracy otwarty dla wszystkich”, Działanie 6.1. „Poprawa dostępu do zatrudnienia oraz wspieranie aktywności zawodowej w regionie”, Poddziałanie 6.1.1. „Wsparcie osób pozostających bez zatrudnienia na regionalnym rynku pracy”

www.zielonagospodarka.eu

Lider projektu:

Towarzystwo Amicus (Polska)

Partnerzy krajowi:

Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży (Polska)

Stowarzyszenie Agencja Ekorozwoju Zielone Płuca Polski (Polska)

Partner ponadnarodowy:

Vorsitzender des NABU, Kreisgruppe Vechta e.V. (Niemcy)

Recenzenci:

Prof. dr hab. inż. Adam Kupczyk

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Inżynierii Produkcji

Dr hab. inż. Bogdan Drózd

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Inżynierii Produkcji

Copyright© by Towarzystwo Amicus

Opracowanie graficzne i skład: PRO100 Drukarnia

Druk: PRO100 Drukarnia

ISBN: 978-83-64535-03-1

Nakład: 5000 sztuk

Spis treści

1. Wprowadzenie	5
2. Potencjał biomasy w kontekście tworzenia zielonych miejsc pracy	9
3. Charakterystyka biomasy	12
3.1. Klasyfikacja biomasy	13
3.2. Budowa i skład fizykochemiczny biomasy	15
4. Wybrane technologie produkcji biomasy rolniczej	28
4.1. Wierzba wiciowa	28
4.2. Miskantus	35
4.3. Topinambur	39
4.4. Ślázowiec pensylwański	44
5. Technologie bioenergetyczne	51
5.1. Konwersja termiczna	52
5.2. Biogaz	54
5.3. Biopaliwa ciekłe	59
6. Logistyka	62
6.1. Model pozyskania biomasy na cele energetyczne	63
6.2. Metody szacowania biomasy	66
6.3. Transport biomasy	72
6.4. Magazynowanie biomasy	74
7. Mierzenie ekonomiczno-finansowych efektów funkcjonowania przedsięwzięcia	89
7.1. Mierzenie efektów ekonomicznych	89
7.2. Mierzenie efektów finansowych	93
8. Potencjalne źródła finansowania zielonych miejsc pracy	100
8.1. Przykładowa analiza ekonomiczna	102
8.2. Przykładowa analiza finansowa	104
9. Dobre praktyki (przykład niemiecki)	115
10. Bibliografia	117

1. Wprowadzenie

Zgodnie z aktualną unijną i krajową polityką klimatyczno-energetyczną, niezwykle istotną sprawą jest zwiększenie o 20% efektywności energetycznej, zwiększenie o 20% stopnia wykorzystania odnawialnych źródeł energii (dalej OZE) i zmniejszenie, co najmniej o 20%, emisji gazów cieplarnianych do 2020 r. (w stosunku do 1990 r. przez każdy kraj członkowski).

Zasadniczą masę zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery stanowią zanieczyszczenia powstające w trakcie wszelkiego typu procesów spalania paliw, w tym: w procesach energetycznego spalania węgla, gazu ziemnego i paliw płynnych, podczas spalania paliw transportowych w silnikach spalinowych pojazdów mechanicznych.

Do zanieczyszczeń energetycznych należą dwutlenek węgla, tlenek węgla, dwutlenek siarki, tlenki azotu, pyły oraz benzo(a)piren. Dużym wyzwaniem dla polskiej gospodarki w tym zakresie jest realizacja zobowiązań wynikających z unijnych dyrektyw (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych – IED, Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy).

Odnawialne źródła energii to jeden z priorytetów polityki klimatyczno-energetycznej Unii Europejskiej. Dyrektywa 2009/28/WE określa procentowe udziały energii z OZE, jakie poszczególne kraje członkowskie powinny uzyskać, aby UE jako całość osiągnęła 20% udział OZE w całkowitym zużyciu energii końcowej w 2020 r. Dla Polski wskaźnik ten wynosi 15% w roku 2020. Dla sektora transportu wyznaczono jednakowy dla wszystkich krajów cel wskaźnikowy na poziomie 10%.

Znaczenie biomasy rolniczej do produkcji energii zostało uwzględnione w rządowym programie „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku”. Jednym z podstawowych kierunków polskiej polityki energetycznej, wskazanych w tym dokumencie, jest rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym biomasy i biopaliw transportowych. Zgodnie z tym dokumentem, w odniesieniu do pozyskiwania ze źródeł rolniczych biomasy do produkcji energii odnawialnej, planowane jest zrównoważone wykorzystanie obszarów rolniczych na cele OZE, tak aby nie doprowadzić do konkurencji pomiędzy energią odnawialną a rolnictwem oraz zachować różnorodność biologiczną.

Na początku 2015 r. w Polsce przyjęto dwa kluczowe akty prawne. Po pierwsze, nowelizację ustawy o biokomponentach i biopaliwach z 28 stycznia 2015 r., która pozwala dostosować polskie przepisy do wymogów unijnej dyrektywy o promocji stosowania odnawialnych źródeł energii. Celem tej ustawy jest kompleksowe uregulowanie spraw związanych z wdrożeniem przepisów dyrektywy 2009/28/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawial-

1 Uchwała nr 202/2009 Rady Ministrów z 10 listopada 2009 r. w sprawie „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku”.

nych zmieniającej i w następstwie uchylającej dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE, a także dyrektywy Rady 2013/18/UE z dnia 13 maja 2013 r. dostosowującej dyrektywę 2009/28/WE, w związku z przystąpieniem Republiki Chorwacji do Unii Europejskiej. Nowelizacja zmienia m.in. następujące przepisy w ustawie z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych:

- zmiany dotyczące zaliczania biokomponentów podmiotowi realizującemu Narodowy Cel Wskaźnikowy – biokomponenty mogą być zaliczone podmiotowi realizującemu Narodowy Cel Wskaźnikowy na poczet realizacji obowiązku, o którym mowa w art. 23 ust. 1 (obligatoryjny udział biokomponentów i innych paliw odnawialnych w ogólnej ilości paliw ciekłych i biopaliw ciekłych sprzedawanych, zbywanych lub zużywanych;
- w transporcie drogowym i kolejowym wyłącznie wtedy, gdy: (a) spełniają kryteria zrównoważonego rozwoju oraz (b) nie zostały wcześniej zaliczone na poczet realizacji obowiązku określonego w art. 3 ust. 4 dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniającej i w następstwie uchylającej dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE;
- dodawane art. 28ba–28bf wprowadzają definicje: biokomponentów spełniających kryterium ochrony terenów o wysokiej wartości bioróżnorodności, biokomponentów spełniających kryterium ochrony terenów zasobnych w duże ilości pierwiastka węgla, biokomponentów spełniających kryterium zrównoważonej gospodarki rolnej oraz regulują sposób potwierdzenia spełnienia kryteriów zrównoważonego rozwoju, co będzie się odbywać przez system bilansu masy.

Drugim aktem prawnym jest uchwalona 20 lutego 2015 r. ustawa o odnawialnych źródłach energii. Jedną z podstawowych zmian, jakie wprowadziła nowa ustawa, jest zmiana systemu wsparcia bezpośredniego energetyki odnawialnej. W celu optymalizacji jego działania zaplanowano odejście od stosowanego dotychczas rozwiązania opartego na świadectwach pochodzenia energii („zielonych certyfikatach”) na rzecz systemu aukcyjnego. Ponadto nowa ustawa o OZE wprowadza możliwość wytwarzania energii elektrycznej w mikroinstalacji OZE bez konieczności prowadzenia działalności gospodarczej, wprowadzając pojęcie prosumenta (osoba fizyczna będąca zarówno konsumentem, jak i wytwórcą energii).

Ustawa o odnawialnych źródłach energii wzmacnia rozwój energetyki rozproszonej m.in. poprzez promowanie postaw prosumenckich. Ustawa gwarantuje dla prosumentów stałość ceny, czyli tzw. taryfę gwarantowaną przez 15 lat.

Ustawa o OZE przyczyni się do rozwoju lokalnego wykorzystania biomasy i innych odnawialnych źródeł energii w małych jednostkach wytwórczych. Ponadto wpłynie na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Stanowić będzie impuls do wzrostu gospodarczego (poprzez rozwój nowych działalności bezpośrednio związanych z energetyką, jak też po-

średnio), co pozytywnie wpłynie na lokalne rynki pracy (w postaci nowych miejsc pracy). Jednocześnie przyczyni się do zwiększenia lokalnego bezpieczeństwa energetycznego. Pośrednio wpłynie na zmniejszenie ilości odpadów w gospodarstwach, rozwiąże problemy z ich składowaniem (poprzez wykorzystanie bioodpadów komunalnych w energetyce).

Województwo podlaskie charakteryzuje się dużym potencjałem pozyskania biomasy pochodzenia leśnego. W 2013 r. powierzchnia gruntów leśnych stanowiła 629,0 tys. ha, co stanowi 31,6% całej powierzchni województwa. Ponad 37% terenów leśnych województwa objętych jest ochroną (NATURA 2000, parki narodowe, parki krajobrazowe), co znacząco ogranicza możliwości pozyskiwania biomasy z tych obszarów. Według danych GUS-u, w województwie podlaskim w 2013 roku pozyskano ogółem 1834,6 tys. m³ drewna. Ocenia się, że potencjał biomasy drzewnej w województwie podlaskim wynosi 2,8 PJ, co stanowi niespełna 8% potencjału biomasy na tle kraju. Jednak regulacje prawne znacząco ograniczają wykorzystanie biomasy pochodzącej z lasów do celów energetycznych. Na cele energetyczne przeznaczana powinna być biomasa drzewna stanowiąca odpad przy pozyskaniu drewna pełnowartościowego oraz biomasa stanowiąca odpad w przetwórstwie drewna.

W województwie podlaskim rolnicza przestrzeń produkcyjna cechuje się przeciętną jakością gleb oraz dużą niestabilnością klimatu. Uwzględniając czynniki takie jak: jakość gleb, warunki klimatyczne oraz długość okresu wegetacji plasują województwo na ostatnim miejscu w kraju. Województwo na tle kraju wyróżnia się produkcją mleka i mięsa czerwonego. Sukcesywnie rosnący udział krów mlecznych i bydła mięsnego ma ogromne znaczenie w powstawaniu odpadów z produkcji zwierzęcej. Odpadem z tej produkcji jest przede wszystkim gnojowica, który ma zastosowanie w procesach produkcji biogazu. Substrat ten jest istotnym czynnikiem w rozwoju produkcji biogazu rolniczego.

Celem niniejszej publikacji jest przedstawienie funkcjonowania zielonych miejsc pracy w zakresie wytwarzania, dystrybucji oraz wykorzystania na cele energetyczne biomasy na obszarze województwa podlaskiego.

Zaprezentowane w publikacji analizy bazują na informacjach zebranych w ramach badań przeprowadzonych podczas realizacji projektu pn. „Innowacyjne możliwości tworzenia zielonych miejsc pracy szansą dla województwa podlaskiego”. Podstawowym celem przeprowadzonych badań była analiza możliwości pozyskania biomasy oraz opracowanie systemu dystrybucji z uwzględnieniem aspektów związanych z tworzeniem zielonych miejsc pracy (dalej ZMP). Badania zostały przeprowadzone na obszarze miast: Łomża i Kolno oraz trzech gmin wiejskich: Łomża, Kolno i Narewka. Badaniem w tych gminach zostali objęci rolnicy, nadleśnictwa, przedstawiciele Jednostek Samorządu Terytorialnego (dalej JST), mikro- i małe przedsiębiorstwa z sektora przetwórstwa drewna i sektora rolno-spożywczego prowadzące działalność na terenie gmin objętych projektem.

Hipotezę postawioną w niniejszej publikacji jest stwierdzenie, że inwestycja w działalność w sektorze biomasy w ramach wytwarzania oraz transportu biomasy jest opłacalna

(możliwy zwrot z inwestycji występuje w ok. 5 lat).

Na początku publikacji zaprezentowano szczegółowe informacje dotyczące specyfiki wytwarzania biomasy oraz procesu jej logistyki. W drugiej części przedstawiono metodykę analiz ekonomicznych i finansowych. Dodatkowo przeprowadzono, na podstawie zebranych w ramach projektu danych, analizę finansową. Celem przeprowadzonej analizy finansowej jest weryfikacja hipotezy postawionej w publikacji. Wykazanie, że zaangażowanie środków w działalność polegającą na wytwarzaniu oraz transporcie biomasy może przynieść zwrot zainwestowanego kapitału w okresie ok. 5 lat.

2. Potencjał biomasy w kontekście tworzenia zielonych miejsc pracy

Województwo podlaskie ma niewielki areał upraw wieloletnich roślin energetycznych (166 ha). Wynika to z uwarunkowań klimatyczno-środowiskowych. Na obszarze województwa uprawiane są przede wszystkim: wierzba energetyczna (156 ha), ślazier pensylwański (3,8 ha) [Nazaruk, 2014]. Uprawa roślin energetycznych jest dobrym rozwiązaniem uzupełniającym braki w dostawach biomasy leśnej na lokalne rynki. Duże obszary gleb ugorowanych lub zdegradowanych mogą przyczynić się do zakładania plantacji wieloletnich roślin energetycznych, co stanowi racjonalną alternatywę w odniesieniu do obecnej produkcji rolniczej. Poza rozwojem rolnictwa daje szansę na rozwój lokalnych rynków biomasy, co przyczynić się może do tworzenia lokalnych systemów logistyki biomasy w obszarze energetyki rozproszonej. Taki rozwój energetyki opartej na biomase przyczynić się może do tworzenia nowych miejsc pracy, które powstaną na poszczególnych ogniwach systemu logistycznego oraz w lokalnym sektorze energetycznym. Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne jest skuteczną metodą ochrony środowiska naturalnego (ograniczenie konsumpcji paliw kopalnych) oraz pozwala zwiększyć lokalne bezpieczeństwo energetyczne (wykorzystanie lokalnych biopaliw w energetyce rozproszonej). Należy jednak dążyć do zrównoważonego wykorzystania obszarów rolniczych tak, aby nie doprowadzić do konkurencji pomiędzy energetyką odnawialną i produkcją na cele żywnościowe.

Największym bogactwem naturalnym analizowanych gmin jest przyroda, która podobnie jak całe województwo podlaskie należy do regionów o najczystszy stanie środowiska naturalnego nie tylko w Polsce, ale i w Europie, zróżnicowanym krajobrazie i bioróżnorodności. Ponadto gminy, jak i całe województwo, wchodzą w skład ecoregionu „Zielone Płuca Polski”. Dużą wagę przykładają się do zrównoważonego leśnictwa i zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich, w tym samego rolnictwa, jako potencjalnych obszarów, w których generowane będą nowe zielone miejsca pracy. Rolnictwo w analizowanych gminach może być silnym zapleczem surowcowym dla energetyki opartej na biomase. Należy podkreślić, że na tle innych regionów kraju warunki produkcji roślinnej są zdecydowanie mniej korzystne. Warunki klimatyczne cechują się długotrwałą zimą, krótkim przedwiośniem i stosunkowo niską średnią temperaturą roczną. W wyniku tych warunków w regionie są niższe plony niż przeciętne w kraju. W gminach dominuje rolnictwo ekstensywne, szczególnie w grupie gospodarstw rolnych nastawionych na produkcję roślinną. Z punktu widzenia produkcji biomasy na cele energetyczne i zielonych miejsc pracy sytuacja rolnictwa w gminach ma w tym obszarze wymiar pozytywny i jest pole dla zwiększenia jego produktywności przy zachowaniu wszystkich zasad rozwoju zrównoważonego. Rolnictwo i gospodarka leśna są źródłem wielu surowców dla przemysłu,

a także rosnącym na znaczeniu dostawcą biomasy dla energetyki rozproszonej. W gminach istnieją sprzyjające warunki do rozwoju wielofunkcyjnego rolnictwa i obszarów wiejskich, polegającego na podejmowaniu działalności gospodarczej w obszarze produkcji biomasy, przetwarzania na paliwa oraz wykorzystania na cele energetyczne na obszarze ich pozyskania. Ich uprawa, wstępna obróbka i transport do obiektów energetycznych spowodują dodatkowy popyt na siłę roboczą i nowe miejsca pracy.

Przeprowadzone badania ankietowe w gminach wskazują duże zainteresowanie zarówno rolników, jak i przedsiębiorców, biomasą na cele energetyczne. Przy wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii pozyskiwanych z biomasy podstawowym czynnikiem, decydującym o powodzeniu funkcjonowania obiektu energetycznego, jest zapewnienie odpowiedniej ilości i jakości potrzebnej biomasy. W celu uniknięcia wielokilometrowego transportowania dużych ładunków biomasy zasadne jest tworzenie lokalnych rynków biomasy równoważących podaż i popyt.

Wdrożenie systemu logistycznego zapewni rozwój lokalnych rynków biomasy energetycznej zainicjuje rozwój branży energetyki biomasowej jako elementu zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich.

W zależności od wykorzystania biomasy na cele energetyczne potrzeby kadrowe będą dotyczyły szerokiej gamy pracowników działających w obszarze logistyki, przygotowania biomasy, projektów instalacji wytwarzających energię, budowy instalacji, opartych na nowoczesnych technologiach oraz wysoko wykwalifikowanych w poszczególnych specjalnościach mechaników, techników i inżynierów do utrzymania ruchu, z reguły o charakterze ciągłym.

Potencjał rozwojowy zielonych miejsc pracy w gminach tkwi przede wszystkim w umiejętnym wykorzystaniu naturalnych walorów przyrodniczych, położeniu geograficznym i koncentracji na wsparciu rozwoju kluczowych sektorów z punktu widzenia ich przewagi konkurencyjnej w skali regionalnej. Można do nich zaliczyć rolnictwo, przemysł rolno-spożywczy, energetykę odnawialną, leśnictwo i przemysł drzewny.

Zielone miejsca pracy mogą powstawać w każdym sektorze gospodarki, pod warunkiem, że osoby zatrudnione są bezpośrednio lub pośrednio zaangażowane w ochronę środowiska na danym terenie. Zielone miejsca w założeniu nie szkodzą środowisku, wykorzystują potencjał lokalnych społeczności i konsolidują ludzi wokół interesujących pomysłów. Na szczególną uwagę władz lokalnych i społeczeństwa powinny zasługiwać miejsca pracy powstające w branżach innowacyjnych ukierunkowanych na osiąganie oszczędności w użytkowaniu zasobów naturalnych i energii zarówno do celów produkcji, jak i konsumpcji.

Zielone miejsca pracy w sektorze odnawialnych źródeł energii cechują się tym, że powstają w wyniku zasady zrównoważonego rozwoju. Ich rozwój związany jest z przekonaniem, że zmiany klimatyczne są efektem działalności człowieka, więc ich ograniczenie wymaga zmian ekonomicznych, zapewniających zachowanie środowiskowego dobrostanu i zapewnienie nowych miejsc pracy.

Istotnym elementem zielonych miejsc pracy jest partnerstwo tych grup społecznych, a nadrzędnym celem ich działania jest wzrost przedsiębiorczości i konkurencyjności na ich terenie oraz wykorzystywanie lokalnych zasobów, w tym lokalnych zasobów pracy. Zmiany klimatu w coraz większy sposób oddziałują na politykę i gospodarkę, a co za tym idzie, również na rynek pracy. Wg raportu „Pracując dla KLIMATU”², inwestycje w zieloną energię mogą stworzyć w kraju do 2020 r. ponad 350 tys. nowych miejsc pracy. Zamieszczone w raporcie analizy ukazują, że inwestycje w energetykę odnawialną to nie tylko konieczność ochrony klimatu, ale też nowe miejsca pracy głównie w otoczeniu rolnictwa i sektora energetycznego.

Tworzenie zielonych miejsc pracy przynosi najlepsze rezultaty na poziomie samorządowym. Działania tego typu na terenie gmin czy miast zwane są „zazielenianiem” lokalnych rynków pracy. W procesie tym aktywny udział biorą władze lokalne, inwestorzy, instytucje finansowe, przedsiębiorcy i działacze organizacji społecznych. Od inicjatywy władz i umiejętności stworzenia silnej koalicji z lokalnym biznesem oraz organizacjami społecznymi będzie zależeć rozpoczęcie procesu przekształcania gospodarki w przyjazną środowisku. Doświadczenia innych krajów pokazują, że zielona gospodarka będzie absorbować bardzo dużą liczbę pracowników o wysokich kwalifikacjach.

Zielone miejsca pracy mogą, zatem, stać się pomysłem na zwalczanie bezrobocia i wykluczenia społecznego przy wykorzystaniu biomasy na cele energetyczne w sposób zrównoważony. Z badań przeprowadzonych w gminach wynika, że jest duże zainteresowanie zarówno władz lokalnych, jak i społeczności lokalnej, rozwojem energetyki opartej na własnych zasobach biomasy.

W kolejnych rozdziałach przedstawione zostaną aspekty związane z właściwościami biomasy, możliwościami uprawy wieloletnich roślin energetycznych. Ponadto omówione zostaną zagadnienia z logistyki biomasy oraz zaprezentowane zostaną analizy ekonomiczno-finansowe możliwości wykorzystania biomasy na cele energetyczne.

2 Raport „Pracując dla KLIMATU” przedstawia analizę zmian na rynku pracy w przypadku realizacji dwóch scenariuszy energetycznych: rządowej Polityki energetycznej Polski do 2030 roku oraz [R]ewolucji energetycznej dla Polski, przygotowanej przez Instytut Energetyki Odnawialnej we współpracy z Instytutem Badań Kosmicznych i Termodynamiki Technicznej DLR w Stuttgarcie.

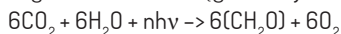
3. Charakterystyka biomasy

Rozwój energetyki rozproszonej, szczególnie na obszarach wiejskich, w coraz większym stopniu opiera się na wykorzystaniu biomasy jako paliwa dla małych lokalnych kotłowni czy indywidualnych źródeł ciepła.

Energia gromadzona w postaci organicznej w wyniku fotosyntezy stanowi potencjalną energię zasobów biomasy. Fotosynteza to złożony proces przetwarzania dwutlenku węgla i wody przy wykorzystaniu energii słonecznej w związki organiczne. Proces przebiega w dwóch etapach, przy czym każdy z nich składa się z wielu procesów pośrednich. Pierwszy etap to fotoliza cząsteczki wody pod wpływem światła. Drugi etap to powstawanie aldehydu fosfoglicerynowego w wyniku asymilacji CO_2 (zachodzi przy udziale światła), który może ulegać przemianom przede wszystkim w monosacharydy, a także w aminokwasy i tłuszcze kwasowe, będące materiałem do syntezy polisacharydów, białek i tłuszczów. Chloroplasty są ważnym czynnikiem w procesie fotosyntezy. Zadaniem chloroplastów jest pochłanianie energii światła i przetwarzanie jej w energię chemiczną, zużywaną w procesie fotolizy.

W procesie fotosyntezy energia promieniowania słonecznego po przejściu jej przez chloroplasty jest gromadzona w postaci wiązań chemicznych poprzez redukcję dwutlenku węgla do molekuł węglowodorowych, lipidów i protein [Lewandowski 2002].

Podstawowe równanie fotosyntezy, czyli produkcja glukozy (i tlenu jako produktu ubocznego) z dwutlenku węgla i wody ma następującą postać:



gdzie:

CO_2 – dwutlenek węgla,

H_2O – woda,

n – ogólna sprawność procesu,

ν – częstotliwość fotonu (kwantu energii pola elektromagnetycznego),

h – stała Plancka ($6,626 \times 10^{-34}$) J s,

$h\nu$ – energia fotonu.

Energia zgromadzona w formie organicznej powstałej w wyniku fotosyntezy stanowi potencjalną energię zasobów biomasy.

Podstawowe definicje wg Ustawy o OZE³

Biomasa – stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej i leśnej oraz przemysłu przetwarzającego ich produkty, oraz ziarna zbóż niespełniające wymagań jakościowych dla zbóż w zakupie interwencyjnym określonych w art. 7 rozporządzenia Komisji (WE) nr 1272/2009 z dnia 11 grudnia 2009 r. ustanawiającego wspólne

3 USTAWA z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii DzU 2015 poz. 478.

szczegółowe zasady wykonania rozporządzenia Rady (WE) nr 1234/2007 w odniesieniu do zakupu i sprzedaży produktów rolnych w ramach interwencji publicznej (DzUrz UE L 349 z 29.12.2009, str. 1, z późn. zm.) i ziarna zbóż, które nie podlegają zakupowi interwencyjnemu, a także ulegająca biodegradacji część odpadów przemysłowych i komunalnych, pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, w tym odpadów z instalacji do przetwarzania odpadów oraz odpadów z uzdatniania wody i oczyszczania ścieków, w szczególności osadów ściekowych, zgodnie z przepisami o odpadach w zakresie kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów.

Biogaz – to gaz uzyskany z biomasy, w szczególności z instalacji przeróbki odpadów zwierzęcych lub roślinnych, oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów. Biogaz rolniczy – gaz otrzymywany w procesie fermentacji metanowej surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych, odpadów lub pozostałości z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego lub biomasy leśnej albo biomasy roślinnej zebranej z terenów innych niż zaewidencjonowane, jako rolne lub leśne, z wyłączeniem biogazu pozyskanego z surowców pochodzących z oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów.

Biopłynny – ciekłe paliwa dla celów energetycznych innych niż w transporcie, w tym do wytwarzania energii elektrycznej lub ciepła, wytworzone z biomasy lub ziaren zbóż pełnowartościowych, wykorzystywane w instalacjach spełniających wymagania w zakresie standardów emisyjnych, o ile takie standardy zostały określone na podstawie przepisów o ochronie środowiska.

3.1. Klasyfikacja biomasy

Poniżej przedstawiono klasyfikację biomasy ze względu na pochodzenie:

- rośliny uprawiane na cele energetyczne,
- odpady rolnicze, czyli pozostałości z upraw roślinnych i hodowli zwierząt,
- odpady roślinne z leśnictwa,
- odpady z przetwórstwa drewna,
- inne paliwa biopochodne, np.: stałe organiczne odpady komunalne, odpady z przemysłu spożywczego, osady ściekowe [Gutowska, 2007, Rybak, 2006].

Biomasa jest odnawialnym źródłem energii, które po odpowiednim przetworzeniu może być wykorzystane na cele energetyczne do produkcji energii elektrycznej, ciepła i biopaliw transportowych. Biomasa, jako surowiec energetyczny, może zostać sklasyfikowana jako:

- surowce energetyczne pierwotne, uprawiane głównie dla uzyskania biomasy – drewno, słoma, rośliny energetyczne,
- surowce energetyczne wtórne – gnojowica, obornik, odpady organiczne, osady ściekowe,

- surowce energetyczne przetworzone – biogaz, bioetanol, biometanol, dimetyloeter, biooleje, estry metylowe (etylowe) wyższych kwasów tłuszczowych (biodiesel) i biowodór.

Do roślin energetycznych możemy zaliczyć:

- takie, których możliwość kumulowania energii słońca, a co za tym idzie przyrost biomasy, jest ponadprzeciętny,
- jednoroczne rośliny o dużej zawartości cukru i skrobi, wykorzystywane do produkcji etanolu,
- rośliny oleiste, wykorzystywane w produkcji biopaliwa do silników wysokoprężnych.

Wyróżnia się wiele gatunków roślin energetycznych. Podstawowe, najbardziej znane w Polsce i nadające się do upraw energetycznych to:

I. Rośliny na cele paliwowe

1. Rośliny cukrowe i skrobiowe:

- zboża,
- buraki cukrowe i półcukrowe,
- kukurydza.

2. Rośliny oleiste:

- rzepak,
- słonecznik,
- lnianka,
- konopie.

II. Rośliny wykorzystywane do produkcji ciepła i/lub energii elektrycznej

1. Rośliny zielne:

- ślazioziewiec pensylwański (*Sida hermaphrodita*),
- topinambur (*Helianthus ruberosus*),
- konopie siewne (*Cannabis sativa*),
- rdest sachaliński (*Polygonum sachalinense*),
- róża wielokwiatowa (*Rosa multiflora*),
- rożnik przerośnięty (*Silphium perfoliatum*).

2. Rośliny drzewiaste szybkiej rotacji:

- wierzba wiciowa (*Salix viminalis*),
- topola (*Populus*),
- robinia akacjowa (*Robinia pseudacacia*).

3. Rośliny trawiaste:

- miskant olbrzymi (*Miscanthus sinensis gigantea*),
- miskant cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus*),
- spartina preriowa (*Spartina pectinata*),
- palczatka gerarda (*Andropogon gerardi*),
- mózga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*),

- manna mielec (*Glyceria maxima*),
- tymotka łąkowa (*Phleum pratense*),
- kostrzewa trzcinowa (*Festuca arundinacea*),
- trzcina pospolita (*Phragmites australis*),
- rajgras wyniosły (*Arrhenatherum elatius*),
- proso różgowe (*Panicum virgatum*).

3.2. Budowa i skład fizykochemiczny biomasy

Skład elementarny (pierwiastkowy) biomasy tworzą: węgiel, wodór i tlen. Podstawowym budulcem chemicznym biomasy roślinnej są struktury polimeryczne, takie jak:

- Celuloza, tzw. węglowodany włókniste występujące powszechnie w roślinach i tworzące podstawowy składnik ściany komórkowej,
- hemiceluloza, która stanowi około 25% substancji roślinnej,
- lignina, która ma istotny wpływ na wzrost wytrzymałości mechanicznej i chemicznej ścian celulozowych,
- kutyna pełni funkcję ochroną przed utratą wody oraz zabezpieczenie rośliny przed wnikaniem czynników patogennych [Kasparbauer, 2009, Rybak, 2006].

Porównując biomasę do węgla kamiennego można posłużyć się stosunkiem trzech parametrów: A/B/C, gdzie:

- A to wartość opałowa (w MJ/kg),
- B to procentowa zawartość popiołu,
- C to procentowa zawartość siarki.

Przeciętny węgiel wykorzystywany jako paliwo w sektorze komunalno-bytowym ma parametry: 25/12/0,6, co oznacza, że jego wartość opałowa wynosi 25 MJ/kg, zawartość popiołu 12% i siarki 0,6%. Biomasa ma te parametry odpowiednio: 14/1/0,01, wartość opałowa 14 MJ/kg, zawartość popiołu 1% i siarki 0,01%.

Skład pierwiastkowy biomasy roślinnej jest zbliżony do składu węgla kamiennego czy brunatnego. Jednak w przeciwstawieniu do węgla biomasa charakteryzuje się:

- prawie dwukrotnie mniejszym udziałem pierwiastka węgla w strukturze,
- czterokrotnie większym udziałem tlenu,
- znacznie wyższą zawartością związków alkalicznych, wapnia, chloru i fosforu,
- znacznie niższą zawartością siarki.

Przydatność wykorzystania poszczególnych rodzajów biomasy na cele energetyczne powinno się oceniać po wykonaniu badań jej budowy, składu oraz właściwości.

Analizę biomasy przeprowadza się na poziomie elementarnym (pierwiastkowa) oraz technicznym. Analiza techniczna polega na oznaczeniu:

- zawartości wilgoci,
- popiołu,

- części lotnych,
- ciepła spalania i obliczenie wartości opałowej.

Zawartość wilgoci i popiołu świadczy o ilości substancji, które nie stanowią użytecznej części biopaliwa. Natomiast zawartość części lotnych świadczy o stopniu uwęglenia paliwa. Ciepło spalania i wartość opałowa pozwalają ocenić jakość paliwa jako surowca energetycznego.

Biomasa w porównaniu z węglem charakteryzuje się wysoką zawartością wilgoci całkowitej (10-60%). Zawartość wilgoci w biomasie jest funkcją zmienną i zależy od rodzaju rośliny, okresu zbioru oraz czasu sezonowania.

Części lotne biomasy złożone są z produktów gazowych i par smołowych. Oddzielenia substancji lotnych dokonuje się poprzez odgazowanie w temperaturze powyżej 100°C. Biomasa zawiera znacznie więcej części lotnych niż węgiel (70-86% suchej masy).

Wszystkie paliwa stałe zawierają substancje mineralne. W warunkach temperaturowych spalania substancja mineralna ulega licznym przemianom, a po spaleniu paliwa daje produkt w postaci popiołu. Udział popiołu z biomasy jest znacznie niższy niż w węglu kamiennym czy brunatnym, mieści się w granicach 0,2-10%. Podstawowymi związkami mineralnymi popiołu z biomasy są: CaO , K_2O , SiO_2 [Ściążko, Zuwała, Pronobis, 2007; Kortylewski, 2001]. Wartość opałowa biomasy jest niższa od wartości opałowej węgla kamiennego i brunatnego, jednocześnie silnie zależy od zawartości wilgoci w biopaliwie. Biomasa bezwodna (stan laboratoryjny) charakteryzuje się wartością opałową do 19 MJ/kg. Biomasa o wilgotności 10-20% ma wartość opałową 15-17 MJ/kg, ale już przy zawartości wilgoci 50-60% wartość kaloryczna wynosi 6-8 MJ/kg [Niedziółka, Zuchniarz, 2006].

Obecnie wykorzystuje się biomasę w postaci drewna i jego odpadów z gospodarki leśnej i przemysłu drzewnego z produkcji rolniczej (uprawa roślin na cele energetyczne) oraz produktów ubocznych, odpadów z rolnictwa i przetwórstwa rolno-spożywczego.

Biomasa pochodzenia leśnego

Typowa biomasa leśna jest paliwem stałym pochodzącym z mechanicznego rozdrobnienia pozostałości zrębowych w toku prowadzenia procesu pozyskiwania drewna. Tak powstała zrębka energetyczna jest mieszkanką drewna alokowanego w gałęziach i masy zawartej w aparacie asymilacyjnym pozostającym w pewnej części na gałęziach. Jest to tak zwana „zielona zrębka”. Jest też możliwość pozyskania innych, tzw. „czystych”, sortymentów drzewnych niebędących drewnem pełnowartościowym przeznaczonym dla innego rodzaju wykorzystania. Najpowszechniejszy, według klasyfikacji towarowej, jest sortyment M2, S4, którego przerób mechaniczny daje czyste zrębki bez udziału frakcji „zielonej”. Biorąc pod uwagę, że średnia zasobność pozostałości zrębowych przetworzonych na zrębkę leśną z jednego hektara zrębu wynosi ok. 200 m³, jest to relatywnie duży potencjał możliwy do lokalnego zagospodarowania na cele energetyczne.

Drewno jest to materia pozyskiwana ze ściętych drzew, która wcześniej była fragmentem

żywej rośliny. Można je pozyskać z upraw energetycznych, jak również z plantacji drzew szybko rosnących, przecinki lasów (obecnie drewno pozyskiwane z lasów stało się na tyle cenne, że dąży się do jak najmniejszej eksploatacji tego surowca), pozostałości po obróbce przemysłowej oraz z odzysku (np. zużyte meble). Masa drzewna pozyskiwana jest również jako: wióry, zrębki, kora, odpryski, trociny, tarcica oraz przerabiana jest na pellet i brykiet. Głównym sposobem zagospodarowania zebranego drewna jest jego spalanie mające na celu pozyskanie energii [Igliński, 2009]. Energia wytwarzana z drewna jest w 90% wykorzystywana przez przemysł drzewny, gdzie służy ona zarówno do ogrzewania pomieszczeń, jak i do suszenia tarcicy oraz przeprowadzania procesów technologicznych [Gronowicz, 2010].

Drzewa liściaste takie jak buk, brzoza, dąb oraz grab charakteryzują się wyższą wartością opałową w porównaniu z drewnem pozyskiwanym z drzew iglastych. W tabeli poniżej przedstawiony jest wpływ gatunku drzewa i wilgotności na wartość opałową.

Tabela 1. Wartość opałowa drewna różnego rodzaju [Igliński 2009]

Wartość opałowa [GJ/m ³]						
Wilgotność [%]	buk, dąb	brzoza	wierzba	modrzew	sosna, olcha	świerk
0	10,8	9,69	6,65	8,74	7,98	7,60
15	10,6	9,47	6,50	8,55	7,80	7,43
20	10,5	9,38	6,44	8,46	7,73	7,36
25	10,4	9,28	6,37	8,37	7,64	7,28
30	10,2	9,17	6,29	8,27	7,55	7,19
35	10,1	9,03	6,20	8,15	7,44	7,08
40	9,92	8,87	6,09	8,00	7,31	6,96
45	9,71	8,69	5,96	7,84	7,16	6,81
50	9,46	8,47	5,81	7,64	6,97	6,64
55	9,16	8,19	5,62	7,39	6,75	6,43
60	8,78	7,85	5,39	7,08	6,47	6,16

Według stosowanych powszechnie w kraju norm, na cele energetyczne wykorzystywany jest surowiec średniowymiarowy, oznaczony symbolem S4⁴, o wymiarach średnicy cieńszego końca bez kory min. 5 cm i średnicy w grubszym końcu nieprzekraczającej 24 cm, surowiec małowymiarowy, oznaczony symbolem M2⁵, oraz drewno średniowymiarowe oznaczone jako S2AC. Podstawowa baza surowcowa drewna energetycznego (S4, M2, S2AC) może zostać uzupełniona o pozostałości zrębowe, w szczególności dotyczy to karpiny (korzenie pozostające po ścięciu drzew), chrustu, drobnych gałęzi, igliwia i listowia.

Biomasa z przemysłu drzewnego

Drewno w postaci trocin, zrzynów i zrębków defibracyjnych, powstających w trakcie przerobu mechanicznego drewna okrągłego, jest równorzędnym, zarówno w sensie jakościowym, jak i ilościowym, surowcem dla przemysłu płytowego i celulozowego jak drewno pozyskiwane bezpośrednio w lesie.

Według analiz Instytutu Technologii Drewna, potencjał techniczny drewna odpadowego z przemysłu drzewnego oraz innych źródeł szacować można na ok. 58,1 PJ (8,3 mln m³) [Janowicz, 2006].

Udziały poszczególnych rodzajów odpadów powstających w różnych gałęziach przemysłu drzewnego przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 2. Ilość przemysłowej biomasy powstającej w przemyśle drzewnym w tys. m³ [Janowicz, 2006]

Rodzaj biomasy	Przemysł tartaczny	Przemysł stolarki budowlanej otworowej	Przemysł płyt drewnopochodnych	Przemysł meblarski	Celulozowy	Łącznie
Kawałkowe	2575	31	437	760		3803
Trociny i wióry	1805	72	145	70		2092
Pył drzewny		2	93	220		315
Kora			280		610	1190
Łącznie	4680	105	955	1050	610	7400

4 Zgodnie z Polską Normą PN-92/D-95018, drewno okrągłe o średnicach mierzonych bez kory górnej od 5 cm wzwyż i dolnej do 24 cm. W zależności od jakości i wymiarów drewno dzieli się na 4 grupy; m.in. S4 to drewno opałowe.

5 Zgodnie z Polską Normą PN-92/D-95019, drewno okrągłe o średnicy dolnej mierzonej bez kory do 5 cm, w korze do 7 cm.

O ilości odpadów przemysłowych decyduje głównie skala produkcji poszczególnych przemysłów przerobu drewna oraz specyficzne uwarunkowania ich procesów technologicznych. Ocenia się, że w zakładach przemysłów przerobu drewna powstaje ok. 7,5 mln m³ drzewnych odpadów przemysłowych, co stanowi 27% całego pozyskania surowca drzewnego. Jest to znacząca baza surowcowa zarówno dla celów przemysłowych, jak i energetycznych. Szacuje się, że w przemysłach przerobu drewna zagospodarowuje się ok. 6,4 mln m³, tj. 87% ogółu powstających drzewnych odpadów przemysłowych.

W celach przemysłowych największe ilości odpadów drzewnych są wykorzystywane do produkcji płyt drewnopochodnych (płyt aglomerowanych – wiórowych i pilśniowych), a w celach energetycznych – przez przemysły tartaczny i meblarski.

Drzewne odpady przemysłowe, wykorzystywane w produkcji grupy płyt aglomerowanych, stanowią 44% zużywanego surowca drzewnego ogółem. Na cele przemysłowe wykorzystywane są głównie odpady kawałkowe (85%), natomiast na cele energetyczne – trociny i wióry (15%) oraz kora (27%). Jest ona przeznaczana w znacznych ilościach również na inne cele, tj. na rolnictwo i ogrodnictwo.

Biomasa pochodząca z rolnictwa

W Polsce na jednego mieszkańca przypada około 0,4 ha użytków rolnych, a w starej Unii wartość ta wynosi zaledwie 0,2 ha. Stąd też Polska była i jest postrzegana jako kraj, który może mieć bardzo znaczący udział w produkcji biomasy na cele energetyczne w UE⁶. Według autorów spoza Polski, możemy przeznaczyć na produkcję roślin energetycznych od 1,0 do 4,3 mln ha do 2020 r. [Faber 2008]. Polska ze względu na warunki glebowe oraz klimatyczne (zwłaszcza stosunkowo małe opady i ograniczone zasoby wód gruntowych) nie należy do krajów o warunkach bardzo sprzyjających produkcji roślin na cele energetyczne (tabela poniżej). W dodatku gleb bardzo dobrych i dobrych (bardzo odpowiednich do produkcji roślin energetycznych) mamy zaledwie około 50%. Gleby te muszą być jednak zachowane dla produkcji żywności i pasz. Wynika stąd, że pod wieloletnie plantacje energetyczne przeznaczane być mogą jedynie gleby gorszej jakości, mniej przydatne do produkcji na cele żywnościowe. Będzie to ograniczało plony biomasy, rzutując w konsekwencji na opłacalność produkcji.

Rośliny wieloletnie na cele energetyczne

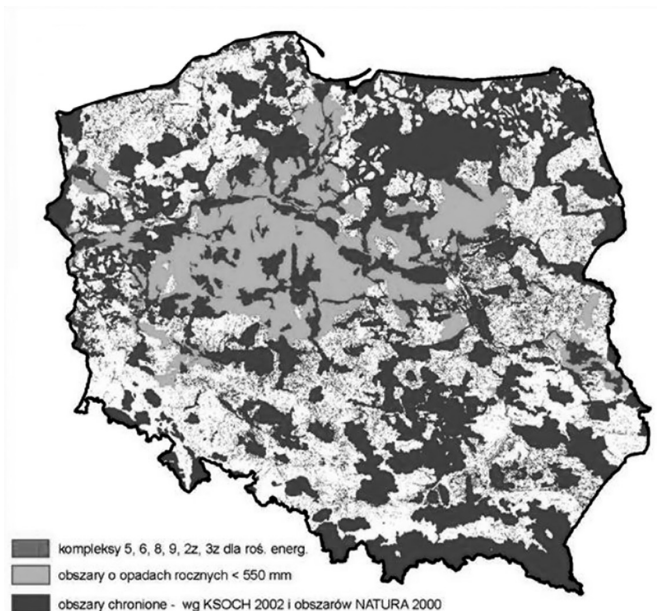
W 2011 r. w Polsce plantacje trwałe zajmują powierzchnię 10 798 ha, odnotowano niewielki ich przyrost w porównaniu do 2009 o 600 ha. Szczegółowe dane o powierzchni upraw wieloletnich roślin energetycznych w podziale na województwa przedstawia tabela poniżej.

Tabela 3. Zestawienie powierzchni upraw wieloletnich roślin energetycznych w poszczególnych województwach w 2011 roku (w ha) [Opracowanie PIB na podstawie ARiMR]

Województwo	Rodzaje wieloletnich roślin energetycznych								
	Wierzba	Miskant	Ślazier	Trawy wieloletnie	Mozga Trzcinowata	Topola	Birzoza	Olszyna	Razem
Dolnośląskie	900	11	0	0	0	0	0,3	0,4	911,7
Kujawsko-pomorskie	198	0	1,3	281,6	0	0,5	0	0	481,4
Lubelskie	305	10,7	3,4	0	14,7	5	0	0	338,8
Lubuskie	409	0	0	0,9	0	0	0	1	410,9
Łódzkie	211	1,6	0	0	0	0	3,3	0	215,9
Małopolskie	62	9,5	0	0	0	0	0	1,3	72,8
Mazowieckie	1062	0	30,1	0	0	0,2	0,3	0	1092,6
Opolskie	226	7,5	1	28,6	19,1	2	1,6	0	285,8
Podkarpackie	651	42,1	12,7	0	0	45,2	0	0	751
Podlaskie	156	0	3,8	0	0	4	1,7	0	165,5
Pomorskie	394	17,4	0,2	0	0	487,7	3,6	0	902,9
Śląskie	259	2,8	39,2	17,1	0	0,7	0	0	318,8
Świętokrzyskie	99	0	0,5	28,5	0	0	0,2	0,2	128,4
Warmińsko-mazurskie	571	382,1	26,7	0	8,3	5,6	0	0	993,7

Wielkopolskie	765	1231,7	0	21,9	10,5	13	4,5	2,9	2049,5
Zachodniopomorskie	489	116,2	2,6	985,4	0	83,8	1,2		1678,2
Polska	6757	1832,6	121,5	1364	52,6	647,7	16,7	5,8	10797,9

Potencjał upraw wieloletnich roślin energetycznych w kraju jest znacznie większy i wynosi 0,5–0,6 mln ha. Na rysunku poniżej przedstawiono potencjał produkcji wieloletnich roślin energetycznych.



Rys. 1. Gleby dopuszczone do lokalizacji wieloletnich roślin energetycznych oraz rejonów, w których plantacji nie należy lokalizować [IUNG-PIB]

Jednak nie należy się spodziewać znacznego zwiększenia areалу upraw roślin na cele produkcji energii elektrycznej i ciepła ze względu na małe zainteresowanie zgłaszane przez rolników. Brak zainteresowania prowadzeniem takich plantacji wynika głównie z dużych nakładów na założenie plantacji, doposażenia infrastruktury technicznej gospodarstwa w nowe specjalistyczne maszyny, urządzenia i budowie (zakładanie planta-

cji, zbiór i przechowywanie biomasy), braku doświadczeń w produkcji tych wieloletnich roślin oraz dużą niepewnością związaną z rozwojem rynku biomasy w długoletniej perspektywie (okres użytkowania plantacji dochodzi nawet do 20 lat).

Plantacje roślin energetycznych powinny znajdować się w niedużej odległości od zakładów energetycznych czy zakładów przetwórczych (formujących biomasę). Wynika to z konieczności ograniczenia kosztów na transport biomasy [Harasim, 2008].

Pozyskanie biomasy od rolników i spalanie jej w dużych obiektach energetycznych, w których sprawność konwersji często nie przekracza 40% (produkcja energii elektrycznej), spowoduje zwiększoną produkcję gazów cieplarnianych związaną właśnie z transportem. W takiej sytuacji należy wypracować kompromis między koniecznością spełnienia wymogów odnośnie do zmniejszenia emisji CO₂ i produkcji zielonej energii w energetyce zawodowej, a energetycznym bezpieczeństwem lokalnych społeczności [Pyrka, 2011]. W tabeli poniżej przedstawiono właściwości wybranych roślin.

Tabela 4. Skład elementarny oraz właściwości energetyczne wybranych wieloletnich roślin energetycznych

Surowiec	Ciepło spalania	Wartość opałowa			Skład elementarny				Popiół
		w stanie							
		analitycznym	roboczym	suchym bezpopiołowym	C	H	N	S	
	MJ/kg	MJ/kg			% absolutnie suchego surowca				
Topinambur	16,128	14,588	14,699	16,653	45,77	6,08	0,31	0	2,51
Miskant olbrzymi	17,975	16,478	16,450	18,300	48,15	6,09	0,23	0	2,10
Rdest sachaliński	15,376	14,435	14,394	15,558	46,81	5,69	0,38	0	2,67

Wierzba krzewiasta	pędy jedno- roczne	18,150	16,715	16,876	18,489	44,96	5,79	0,70	0	1,77
	pędy czte- roletnie	17,867	16,437	16,688	18,095	44,29	5,75	0,37	0	1,23
	drewno pędów czteroletnich	18,376	16,956	17,094	18,422	44,44	5,77	0,24	0	0,62
	kora pędów czteroletnich	17,016	16,300	16,345	17,695	44,67	5,62	1,28	0	5,69

Zawartość popiołu w powyższych surowcach nie przekraczała typowych wartości dla surowców roślinnych i wynosiła od 0,62% w drewnie wierzby do 5,69%. Biopaliwa w porównaniu z węglem cechuje mniejsza zawartość popiołu (od dwóch do czterech razy) i mniejsza wartość opału (ok. 40%). Można zatem sądzić, że w odniesieniu do jednostki energii uzyskanej w procesie spalania ilość popiołu z biopaliwa będzie większa niż z węgla brunatnego. Jednak na podstawie badań Kalembasa [2006], popiół ze spalania biomasy zawiera makro- i mikroelementy wyniesione z płonem z gleby i może zostać wykorzystany do nawożenia upraw rolniczych.

Ciepło spalania przedstawionych w tabeli powyżej surowców wahał się od 16,128 MJ/kg topinamburu do 18,376 MJ/kg drewna wierzby krzewiastej. Wartość opału paliwa zależy od zawartości wilgoci i popiołu. Kiedy zawartość wody i substancji niepalnych w paliwie jest wyższa, tym niższa jest jego wartość opału. Wartość opału miskanta w stanie suchym i bezpopiołowym wynosi: 18,272 MJ/kg, wierzby 18,489 MJ/kg, a topinamburu 16,653 MJ/kg. Przeciętna wartość opału w stanie suchym i bezpopiołowym dla roślin jednoliściennych (traw, słomy zbóż i trzcin) według Specyfikacji Technicznej (CEN/TS 14961:2007) wynosi 18,4-18,5 MJ/kg drewna liściastego i 19,0-19,2 MJ/kg drewna iglastego.

Skład chemiczny badanej biomasy wierzbowej – charakterystyczny dla drewna młodego – był zróżnicowany w zależności od badanego surowca wierzbowego: pędy jednoroczne, pędy czteroletnie, drewno, kora.

Najkorzystniejsze dla wykorzystania energetycznego w procesie spalania ma drewno czteroletnich pędów wierzby krzewiastej: niska zawartość popiołu – 0,62% i wysoka wartość opału 18,4 MJ/kg.

Biomasa z miskanta olbrzymiego, rdestu sachalińskiego, wierzby krzewiastej to poten-

cialne źródła surowców lignocelulozowych, które mogą być wykorzystane w lokalnej energetyce.

Produkty uboczne z produkcji roślinnej

Podstawowym surowcem stanowiącym produkt uboczny z produkcji zbóż jest słoma.

Słoma

Słoma to dojrzałe lub wysuszone żdźbła roślin. Przyjęto używać tego określenia w stosunku do zbóż, roślin strączkowych, lnu i rzepaku. Podstawowym składnikiem słomy jest włókno surowe i związki bezazotowe. Słoma charakteryzuje się wysoką zawartością suchej masy (do 85%), a także zdolnością chłonięcia wody i gazów.

Najstarszą metodą zagospodarowania słomy było i wciąż jeszcze jest użycie jej jako materiału ściółkowego. Słoma może być również cennym nawozem organicznym, a najprostsza metoda jej zagospodarowania jest rozdrobnienie i przyoranie bezpośrednio po zbiorze.

W energetyce znajduje zastosowanie słoma wszystkich rodzajów zbóż oraz rzepaku i gryki. Za szczególnie cenną uchodzi słoma żytnia, pszenna, rzepakowa, gryczana oraz osadki kukurydzy.

Budowa fizjologiczna słomy zbóż i rzepaku jest podstawą cechą odróżniającą ją od konwencjonalnych nośników energii. Przestrzenno-rurkowa budowa żdźbła słomy powoduje, że jest to materiał objętościowy, którego struktura charakteryzuje się nadmiarem powietrza. Skład chemiczny słomy uzależniony jest od warunków glebowych, klimatycznych oraz działania człowieka. W tabeli przedstawiono wartość opałową słomy pszennej, jęczmiennej i kukurydzianej.

Tabela 5. Wartość opałowa słomy [Kapuśniak, 2008]

Rodzaj słomy	Wartość opałowa słomy świeżej (MJ/kg)	Zawartość wilgoci w słomie świeżej (%)	Wartość opałowa słomy suchej (MJ/kg)
pszenna	12,9-14,9	12-22	17,3
jęczmienna	12,0-13,9	12-22	16,1
kukurydziana	3,3-7,2	50-70	16,8

Wykorzystanie słomy jako paliwa do produkcji energii cieplnej nie wymaga stosowania określonych typów zbóż. Spalaniu może być poddana słoma ze wszystkich rodzajów zbóż, a także siano, drobne gałęzie i inne podobne materiały. Obecnie w Danii prowadzi się eksperymenty polegające na zakładaniu specjalnych upraw szybko rosnącej wierzby, włośnicy czerwonej lub zbóż, z których zarówno ziarno, jak i słoma, stosowane są jako

paliwo.

Związane jest to z obowiązkowym pozostawianiem ziemi uprawnej odłogiem, co, najprawdopodobniej, wystąpi również w Polsce po wejściu naszego kraju do Unii Europejskiej.

Słoma dostarczana do kotłowni musi spełniać pewne wymagania dotyczące przede wszystkim wilgoci, a także tak zwanego stopnia uwiadu. W tabeli poniżej przedstawiono procentową zawartość składników nawozowych w suchej masie słomy zbóż i rzepaku.

Tabela 6. Procentowa zawartość składników nawozowych w suchej masie słomy zbóż i rzepaku [Kucińska, 1999]

Składniki nawozu	Jednost- ka	Słoma				
		żytnia	pszenna	jęczmien- na	owsia- na	rzepako- wa
Azot (N)	%	0,53	0,68	0,65	0,78	0,68
Tlenek fosforu (P_2O_5)	%	0,19	0,24	0,27	0,34	0,30
Tlenek potasu (K_2O)	%	1,25	1,24	2,05	2,75	2,04
Tlenek wapnia (CaO)	%	0,29	0,38	0,75	0,67	2,33
Tlenek ma- gnezu (MgO)	%	0,12	0,16	0,21	0,20	0,22
Mangan (Mn)	ppm	32,10	25,40	40,90	129,50	22,50
Miedź (Cu)	ppm	1,84	5,12	4,25	3,61	2,51

Bar (Ba)	ppm	1,76	2,80	4,80	4,0	17,80
Molibden (Mo)	ppm	0,26	0,33	0,28	0,31	0,23
Cynk (Zn)	ppm	8,10	19,70	22,0	48,20	10,0
Kobalt (Co)	ppm	0,05	00,4	0,04	0,04	0,13

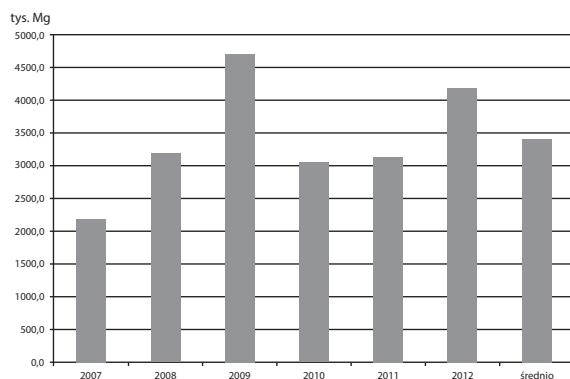
W każdej analizowanej słomie różnego rodzaju zbóż występują poszczególne pierwiastki w większym lub mniejszym stopniu zawartości.

Stopień uwiadu świadczy o tym, jak długo słoma była pozostawiona na polu po żniwach oraz o opadach w trakcie tego okresu. Im większy stopień uwiadu, tym większe prawdopodobieństwo, że stężenie alkaloidów i związków chloru, tak istotnych dla procesów korozji oraz mięknienia żużla, zostały zmniejszone przez odmywanie. Przyczynia się to do zmniejszenia ryzyka wystąpienia problemów ze szlaką oraz korozją. Podczas procesu wędnięcia kolor słomy zmienia się z żółtego na szary. W związku z tym, dla oceny stopnia zwiędnięcia jest stosowane określenie „słoma żółta” lub „słoma szara” w celu określenia w pewnym stopniu jakości słomy.

Szczegółowe analizy polegające na określeniu zawartości celulozy, hemicelulozy i ligniny w słomie są kosztowne, czasochłonne i w związku z tym nie znalazły szerokiego zastosowania w optymalizacji procesów spalania słomy.

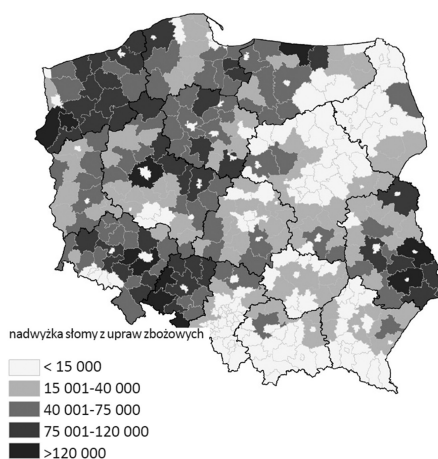
W tej sytuacji obecnie stosowanym kryterium jakościowym odbieranej słomy jest zawartość wilgoci i stopień zwiędnięcia słomy.

W Polsce produkuje się rocznie około 25 mln Mg słomy. Przez dziesięciolecia wykorzystywano ją głównie na potrzeby produkcji zwierzęcej jako materiał ściółkowy i paszę. Służyła do przykrywania kopców, ocieplania budynków i przygotowania mat w gospodarstwach ogrodniczych. Od 1983 roku zbiory słomy zaczęły przewyższać zapotrzebowanie wynikające z produkcji rolniczej. Na rysunku poniżej przedstawiono potencjał słomy możliwy do wykorzystania na cele energetyczne.



Rys. 2. Potencjalne zasoby słomy do celów energetycznych w latach 2007-2012 w tys. Mg [Polska Izba Biomasy]

Na kolejnym rysunku przedstawiono nadwyżki słomy możliwe do wykorzystania na cele energetyczne w poszczególnych regionach kraju.



Rys. 3. Potencjał techniczny słomy z upraw zbożowych [Jarosz, Faber, Borzęcka-Walker, Pudełko, 2014]

Jedną z możliwości zagospodarowania słomy jest wykorzystanie jej na cele energetyczne. Jej wartość opałowa wynosi bowiem od 14,3 do 15,2 MJ/kg, pod względem energetycznym 1,5 Mg słomy równoważne jest około jednej tonie węgla kamiennego. Obecnie istnieją techniczne możliwości wykorzystania słomy jako paliwa nie tylko do ogrzewania mieszkań i budynków inwentarskich w gospodarstwach rolnych, ale także w kotłowniach komunalnych [Denysiuk, Piechocki, 2005; Komorowicz, Wróblewska, Pawłowski, 2009].

4. Wybrane technologie produkcji biomasy rolniczej

Wszystkie rośliny uprawiane w celu pozyskania biomasy przeznaczonej do spalania lub współspalania powinny charakteryzować się wysoką odpornością na szkodniki i choroby, szybkim przyrostem rocznym, dużą wartością opałową oraz brakiem szczególnych wymagań glebowych. Uprawy powinny też mieć szczególny system sadzenia tak, aby maszyny nawożące czy ścinające mogły swobodnie wykonywać swoje obowiązki bez uszkodzenia uprawy [Osiak, Skudlarski, Izdebski, 2009]. Większość plantacji przeznaczona jest do użytkowania na okres około 15-20 lat.

W województwie podlaskim warunki klimatyczne pozwalają na uprawę roślin energetycznych. Jako że uprawy energetyczne są przystosowane do wzrostu nawet na ziemiach kategorii IV, cały teren województwa nadaje się pod ich uprawę [Igliński, 2009]. Plantacje roślin wieloletnich przeznaczonych na cele energetyczne mogą wpłynąć na użyznienie gleby, na której prowadzona jest uprawa. Część zasymilowanego w roślinach węgla poprzez opadające liście oraz obumierające korzenie trafia do gleby, gdzie w procesie oddychania przekształca się w CO_2 (80%) oraz w próchnicę. Proces ten nazywany jest sekwencją drewna, która w przypadku hodowli roślin na cele energetyczne zachodzi na powierzchni gleby (do 10 cm). Wzrost zawartości węgla na obszarze gleb tego typu upraw pośrednio prowadzi do poprawy pojemności wodnej i tekstury oraz użyznienia gleby [Faber 2008].

W kolejnych podrozdziałach omówiono technologie produkcji wybranych roślin energetycznych możliwych do uprawy w warunkach województwa podlaskiego.

4.1. Wierzba wiciowa

Na świecie występuje od około 300 do ponad 500 gatunków wierzby. W Polsce zidentyfikowano 28 gatunków i opisano wiele gatunków mieszańcowych, trudnych do oznaczenia i zidentyfikowania. Wierzby występują w formie drzewiastej i krzewiastej.

W kraju wierzbę od wielu lat uprawiano na użytkach rolnych z przeznaczeniem na cele plecionkarskie lub ze względu na bardzo wczesny okres kwitnienia jako rośliny wczesnomiodajne. Od kilkunastu lat rozpoczęto uprawę wierzb na użytkach rolnych z przeznaczeniem ich na wykorzystanie energetyczne.

Najpopularniejszym gatunkiem wierzby energetycznej jest *Salix viminalis* i *Salix purpurea*. Rzadko uprawia się je jako czyste odmianowo gatunki. Najpowszechniejszymi formami są wszelakiego rodzaju mieszańce na bazie wymienionych gatunków. Ze względu na bogactwo genotypu i właściwości botaniczne różne gatunki wierzby łatwo krzyżują się ze sobą wytwarzając wiele mieszańców międzygatunkowych. Wykorzystano te możliwości dla wytworzenia mieszańców, których podstawową charakterystyką jest bardzo szybki i duży przyrost biomasy oraz odporność na choroby i szkodliwe owady [Dubas i inni, 2004].



Rys. 4. Wierzba wiciowa [http://www.misiuneacasa.ro/uploads/205/incalzirea-casei-cu-salcie-energetica_204104.jpg]

O sukcesie w uprawie wierzby decyduje: plon biomasy z jednostki powierzchni, cena jednostkowa za wyprodukowany surowiec i zysk. Potencjalny plantator musi zwrócić uwagę na wszystkie te czynniki, jednak największy wpływ ma wysokość plonu biomasy wierzby zbieranej z jednostki powierzchni. Jednym z głównych elementów decydujących o wysokości przyszłych plonów biomasy jest wybór odpowiedniej odmiany lub kłonu wierzby do nasadzeń oraz jakość somatyczna sadzonek. Kolejnym niezwykle istotnym warunkiem jest wybór stanowiska glebowego. Bardzo ważne jest również właściwe prowadzenie zabiegów agrotechnicznych na plantacji, począwszy od przygotowania stanowiska, sadzenia, zabiegów pielęgnacyjnych i ochronnych oraz częstotliwość zbiorów pędów. Uprawę wierzby energetycznej, podobnie jak inne uprawy rolnicze, należy prowadzić w sposób zintegrowany. Wierzbę energetyczną można uprawiać na różnych typach gleb dobrze zaopatrzonych w wodę i składniki pokarmowe. Gleby o wyższym wskaźniku bonitacji dają możliwość uzyskania wysokich plonów biomasy wierzby. Gleby aluwialne, napływowe są

bardzo dobrym stanowiskiem do założenia plantacji wierzby energetycznej. Siedliska, które z reguły uważane są za nieodpowiednie do większości upraw polowych ze względu na zbyt wysoki poziom wód gruntowych, są przydatne do uprawy krzewów wierzby energetycznej. Do uprawy wierzby zdecydowanie nie nadają się gleby trwale zabagnione. W tabeli poniżej przedstawiono potencjał techniczny w poszczególnych powiatach województwa podlaskiego.

Tabela 7. Potencjał techniczny uprawy wierzby wiciowej na terenie województwa podlaskiego (na podstawie danych Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowy Instytut Badawczy dalej IUNG-PIB)

Powiat	Mg	ha	GJ
augustowski	16 240	1 751	298 820
białostocki	27 695	2 929	509 594
bielski	4 763	500	87 645
grajewski	10 736	1 127	197 538
hajnowski	2 771	288	50 985
kolneński	11 604	1 261	213 511
łomżyński	1 982	212	36 464
moniecki	259	23	4 763
sejneński	22 271	2 422	409 783
siemiatycki	3 673	389	67 581
sokólski	6 587	638	121 196
suwalski	36 555	3 970	672 621
wysokomazowiecki	19 109	2 085	351 597
zambrowski	0	0	0

Najbardziej przydatne gleby do uprawy wierzby energetycznej to gleby IIIa i b, IVa i b oraz V klasy bonitacyjnej. Suche i piaszczyste gleby klasy VI nie nadają się do wykorzystania pod uprawy energetyczne wierzby. Gleby piaszczyste V klasy wykazują pewien potencjał dla wzrostu wierzby pod warunkiem, że charakteryzują się wysokim poziomem wód grunto-

wych lub będą nawadniane i wzbogacane nawozami mineralnymi lub organicznymi. Koniecznym warunkiem udatności uprawy jest dostateczna ilość opadów. Jest to szczególnie istotne w przypadku zakładania nowych plantacji, gdyż niedostateczna ilość opadów w okresie maj-czerwiec może powodować wypadanie nasadzeń ze względu na niedostateczny rozwój systemu korzeniowego młodych roślin. Dzieje się tak głównie na gruntach mineralnych, glebach słabych i łatwo przepuszczalnych. Dlatego ważne jest, aby plantacje wierzby były zakładane na użytkach rolnych dobrze uwodnionych.

Optymalny poziom wód gruntowych przeznaczonych pod uprawę wierzby energetycznej to: 100–300 cm dla gleb piaszczystych i 160–190 cm dla gleb gliniastych.

Temperatura i długość dnia świetlnego mają również wpływ na przebieg wegetacji wierzby. Wczesną wiosną, nawet podczas krótkotrwałych ociepleń, następuje rozpoczęcie procesów życiowych wewnątrz rośliny, po czym nadchodzące silne mrozy mogą powodować przemarzanie karp lub odrastających pędów. W regionach o takich warunkach zaleca się tylko wiosenne nasadzenia nowo zakładanych plantacji. Krótkotrwałe przymrozki, nieprzekraczające -10°C nie wywierają większego wpływu na wzrost i rozwój powszechnie występujących odmian wierzb.

Mimo że wierzba jest rośliną wodolubną, nie znosi terenów okresowo pozostających pod wodą. Miejsca, gdzie teren bywa zalewany i woda pozostaje przez okres dłuższy niż 2–3 tygodnie, większość gatunków wierzb energetycznych wypada z plantacji. Ma to miejsce szczególnie w okresie wiosny i wczesnego lata, czyli w okresie, gdy bieżący odrost z nowych nasadzeń nie jest jeszcze zbyt wysoki. Na terenach okresowo zalewanych można uprawiać wierzbę, jednak sposób sadzenia musi być odmienny niż na pozostałych terenach plantacji.

Rośliny wierzby reagują szczególnie wyraźnie na przebieg warunków atmosferycznych od połowy czerwca do końca sierpnia, gdyż jest to czas maksymalnego przyrostu masy roślinnej. Opady i wysoka temperatura w tym okresie wpływają korzystnie na plony biomasy, susza natomiast może spowodować spadek plonowania nawet o 50%. Jest ona szczególnie niebezpieczna w okresie ukorzeniania zrzeszów wiosną w pierwszym roku uprawy. Wierzba do bujnego wzrostu potrzebuje około 500 mm opadów, im wyższa ich ilość, tym korzystniej. Duże znaczenie dla wierzby, oprócz wody z opadów atmosferycznych, ma wilgoć nagromadzona w glebie po zimie oraz odpowiedni poziom wody gruntowej.

Przed założeniem plantacji na dużej powierzchni należy właściwie ją rozplanować tak, aby możliwe było zmechanizowanie prac uprawowych (sadzenia, nawożenia, pielęgnacji, zbioru). Konieczne jest wydzielanie dróg technologicznych i miejsc na nawrócenia sprzętu rolniczego. Zaleca się również wykonanie analiz glebowych, co pozwoli ustalić zasobność gleby i wielkość potrzebnego nawożenia mineralnego. Wierzba toleruje odczyn gleby od kwaśnego do obojętnego (pH 5,5–7,0).

Gleba pod plantację wierzby energetycznej powinna być przygotowana podobnie jak pod inne rośliny rolnicze. Skuteczne zwalczanie chwastów to warunek decydujący o sukcesie

w uprawie wierzby. Przygotowanie stanowiska po użytkach zielonych lub zachwaszczonych gruntach ornych pod przyszłą plantację powinno rozpocząć się latem w roku poprzedzającym sadzenie wierzby.

Odchwaszczanie jest jednym z najważniejszych zabiegów agrotechnicznych, które należy wykonać przed sadzeniem, ponieważ walka z chwastami po posadzeniu jest trudna i kosztowna. Wykonywana chemicznie osłabia wzrost i rozwój wierzby na okres 2–3 tygodni, jest to tym bardziej znaczące, że przypada w okresie najbardziej intensywnego wzrostu (maj–czerwiec).

Kolejnym bardzo ważnym elementem przygotowania roli jest dostosowanie odczynu kwasowo-zasadowego gleby i składników pokarmowych do potrzeb wierzby. Wybrane stanowiska glebowe powinny być przebadane przez stację chemiczno-rolniczą w celu stwierdzenia zasobności i kwasowości gleby [Szczukowski i inni, 2006].

Nawożenie nowych nasadzeń musi być bardzo ostrożne i nie powinno przekroczyć 30 kg N, 18 kg P_2O_5 i 20 kg K_2O w przeliczeniu na czyste składniki przypadające na 1 hektar. Dobrym nawozem azotowym jest saletrzak, natomiast fosfor i potas można dostarczyć w postaci superfosfatu i soli potasowej. Bardzo ważnym składnikiem jest zawartość potasu, którego może być nawet do 40 kg, ponieważ jego wielkość wpływa znacząco na ukorzenienie sadzonek. Dotyczy to przede wszystkim gleb ubogich [Szczukowski i inni, 2006].

Drugi rok uprawy jest praktycznie pierwszym sezonem produkcyjnym. Jeżeli sadzenie zrzesów było prawidłowo wykonane, rośliny dobrze rozwiną system korzeniowy, co umożliwi im prawidłowe pobieranie z gleby niezbędnych składników pokarmowych i wody. W tym roku uprawy rośliny należy nawozić intensywnie nawozami azotowymi, fosforowymi i potasowymi w dawkach: 90 kg N, 30 kg P_2O_5 , 90 kg K_2O /ha. W tym okresie składniki pokarmowe pobierane z gleby wykorzystywane są przez rośliny do tworzenia dużej liczby pędów, liści i korzeni.

Nawożenie fosforem i potasem należy wykonywać przed rozpoczęciem przez rośliny wegetacji. Natomiast nawożenie azotem można rozłożyć w czasie i podać w dwóch równych dawkach. Pierwszą z nich należy zastosować przed rozpoczęciem przez rośliny wegetacji, a drugą w momencie zwarcia łanu wierzby na plantacji.

W trzecim i dalszych latach uprawy można zastosować zmniejszoną dawkę nawożenia: 80 kg N, 30 kg P_2O_5 , 80 kg K_2O /ha. Po opadnięciu liści i uformowaniu się ściółki zapotrzebowanie na nawożenie jest niższe, ponieważ część składników pokarmowych rośliny pobierają z rozkładającej się biomasy liści. W przypadku dwu- lub trzyletnich cykli zbioru zaleca się nawożenie fosforem i potasem na zapas, po każdym zbiorze, a przed rozpoczęciem przez rośliny następnego okresu wegetacji. Azotem można nawozić rośliny w czasie okresu wegetacji, wykorzystując pozostawione przy zakładaniu plantacji drogi technologiczne i specjalne metody wysiewu nawozów. Zaleca się stosowanie nawozów mineralnych o 3–4-letnim systemie rozkładu, do czego zmusza system eksploatacji wierzby. Wierzbę rozmnaża się wegetatywnie za pomocą zrzesów, tzn. kawałków pociętego pędu,

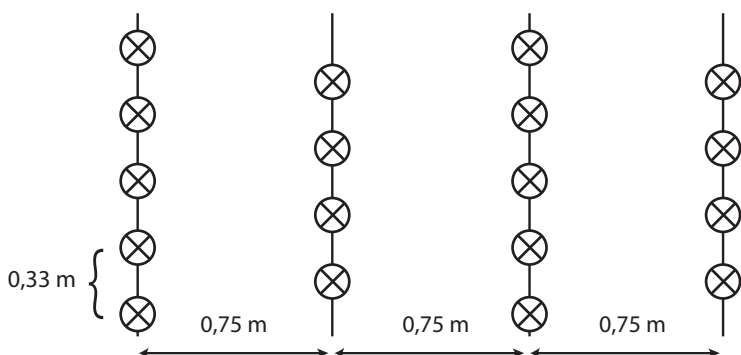
które po posadzeniu do gleby ukorzeniają się i wypuszczają pędy tworząc nowe rośliny [Dubas i inni, 2004, Szczukowski i inni, 2006]. Pędy przeznaczone pod zrzesy powinny pochodzić z plantacji matecznych, czystych odmianowo, wolnych od chorób i szkodników, o dużej żywotności. Pędy do produkcji zrzesów, przeznaczone do posadzenia wiosną, należy zbierać od listopada do marca (przed rozpoczęciem wegetacji). Pędy są ścinane u podstawy, a następnie cięte na odpowiedniej długości odcinki. Do produkcji należy wybierać najsilniejsze i nieuszkodzone pędy. Najbardziej odpowiednie są sadzonki wykonywane z odrostów jednorocznych lub dwuletnich. Ważne jest, aby liczba pąków na całej długości zrzesu nie wynosiła mniej niż 5 sztuk.

Zrzesy uzyskane ze środkowej i dolnej części pędu są lepsze od tych z góry, mają bowiem większą masę i gromadzą więcej substancji zapasowych. Przykładowo z pędu o długości 2 metrów po odcięciu wierzchołka uzyskuje się około 5 zrzesów.

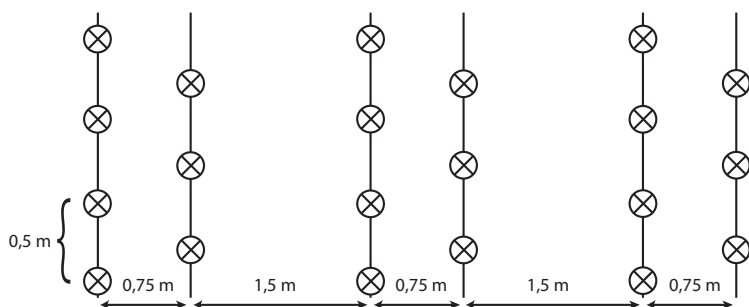
Bezpośrednio po odcięciu zrzesy należy wiązać po 100 sztuk i układać pionowo, pączkami do góry. Można je również umieszczać luzem w skrzyniach lub kartonach. Wierzchołki zrzesów powinno się zanurzyć w wodzie wapiennej lub farbie emulsyjnej na głębokość około 2 cm w celu właściwego oznakowania i ułatwienia prac przy sadzeniu. Zakończenia sadzonek powinny być zabezpieczone parafiną, co zabezpiecza je przed nadmiernym wysychaniem i inwazją chorób. Najbardziej bezpieczne jest przygotowywanie zrzesów bezpośrednio przed sadzeniem. Zrzesy nieużywane bezpośrednio do sadzenia powinny być odpowiednio przechowywane: umieszcza się je w chłodnych, wilgotnych i osłoniętych od wiatru pomieszczeniach. Zrzesy można przechowywać w piwnicy, gdzie utrzymuje się niska temperatura i wysoka wilgotność powietrza, jednak najlepiej umieszczać je w workach foliowych, w chłodni, w temperaturze od -4°C do $+2^{\circ}\text{C}$.

Sadzonki (zrzesy) powinny mieć 20–25 cm długości, a ich grubość powinna wynosić od 5 do 12 mm, przeciętna grubość mierzona w środku powinna wynosić co najmniej 7 mm. Zrzesy najczęściej sadi się wczesną wiosną, w zależności od lokalnych warunków klimatycznych możliwy jest również jesienny termin sadzenia. W czasie sadzenia wiosną należy zabezpieczyć zrzesy przed działaniem słońca i wiatru, aby ograniczyć ich wysychanie.

Zrzesy można sadzić ręcznie lub maszynowo. Sadzenie maszynowe jest lżejsze, ale bardziej kosztowne ze względu na niezbyt wysoką wydajność sadzarek (8–10 godzin na 1 hektar przy obsłudze 4-osobowej). Sadzenie ręczne jest czasochłonne i pracochłonne. Na obsadzenie hektara trzeba zaplanować 10–12 roboczodniówek. Szacuje się, że jeden robotnik dziennie powinien posadzić około 10–12 arów. Gęstość sadzenia jest uzależniona od rozstawu kół maszyn rolniczych (ciągników, sadzarek, maszyn do pielęgnacji i zbioru). Ważna jest również długość założonego cyklu pozyskiwania biomasy: jednoroczny, dwu-, trzy- lub czteroletni. W Polsce na plantacjach matecznych, w celu pozyskania materiału reprodukcyjnego, sadi się 30 tys. sadzonek na hektar (rysunek poniżej) w rozstawie $0,75\text{ m} \times 0,33\text{ m}$. Taki sposób sadzenia jest zalecany w niewielkich gospodarstwach rolniczych. Zbiór w cyklach jednorocznych daje możliwość dosuszania pędów w naturalny sposób z około 50% wilgotności do około 20% wilgotności.



a) 32 tys. sztuk/ha



b) 18-24 tys. sztuk/ha

Rys. 5. Sposób rozmieszczenia sadzonek na plantacjach a) małych, b) przemysłowych [Mystkowski, 2007]

Wierzbę z przeznaczeniem na cele energetyczne powinno się sadzić w liczbie do 24 tys. zrzesów na 1 hektar. Przy takiej gęstości, aby zachować możliwość przejazdu ciągnikiem między rzędami, odstęp pomiędzy nimi powinien wynosić około 70 cm, a odległość w rzędach pomiędzy sadzonkami powinna wynosić około 50 cm. Rzędy powinny być wyznaczone poprzecznie do drogi dojazdowej tak, aby nie niszczyć karp wyrosniętej wierzb w czasie manipulacji ciągnikiem. W przypadku braku dróg dojazdowych powinno się zostawić 3-4-metrowej szerokości opaskę manipulacyjną.

Przez 48 godzin przed sadzeniem ta część zrzesów, która ma być wsadzona do ziemi, powinna być moczona. Zrzesy należy wsadzać do ziemi tak, aby przynajmniej dwa uśpione

pąki były na wierzchu. Powinny być sadzone pod niewielkim kątem nachylenia do południowej strony, wtedy wczesnowiosenne słońce szybciej nagrzewa sadzonkę, co przyspiesza jej wegetację. Przy spełnieniu wszystkich warunków procent przyjęć powinien zawierać się w przedziale 85–98%.

Alternatywną metodą sadzenia wierzby jest poziome układanie całych pędów na dnie wcześniej przygotowanych bruzd. Pędy umieszczane są na głębokości około 7–10 cm, a następnie przykrywane warstwą gleby. Po pewnym czasie ukorzeniają się i wyrastają z nich nowe rośliny. Jednak zanim ta metoda zostanie upowszechniona wymaga dalszych badań, ponieważ reakcja poszczególnych genotypów wierzby na ten sposób sadzenia jest różna. Inżynieria nasadzeń określa sposób i rozmieszczenie zręzków na polu w taki sposób, aby w każdym roku wzrostu i w całym okresie eksploatacji były spełnione następujące warunki:

- zawsze dostęp do każdej części plantacji,
- zachowanie możliwości zbioru maszynowego biomasy bez niszczenia karp na polu i opon ciągnika najjeżdżającego na ostro ścięte pręty karp,
- zabezpieczenie fitosanitarne przed gradacją chorób: grzybowych, wirusowych, bakteryjnych oraz przed inwazją insektów i niszczeniem przez zwierzęcą łośną [Dubas i inni, 2004].

4.2. Miskantus

Miskantus olbrzymi (*Miscanthus giganteus*) należy do rodziny traw. Gatunek ten powstał na początku lat 90. w Danii, w wyniku skrzyżowania miskantusa chińskiego (*M. sinensis*) i miskantusa cukrowego (*M. sacchariflorus*), roślin pochodzących z terenów Azji Południowo-Wschodniej oraz Azji Centralnej. Miskantus olbrzymi jest rośliną wieloletnią. Ma silnie rozbudowane podziemne kłącza i rozległy system korzeniowy, sięgający głębokość 2,5 m. Jednolicie zabarwiona łodyga jest bardzo sztywna, owłosiona lub naga z widocznymi węzłami. Zawiera w swoim składzie dużo celulozy i ligniny, co wzmacnia jej odporność na uszkodzenia mechaniczne. Liście są długie, spłaszczone i lancetowate, wyrastające na prawie całej długości łodygi. Rośliny osiągnęły wysokość do 4 m w warunkach europejskich. Miskantus olbrzymi charakteryzuje się szybkim wzrostem, wysokim plonem biomasy oraz stosunkowo wysoką, jak na ten gatunek, odpornością na niskie temperatury. Wartość energetyczna miskanta przy jego spalaniu (około 18,5 MJ/kg) jest porównywalna z wartością drewna opałowego [Nalborczyk, 1996].



Rys. 6. Miskantus olbrzymi [www.horticulture.umn.edu/miscanthus/biomass/giganteus.jpg]

W tabeli poniżej zestawiono najważniejsze parametry fizykochemiczne charakteryzujące rośliny z gatunku *Miscanthus giganteus*.

Tabela 8. Charakterystyka fizykochemiczna miskanta olbrzymiego (w %) [Sørensen i inni, 2008, Zawadzka, Imbierowicz i inni, 2010]

Parametr	Wartość
hemiceluloza	24,4
celuloza	26,5
lignina	28,8
sucha masa	94,1
sucha masa organiczna	89,8
popiół	4,3

Miskantus, w odróżnieniu od większości roślin z naszej strefy klimatycznej, należy do traw o wydajniejszym typie fotosyntezy C-4, charakterystycznym dla roślin tropikalnych, np. kukurydzy. Trawy fotosyntezy typu C-4 dobrze znoszą duże nasłonecznienie i związany z tym niedobór wody w glebie [Piłat, 2008]. Krytycznym okresem w uprawie miskanta jest pierwsza zima, wykazuje on bowiem wrażliwość na ujemne temperatury. W celu ograniczenia uszkodzeń mrozowych, gdy brak jest pokrywy śnieżnej, często stosuje się okrywanie roślin słomą. W kolejnych latach miskantus nie wykazuje tak silnej wrażliwości na niskie temperatury, znosi temperatury poniżej -20°C . Pomimo małego zużycia wody na wyprodukowanie jednostki suchej masy, osiągnięcie dużego plonu wymaga w okresie wegetacji 700 mm opadu. Roślina wykazuje znaczny wzrost plonu przy wzroście temperatury i natężenia promieniowania. Miskantus może być uprawiany na średniozwięzłych glebach o piaszczystym podłożu z niskim poziomem wód gruntowych. Sprawdza się również na terenach zagrożonych erozją gleby, tworzy bowiem rozbudowane kępy chroniące glebę przed wymywaniem składników pokarmowych.

Tabela 9. Potencjał techniczny uprawy miskanta w województwie podlaskim [na podstawie danych IUNG PIB]

Powiat	Mg	Ha	GJ
augustowski	26 486	2 326	466 148
białostocki	13 041	1 116	229 516
bielski	16 983	1 408	298 907
grajewski	6 784	570	119 391
hajnowski	25 979	2 214	457 232
kolneński	33 281	2 974	585 741
łomżyński	48 248	4 279	849 164
moniecki	13 641	1 112	240 079
sejneński	22 420	1 883	394 587
siemiatycki	80 235	6 592	1 412 119
sokólski	38 685	3 001	680 863
suwalski	17 227	1 538	303 193

wysokomazowiecki	8 856	786	155 863
zambrowski	47 605	3 674	837 845

Maksymalny czas intensywnego użytkowania plantacji w sprzyjających warunkach wynosi 15 lat. Przed wysadzeniem roślin ważne jest staranne przygotowanie gleby. Przed orką zimową należy zastosować dużą dawkę nawozów organicznych. Wczesną wiosną glebę przygotowuje się do sadzenia roślin, przeprowadza się odchwaszczanie mechaniczne bądź chemiczne oraz spulchnianie i wyrównywanie powierzchni. Miskant olbrzymi nie wytwarza nasion i nie rozmnaża się generatywnie, utrudnia to zakładanie nowej plantacji. Produkuję się w tym celu sadzonki *in vitro* lub pozyskuje się sadzonki kłaczowe z plantacji matecznych. Korzystniejszym ekonomicznie rozwiązaniem przy zakładaniu plantacji jest zakup sadzonek kłaczowych, a nawet pozyskanie ich z własnej plantacji matecznej przy powiększaniu areалу uprawy. Pomimo tego koszt założenia plantacji miskantusa olbrzymiego jest znaczący. Plantację mateczną stanowi najczęściej 3-letnia plantacja miskanta. Wiosną wyoruje się kłacza roślin i dzieli na mniejsze, około 10-centymetrowe fragmenty. Bezpośrednio po pozyskaniu sadzonek wysadza się je na nowym polu. Dla badanego gospodarstwa optymalnym terminem sadzenia jest początek czerwca. Kłacza sadi się na głębokości od 10 do 15 cm i rozstawie międzyrzędzi od 0,5 do 1 metra. Optymalna obsada wynosi od 1 do 3 roślin na m², co daje 10–30 tys. roślin na ha. Proces sadzenia można częściowo zmechanizować, wykorzystując do tego sadzarki do warzyw. Zgromadzone kłacza umieszczane są w mechanizmie obrotowym wciskającym materiał nasadzeniowy w glebę. Możliwa jest regulacja głębokości sadzenia i odległości między rzędami. Miskant olbrzymi nie jest rośliną wymagającą obfitego nawożenia, mimo wytwarzanego znacznego plonu biomasy. Terminy stosowania i zalecane dawki nawozów wynoszą odpowiednio:

- azot: 60–90 kg N/ha (wiosna, początek wegetacji),
- fosfor: 30–40 kg P₂O₅/ha (wczesna wiosna lub jesień),
- potas: 120–150 kg K₂O/ha (wczesna wiosna lub jesień) [Kościk, 2003].

Nawożenie mineralne można zastąpić płynnym nawozem organicznym w dawce 30m³/ha. Koszty pielęgnacji plantacji miskantusa są bardzo niskie. Pielęgnacja polega głównie na zwalczaniu zachwaszczenia mechanicznie bądź stosując opryski. Bujny wzrost i obfite ulistnienie miskantusa szybko eliminują chwasty. Miskantus wykazuje znaczną odporność na większość patogenów roślinnych, dlatego nie prowadzi się na plantacjach ochrony chemicznej.

W pierwszym roku uprawy plony uzyskiwane z jednego ha powierzchni sięgać mogą 8 ton suchej masy, najwyższe plony uzyskuje się po trzecim roku uprawy – nawet do 30 Mg suchej masy na ha. Po 8.–10. roku prowadzenia plantacji poziom plonowania zaczyna stopniowo spadać. Optymalnym terminem zbioru jest luty lub marzec, w tym okresie

występuje najmniejszy udział wody w roślinach, co ułatwia zbiór i dalsze wykorzystanie materiału. Zbiór miskantusa olbrzymiego przeprowadza się mechanicznie, wykorzystuje się do tego maszyny takie jak:

- silosokombajny (koszenie i prasowanie materiału w duże role),
- samojezdne sieczkarnie współpracujące z przyczepami (zbierany materiał roślinny może mieć wilgotność powyżej 25%),
- kosiarki rotacyjne i prasy zwijające lub wielkogabarytowe.

Poważnym problemem w czasie zbioru jest niebezpieczeństwo uszkodzania podziemnych kłączy przez koła ciężkich maszyn, zapobiega się temu dokonując zbioru w czasie, gdy gleba jest zamarznięta.

Plony i skład chemiczny miskantusa olbrzymiego wskazują na jego wykorzystanie przede wszystkim jako źródła odnawialnej energii. W porównaniu ze słomą zbóż miskant zawiera mniej składników popielnych, co powoduje, że w wyniku jego spalania do atmosfery dostaje się mniej części stałych zanieczyszczających powietrze. Biomasa miskantusa ze względu na podobne parametry energetyczne może zastępować drewno opałowe. Może również służyć do produkcji biogazu i etanolu. Miskantus ma zdolność rekultywacji gleby, jego uprawy mogą być prowadzone na terenach skażonych zanieczyszczeniami przemysłowymi. Sucha masa miskantusa olbrzymiego zawiera znaczną ilość celulozy i ligniny i ze względu na to jest cennym surowcem do produkcji:

- materiałów budowlanych (lekkie płyty ściennie, podłogowe, materiały izolacyjne),
- opakowań (papier, tektura, doniczki),
- nawozów kompostowych,
- zabezpieczeń przeciwerozojnych na terenach górskich.

Uprawa miskantusa olbrzymiego jest bardzo efektywnym energetycznie procesem. Jego biomasa stanowi łatwo dostępne źródło energii, a pozyskanie jej możliwe jest za pomocą już istniejących technologii i nie wymaga znaczących inwestycji.

4.3. Topinambur

Topinambur, znany też pod nazwą „słonecznik bulwiasty” (*Helianthus tuberosus* L.), należy do rodziny astrowatych. Jest blisko spokrewniony ze słonecznikiem zwyczajnym, pochodzi z Ameryki Północnej. Jest to roślina osiągnająca wysokość od 2 do 4 metrów, o łodygach wzniesionych, na przekroju prawie okrągłych o średnicy do 3 cm. Liście są duże, o długości ponad 20 cm, owalnie-sercowate, szerokie, osadzone na długich ogonkach, pokryte szorstkimi włoskami. Kwiatostanami są koszyczki o średnicy do 8 cm, osadzone na wierzchołkach pędów. Jest to roślina owadopylna, owocem jest niełupka, drobniejsza niż u słonecznika [Kościk, 2003].



Rys. 7. Topinambur [<http://images8.fotosik.pl/2870/57184984f990b2bd.jpg>]

Topinambur ma silnie rozwiniętą część podziemną, system korzeniowy jest mocny i dość głęboki: pojedyncze korzenie sięgają do 1,5 metra w głąb gleby. Ułatwia to zaopatrywanie w wodę i składniki mineralne. Z węzłów podziemnej części łodygi oprócz korzeni wyrastają pędy podziemne – rozłogi, na końcach których tworzą się bulwy. Pod względem anatomicznym bulwy stanowią zgrubiałą i silnie skróconą łodygę podziemną, służącą do wegetatywnego rozmnażania, podobnie jak bulwy ziemniaka. Różnią się jednak od bulw ziemniaka nieregularnym kształtem; wrzecionowatym, maczugowatym, owalnym. Barwa skórki bulw topinamburu może być biała, żółta lub czerwona. Odmiany występujące w Polsce mają najczęściej białą bądź czerwono-fioletową skórkę i biały miąższ. Bulwy topinamburu zawierają 14–26% suchej masy, której podstawowym składnikiem są węglowodany, a wśród nich wielocukier – inulina. Ponadto zawierają również białko, tłuszcz, celulozę i hemicelulozę [Kościk, 2003].

Topinambur jest rośliną dnia krótkiego, dlatego długi dzień letni w naszej szerokości geograficznej powoduje zahamowanie rozwoju generatywnego. Nasiona nie dojrzewają przed nastaniem jesiennych przymrozków, a topinambur na skalę przemysłową rozmnażany jest wyłącznie przez bulwy.

Topinambur dobrze znosi zmienne warunki klimatyczne, jest szczególnie odporny na niskie temperatury – bulwy znoszą temperatury nawet do -40°C i bardzo dobrze zimują w glebie [Góral, 1999, Nalborczyk, 1996]. Związane jest to z występowaniem inuliny, która podwyższa stężenie soku komórkowego, przez co zwiększa odporność na mróz. Wią-

zanie bulw jest intensywniejsze w warunkach ciepłego i słonecznego okresu wegetacji, natomiast chłody powodują obfitsze tworzenie zielonej masy.

Topinambur, podobnie jak inne rośliny okopowe, najlepiej udaje się na glebach średnio żwiałych, przewiewnych o dużej zasobności składników pokarmowych i dostatecznej wilgotności. Na żyznych glebach plony świeżej biomasy mogą dochodzić nawet do 200 Mg z ha, a plon samych bulw do 90 Mg z ha [Chabbert, 1985]. Topinambur posadzony jesienią wcześniej rozpoczyna wegetację i dobrze wykorzystuje zasoby wody pozimowej. Szybciej niż inne rośliny okopowe zacienia glebę, ma możliwość samoodnawiania się, co eliminuje konieczność corocznych nasadzeń. Wymagania topinamburu są niewielkie, nadaje się on do uprawy na gorszych stanowiskach.

Przedplonem dla topinamburu mogą być wszystkie rośliny uprawne. Na występujących w badanym gospodarstwie glebach bielcowych warstwa orna musi być głęboka na 25 cm. Topinambur może być uprawiany na tym samym stanowisku przez kilkanaście lat, pole przeznaczone pod jego uprawę wyłącza się więc z płodozmianu. Po orce, przed sadzeniem bulw należy uprawić glebę podobnie jak przy uprawie ziemniaka. Wykorzystuje się do tego brony, kultywatory czy też agregaty do upraw przedsięwziętych. Gleba przed sadzeniem powinna być dobrze spulchniona i wyrównana. Sadzenie bulw topinamburu można przeprowadzić jesienią od listopada do grudnia (przed nastaniem mrozów) lub na wiosnę od marca do kwietnia. Odporne na niskie temperatury bulwy ukorzeniają się i kiełkują przy temperaturze gleby 4–5°C. Zaletą jesiennych nasadzeń jest wcześniejsze rozpoczęcie wegetacji na wiosnę, zanim gleba obeschnie i nada się do mechanicznej uprawy. W porównaniu z wiosennymi nasadzeniami okres wegetacji bulw sadzonych jesienią jest dłuższy o 3 tygodnie, co wpływa korzystnie na plony.

Do sadzenia bulw topinamburu można stosować sadzarki do ziemniaków. Głębokość sadzenia wynosi 10–15 cm, optymalny rozstaw rzędów 75 cm, a odległość w rzędach około 30 cm. Zabiegi pielęgnacyjne na plantacji topinamburu to bronowanie po wschodach roślin oraz pielenie międzyrzędzi w połączeniu z obredlaniem. Rośliny szybko ocieniają glebę, co hamuje dalszy rozwój chwastów, po tym etapie dalsze zabiegi mechaniczne są niekonieczne.

Topinambur nawozi się podobnie jak ziemniaki. Ze względu na prowadzoną w gospodarstwie produkcję zwierzęcą, która dostarcza obornika, wskazane jest zastosowanie tego nawozu pod plantację topinamburu. Przy przeciętnych warunkach glebowych zalecane dawki nawozów NPK wynoszą odpowiednio na 1 ha: 80–120 kg N, 60–80 kg P_2O_5 i 120–160 kg K_2O . Nawożenie mineralne dobrze jest podzielić na dwa etapy, w pierwszym etapie przed sadzeniem stosuje się część dawki azotu oraz całą dawkę fosforu i potasu, w drugim etapie, gdy rośliny mają około 50 cm wysokości, stosuje się pozostałą dawkę azotu [Nalborczyk, 1996].

Chorobą najczęściej występującą na plantacjach topinamburu jest zgnilizna twardzikowa powodująca brunatne plamy i naloty na liściach w dolnych częściach łodyg. Wywołana jest przez grzyb i może prowadzić do zamierania w okresie wegetacyjnym silnie porażo-

nych roślin. Grzyb ten atakuje również bulwy powodując ich gnicie. Szczególnie szybko rozwija się w temperaturze ponad 10° C, przy składowaniu bulw w przyrmach lub workach. Zwalczanie choroby polega przede wszystkim na wysadzeniu tylko zdrowych bulw oraz stosowaniu oprysków po zauważeniu objawów choroby. Inne choroby pochodzenia grzybowego nie mają większego wpływu na plony topinamburu. Występowanie szkodników nie wpływa w znacznym stopniu na wysokość plonu topinamburu, toteż nie podejmuje się działań służących ich zwalczaniu.

Termin zbioru topinamburu uzależniony jest od tego, czy podstawowym plonem są bulwy, czy zielona masa. Wczesne koszenie zielonej masy wpływa ujemnie na plon bulw, więc jeśli podstawowym celem uprawy są bulwy (dla celów energetycznych np. do produkcji etanolu), koszenie części nadziemnych można przeprowadzić najwcześniej w październiku. Zbioru bulw można dokonać przed nastaniem przymrozków bądź wczesną wiosną. Wykorzystuje się do tego maszyny stosowane przy zbiorze ziemniaków: kopaczki elewatorowe i kombajny ziemniaczane. Odporne na mróz bulwy bardzo dobrze przechowują się pozostawione w glebie, w przechowalniach przysypuje się je ziemią w celu zabezpieczenia przed utratą wody.

Przy uprawie topinamburu na zieloną masę (dla celów energetycznych np. do produkcji biogazu) części nadziemne można kosić w dwóch lub trzech terminach: w czerwcu, sierpniu i listopadzie. Uzyskana w ten sposób masa jest stosunkowo wilgotna i mniej zdrewniała, nie nadaje się do bezpośredniego spalania. Technika zbioru części nadziemnych jest podobna jak kukurydzy na kiszonkę. Wykorzystuje się do tego najczęściej sieczkarnie samobieżne w zestawie z przyczepami. Do zbioru topinamburu w badanym gospodarstwie wykorzystać można jednorzędową przyczepianą sieczkarnię połową.

Jeśli topinambur uprawiamy w celu wykorzystania pozyskanej biomasy części nadziemnych do bezpośredniego spalania, zbioru łądyg z liśćmi dokonuje się jak najpóźniej. Części nadziemne zebrane dopiero w marcu mają stosunkowo niską wilgotność, a jest to ważna cecha przy tym kierunku wykorzystania topinamburu.

Dla zachowania ciągłości wieloletniej plantacji topinamburu konieczne jest jej coroczne odnawianie. W tym celu po wykopaniu bulw pole należy zaorać (ewentualnie przedtem nawieźć obornikiem), wysiać nawozy mineralne, zabronować, można też zebrać wyorane bulwy. Z resztek bulw zachowanych w glebie wyrasta łąn roślin o znacznym zagęszczeniu, który następnie należy przerzedzić. Wykonuje się to opielaczem międzyrzędowym zarówno wzdłuż, jak i w poprzek pola. Pozostałe zabiegi wiosenne wykonuje się tak jak w pierwszym roku; bronowanie po wschodach, pielenie międzyrzędzi, obredlanie, nawożenie azotowe. Wieloletnia plantacja topinamburu pozostawiona bez przerzedzania daje mniejsze plony i staje się nieefektywna [Nalborczyk, 1996].

Na ogromny potencjał produkcyjny topinamburu wskazują plony świeżej masy uzyskiwane w Polsce przekraczające 100 Mg z 1 ha, z czego plony bulw stanowią około 25 Mg.

Tabela 10. Potencjał energetyczny topinamburu [Piskier, 2004]

Rodzaj plonu	Wielkość plonu (t/ha)	Wykorzystanie plonu	Wielkość produkcji
zielonka (trzy pokosy)	100	produkcja biogazu	53500 m ³
słoma	50	spalanie	900 GJ
bulwy	25	etanol	2600 dm ³

Obecnie mało znany, topinambur był powszechnie uprawianą rośliną do końca XIX wieku. Znajdował zastosowanie w żywieniu człowieka, spożywano bulwy w postaci surowej, gotowanej i pieczonej, do czasów, gdy został wyparty przez ziemniaka. Ze względu na duży potencjał plonowania, niskie wymagania glebowe oraz niewielkie nakłady na uprawę topinambur może być rośliną konkurencyjną dla innych roślin przemysłowych i pastewnych.

Mający wysokie wartości odżywcze topinambur może być cennym wzbogaceniem jadłospisu człowieka. Wzrost spożycia nowych gatunków roślin takich jak topinambur pozwoli odwrócić niekorzystną tendencję zubożania różnorodności pokarmu spożywanego przez człowieka. Ze względu na bogaty zestaw wielocukrów, kwasów organicznych, witamin i innych związków wierzchołki młodych pędów kwiatowych, a nawet bulwy stanowią cenny surowiec zielarski, przydatny np. w leczeniu chorób przewodu pokarmowego.

Zarówno bulwy, jak i części nadziemne, topinamburu znajdują zastosowanie jako pasza dla bydła, owiec, trzody chlewnej, koni. Zielone części nadziemne można skarmić w postaci rozdrobnionej lub zakisić. Bulwy topinamburu w przeciwieństwie do ziemniaków nadają się do skarmiania w stanie surowym, bez konieczności parowania. Są również surowcem do produkcji pasz przetworzonych, kiszzonek.

Topinambur wysadzany na granicach lasów i pól uprawnych stanowi ochronę przed zwierzyną leśną, szczególnie przed dzikami.

Duże znaczenie ma wykorzystanie topinamburu do rekultywacji gruntów zdewastowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną. Rośliny te mają bowiem zdolność pochłaniania dużych ilości metali ciężkich ze skażonego podłoża. Biomasa pozyskana z terenów skażonych może być z powodzeniem wykorzystana w energetyce lub przemyśle, np. do produkcji papieru. Topinambur doskonale spełnia też funkcję naturalnej osłony wysypisk śmieci, tras komunikacyjnych czy hałd pokopalnianych.

Słonecznik bulwiasty znajduje szerokie zastosowanie w celach energetycznych. Topinambur jest jednym z gatunków nadających się do produkcji bioetanolu, obecnie osiągnięta wydajność z 1 ha upraw wynosi około 2610 dm³. Większą wydajność uzyskuje się

jednak z buraków cukrowych, kukurydzy i ziemniaków [Olejniczak, Adamska, 1996]. Dopiero odpowiedni dobór odmian, agrotechnika i technologia przetwarzania pozwoliłyby uzyskać wyższą wydajność produkcji alkoholu ze słonecznika bulwiastego.

Części nadziemne topinamburu po zeschnięciu mogą być bezpośrednio spalane w kotłach na biomasę bądź współspalanie z węglem. Mogą być również przetwarzane i stosowane do produkcji brykietów lub pelletu.

Najbardziej efektywnym energetycznie zastosowaniem topinamburu może być produkcja biogazu. Zawierające dużo węglowodanów bulwy i zielonka topinamburu są doskonałym surowcem do fermentacji metanowej. Niektóre źródła oceniają wydajność topinamburu do produkcji biometanu na czterokrotnie większą niż kukurydzy [Popczyk, 2008]. Potencjał energetyczny różnych form wykorzystania plonu topinamburu przedstawia tabela poniżej.

Łatwość i stosunkowo niski koszt założenia plantacji topinamburu, wszechstronne zastosowanie, duże zdolności adaptacyjne do warunków glebowych oraz wysoki potencjał plonowania stwarzają szansę na wzrost powierzchni upraw tego gatunku.

4.4. Ślazowiec pensylwański

Ślazowiec pensylwański pochodzi z południowych stanów Ameryki Północnej, gdzie w warunkach naturalnych występuje w wilgotnych stanowiskach. Jest przedstawicielem rodziny ślazowatych (Malvaceae), rodzaju *Sida*. *Sida Hermaphrodita* (L.) Rusby jest byliną, w kraju, z którego pochodzi (USA), jest nazywana Virginia-mallow, w Mołdawii, na Litwie i Ukrainie – *sida giermafroditna*, a także *sida mnogoletnia*, *sida bogatoriczna* lub po prostu *sida*.

Rodzaj *Sida* zawiera kilkaset gatunków roślin jednorocznych, wieloletnich i krzewów.

Różne gatunki rodzaju *Sida* można spotkać na pustynnych i półpustynnych obszarach Afryki, kontynentu australijskiego, na Wyspach Zielonego Przylądka.



Rys. 8. Ślazier pensylwański [http://ak-sida.de/onewebstatic/639ad855b7-DSC_0010.JPG]

W pierwszym roku system korzeniowy rozwija się wolno, lecz w następnych latach silnie się rozrasta. Jego głębokość zależy od sposobu rozmnażania. Rozmnażanie generatywne prowadzi do wykształcenia głębokiego (po kilku latach sięgającego głębokości 250–300 cm, palowego systemu korzeniowego), natomiast główna masa korzeni zalega w warstwie do 30–40 cm. Wegetatywne rozmnażanie spłyca zasięg korzeni, powodując horyzontalne, szersze jego rozmieszczenie.

W płaszczyźnie poziomej korzenie rozprzestrzeniają się na odległość 70–100 cm. Część korzeni bocznych rośnie poziomo tuż pod powierzchnią gleby i na nich, zwłaszcza w części przyłodygowej, tworzą się pączki wzrostowe, z których wiosną wyrastają nowe pędy. Roślina corocznie odrasta zwiększając liczbę łodyg od jednej w pierwszym roku do 20–30 w czwartym i następnych latach.

W roku zasiewu łodygi rosną wolno, co, niestety, sprzyja zachwaszczeniu plantacji. Są zielone lub z zabarwieniem antocyjanowym, okrągławe, o średnicy od 5 do 30 mm. W dojrzałych łodygach komórki miększu rdzeniowego mogą częściowo zanikać, pozostawiając niewielki pusty kanał, głównie w dolnej części łodygi.

Grubość pędów w dużym stopniu zależy od rozstawy roślin. Ich wysokość pod koniec okresu wegetacji może przekraczać nawet 400 cm.

Ślazier pensylwański ma liście dłoniastokłapowe (najczęściej 5–7 kłap) ogonkowo skrętolegle osadzone na łodydze. Pierwszy liść ma niewielką, prawie trójkątną blaszkę, o ząbkowanych brzegach. Blaszki następnych liści składają się z 5–7 kłap. Liście wykazują stosunkowo dużą zmienność głębokości wcięć, intensywności zabarwień, charakteru

powierzchni, omszenia i wielkości.

Gatunek ten jest dość polimorficzny pod względem wymienionych cech. Wymiary blaszki liściowej są zróżnicowane, mogą dochodzić do 30–36 cm szerokości, 24–28 cm długości, zaś długość ogonka osiąga 15–18 cm. Można wyodrębnić formy mniej ulistnione, tzw. łodygowe, bardziej przydatne do spalania i formy silniej ulistnione predestynowane do produkcji np. biogazu. Blaszki liściowe mogą mieć barwę od intensywnej ciemnozielonej przez jasnozieloną do seledynowej.

Tworzenie pączków kwiatowych rośliny rozpoczynają w pierwszej, drugiej dekadzie czerwca, a pojedyncze kwiaty mogą pojawić się już w końcu czerwca. Fazę pełni kwitnienia ślázowiec osiąga w II dekadzie lipca. Wierzchołek pędu kwiatowego zakończony jest kwiatostanem typu podbaldach. Kwiaty o średnicy 15–20 mm zbudowane są z 5 działek kielicha, 5 białych płatków korony, licznych pręcików (średnio 43) z żółtymi pylnikami i jednego słupka. U podstawy działek kielicha znajdują się nektarniki. Dość rzadko występują kwiaty z niebieskofioletowymi żyłkami na płatkach korony lub niebieskawymi pylnikami.

Jest to roślina owadopylna, która intensywnie kwitnie około 6–8 tygodni, począwszy od połowy lipca, a pojedyncze kwiaty pojawiają się aż do wystąpienia pierwszych jesiennych przymrozków. Kwitnienie jednego kwiatka trwa 3–4 dni.

Kwitnące rośliny są licznie oblatywane przez pszczoły, trzmiele i inne owady. Z tego względu ślázowiec stanowi dobry pożytek pszczeli.

W każdym wykształconym i dojrzałym owocu występuje średnio 5–8 nasion. Są one drobne, masa 1000 sztuk wynosi 3,0–4,2 g. Nasiona trudno się wymłócić, stąd też nie obserwuje się większych strat przez ich osypywanie. Zakończenie wegetacji ślázowca, które jest uwarunkowane od przebiegu pogody, następuje w październiku lub listopadzie, rzadko dochodzi do przerwania wegetacji w efekcie silniejszych wczesnojesiennych przymrozków. W zależności od wieku roślin i warunków agroekologicznych plon nasion waha się od 15 do 400 kg/ha. Siew jest najbardziej efektywny, gdy użyjemy nasion 0,5–2,5-letnich, gdyż zarówno nasiona młode, jak i starsze, mają obniżoną zdolność kiełkowania.

Rozmnażanie ślázowca może być generatywne (wysiew nasion) bądź wegetatywne: przez sadzonki z odcinków korzeni (równe liczbie łodyg z kawałkiem korzenia), a nawet przez sadzonki zielne, otrzymane z zielonych pędów nadziemnych.

Ślázowiec pensylwański nie ma specjalnych wymagań w stosunku do gleby i klimatu. Udaje się na wszystkich typach gleb, nawet na piaszczystych V klasy bonitacyjnej pod warunkiem ich dostatecznego uwilgotnienia. Mogą to być również tereny zdegradowane chemicznie, hałdy pokopalniane czy rekultywowane wysypiska komunalne, gdzie pełni rolę fitoremeriolacyjną.

Wymagania klimatyczne ślázowca pensylwańskiego są niewielkie. Większą wrażliwość na niską temperaturę rośliny przejawiają (w przypadku słabego ukorzenienia) tylko w roku założenia plantacji. W kolejnych latach odporność na mróz jest już bardzo wysoka. Odporność na niskie temperatury zimy wykazują rośliny co najmniej 4–6-miesięczne,

które wyrosły z nasion wiosną, zdążyły dostatecznie rozwinąć swój system korzeniowy w okresie wiosenno-letnim. Próby wysiewu nasion ślazuwca jesienią i latem nie powiodły się z powodu wymarzania młodych siewek.

Tabela 11. Potencjał techniczny uprawy ślazuwca pensylwańskiego w województwie podlaskim [na podstawie danych IUNG PIB]

Powiat	Mg	ha	GJ
augustowski	50 636	5 456	886 137
białostocki	23 602	2 435	413 043
bielski	21 970	2 388	384 470
grajewski	17 542	1 806	306 977
hajnowski	36 852	3 961	644 910
kolneński	43 950	4 820	769 133
łomżyński	22 796	2 547	398 938
moniecki	13 954	1 550	244 200
sejneński	29 181	3 150	510 661
siemiatycki	46 567	5 313	814 916
sokólski	52 842	6 097	924 740
suwalski	31 566	3 361	552 406
wysokomazowiecki	14 822	1 600	259 385
zambrowski	39 033	4 491	683 082

W naszych warunkach jego długowieczność w uprawie na nasiona określa się na 15-20 lat. W takim okresie nie stwierdzono wymarzania roślin w czasie ostrych zim lub wysychania w czasie upalnych i suchych lat, mimo że występowały różne układy temperatur i wielkości opadów. Roślina swoją odporność na suszę zawdzięcza głębokiemu systemowi korzeniowemu.

Nie bez znaczenia jest wpływ żyzności gleby na masę podziemną. Na glebach żyzniejszych roślina wytwarza dużą masę nadziemną, wyrastając do ponad 4m, na glebach uboższych przy niedostatku opadów wysokość i masa są znacznie niższe.

Uprawiając ślazowiec z zamiarem energetycznego wykorzystania masy łądługowej do celów energetycznych musimy wziąć pod uwagę, że użytkowanie plantacji będzie trwać 15-20 lat. Stąd szczególnie ważne jest odpowiednie przygotowanie pola przed założeniem plantacji.

Należy zapewnić równomierność wysiewu nasion, ich kiełkowania oraz wschodów roślin. Jako że młode rośliny ślazowca potrzebują do normalnego wzrostu dużo światła oraz są wrażliwe na zachwaszczenie, dlatego należy wybierać pola jak najbardziej odchwaszczone, o niezaskorupiającej się powierzchni.

Do tej pory nie opracowano jeszcze pewnych i skutecznych metod walki z chwastami za pomocą środków chemicznych, dlatego należy sukcesywnie odchwaszczać uprawę ślazowca w pierwszym roku. W kolejnych latach chwasty nie są tak groźne, gdyż ślazowiec rozwijając bogatą masę zieloną skutecznie zagłusza rośliny chwastów.

Wszystkie czynności mechaniczne powinny być wykonane w optymalnej wilgotności, aby dodatkowo nie przesuszać gleby lub nie zepsuć jej struktury.

Na przedplon nie mogą być stosowane rośliny zbyt wyczerpujące glebę ze składników pokarmowych, a w przypadku gleb lekkich przedplon powinien być uprawiany na oborniku.

W wieloletnich plantacjach ślazowca, gdzie rośliny przechodzą pełny cykl rozwojowy, może pojawić się zgnilizna twardzikowa – groźna choroba, powodująca obniżenie plonów biomasy. Zapobiegając porażeniu zgnilizną, należy wykluczyć z doboru przedplonu gatunki podatne na tę chorobę: słonecznik, tytoń, fasola, rośliny kapustne (krzyżowe). Fitosanitarnymi gatunkami w tym przypadku są rośliny z rodziny traw.

Właściwie uprawiona rola ułatwia dobry rozwój systemu korzeniowego, co potem wpływa na uzyskanie wysokich plonów przez wiele lat. Podstawowym zabiegiem, który należy wykonać, jest jesienna głęboka orka co najmniej do 25 cm. Spełnia ona też ważną rolę w zapobieganiu występowania zgnilizny twardzikowej.

Ślazowiec pensylwański można rozmnażać przez nasiona (generatywnie) i poprzez różne części rośliny (wegetatywnie). Najczęściej stosowany jest sposób generatywny.

Ślazowiec siejemy w rzędach o rozstawie 60-70 cm, po ogrzaniu się wierzchniej warstwy gleby do 8-10°C, co przypada zazwyczaj na ostatnią dekadę kwietnia. Jeśli mamy do czynienia z glebą dobrze uwilgotnioną, termin siewu można przesunąć na maj. Ze względu na niewielkie rozmiary nasion, głębokość, na jakiej się je umieszcza, nie powinna przekraczać 1-1,5 cm. W zależności od wielkości zakładanej plantacji można stosować siewniki ogrodowe lub zbożowe.

Wegetatywne rozmnażanie sprawdza się na mniejszych arealach. Pozwala ono na szybszy wzrost w roku sadzenia, rośliny lepiej chronione są przed zachwaszczeniem, a skuteczność ukorzenienia jest niemal 100%.

Sadzonki korzeniowe, w zależności od zwięzłości gleby, należy umieścić na głębokość 6–8 cm w pozycji poziomej. Z każdej sadzonki wyrasta jeden (rzadziej dwa) pęd, który jest znacznie masywniejszy niż z nasiona, wytwarza się silny system korzeniowy, ułożony horyzontalnie, rozprzestrzeniający się na odległość do 2 m.

Jeśli mamy do czynienia z korzystnymi warunkami siedliskowymi, sprzyjającymi intensywnemu wywarzaniu pędów, w kolejnych latach życia ślázowca za minimalną obsadę należy uznać 30 tys. roślin na 1 ha. Przy tym sposobie użytkowania można liczyć na sukcesywne (poczynając od trzeciego do piątego–szóstego roku życia) zagęszczenie łanu.

W przeciętnych warunkach optymalną obsadą jest 50–60 tys. roślin. Takie zagęszczenie roślin uzyskamy wysiewając 1,2–2,4 kg nasion na 1 ha.

Wysiewając nasiona na glebie zlewnej należy wziąć pod uwagę jej negatywny wpływ na połowę zdolność wschodów ślázowca, zaś na glebie lekkiej w wyniku bardzo częstych niedoborów wody możliwe jest wypadanie delikatnych siewek. Aby uzyskać obsadę 50 tys. roślin, rozsadę lub sadzonki korzeniowe wysadza się co 24–48 cm przy 70-cm rozstawie rzędów.

Przed założeniem plantacji można wysiać ok. 30 kg P_2O_5 i 40 kg K_2O na 1 ha, a po dobrym ukorzenieniu się roślin (czerwiec–lipiec) do 50 kg N na ha. Nawozów azotowych nie należy wysiewać w okresie długotrwałego braku opadów, gdyż mogą one zmniejszyć ilości dostępnej dla roślin wody (zjawisko suszy fizjologicznej). Nie można też stosować ich zbyt późno, by nie przedłużać nadmiernie rozwoju wegetatywnego roślin. Na glebie piaszczysto–gliniastej zasilenie roślin azotem w pierwszym roku może wpłynąć korzystnie na przeżywalność roślin oraz intensywność tworzenia pędów w drugim roku, co podniesie również plon biomasy.

Wysokość dawek nawozów mineralnych w kolejnych latach uzależnia się od zasobności gleby. Nawożenie fosforem stosuje się w ilości 80–120 kg P_2O_5 , potasem – 50–100 kg K_2O , zaś azotem – 100–170–200 kg N na 1 ha. Nawozy należy zastosować jak najwcześniej wiosną i wymieszać z glebą, jednocześnie spulchniając międzyrzędzia i niszczyć pierwsze, wschodzące chwasty. Nawozy azotowe dobrze jest podzielić na dwie dawki. Połowę wprowadza się razem z nawozami fosforowymi i potasowymi, drugą zaś część przed zwarciem rzędów. Ślázowiec pensylwański jest rośliną dobrze wykorzystującą wysokie dawki nawozów mineralnych, w tym azotowych. Wynika to z jego budowy – dość masywne pędy nie są narażone na silniejsze wyleganie. Uprawa ślázowca na glebach lekkich wiąże się z koniecznością wnoszenia co kilka lat substancji organicznej w formie obornika lub kompostu.

Ślázowiec może być zbierany po zakończeniu wegetacji od późnej jesieni i w okresie zimowym. Jeśli ślázowiec uprawiany jest na osadach ściekowych, do zbioru przystępuje się zimą po zmarznięciu podłoża.

Do zbioru roślin energetycznych używa się takiego samego sprzętu jak do zbioru słomy. To bardzo ważne ze względów ekonomicznych, gdyż sprzęt ten może być wykorzystywany wielosezonowo, a nie tylko latem. Przykładowy zestaw tworzą: kosiarka rotacyjna

z kondycjonerem, prasa wysokiego stopnia zgniotu, ładowacz samobieżny, ciągnik rolniczy, samochód z platformą lub ciągnik z przyczepą do transportu.

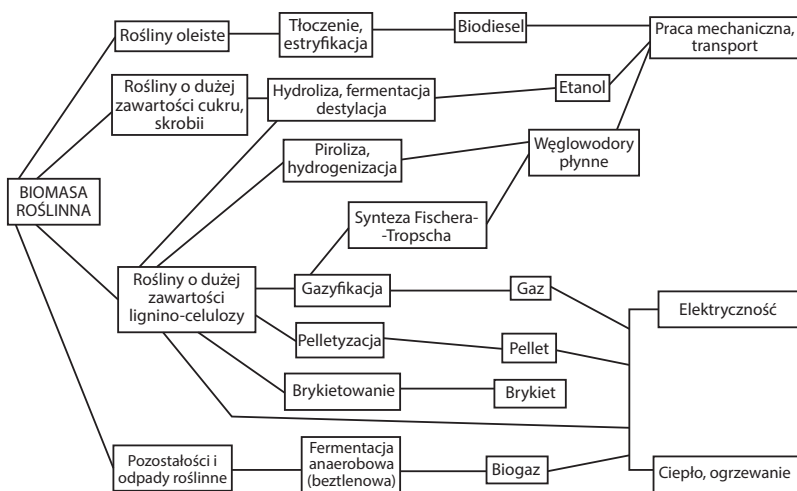
Po skoszeniu całego areálu łodygi są zbierane z pola i prasowane w baloty przez prasę wysokiego stopnia zgniotu.

Sprasowane baloty zbierane są z pola za pomocą ładowacza czołowego i układane na platformie samochodu bądź przyczepy.

Zbiór można dokonać również sieczkarnią polową, którą stosuje się zwykle do zbioru kukurydzy.

5. Technologie bioenergetyczne

Pochodzenie biomasy może być więc różnorodne, poczynając od polowej produkcji roślinnej, przez odpady występujące w rolnictwie, gospodarstwach domowych, przemyśle rolno-spożywczym w gospodarce komunalnej, w leśnictwie, przemyśle drzewnym i celulozowo-papierniczym. Znaczna część tych produktów może być wykorzystana w energetyce jako biopaliwa, czyli źródła energii otrzymane z biodegradowalnych frakcji produktów i pozostałości z rolnictwa, leśnictwa i pokrewnych przemysłów. Możliwe metody przetwarzania i wykorzystania biomasy roślinnej przedstawia poniższy schemat.



Rys. 9. Schemat możliwości wykorzystania surowców roślinnych na cele energetyczne [na podstawie danych z U.S. Department of Energy: Energy Efficiency and Renewable Energy, www.eere.energy.gov]

Biomasa może mieć zastosowanie w energetyce w procesach bezpośredniego spalania biopaliw stałych, takich jak drewno, słoma, zrębki.

Jednak wiele form biomasy zawiera zbyt dużo wody, by ich spalanie czy gazyfikacja były opłacalne. Ich wykorzystanie może być efektywne dzięki procesom biochemicznym takim jak np. fermentacja alkoholowa lub metanowa.

5.1. Konwersja termiczna

Spalanie w dużym uproszczeniu zdefiniować można jako szybkie utlenianie paliw, podczas którego powstają duże ilości ciepła. Spalanie jest procesem towarzyszącym człowiekowi od tysięcy lat. Obecnie jest ono najpopularniejszą technologią wykorzystującą biomasę do produkcji ciepła oraz energii elektrycznej.

Spalanie drewna

Drewno energetyczne jest pojęciem, które obejmuje wszelkiego rodzaju biopaliwa uzyskiwane pośrednio i bezpośrednio z roślin drzewiastych oraz ściętych drzew. Pod względem pochodzenia drewno możemy podzielić na:

- drewno leśne – czyli biomasa z odpadów po wycince, produkty i odpady uboczne przemysłu leśnego (np. kora, wióry, trociny),
- drewno z odzysku – czyli drewno wcześniej używane (np. opakowania, stare meble).

Ze względu na dużą wilgotność drewna proces jego spalania można podzielić na następujące fazy:

- nagrzewanie oraz suszenie,
- rozkład termiczny,
- spalanie produktów powstałych podczas rozkładu termicznego i
- spalanie pozostałości koksowej.

Termiczny rozkład drewna rozpoczyna się w temperaturze 220°C, natomiast jego poszczególne składniki charakteryzują się temperaturami: hemiceluloza 220–320°C, celuloza 320–370°C, lignina 320–500°C. Istotny wpływ na rodzaj produktów termicznego rozkładu drewna mają temperatura oraz dopływ tlenu. Duża ilość tlenu oraz wysoka temperatura powodują szybsze wydzielanie części lotnych. W przypadku niedotlenienia oraz niskiej temperatury powstaje więcej karbonizatu. Do spalania drewna stosowanych jest wiele rodzajów palenisk. Różnią się między sobą głównie mocą cieplną oraz rodzajem spalanego drewna (tzn. jego postaci). Pod względem organizacji procesu spalania można wyróżnić trzy typy palenisk:

- fluidalne,
- rusztowe (przesuwane oraz stałe),
- cyklonowe.

Przeznaczeniem palenisk fluidalnych z cyrkulującym lub stałym złożem jest głównie spalanie odpadów drzewnych z przemysłu. Tego rodzaju kotły osiągają moc nawet ponad 200 Mg pary/h. Kocioł fluidalny jest przystosowany do spalania biomasy o dużej wilgotności (nawet do 60%), natomiast nie sprawdza się przy spalaniu mocno rozdrobnionego drewna, co spowodowane jest bardzo szybkim wynoszeniem z paleniska lekkich cząstek drewna.

W tym przypadku najlepiej sprawdzającym się rodzajem paleniska jest palenisko cyklo-nowe zapewniające małą emisję CO_2 oraz odpowiednie wypalenie cząstek drewna. Tego rodzaju palenisko często znajduje zastosowanie jako stanowisko dopalające (w przypadku kotłów fluidalnych) oraz jako przedpalenisko (w przypadku kotłów rusztowych).

Spalanie słomy

Słoma jest produktem ubocznym przy produkcji ziarna zbóż, który stanowi 33% zasobów biomasy. W przeciwieństwie do drewna słoma nie jest efektywnym źródłem otrzymywania ciepła w zwykłych domowych piecach. Spowodowane jest to niską sprawnością cieplną (nie więcej niż 30–35%) oraz dużą emisją do atmosfery pyłów, tlenków węgla oraz szkodliwych substancji organicznych. Słoma jest paliwem dość trudnym do spalenia ze względu na jej wysoką różnorodność (głównie pod względem wilgoci i substancji mineralnych).

Przy spalaniu słomy wyróżnić można następujące fazy:

- zmniejszenie wilgotności dostarczonej słomy (odparowanie wody),
- gazyfikacja słomy, podczas której powstaje metan, wyższe węglowodory, wodor oraz tlenek węgla,
- spalanie gazów, w trakcie spalenia całkowitego (przy odpowiednim dostępie tlenu) powstają woda i dwutlenek węgla, natomiast przy niedoborze tlenu powstaje sadza, tlenek węgla oraz smoła,
- spalanie węgla, przy całkowitym spalaniu ostatecznym produktem jest CO_2 , natomiast przy niedoborze tlenu także CO. Podczas spalania całkowitego produktem jest również popiół zawierający niespalone związki materii organicznej.

Ciepło, które zostaje wytworzone podczas procesu spalania, w dużej części pochłaniane jest poprzez płaszcz wodny kotła oraz część ciepła tracona jest poprzez unoszące się spaliny. Popiół ze spalania znacząco utrudnia utrzymywanie ognia w kotle. Przy spalaniu niektórych gatunków słomy część popiołu topi się w temperaturze 600°C. W procesie tym komora spalania oraz płomieniówka oklejają się masą smołową, która podczas termicznego utwardzenia wytwarza nieprzepuszczalną dla ciepła, szklaną materię, co utrudnia ciepłu przenikanie do płaszcza wodnego. Kotły można podzielić na trzy rodzaje:

- do spalania słomy rozdrobnionej,
- do spalania całych bel (wsadowe),
- do „cygarowego” spalania bel słomy.

Współspalanie węgla z biomasą

Biomasa może być spalana w dwojaki sposób: samodzielnie lub jako dodatek do innych paliw. Współspalanie ma jednak dużo cech, które czynią je bardziej efektywnym procesem niż samo spalanie biomasy. Pozwala ono zapewnić większą sprawność energetyczną, niższe koszty kapitałowe i eksploatacyjne, większą elastyczność paliwową oraz zmniejszenie ryzyka niepowodzenia technicznego. Dodatkową zaletą współspalania jest pozytywne oddziaływanie na siebie biomasy oraz węgla, co prowadzi do zmniejszenia emisji CO_2 oraz siarki zarówno w spalinach, jak i w paliwie [Rybak, 2006].

5.2. Biogaz

Fermentacja metanowa – to biologiczny proces rozkładu biomasy (głównie białka, tłuszczów i węglowodanów) do alkoholi, niższych kwasów organicznych i w dalszej kolejności do metanu, wody i dwutlenku węgla. Głównymi składnikami biogazu powstałego w wyniku tej fermentacji są metan i dwutlenek węgla. Pozostałe produkty gazowe: amoniak, siarkowodór, azot, tlen, tlenek węgla i wodór stanowią niewielką ilość. Powstają również produkty stałe: nierozkładalne osady i biomasa bakteryjna. Fermentacja odgrywa duże znaczenie w zagospodarowaniu odpadów przetwórstwa spożywczego, odchodów zwierzęcych, odpadów komunalnych oraz osadów wytrączanych w oczyszczalniach ścieków [Gradziuk, 2003].

Obecnie wiedza z zakresu produkcji biogazu jest obszerna, a wykorzystywane technologie są zaawansowane technicznie. Odpowiedni dobór urządzeń oraz rozwiązań technologicznych opartych na wiedzy eksperckiej i optymalnym wyborze pozwala na uzyskanie systemów produkcji biogazu charakteryzujących się niskim poziomem emisji i wysokim stopniem bezpieczeństwa procesowego. Obecnie realizowane prace badawcze i rozwojowe nad technologiami otrzymywania biogazu ukierunkowane są nie tylko na zwiększenie efektywności wykorzystania substratów celowo uprawianych, lecz również na wykorzystanie w bardziej wydajny sposób substratów stanowiących odpad z produkcji rolniczej i przetwórstwa rolno-spożywczego.

Biogaz jest paliwem gazowym wytwarzanym przez mikroorganizmy w warunkach beztlenowych z materii organicznej. W wyniku fermentacji beztlenowej do 60% substancji organicznej przekształca się w biogaz, który składa się głównie z metanu i dwutlenku węgla.

Ze względu na sposób pozyskiwania wyróżnia się:

- biogaz wysypiskowy,
- biogaz z osadów ściekowych,
- biogaz z biogazowni rolniczych.

Biogaz wysypiskowy

W wyniku procesów biochemicznych zachodzących na składowisku odpadów następuje przemiana materii organicznej, w wyniku której powstaje gaz składowiskowy. Jest on mieszaniną metanu, dwutlenku węgla oraz azotu. Jednak skład gazu składowiskowego ulega szerokim zmianom względem czasu. Zmiany następują zarówno podczas eksploatacji składowiska, jak i po zakończeniu deponowania odpadów i przeprowadzeniu rekultywacji. Czynnikiem, który decyduje o potencjale wykorzystania biogazu na cele energetyczne, jest jego skład oraz intensywność jego produkcji [Dudek i inni, 2010].

Objętościowy skład typowego gazu składowiskowego stanowi:

- 45-65% metanu,
- 34-45% dwutlenku węgla,

- niewielkie ilości wodoru, azotu, tlenu i śladowe ilości różnych związków organicznych (odpowiadają za specyficzny zapach na składowisku).

Wartość energetyczna wynosi około 16–23 MJ/m³, teoretyczna produkcja gazu składowiskowego wynosi ok. 400–800 m³ na tonę odpadów. Intensywna fermentacja trwa ok. 15–25 lat, jednak specyficzny zapach składowiska utrzymuje się znacznie dłużej [Lewandowski, 2001].

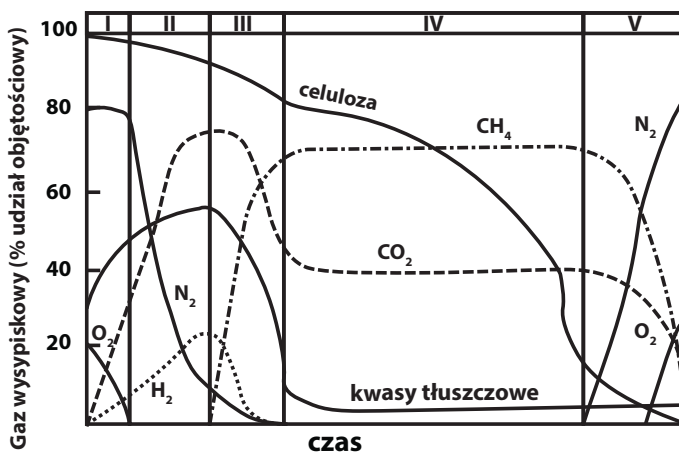
Mechanizm powstawania gazu wysypiskowego

Za powstawanie gazu składowiskowego odpowiedzialna jest biomasa zdeponowana na składowiskach odpadów. Jest to niewykorzystana przez człowieka substancja organiczna. Można tu porównać pojęcie substancja organiczna i „biomasa”. Podstawowa różnica między tymi dwoma pojęciami jest taka, że biomasa powstaje w sposób naturalny, a substancja organiczna może powstawać na drodze syntezy chemicznej. Niemniej jednak nie jest powiedziane, że nie ze „sztucznej” substancji chemicznej nie powstaje biogaz. Jednak te substancje wytworzone na drodze przemysłowej syntezy chemicznej będą rozkładać się dużo dłużej.

Poprzez proces fermentacji metanowej przy udziale bakterii metanogennych do 60% substancji organicznej zamienianej jest w biogaz, który składa się głównie z metanu i dwutlenku węgla w następujących proporcjach: 55–70% metanu, 32–37% dwutlenku węgla, 0,2–0,4 azotu oraz 6g/100m³ H₂S przed procesem odsiarczania i 0,01g/100m³ po wykonaniu tego procesu. Najbardziej optymalna temperatura dla bakterii termofilnych to 50–60°C i 30–35°C dla bakterii mezofilnych [Tytko, 2009].

Schemat rozkładu substancji organicznej składa się z 5 faz:

- faza I: rozkład tlenowy; czas trwania: 7–30 dni,
- faza II: fermentacja kwasowa; czas trwania: 1–6 miesięcy,
- faza III: niestabilna metanogeneza; czas trwania: 3–36 miesięcy,
- faza IV: stabilna metanogeneza; czas trwania: 5–50 lat,
- faza V: wygaszenie rozkładu; czas trwania: 10–40 lat [Dudek i inni, 2010].



Rys. 10. Zmiana składu gazu w zależności od wieku składowiska [www.ekowat.pl]

Biogaz z osadów ściekowych

Osady ściekowe powstają w wyniku oczyszczania ścieków. Zarówno rodzaj ścieków, jak i technologia stosowana na oczyszczalni ścieków, mają wpływ na właściwości fizykochemiczne osadów ściekowych.

Osady, które powstają w oczyszczalniach komunalnych, wykazują tendencję do gnicia, przez co wydziela się nieprzyjemny i uciążliwy zapach. Charakteryzuje je również wysoka zawartość wody, co utrudnia ich przerób i zagospodarowanie.

Osady ściekowe powstające w przemysłowo-komunalnych oczyszczalniach ścieków, ze względu na skład, wykazują mniejszą tendencję do zagniwania. Osady te mają również mniejsze uwodnienie. W przeciwieństwie do osadów z oczyszczalni komunalnych ich skład będzie zależny od rodzaju przemysłu. Skład osadów z oczyszczalni przemysłowo-komunalnych charakteryzuje podwyższona ilość metali ciężkich i składników toksycznych.

Jako że osady ściekowe składają się w ponad 70% z substancji organicznych, w wyniku fermentacji można z nich odzyskać i wykorzystać energetycznie gaz.

Mechanizm powstawania gazu z osadów ściekowych

Fermentacja metanowa jest jedną z podstawowych metod przeróbki osadów ściekowych. Polega ona na biochemicznym rozkładzie substancji organicznych zawartych w osadach ściekowych przy udziale bakterii beztlenowych. W wyniku fermentacji beztlenowej w komorach, które są dobrze wypracowane, powstaje:

- gaz fermentacyjny składający się z ok. 70% metanu i 30% dwutlenku węgla,
- ciecz osadowa, która zawiera amoniak,
- osad przefermentowany zawierający siarczki.

Skład gazu fermentacyjnego stale ulega zmianie i jest zależny od substancji, które ulegają rozkładowi. Jego skład w optymalnych warunkach wynosi 60-70% metanu, 29-39% dwutlenku węgla oraz 0,1-0,7% siarkowodoru.

Fermentacja metanowa osadów ściekowych jest procesem składającym się z następujących faz:

- hydroliza,
- faza kwaśna,
- faza octanogenna,
- faza metanowa [Pierścienia, Bartkiewicz, 2011; Wilk, 2009].

Biogaz z biogazowni rolniczych

Gaz z biogazowni rolniczych ma podobny skład do gazu składowiskowego czy gazu z osadów ściekowych. Powstaje również w wyniku fermentacji beztlenowej substancji organicznej zawartej w biomacie. Jego skład jest zależny od rodzaju biomasy i waha się od 40 do 85% metanu i od 30 do 55% dwutlenku węgla oraz mieszaniny innych gazów [Ginalski, 2010].

Mechanizm powstawania gazu z biogazowni rolniczych

Do produkcji biogazu można wykorzystać materiał organiczny pochodzenia rolniczego, m.in. odchody zwierząt, odpady z hodowli roślin, ścinki trawy oraz odpady ogrodnicze i resztki jedzenia. Głównym substratem wykorzystywanym do produkcji biogazu rolniczego jest gnojowica, czyli mieszanina kału i moczu zwierząt oraz wody [Osiak, 2011].

W wyniku fermentacji powstaje biogaz oraz pozostałość po przefermentowanej gnojowicy, która idealnie sprawdza się jako nawóz. Podobnie jak przy powstawaniu gazu z osadów ściekowych fermentacja metanowa składa się z 4 faz.

W poniższej tabeli zestawiono wykaz surowców oraz ich ilości wykorzystanych w latach 2011-2013 do produkcji biogazu rolniczego w Polsce.

Tabela 12. Wykaz głównych surowców wykorzystywanych do produkcji biogazu rolniczego w latach 2011-2013 (w Mg)

Lp.	Surowiec	2011 r.	2012 r.	2013 r.
1.	gnojowica	265 960,79	349 173,12	455 583,14
2.	wywar pogorzelniany	30 465,11	146 607,49	354 877,00
3.	kiszonka z kukurydzy	108 876,14	241 590,19	287 470,52
4.	pozostałości warzyw i owoców	10 984,35	86 109,22	268 599,14

5.	wystódki	6 922,45	37 081,80	101 660,99
6.	obornik	11 640,53	23 502,98	30 778,09
....	pozostałe	34 566,69	33 056,76	75 210,39
łącznie		469 416,06	917 121,56	1 574 179,27

Źródło: www.arr.gov.pl

W 2013 roku gnojowica, kiszonka z kukurydzy, wywar z gorzelnii, a także pozostałości z produkcji i przetwórstwa warzyw i owoców stanowiły 86% w ujęciu wagowym wszystkich substratów wykorzystywanych do produkcji biogazu.

W tabeli poniżej przedstawiono ilość energii elektrycznej i ciepła wyprodukowanego z biogazu rolniczego w poszczególnych latach.

Tabela 13. Produkcja biogazu rolniczego, energii elektrycznej i ciepła z biogazu rolniczego w latach 2011-2013

Lata	Ilość wytworzonego biogazu rolniczego	Ilość energii elektrycznej wytworzonej z biogazu rolniczego	Ilość ciepła wytworzonego z biogazu rolniczego
	[w mln m ³]	[w GWh]	[w GWh]
2011	36,65	73,43	82,63
2012	73,15	141,8	160,13
2013	112,38	227,88	249,06

Źródło: www.arr.gov.pl

W latach 2011-2013 widoczna jest duża dynamika produkcji biogazu oraz energii elektrycznej i ciepła.

Produkcja biogazu rolniczego uznawana jest przez wielu specjalistów za jeden z najbardziej przyszłościowych kierunków energetycznego wykorzystania biomasy. Ustawa o OZE zakłada stworzenie szczegółowej listy substratów, które mogą być użyte do wytwarzania biogazu rolniczego lub wytwarzania energii elektrycznej, ciepła bądź chłodu z biogazu rolniczego.

5.3. Biopaliwa ciekłe

Zgodnie z definicją zawartą w dyrektywie unijnej (2009/28/CE), biopaliwa oznaczają ciekłe lub gazowe paliwa dla transportu, produkowane z biomasy. Natomiast Ustawa o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (art. 2 ust. 1 pkt 11) określa biopaliwa ciekłe jako:

- benzyny silnikowe zawierające powyżej 5,0% objętościowo biokomponentów lub powyżej 15,0% objętościowo eterów, o których mowa w pkt 4,
- olej napędowy zawierający powyżej 7% objętościowo biokomponentów,
- ester, bioetanol, biometanol, dimetyloeter oraz czysty olej roślinny – stanowiące samoistne paliwa,
- biogaz – gaz pozyskany z biomasy,
- biowodór – wodór pozyskiwany z biomasy,
- biopaliwa syntetyczne – syntetyczne węglowodory lub mieszanki syntetycznych węglowodórów, wytwarzane z biomasy, stanowiące samoistne paliwa.

Przez biopaliwa ciekłe rozumie się także biopaliwa produkowane z biomasy i stanowiące samoistne paliwa inne niż wymienione w ust. 1 pkt 11.

Alternatywą wobec tradycyjnych paliw używanych w krajowym transporcie stanowią biopaliwa [Osiak, Kupczyk, 2013]. W Polsce głównie wykorzystuje się biodiesel ze względu na dużą jego konsumpcję. W 2013 konsumpcja oleju napędowego wyniosła 13,4 mln m³, a benzyn silnikowych 4,9 mln m³.

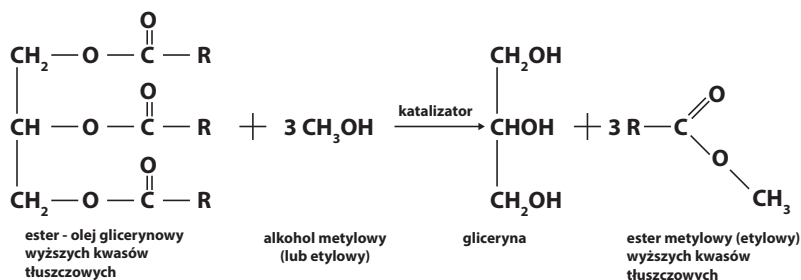
Biodiesel

Transestryfikacja jest procesem biochemicznym mającym duże znaczenie przy produkcji estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych (dalej biodiesel). W wyniku tej reakcji powstaje produkt docelowy – ester biodiesel oraz gliceryna.

Rzepak jest najbardziej przydatną rośliną oleistą do wytwarzania biodiesla w naszych warunkach klimatycznych ze względu na skład fizyczno-chemiczny. Zawartość oleju w rzepaku wynosi około 40 do 45%. Istnieją dwie główne technologie produkcji oleju rzepakowego: zdecentralizowana produkcja oleju oparta na tłoczeniu na zimno stosowana w małych instalacjach, np. w małych tłoczniach lub na skalę przemysłową w większych instalacjach oparta na połączonych procesach tłoczenia i ekstrakcji oleju z makuch.

Przy produkcji wysokiej jakości biodiesla proces transestryfikacji olejów pochodzenia roślinnego wymaga dodania alkoholu i katalizatora.

Proces produkcji biodiesla w skrócie przebiega w sposób następujący:



Istnieją dwie podstawowe metody produkcji biodiesla. Pierwsza to tak zwana metoda „na zimno”, w której proces otrzymywania biopaliwa przeprowadza się w temperaturze 20–70°C, przy ciśnieniu atmosferycznym z wykorzystaniem katalizatorów alkaicznych. System produkcji biodiesla z wykorzystaniem tej metody jest możliwy do przeprowadzenia zarówno w małych rafineriach przy gospodarstwach domowych, jak i w dużych zakładach przetwórczych.

Druga metoda to metoda „na gorąco”, w której proces odbywa się w temperaturze 240°C i przy ciśnieniu 10 MPa. W tej metodzie wymagana jest duża ilość metanolu oraz dostępu do taniego ciepła technologicznego.

Bioetanol

Fermentacja alkoholowa to proces rozkładu węglowodanów pod wpływem enzymów produkowanych przez drożdże. Zachodzi w warunkach beztlenowych po dodaniu drożdży do surowców takich jak zboża, owoce, buraki cukrowe, trzcina cukrowa i inne. Powstający w czasie fermentacji alkohol jest następnie odwadniany do postaci czystego bioetanolu. Jako paliwo transportowe może być stosowany w czystej postaci (tzw. E100) lub może też być jako biokomponent zmieszany z benzynami [Klepacka i inni, 2013].

Obecnie do produkcji alkoholu etylowego wykorzystywane są następujące technologie:

- klasyczna – ciśnieniowa metoda zacierania na ciepło dominująca w małych polskich gorzelniach rolniczych,
- bezciśnieniowa, opracowana przez Instytut Biotechnologii Przetwórstwa Rolno-Spożywczego w Warszawie charakteryzująca się znacznie niższymi nakładami energetycznymi w porównaniu do ww. metody.

Alkohol etylowy otrzymywany w gorzelniach nie jest produktem finalnym dla potrzeb biopaliwowych. Należy go odwozić do zawartości wody nieprzekraczającej 0,02% [Klepacka, 2013].

Aktualnie stosowane są trzy sposoby odwadniania alkoholu etylowego:

- Destylacja azeotropowa z cykloheksanem. W procesie destylacji mieszaniny

etanol – woda – cykloheksan zbierana jest zawieszina trójskładnikowa do momentu aż cała woda zostanie usunięta. Proces powtarzany jest dla mieszaniny dwuskładnikowej etanol–cykloheksan tak długo aż w naczyniu destylacyjnym nie pozostanie bezwodny alkohol. Czynnikiem odwadniający – cykloheksan – należy poddawać regeneracji po określonym czasie użytkowania. Dlatego też jakość otrzymywanego alkoholu bezwodnego zmienia się w zależności od czasu eksploatacji cykloheksanu (okresowy wzrost wody w odwadnianym etanolu).

- Osuszanie na sitach molekularnych (MS). Sita molekularne zbudowane są z zeolitów, czyli minerałów krzemianowych i glikorzemianowych. Krystaliczna sieć przestrzenna, utworzona przez stykające się narożnikami tetraedry (czworosćiany) SiO_4 , charakteryzuje się dość dużymi, regularnymi przestrzeniami. Rozmiary wolnych luk są wystarczające, aby pomieścić cząsteczki wody. Cząsteczki wody znajdujące się w sieci zeolitu mogą być oddawane i pochłaniane przez sieć krystaliczną, nie wpływając na stan szkieletu krzemianowego. W metodzie MS należy regenerować czynnik odwadniający – sita molekularne, aby zapewnić ciągłość produkcji przy zachowaniu jakości produktu końcowego.
- Perwaporacja membranowa (PV) polega na rozdzieleniu cieczy podczas transportu przez nieporowate membrany polimerowe. Zaletą tej metody jest niezależność równowagi ciecz – para, dlatego proces ten wykorzystywany jest do separacji cieczy tworzących z wodą azeotropy (bioetanol).

6. Logistyka

Logistyka biomasy powinna zawierać szereg procesów współdziałających ze sobą od momentu powstania idei jej wykorzystania na cele energetyczne poprzez proces przygotowania projektu inwestycyjnego aż po okres realizacji i funkcjonowania. Efektem finalnym działania logistycznego jest zapewnienie stabilnej bazy surowcowej podmiotom zajmującym się wywarzeniem energii z biomasy.

Biomasa jako paliwo energetyczne jest silnie zróżnicowana pod względem m.in. stanu skupienia, ciężaru właściwego, wartości opałowej i wilgotności. W większości przypadków biomasa cechuje się dużą objętością i wilgotnością w porównaniu do paliw kopalnych. A w wielu przypadkach pozyskanie biomasy jest utrudnione ze względu na rozproszony charakter jej dostępności. Z tych względów wymaga dużych nakładów na zbiór, transport, magazynowanie i przetwarzanie. Zatem należy opracować sprawny system logistyczny celem maksymalnego ograniczenia kosztów transportu i dalszego przetworzenia. Każdy rodzaj biomasy wymaga innego procesu logistycznego i rodzi inne problemy związane ze zbiorem, przetwarzaniem, magazynowaniem czy dostawą. Z innymi barierami ma się do czynienia w przypadku przetwarzania biomasy stałej, a z innymi w przypadku biopaliw płynnych czy produkcji biogazu. Utrudnienia te wynikają z różnorodności surowców przetwarzanych na produkty energetyczne. Bez względu na rodzaj biomasy, odległości od źródeł pozyskania surowców, lokalizacji miejsc produkcji energii czy też innych uwarunkowań trzeba liczyć się z wystąpieniem tzw. luki czasowo-przestrzennej. Istnienie takiej luki wymaga usprawnienia procesów logistycznych polegających na dostarczeniu biomasy o odpowiednich parametrach, we właściwej ilości, właściwym stanie, właściwym miejscu, właściwym czasie, dla właściwego klienta, po właściwym koszcie.

Typowy łańcuch dostaw biomasy składa się z kilku odrębnych procesów. Procesy te mogą obejmować następujące działania: przygotowanie pola, sadzenie/sianie, uprawy agrotechniczne, zbiór, transport z pola/lasu, przechowywanie, transport i wykorzystanie paliwa w obiekcie energetycznym.

Biorąc pod uwagę typowe lokalizacje źródeł biomasy (np. w gospodarstwach rolnych lub w lesie) należy wykorzystać infrastrukturę drogową i transport drogowy. Kolejnym czynnikiem takiego rozwiązania są stosunkowo małe odległości, na które paliwo jest transportowane. Ponadto transport drogowy zapewnia większą elastyczność w porównaniu z innymi środkami.

Realizacja dostaw biomasy z punktu produkcji do elektrowni wymaga podjęcia następujących działań:

- pozyskania (biomasy z pola lub lasu),
- przeładunku i transportu do miejsca, gdzie można zastosować transport drogowy,
- magazynowania – wiele rodzajów biomasy charakteryzuje się sezonową do-

stępnością, ponieważ są one zbierane o określonej porze roku, ale są wykorzystywane na cele energetyczne przez cały rok, dlatego jest konieczne ich przechowywanie. Punkty składowania (magazyny) mogą być zlokalizowane w gospodarstwie rolnym, w lesie, na wydzielonym do tego celu miejscu lub na terenie obiektu energetycznego,

- przetwarzania biomasy w celu poprawy jego efektywności obsługi i ilości, które mogą być transportowane. Może to oznaczać zwiększenie gęstości biomasy. Przetwarzanie może wystąpić na każdym etapie łańcucha dostaw, ale powinno być realizowane już na etapie zbioru i magazynowania przed transportem do obiektu energetycznego.

6.1. Model pozyskania biomasy na cele energetyczne

Różnorodność potencjalnych źródeł pozyskania biomasy stałej wymaga przeprowadzania szczegółowych analiz oddzielnie dla każdego rodzaju biomasy. Z tego względu, że każda z nich ma specyficzne uwarunkowania, które w istotny sposób mogą wpływać na dostępność biomasy w regionie działania obiektu energetycznego [Osiak, Skudlarski, Izdebski, 2009c]. Ponadto biomasa w zależności od źródła pochodzenia ma odmienne właściwości fizykochemiczne, mechaniczne oraz cechuje się różnymi nakładami energetycznymi, które należy ponieść w całym systemie logistycznym.

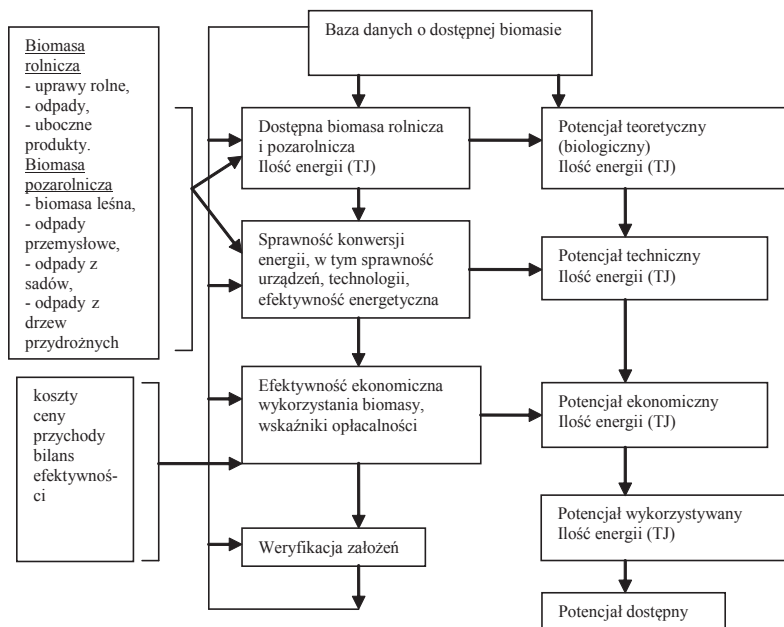
System logistyczny dostaw biomasy zaprojektowany powinien być indywidualnie dla poszczególnych rozwiązań czy to na poziomie gmin, czy ich związków. Modele logistyczne budowane powinny być na podstawie rekomendowanych systemów zaopatrzenia w biomasę dla poszczególnych obiektów energetycznych.

Pozyskiwanie biomasy wymaga wykonania wielu czynności, które można uszeregować w sekwencji logiczno-czasowej. Wybór systemu logistycznego dostaw biomasy do obiektu energetycznego zależy od wielu czynników, m.in.:

- rodzaju biomasy,
- cech fizyczno-chemicznych i mechanicznych biomasy,
- dostępności danego surowca,
- liczby dostawców danego typu biomasy,
- możliwości technicznych transportu,
- możliwości magazynowania,
- możliwości obróbki wstępnej przed procesem konwersji,
- uwarunkowań ekonomicznych, prawnych, ochrony środowiska itp.

Mając na uwadze, że uwarunkowania prawne stymulują wykorzystanie biomasy pochodzącej z rolnictwa na cele energetyczne należy poświęcić temu zagadnieniu szczególną uwagę. Duża liczba małych gospodarstw rolnych (średnia powierzchnia gospodarstwa to ok. 12 ha w województwie podlaskim – stan na 2014 r.) nie wpływa korzystnie na zawieranie kontraktów na dostawy biomasy. Dlatego też przy projektowaniu systemu lo-

gistycznego powinny zostać opracowane modele, w których uwzględną się istniejące już na rynku przedsiębiorstwa skupujące oraz przetwarzające biomasę. Przy budowie systemów powinno się uwzględnić wymagania w zakresie magazynowania i transportowania nieprzetworzonej biomasy pochodzącej z rolnictwa, przemysłu rolno-spożywczego, z lasów i przedsiębiorstw sektora drzewnego. Tego typu biomasa charakteryzuje się małą gęstością nasypową, dlatego też transport biomasy i magazynowanie sprawiają wiele trudności organizacyjno-technicznych i cechują się dużymi nakładami w odniesieniu do wartości energetycznej pozyskanego surowca. Kolejnym czynnikiem wpływającym na system logistyczny jest jakość biomasy i jej ilość, która jest uwarunkowana od technologii spalania paliwa w poszczególnych obiektach energetycznych. Potencjał biomasy można określić postępując zgodnie ze schematem zamieszczonym poniżej.



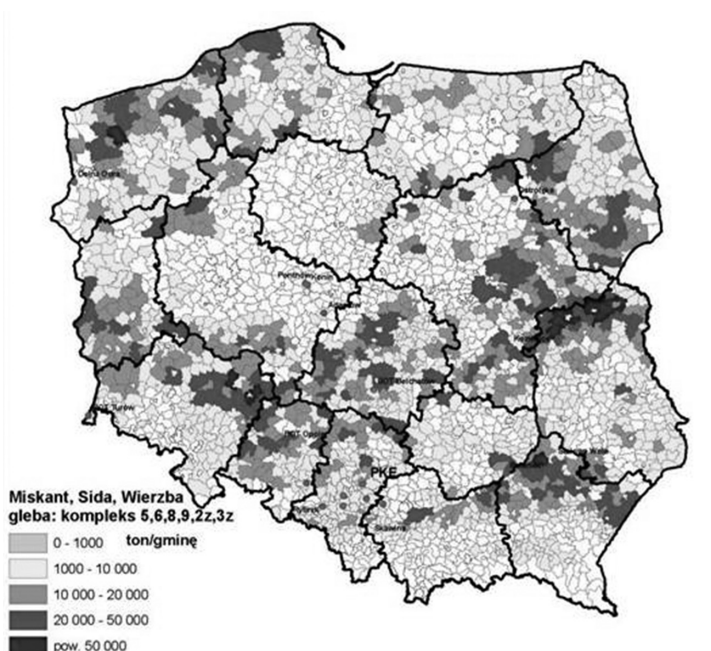
Rys. 11. Schemat wyznaczania potencjału energetycznego [Jasiulewicz, 2010]

Określenie dostępności biomasy na lokalnym rynku wymaga opracowania modelu zbierania i przetwarzania danych.

Różnorodność potencjalnych źródeł pozyskania biomasy stałej wymaga przeprowadzania szczegółowych analiz oddzielnych dla każdego z tych obszarów. Z tego względu, że każda z nich ma specyficzne uwarunkowania, które w istotny sposób mogą wpływać na

dostępność biomasy w regionie działania obiektu energetycznego. Ponadto taka biomasa ma odmienne właściwości fizykochemiczne, mechaniczne, cechuje się różnymi nakładami energetycznymi, jakie należy ponieść w całym systemie logistycznym.

Dla przykładu biomasa pochodząca z upraw celowych, zwłaszcza z plantacji długoletnich roślin takich jak: wierzba wiciowa, ślazier, miskant olbrzymi wymaga odpowiednich warunków klimatyczno-glebowych. Uwzględniając te czynniki można w dosyć prosty sposób określić teoretyczny potencjał możliwości pozyskania biomasy (rys. poniżej). Na poniższym rysunku uszeregowano gminy ze względu na potencjał pozyskania biomasy. Zaznaczone odpowiednio kolorami gminy charakteryzują się szczególnie korzystnymi warunkami do zakładania wieloletnich plantacji roślin na cele energetyczne.



Rys. 12. Gminy o warunkach szczególnie korzystnych do zakładania wieloletnich plantacji roślin energetycznych oraz szacunki łącznej produkcji biomasy dla wierzby, miskanta i ślazier (kolorem czerwonym zaznaczono położenie największych polskich elektrowni) [IUNG PIB]

Jednak nie wynika z tej analizy, jaka jest obecna produkcja biomasy i jakie są realne możliwości na przyszłość w tych rejonach, w których są korzystne warunki środowiskowe do uprawy wyżej wymienionych roślin. Tylko kompleksowe podejście uwzględniające szereg czynników, uwarunkowań i relacji, jakie pomiędzy nimi zachodzą, pozwoli na oszacowa-

nie możliwości pozyskania biomasy z danego obszaru.

Po określeniu dostępności poszczególnych typów biomasy oszacowany powinien być potencjał energetyczny dla poszczególnych rodzajów biomasy. Takie rozwiązanie znacznie ułatwi dokonanie zarówno ilościowych zestawień dla wybranych rodzajów biomasy, jak i porównań, w przypadku analizy obszarowej wokół obiektu energetycznego. Ze względu na różnorodność źródeł biomasy oraz specyfikę poszczególnych technologii pozyskania i przetwarzania na cele energetyczne powinny zostać opracowane osobne modele szacowania dostępności poszczególnych surowców energetycznych.

Przy tworzeniu modeli logistycznych należy również uwzględnić biomasę wstępnie przetworzoną, która charakteryzuje się lepszymi właściwościami fizykochemicznymi.

Poniżej przedstawiono główne założenia i sposób podejścia metodycznego do oszacowania potencjału biomasy.

6.2. Metody szacowania biomasy

Zakłada się, że po oszacowaniu potencjału w ujęciu masowym dla każdego rodzaju biomasy potencjał techniczny będzie wyrażony w ujęciu energetycznym. Do oszacowania potencjału technicznego dla każdego rodzaju biomasy określona zostanie jego wartość opałowa (Net Calorific Value – NCV) w stanie roboczym z poniższej zależności:

$$Q_i^r = Q_i^d \left(\frac{100-W}{100} \right) - \left(\frac{2,442 \cdot W}{100} \right)$$

Q_i^r – wartość opałowa w stanie roboczym,

Q_i^d – wartość opałowa w stanie suchym,

W – wilgotność.

Współczynnik równy 2,442 oznacza ilość energii [MJ] potrzebną do odparowania 1 kg wody.

Poniżej przedstawiono metodykę szacowania biomasy dla poszczególnych rodzajów biomasy.

I. Metody szacowania biomasy rolnej

Ze względu na specyfikę biomasy pochodzenia rolniczego (wiele sposobów zagospodarowania) wprowadza się pojęcie techniczny tego źródła energii. Potencjał techniczny biomasy – jest to potencjał biologiczny biomasy pomniejszony o aktualne wykorzystanie na cele inne niż energetyczne.

W przypadku każdego źródła biomasy rolniczej w pierwszej kolejności zakłada się wykorzystanie na cele inne niż energetyczne (żywieniowe, paszowe, przemysłowe). Tylko nadwyżka biomasy może być traktowana jako potencjalny surowiec na cele energetyczne.

Metoda szacowania słomy na cele energetyczne

Metodą zagospodarowania słomy w produkcji rolniczej jest użycie jej jako materiału ściółkowego w hodowli zwierząt. Jednak od kilkudziesięciu lat rejestruje się zmniejszenie zużycia słomy na ściółkę, które spowodowane jest między innymi spadkiem pogłowia zwierząt gospodarskich oraz zmianą technologii utrzymania zwierząt (chów bezściółkowy). Kolejnym sposobem zagospodarowania słomy jest zastosowanie jej jako nawozu w glebie w formie obornika lub sieczki (umożliwia powstanie próchnicy, która jest jej formą przemiany biologicznej). Jedną z dalszych form zagospodarowania słomy jest na jej bazie produkcja pasz. Ponadto w rolnictwie stosowana jest ona do zabezpieczenia kopców m.in. ziemniaków, a w przemyśle do produkcji materiałów izolacyjnych dla ogrodnictwa i budownictwa.

Oceniając potencjalne ilości słomy możliwej do energetycznego zagospodarowania należy podkreślić, że w rejonach o rozdrobnionej strukturze agrarnej nieopłacalny będzie jej zbiór i transport; występują również duże wahania wielkości jej zbioru w latach. Szczególnie duże ilości słomy na cele energetyczne mogą być przeznaczone w rejonach o dominacji dużych gospodarstw, ponieważ w strukturze zasiewów takich gospodarstw udział powierzchni uprawy zbóż i rzepaku często przekracza 90%, obsada zwierząt jest bardzo mała (często poniżej 0,2 dużej sztuki przeliczeniowej na 1 ha), a na większych arealach koszty zbioru słomy na cele energetyczne są znacznie mniejsze.

Potencjał słomy, którą można pozyskać na cele energetyczne, określa się na podstawie poniższego wzoru:

$$N = P - Z_s + Z_p + Z_n \text{ [Mg]}$$

gdzie:

N – nadwyżka słomy do energetycznego wykorzystania [Mg],

P – produkcja słomy zbóż podstawowych oraz rzepaku i rzepiku [Mg],

Z_s – zapotrzebowanie na słomę ściółkową [Mg],

Z_p – zapotrzebowanie na słomę na pasze [Mg],

Z_n – zapotrzebowanie na słomę do przyorania [Mg].

Produkcję słomy można oszacować na podstawie poniższej formuły matematycznej:

$$P = \sum_{i=1}^n A \cdot Y \cdot w_{zs} \text{ [t]}$$

gdzie:

P – produkcja słomy zbóż podstawowych oraz rzepaku [Mg],

A – powierzchnia i-tego gatunku rośliny [ha],

Y – plon ziarna i-tego gatunku rośliny [Mg/ha],

w_{zs} – stosunek plonu słomy do plonu ziarna.

Zapotrzebowanie na słomę zużywaną w produkcji zwierzęcej (pasza i ściółka) można oszacować na podstawie liczebności pogłównia zwierząt gospodarskich w poszczególnych gminach i rocznych normatywów dla poszczególnych gatunków i grup użytkowych według wzorów:

gdzie:

$$z_s = \sum_{i=1}^n q_i \cdot s_i [t]$$

$$z_p = \sum_{i=1}^n q_i \cdot p_i [t]$$

z_s – zapotrzebowanie słomy na ściółkę [Mg],

z_p – zapotrzebowanie słomy na paszę [Mg],

q_i – pogłowie i-tego gatunku i grupy użytkowej [szt.],

s_i – normatyw zapotrzebowania słomy na ściółkę i-tego gatunku i grupy użytkowej,

p_i – normatyw zapotrzebowania słomy na paszę i-tego gatunku i grupy użytkowej.

Należy uwzględnić zużycie słomy niezbędnej do reprodukcji substancji organicznej w glebie, które ustala się na podstawie odrębnych analiz obejmujących strukturę zasiewów, jakość gleb oraz saldo substancji organicznej.

Znając powierzchnię zasiewów poszczególnych grup roślin oraz ilość produkowanego obornika, która została obliczona na podstawie pogłównia zwierząt i odpowiednich normatywów [o_i], określone zostanie saldo substancji organicznej według poniższego wzoru:

$$s = \sum_{i=1}^n r_i w_{ri} + \sum_{i=1}^n d_i w_{di} + \sum_{i=1}^n q_i o_i [t]$$

gdzie:

S – saldo substancji organicznej [Mg],

r_i – powierzchnia grup roślin zwiększających zawartość substancji organicznej [ha],

d_i – powierzchnia grup roślin zmniejszających zawartość substancji organicznej [ha],

w_{ri} – współczynnik reprodukcji substancji organicznej dla danej grupy roślin,

w_{di} – współczynnik degradacji substancji organicznej dla danej grupy roślin,

q_i – pogłowie inwentarza żywego w sztukach fizycznych wg gatunków i grup wiekowych [szt.],

o_i – normatywy produkcji obornika [Mg/rok według gatunków].

Jeśli na podstawie obliczeń stwierdzi się ujemne salda substancji organicznej, zostanie obliczone zapotrzebowanie słomy na przyoranie według poniższego wzoru:

$Z_n = 1,54 \cdot S$

Metodyka szacowania siana na cele energetyczne

Spadek pogłowia zwierząt gospodarskich obserwowany w ostatniej dekadzie w kraju powoduje, że powierzchnia trwałych użytków zielonych przewyższa zapotrzebowanie rolnictwa, co wiąże się z ekstensywnym ich użytkowaniem lub wręcz zaniechaniem zbioru siana i degradacją łąk. Obecnie pojawiła się perspektywa wykorzystania biologicznej właściwości traw, jaką jest ich zdolność ciągłego i obfitego odtwarzania części nadziemnej do produkcji biomasy jako źródła energii odnawialnej. Na skutek zmniejszenia opłacalności chowu zwierząt przeżuujących w kraju, a także zmiany zasad ich żywienia i wprowadzenia kwot mlecznych, zmniejszyło się zapotrzebowanie na paszę pastwiskową oraz siano i kiszonkę z trwałych użytków zielonych [Terlikowski, 2012]. Część biomasy można zatem zagospodarować na cele nieżywnościowe.

Potencjał techniczny siana określić można jako iloczyn powierzchni łąk, współczynnika ich wykorzystania na cele energetyczne i wielkości plonu:

$$P_{si} = A_l \cdot w_{ws} \cdot Y_{si} \text{ [Mg/rok]}$$

gdzie:

P_{si} – potencjał techniczny siana [Mg/rok],

A_l – powierzchnia łąk trwałych [ha],

w_{ws} – współczynnik wykorzystania łąk na cele energetyczne [%],

Y_{si} – plon siana [Mg/ha/rok].

Metoda szacowania zasobów biomasy z roślin energetycznych

Do uprawy roślin energetycznych najbardziej odpowiednie są gleby kompleksów przydatności rolniczej 5, 8, 9 i 3z, leżące poza obszarami chronionymi oraz położone w rejonach o rocznej sumie opadów powyżej 550 mm, w których poziom wody gruntowej występuje powyżej 200 cm. Gleby kompleksów 6. i 7. są mniej przydatne do uprawy roślin, w tym energetycznych.

Potencjał biomasy z roślin wieloletnich można obliczyć jako iloczyn potencjalnej powierzchni plantacji i plonu reprezentacyjnego dla wybranego gatunku rośliny wieloletniej. Jako podstawę do obliczeń należy przyjąć areał gruntów marginalnych, zalecanych pod te nasadzenia. Potencjał teoretyczny pozyskania biomasy na cele energetyczne można oszacować na podstawie poniższego wzoru:

$$P_{re} = [A_{re} + (A_m \cdot W_{re})] \cdot Y_{re} \text{ [Mg/rok]}$$

gdzie:

P_{re} – potencjał wieloletnich roślin energetycznych [Mg/rok],

A_{re} – powierzchnia istniejących plantacji wieloletnich roślin energetycznych [ha],

A_m – powierzchnia marginalnych gruntów rolnych [ha],

W_{re} – współczynnik wykorzystania gruntów pod uprawę wieloletnich roślin energetycznych,

Y_{re} – przeciętny plon wieloletnich roślin energetycznych [Mg/ha/rok].

II. Analiza biomasy pochodzenia leśnego

Metoda szacowania zasobów biomasy możliwej do pozyskania z lasów

Powierzchnia lasów jest jednym ze wskaźników charakteryzujących wielkość oraz stopień zagęszczenia kompleksów leśnych. Do najważniejszych wskaźników przy ocenie potencjału drewna jako surowca energetycznego należy, poza lesistością, wielkość pozyskania drewna z uwzględnieniem jego rodzajów, czyli sortymentów. Zakłada się, że jako obszar pozyskania surowca powinny być wzięte lasy będące w zarządzie Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe. Lasy prywatne nie mają istotnego znaczenia. Wynika to z kilku czynników:

- udział lasów prywatnych jest niewielki w ich strukturze własnościowej,
- lasy prywatne to najczęściej nieduże⁷, rozproszone kompleksy, co może powodować problemy logistyczno-organizacyjne w dostawie surowca energetycznego,
- poziom gospodarki leśnej prowadzonej w lasach prywatnych jest niższy, dlatego ilość i jakość surowca, jaka może być pozyskana, jest niższa w porównaniu do drewna oferowanego przez LP.

Ograniczeniem wielkości pozyskania drewna jest zasada trwałego i zrównoważonego rozwoju mówiąca, że maksymalna wielkość pozyskania nie powinna przekroczyć wielkości etatu. Jest ona uzasadniona koniecznością utrzymania ciągłości produkcji surowca drzewnego oraz względami środowiskowymi.

W Polsce najczęstszym sposobem pozyskiwania drewna jest metoda, w której ścięte drzewa okrzesa się bezpośrednio na powierzchni zrębowej, pozostawiając na niej odcięte gałęzie.

W literaturze można znaleźć różne metody określania potencjału drewna do energetycznego wykorzystania. Jabłoński i Różański przyjmują założenie, że z jednego drzewa w wieku rębnym uzyskać można 54 kg drobnicy gałęziowej, 59 kg chrustu oraz 166 kg drewna pniakowego z korzeniami. Przy średniej liczbie 400 drzew na 1 hektarze, daje to 111 Mg/ha drewna. Według Guzedy i Śwignia, drewno odpadowe w gospodarce może być obliczone następująco: z każdych 100 m³ masy drzewnej pozyskanej w lesie na korę przypada 10 m³, chrust – 15 m³, grubiznę opałową – 20 m³, trociny i zrżyny – 19 m³, tarcicę – 36 m³, a na gotowe wyroby z drewna tylko 20–25 m³ z pozycji tarcica.

Możliwości pozyskania biomasy z lasów – potencjał techniczny w kraju rozpatrywany będzie na poziomie Regionalnych Dyrekcji Lasów Państwowych ze względu na dostępne dane dotyczące ilości pozyskiwanego drewna w poszczególnych latach oraz Planu Urządzania Lasu, który sporządzany jest raz na 10 lat.

Metoda szacowania zasobów biomasy odpadowej z przetwórstwa drzewnego

Wg Buczek i Kryńskiej, odpady drzewne (zrżyny, trociny, odłamki, wióry) stanowią średnio 20% masy początkowej przeznaczanej do przerobu. Ograniczeniem w rynkowym

⁷ Powierzchnia przeciętnego prywatnego gospodarstwa leśnego nie przekracza 1 ha.

wykorzystaniu tych zasobów jest to, że znaczące ilości odpadów powstających podczas mechanicznego przerobu drewna w zakładach przetwórczych zużywane są na własne potrzeby grzewcze tych zakładów, stanowią również surowiec do wyrobu płyt wiórowych. Ponadto część surowca zostaje w procesie przerobu traktowana substancjami chemicznymi, które dyskwalifikują odpad do dalszego wykorzystania na cele energetyczne. Zakłada się, że zasoby biomasy z przetwórstwa drzewnego na cele energetyczne można oszacować na podstawie poniższej zależności:

$$Z_{dt} = 0,2 P \text{ [Mg/rok]}$$

gdzie:

P – pozyskanie drewna na cele przemysłowe [Mg].

Metoda szacowania zasobów biomasy odpadowej z sadów

Potencjalnym źródłem biomasy energetycznej są sady, zwłaszcza sady towarowe. Drewno odpadowe z towarowych upraw sadowniczych powstaje podczas całkowitej likwidacji starych plantacji oraz w czasie corocznych cięć sanitarnych. Największe ilości drewna odpadowego powstają podczas całkowitej likwidacji sadu (ma to miejsce co 25 lat) oraz w czasie corocznych cięć sanitarnych (średnio 2% drzewostanu rocznie). Uzyskane w wyniku usuwania drzew owocowych drewno może być wykorzystywane między innymi na cele energetyczne w meblarstwie oraz w galanterii drzewnej.

Do oszacowania ilości biomasy odpadowej z sadów należy przyjąć, że średniorocznie można pozyskać 0,3 m³ biomasy z hektara. Zasoby biomasy odpadowej z sadów na cele energetyczne obliczyć należy na podstawie poniższego wzoru:

$$Z_{ds} = A \cdot 0,35 \text{ [m}^3\text{/rok]}$$

gdzie:

Z_{ds} – zasoby drewna odpadowego z sadów na cele energetyczne [m³/rok],

A – powierzchnia sadów [ha].

Metoda szacowania zasobów biomasy pozyskanej z pielęgnacji zadrzewień

Zadrzewienia są to produkcyjne i ochronne skupiska drzew i krzewów na terenach poza lasami, które występują:

- wzdłuż tras komunikacyjnych i cieków wodnych,
- wśród upraw rolnych,
- przy domach i budynkach gospodarczych,
- w obrębie i przy zakładach przemysłowych.

Należy jednak zaznaczyć, że biomasa ta jest trudna do pozyskania, ponieważ zadrzewienia obejmują małe obszary o różnorodnej strukturze własnościowej. Biorąc powyższe pod uwagę, oszacowanie potencjału można ograniczyć do biomasy z pielęgnacji drzew przydrożnych i obliczyć według wzoru:

$$Z_{dpd} = 1,5 \cdot L \cdot 0,3 \text{ [Mg/rok]}$$

gdzie:

Z_{dpd} – zasoby drewna z zadrzewień [Mg/rok],

L – długość dróg [km],

1,5 – ilość drewna możliwa do pozyskania z 1 km zadrzewień przydrożnych [Mg/rok],

0,3 – wskaźnik zadrzewienia dróg.

III. Analiza biomasy innego pochodzenia

Zakłada się poddanie analizie substraty do produkcji biogazu pochodzenia rolniczego, z przemysłu rolno-spożywczego, osadów ściekowych oraz biodegradowalnych odpadów komunalnych.

Metodyka obliczenia potencjału biogazu

Do obliczenia potencjału biogazu zakłada się następujące substraty:

- gnojowica bydłęca,
- gnojowica świńska,
- gnojowica kurza,
- mokre odpady z przemysłu rolno-spożywczego (np. owocowo-warzywiny, browarniczy, spirytusowy, mięsny – odpady z wyłączeniem tłuszczu),
- biodegradowane odpady komunalne.

Zakłada się, że biogaz wytwarzany jest wyłącznie z odchodów pochodzących z dużych farm hodowlanych, tj. mających powyżej 100 SD⁸, czyli:

- 100 sztuk bydła,
- 500 sztuk trzody chlewnej,
- 50 000 sztuk drobiu.

Zakłada się, że substraty do produkcji biogazu mogą być pozyskiwane poza lokalizacją biogazowni – przy czym ekonomicznie uzasadniony promień ich dostarczania może być różny w zależności od takich elementów jak dostępność komunikacyjna, rodzaj substratu, jego ilość i sposób transportu. Przyjmuje się, że średnio odległości, skąd mogą być pozyskiwane substraty, sięgają do 40 km.

6.3. Transport biomasy

Biomasa może być transportowana na wiele sposobów. Wybór optymalnej ze względu na aspekty ekonomiczno-ekologiczne formy transportu zależy od wielu czynników: rodzaju i postaci biomasy, jej ilości, odległości do miejsca docelowego i wymagań odbiorcy oraz pod uwagę powinny zostać wzięte ilości emisji CO₂ podczas transportu surowca w odniesieniu do wartości energetycznej przewożonej biomasy.

Organizując transport należy wziąć pod uwagę takie warunki jak :

8 SD – to umowna jednostka przeliczeniowa odpowiadająca krowie o masie ciała 500 kg.

- stan dróg dojazdowych,
- wielkość dostawy biomasy do ostatecznego odbiorcy (Mg),
- kształt i gęstość nasypowa biomasy (Mg/m³),
- odległość, na jaką biomasa będzie transportowana (km),
- czas transportu (h),
- szybkość transportu (km/h),
- pojemność przestrzeni transportowej (m³),
- zużycie i rodzaj paliwa w zależności od rodzaju transportu (l/km),
- koszt przewozu (zł/GJ),
- wymagania dodatkowe odbiorcy.

Transport drewna opałowego

Transport dłużyc i pniaków po drogach publicznych wymaga pewnych modyfikacji urządzeń transportowych w celu zapobiegnięcia ewentualnemu zsunięciu się drewna z naczepy.

Transport samochodowy jest bardzo istotnym ogniwem w łańcuchu dostaw, gdyż w dużej mierze to od niego zależy sprawność wywozu z lasu. W zależności od wielkości masy drewna, liczby miejsc załadunku oraz warunków pogodowych rozdziela się transporty samochodowe wg kierunków. W praktyce nie wysyła się dużej liczby samochodów w jedno miejsce załadunkowe ze względu na ograniczone możliwości manewrowe, chyba że nie ma zastrzeżeń technicznych w przypadku ukształtowania terenu. W sytuacji trudnych warunków pogodowych zalecane jest wysyłanie dwóch samochodów w jedno miejsce w przypadku konieczności holowania lub innej nagłej pomocy wywołanej przez czynnik pogodowy. Na kierowcy również spoczywa odpowiedzialność sprawdzenia zarówno ilości wywożonego drewna z dokumentem wywozowym, jak i prawidłowe zabezpieczenie ładunku.

Klasyczny samochód ciężarowy wyposażony jest we własną powierzchnię ładowną i używany do transportu sortymentów krótkich, czyli drewna kładowego, opałowego oraz papierówki. Do załadunku i rozładunku pojazdów najczęściej stosowane są żurawie hydrauliczne, montowane na stałe na samochodach przewozowych.

Samochód transportujący powinien być wyposażony w przednią ścianę spełniającą normę PN-EN 12642, a ładunek nie powinien być wyższy od tej ściany. Podczas mocowania każda sekcja ładunku powinna być od góry przepasana odciągami, w liczbie co najmniej jednego, jeśli sekcję stanowi drewno z korą nie dłuższe niż 3,3 m, co najmniej dwóch, jeśli sekcja ładunku jest dłuższa niż 3,3 m, lub niezależnie od długości, jeśli drewno jest okorowane.

Odciągi przepasujące ładunek od góry powinny przechodzić poprzecznie między przednią i tylną parą kłonic w danej sekcji. Użycie tylko pojedynczego łańcucha, rozciągniętego między kłonicami, nawet jeżeli jest on dobrze umocowany, nie jest wystarczającym sposobem unieruchamiania.

Transport balotów

Do transportu balotów do zakładu energetycznego mogą być wykorzystywane ciężarówki. Jednorazowo jedna ciężarówka może zabrać ładunek od 60 do 70 balotów. Ze względu na znaczną gęstość balotów, koszt transportowy ulega obniżeniu.

Transport zrębków

Wywóz zrębków może odbywać się za pomocą samochodów ciężarowych, ciągników samochodowych i ciągników siodłowych. Jako uzupełnienie pojazdów motorowych stosuje się naczepy, przyczepy i półprzyczepy. Te dwie ostatnie to są pojazdy bezmotorowe, których napędem jest siła uciągu ciągników i samochodu. Klasyczny samochód ciężarowy wyposażony jest we własną powierzchnię ładowną [Kubiak, 1998, Prochowski, Żuchowski, 2006].

Trudności logistyczne i jakościowe obrotu biomasą

Senczyszyn [2007] wyróżnia następujące słabe punkty w łańcuchu logistycznym (które również wpływają na jakość biomasy):

1. Załadunek bezpośrednio na polu powoduje zabrudzenie surowca ziemią, co w konsekwencji zwiększa zawartość popiołu i obniża ostatecznie cenę płacaną przez zakład energetyczny.
2. Brak możliwości załadunku naczep bezpośrednio na polu – zbyt grząskie podłoże, w miesiącach wiosennych powoduje natychmiastowe zagrzebanie się całego zestawu. Odbiór surowca w miesiącach zimowych powoduje wyższą wilgotność wierzby i spadek jej wartości opałowej. Składowanie wierzby na polu powoduje jednocześnie zanieczyszczenie jej ziemią, co skutkuje wzrostem zawartości popiołu i obniżeniem ceny ostatecznej płacanej przez zakład energetyczny.
3. Załadunek przyczep typu „walking floor” bardzo utrudniony ze względu na wysokość burt (4,05 m). Załadunek kontenerów mniej problematyczny, zwiększa to jednak koszty transportu ze względu na mniejszą pojemność zestawu.

6.4. Magazynowanie biomasy

Magazynowanie roślin słomiatych

Zwózkę słomy z roślin słomiatych i jego magazynowanie przeprowadza się za pomocą tego samego sprzętu i w tej samej technologii jak słomy zbóż i rzepaku. Jest to istotne. Sprzęt rolniczy jest bardzo drogi i możliwość dodatkowego wykorzystania już posiadanych maszyn w tzw. martwym okresie poprawia znacznie rentowność jego użytkowania. Dosuszanie zebranych jesienią roślin wydaje się mało ekonomiczne, gdyż potrzeba około 4 MJ energii na kilogram zebranej biomasy, aby móc ją przechowywać tak jak w przypadku zastosowania zbioru wiosennego. Jedynym godnym polecenia rozwiązaniem w przypadku dokonywania zbioru jesiennego np. miskanta jest ułożenie zebranej biomasy w sterty, w których zostaną pozostawione kanały wentylacyjne pozwalające na naturalne jej do-

sychanie oraz przykrycie od góry folią ograniczającą wpływ niekorzystnych warunków atmosferycznych. Mimo tego należy się liczyć z powstającymi stratami biomasy na skutek jej rozkładu podczas przechowywania pod wpływem działania mikroorganizmów, którym sprzyjają szczególnie wysoka wilgotność i stopniowy wzrost temperatury w stercie.

Magazynowanie zrębków, wiórów i trocin

Pewną propozycją w upowszechnianiu obecnej na północy i zachodzie Europy praktyki przelegiwania pozostałości zrębowych przed ich mechanicznym przerobem jest budowa sieci małych, lokalnych składnic dedykowanych składowaniu pozostałości zrębowych lub też przerobionej zrębki. Brak praktyki sezonowania materiału ogranicza zainteresowanie biomasą ze strony odbiorców. Przekłada się to bezpośrednio na funkcjonowanie i rozwój firm produkujących zrębki. Wilgotność biomasy waha się pomiędzy 43-58%, w zależności od terminu zbioru biomasy. Pozostawienie zrębków bez wentylacji może powodować zagrzewanie i szybki rozwój różnego rodzaju grzybów. Składowanie świeżo zebranych zrębków w naturalnych warunkach w przymie przez dłuższy czas może prowadzić do strat substancji organicznej, wzrostu temperatury wewnątrz przymy i w konsekwencji do rozwoju niepożądanych patogenów. W przypadku składowania zrębków przez dłuższy czas konieczne jest magazynowanie ich pod wiatą z systemem wentylacji celem zmniejszenia wilgotności. Przechowywanie zrębków pod zadaszeniem przez okres 4-6 miesięcy może zredukować ich wilgotność do 30%. Magazynowanie zrębków jest ważnym aspektem, gdyż nieprawidłowe przechowywanie prowadzi do obniżenia jakości oraz do strat surowca.

Rozdrobnioną biomasę, która charakteryzuje się różną długością (pocięte pędy wierzby na różne odcinki: od 2-3 do 5-7 cm), można przechowywać w kontenerach, w których w dolnej części znajdują się otwory wentylacyjne pozwalające na swobodne zasysanie powietrza. Mokre kawałki biomasy zagrzewają się, jednak przestrzenie powstałe w wyniku chaotycznego układu geometrycznego tych brył powodują przepływ ciepłego powietrza do góry, podczas gdy dołem samoczynnie zasysane jest zimne powietrze z otoczenia. Daje to efekt samoczynnego przewietrzania biomasy.

6.5. Obróbka wstępna biomasy

Świeżo pozyskana biomasa w porównaniu do węgla ma zwykle wysoką wilgotność (nawet ok. 50%) oraz niską gęstość energetyczną. Wartość opałowa biomasy powietrzno-suchej wynosi około 50% takiej samej masy węgla, jej gęstość energetyczna to zaledwie 2-7% wartości dla węgla. Modyfikowanie niekorzystnych właściwości biomasy przez jej obróbkę wstępną pozwala na wykorzystanie jej w energetyce szczególnie zawodowej i przemysłowej. W niniejszym rozdziale scharakteryzowano różne rodzaje obróbki wstępnej analizując możliwość zastosowania na cele energetyczne.

Rozdrabnianie

Rozdrabnianie biomasy przez cięcie czy mielenie jest podstawowym sposobem obróbki wstępnej. Stosuje się je w celu gęstości nasypowej i obniżenia kosztów transportu (jeśli biomasa jest pozyskana w postaci np. gałęzi). Tak rozdrobniona biomasa przy wysokiej jej wilgotności nastręcza wielu problemów w jej składowaniu. Duża wilgotność biomasy powoduje wzmożoną aktywność mikrobiologiczną, co powoduje emisję gazów cieplarnianych (CH_4 , N_2O) oraz nagrzewanie się pryzm, co w skrajnych wypadkach prowadzi do samozapłonu [Wiheraari, 2005]. Optymalnym wyjściem jest rozdrobnienie biomasy bezpośrednio przed jej transportem, a następnie wysuszenie, zmagazynowanie i wykorzystanie jako paliwa na cele energetyczne.

Zrębkowanie

Zrębkowanie należy do procesów rozdrabniania. Stosuje się go tylko do biomasy zdrewniałej (drzewnej). Do procesu zrębkowania używa się rębaków. Proces zrębkowania jest nieodzowną częścią większości technologii przetwarzania biomasy drzewnej. Typowym przykładem jest produkcja zrębków drzewnych do wykorzystania jako biopaliwo na cele energetyczne czy też jako surowiec do produkcji płyt drewnopochodnych itp.

Wybór odpowiedniego typu rębaków do rozdrabniania biomasy zależy m.in. od następujących czynników:

- intensywności pracy (okresowa czy ciągła),
- rodzaju napędu (napęd własny, napęd zewnętrzny),
- mobilności (mobilny, stacjonarny).

Rębaki mobilne można podzielić ze względu na napęd. Bez własnego napędu mają postać przyczep, półprzyczep lub urządzeń przewożonych, w których rębak skonstruowany jest wewnątrz np. kontenera.

Rębaki stacjonarne przeznaczone są głównie do zrębkowania dużych ilości biomasy drzewnej. Rębaki stacjonarne są wyposażone we własny napęd z reguły o mocy od 10 do 100 kW. Parametry zrębków zależą głównie od ich przeznaczenia i wynoszą od 8 mm do 200 mm.

Ilość energii w przeliczeniu na jednostkę masy zrębkowanej biomasy zależy przede wszystkim od stopnia rozdrobnienia, własności fizycznych materiału rozdrabnianego (wilgotność, gęstość itp.) oraz typu rębaka [Loo, Koppejan, 2007]. Zużycie energii na zrębkowanie wynosi 20-75 kWh/Mg.

Tabela 14. Charakterystyka różnych typów rębaków [Cocker-Maciejewska, 2007]

Wielkość	Wydajność (m ³ /h)	Średnica materiału (mm)	System podawania materiału	Zużycie energii (kW)
małej skali	3-25	80-350	ręcznie, żuraw	20-100
średniej skali	25-40	350-400	żuraw	60-200
dużej	40-100	400-550	żuraw	200-550

Suszenie

Wilgotność w procesie spalania, zgazowania czy aglomeracji biomasy to parametr mający kluczowe znaczenie. Dla przykładu zawartość wilgoci dla kotłów opalanych drewnem powinna wynosić do 15%. W przypadku procesu zgazowania biomasy maksymalna zawartość wilgoci w biomase uzależniona jest od rodzaju reaktora do zgazowania (np. dla małych reaktorów poniżej 20%).

Zawartość wilgoci w biomase jest bardzo zróżnicowana i zależy od:

- rodzaju surowca,
- terminu zbioru,
- obróbki wstępnej surowca,
- sposobu i okresu magazynowania.

Dla przykładu świeże drewno ma wilgotność ok. 50% w ujęciu wagowym, natomiast wilgotność odpadów z drewna (trociny, wióry, pył) jest zazwyczaj poniżej 15%. Biomasa o zbyt wysokiej wilgotności ze względów ekonomicznych nie jest wykorzystywana w procesie np. spalania, dlatego poddaje się ją procesowi suszenia. Spalanie biomasy odbywa się w sposób optymalny, wtedy gdy jest możliwy stały ściśle określony poziom wilgotności podawanego paliwa. Spalanie biomasy o różnej wilgotności wymaga stosowania w instalacjach kotłowych rozbudowanego systemu regulacyjnego, co pociąga za sobą znaczny wzrost nakładów inwestycyjnych.

Odprowadzanie wilgoci z materiału suszonego do czynnika suszącego będzie zachodzić, gdy równowaga prężności pary nad materiałem jest większa niż prężność cząstkowa pary wodnej w czynniku suszącym. Proces suszenia będzie trwał do osiągnięcia przez układ stanu równowagi, czyli do momentu, kiedy prężność równowagowa pary wodnej nad materiałem i prężność cząstkowa pary wodnej w czynniku suszącym będą sobie równe. Prężność pary wodnej nad materiałem wilgotnym jest wywierana przez ciecz znajdującą się na zewnętrznej warstwie materiału suszonego i zależy od charakteru wil-

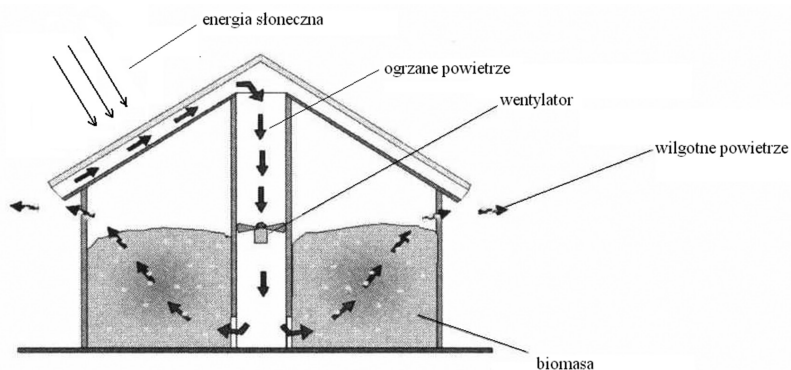
goci, rodzaju ciała stałego i temperatury [Strumiłło, 1983].

Proces suszenia może przebiegać w warunkach naturalnych bądź z wykorzystaniem urządzeń i instalacji. Suszenie w suszarniach jest procesem kosztownym pod względem ekonomicznym i wymaga dodatkowych nakładów energetycznych, dlatego należy w miarę możliwości biomasę suszyć przy wykorzystaniu naturalnych procesów. Naturalne procesy suszenia mają zastosowanie tam, gdzie prężność zawartej w powietrzu pary wodnej jest niższa od punktu nasycenia. Należy mieć na uwadze, że proces suszenia w warunkach naturalnych jest procesem powolnym i zależy od warunków pogodowych. Ten sposób suszenia nie jest wskazany dla materiałów o zbyt dużej wilgotności, ponieważ może nastąpić rozkład biologiczny biomasy przed jej ostatecznym wysuszeniem. W celu ograniczenia ryzyka związanego ze zmianami pogody buduje się specjalne budowle np.: suszarnie słoneczne czy wiaty.

Suszenie z wykorzystaniem energii słonecznej

W naszej szerokości geograficznej w ciągu jednego roku słońce na każdy metr kwadratowy płaskiej powierzchni dostarcza przeciętnie 1000 kWh energii. Jest to ilość energii w zupełności wystarczająca do efektywnego odparowywania wody z suszonych materiałów.

W suszarni słonecznej ogrzane energią słoneczną powietrze doprowadzane jest, poprzez sitowe dno, pod spód pryzmy biomasy, np. zrębków. Dzięki zastosowaniu powietrza jako nośnika energii niewymagane jest stosowanie dodatkowych wymienników, co bardzo upraszcza instalację i obniża koszty eksploatacji. Składowany w takiej suszarni materiał powinien być przierzucany w celu ułatwienia suszenia. Na rysunku poniżej przedstawiono proces suszenia w suszarni słonecznej.



Rys. 13. Proces suszenia biomasy z wykorzystaniem energii słonecznej [Sjaak van Loo, Jaap Koppejan, 2008]

Urządzenia do suszenia biomasy

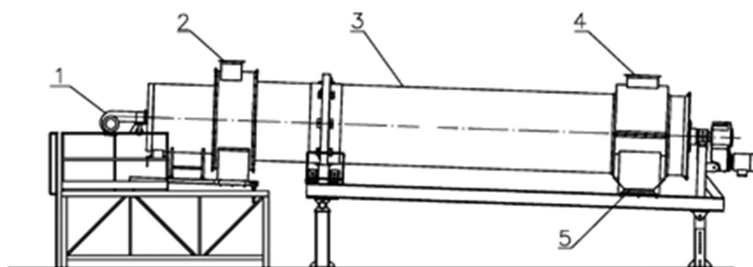
Ważnym etapem w procesie logistycznym biomasy wykorzystywanej na cele energetyczne jest suszenie surowca przy minimalizacji kosztów tego procesu. Wybór odpowiedniej technologii suszenia zależy od wielu czynników, w tym od:

- rodzaju biomasy,
- właściwości suszonego surowca,
- oczekiwanej wydajności procesu suszenia,
- efektywności suszenia,
- nakładów inwestycyjnych,
- kosztów eksploatacyjnych,
- dostępnych źródeł ciepła.

W procesie suszenia biomasy wykorzystuje się wiele rozwiązań technicznych. Poniżej omówiono wybrane rodzaje suszarni.

Suszarnie bębnowe

Suszarki bębnowe są wykorzystywane w procesie suszenia materiałów sypkich. Jest to tradycyjne rozwiązanie, najczęściej z bezpośrednim spalinywym podgrzewaniem surowca. Działanie tego typu suszarni polega na unoszeniu suszonego materiału poprzez obrót bębna. Następnie materiał opada w strumieniu gorącego czynnika suszącego, który przepływa przez bęben we współ- lub przeciwną stronę do suszonego produktu. Na rysunku poniżej pokazano przykład takiej suszarni



Rys. 14. Suszarka bębnowa jednobiegowa [www.wakro.com.pl]

Parametry procesu kontrolowane są elektronicznie. Nowoczesne rozwiązania wielo-ciągowe zwiększające drogę suszenia zrębków pozwalają na obniżenie temperatury, co zwiększa bezpieczeństwo pracy i poprawia jakość suszenia.

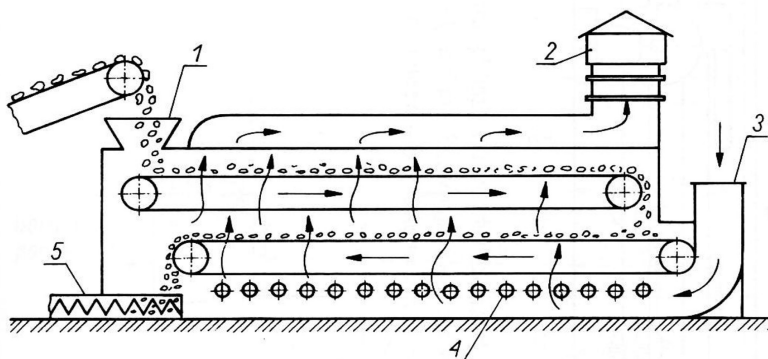
Suszarnie bębnowe pośrednie

System pośredniego suszenia charakteryzuje się tym, że powietrze procesowe jest podgrzewane pośrednio przy użyciu wymienników ciepła.

Źródłem ciepła może być rozgrzane powietrze albo para wodna. Wewnątrz bębna temperatura osiąga 300°C w przypadku nagrzewu powietrzem albo ok. 180 stopni w suszarni parowej. Użycie pary wymaga instalacji kotła parowego, ale pozwala na dokładniejsze sterowanie parametrami procesu oraz zapewnia dobrą jakość produktu. Para może być również wykorzystywana do napędu ruchu obrotowego bębna, a po opuszczeniu urządzenia odzyskuje się z niej pozostałe ciepło. Pośredni sposób transferu ciepła sprawia, że suszarnie są odpowiednie dla systemów, gdzie dostępne jest ciepło odpadowe w postaci pary lub ciepło pochodzące z silników bądź turbin.

Suszarnie taśmowe

Suszarnia taśmowa (tunelowa) zbudowana jest w formie taśmy przesuwającej się w jedno- lub wielopoziomym tunelu lub tunelach. W wielu punktach tuneli nadmuchiwane jest na taśmę z góry lub z dołu gorące powietrze. Biomasa poddawana procesowi suszenia wysypywana jest na taśmę cienką warstwą. Często stosuje się dodatkowe wibracyjne ruchy taśmy, co polepsza kontakt czynnika suszącego z biomasą. Na rysunku poniżej przedstawiono schemat suszarni taśmowej.



Rys. 15. Schemat suszarni taśmowej

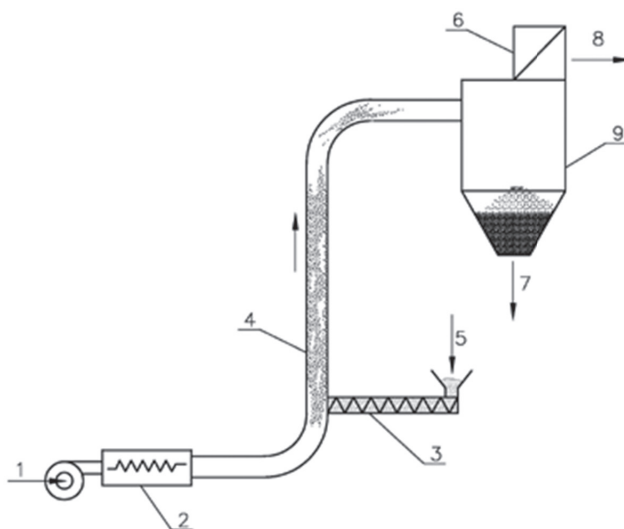
1 – zasyp surowca, 2 – komin, 3 – dopływ powietrza, 4 – rurowy wymiennik ciepła, 5 – odbiór wysuszonej biomasy

Podstawową zaletą suszarni taśmowych jest możliwość znacznego wydłużenia drogi suszenia oraz bezpośredni przedmuch gorącego powietrza przez złożę suszonej biomasy.

Umożliwia to obniżenie temperatury suszenia, dzięki czemu wzrasta jakość suszonego surowca. Wibracyjno-taśmowy przesuw biomasy pozwala na połączenie procesu suszenia z segregacją oraz pozbycie się zanieczyszczeń z suszonego produktu.

Suszarnie pneumatyczne

Zasada działania tego typu suszarni polega na tym, że materiał wprowadzany jest do rurociągu, gdzie zostaje porwany przez przepływający czynnik suszący (gorące powietrze, para wodna). Proces suszenia przebiega wzdłuż całej drogi transportu biomasy w rurociągu, co ilustruje rysunek poniżej.



Rys. 16. Suszarka pneumatyczna [www.wakro.com.pl]

1 – dopływ powietrza, 2 – nagrzewnica, 3 – przenośnik ślimakowy, 4 – rurociąg suszący, 5 – dopływ czynnika wilgotnego, 6 – filtr, 7 – odbiór materiału, 8 – odprowadzenie powietrza, 9 – zbiornik materiału

Gorący czynnik roboczy jest częściowo ponownie wykorzystywany (recyrkulacja), co obniża koszty eksploatacyjne całej instalacji.

Ze względu na krótki czas kontaktu biomasy z czynnikiem suszącym najlepiej suszą się materiały mające następujące cechy: łatwo przesypujące się, nielepkie, szybko schnące, o małych średnicach cząstek, do 2 mm.

Suszarnie pneumatyczne charakteryzują się:

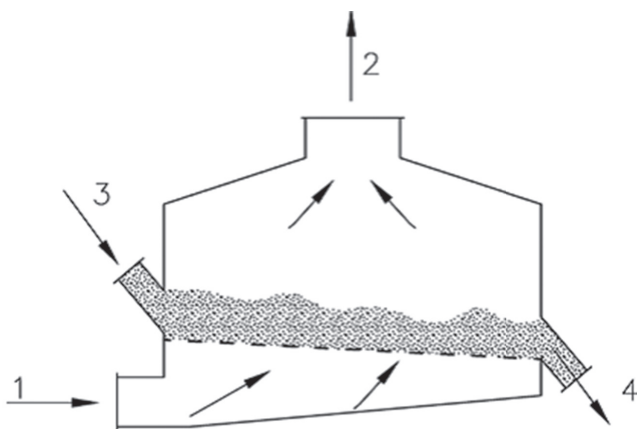
- krótkim czasem kontaktu materiału z czynnikiem suszącym,

- mają współprądowy przepływ materiału i czynnika suszącego,
 - umożliwiają stosowanie wysokich temperatur na wlocie urządzenia,
 - mają możliwość wykorzystania suszarki jako przenośnika suszonej biomasy,
 - charakteryzują się małą powierzchnią zabudowy,
 - cechują się łatwością kontroli i zmiany parametrów czynnika suszącego.
- Do wad suszarni pneumatycznych możemy zaliczyć:
- konieczność stosowania wysoko sprawnych urządzeń odpylających,
 - skomplikowany dobór urządzeń suszących ze względu na złożony charakter procesu i zmienne parametry wilgotnościowe czynnika suszącego.

Cechą charakterystyczną suszarni pneumatycznych jest wysoka intensywność wymiany ciepła i masy pomiędzy materiałem wilgotnym a czynnikiem suszącym, ze względu na dużą prędkość przepływu gazu suszącego, a co za tym idzie, znaczne rozwinięcie powierzchni materiału suszonego.

Suszarnie fluidalne

Zasada działania tych urządzeń polega na wprowadzeniu gorącego gazu do dolnej części urządzenia, w którym na przegrodzie o odpowiedniej przepuszczalnej budowie umieszczone jest złożo z materiału sypkiego. Doprowadzenie gazu suszarniczego o odpowiednim strumieniu powoduje rozluźnienie się złoża materiału do stanu, w którym cząstki otoczone są przez gaz i mogą się poruszać w obrębie złoża. Na rysunku poniżej przedstawiono ideę działania suszarki fluidyzacyjnej jednostopniowej.



Rys. 17. Suszarka fluidalna

1 – doprowadzenie czynnika suszącego, 2 – odprowadzenie czynnika suszącego, 3 – doprowadzenie materiału wilgotnego, 4 – odprowadzenie materiału wilgotnego

W suszarniach fluidalnych (fluidyzacyjnych) biomasa podawana jest na sito za pomocą słabego strumienia powietrza. Surowiec utrzymywany jest przy dnie urządzenia aż do czasu odparowania części wody. Gdy ciężar biomasy obniży się na tyle, że może być porywany i uniesiony do góry. Przesuszone zrębki są przechwytywane, a na dnie sita pozostają odseparowane zanieczyszczenia (ziemia, kamienie, nadwymiarowe kawałki drewna itp.). Dostępne są rozwiązania o kolumnowej (pionowej) lub poziomej (taśmowej) konstrukcji. Stosuje się także różne sposoby podawania powietrza (pulsacyjne, fontannowe), a także dodatkowo wprowadza się wibracje sita. Często w układach fluidalnych stosuje się instalacje odzysku ciepła technologicznego, co zwiększa efektywność ekonomiczną procesu suszenia.

Suszarki fluidalne charakteryzują się bardzo wysokimi wartościami współczynników wnikania ciepła i masy. Jednak obok zalet mają również swoje wady. Mogą być stosowane głównie do materiałów o krótkim pierwszym okresie suszenia. Nie są odpowiednie do materiałów o dużej wilgotności lub charakteryzujących się dużym zakresem rozmiarów cząstek.

Belowanie biomasy

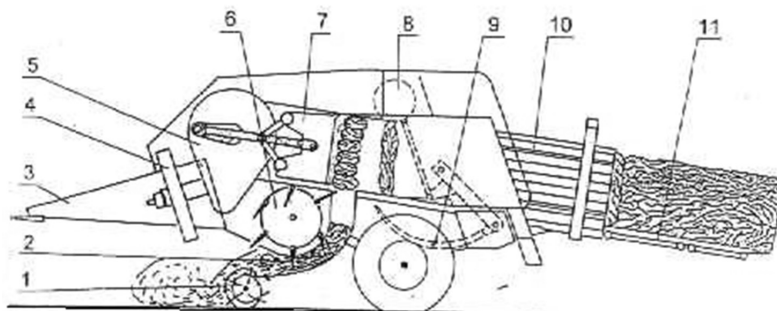
Biomasa w postaci luźnej słomy, siana oraz odpadów leśnych charakteryzuje się małą gęstością. Nieoptymalny jest transport takiego materiału na duże odległości ze względu na niski stopień wykorzystania tonażu środków transportu. Dodatkowym problemem jest składowanie tego rodzaju materiału, ponieważ niezbędne są pomieszczenia o dużej kubaturze. Zwiększenie gęstości tego rodzaju biomasy uzyskuje się poprzez prasowanie. W zależności od kształtu komory prasy zbierające dzieli się na:

- łótkowe (niskiego i wysokiego stopnia zgniotu),
- zwijające.

Prasy łótkowe niskiego stopnia zgniotu charakteryzują się tym, że szerokość komory prasowania jest równa szerokości roboczej podbieracza. Materiał formowany jest w postaci bel prostopadłościennych o masie w granicach 40-100 kg/m³. Prasy tego typu są obecnie w kraju rzadko stosowane.

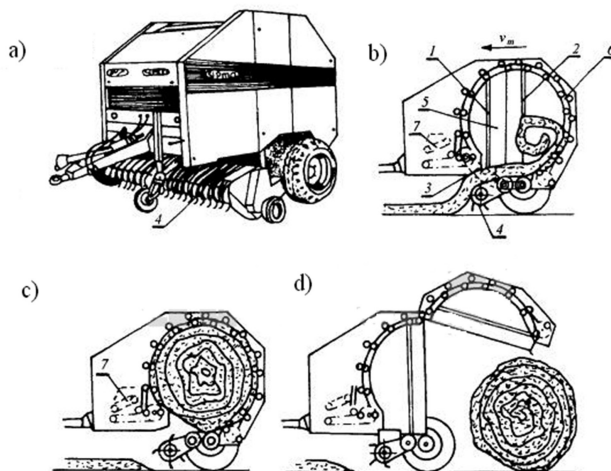
W prasach łótkowych wysokiego stopnia zgniotu uzyskuje się bele o masie objętościowej ok. 200 kg/m³, co pozwala na efektywniejsze wykorzystanie ładowności środków transportu oraz pomieszczeń magazynowych. W zależności od wielkości poprzecznego przekroju komory prasowania dzieli się na prasy formujące: bele małe (przekrój poprzeczny komory prasowania wynosi ok. 0,18 m²) i bele duże (przekrój poprzeczny komory prasowania wynosi ok. 0,7 m²). Długość bel w tych prasach jest regulowana bezstopniowo, typowy zakres to 0,50-3,00 m.

Na rysunku poniżej przedstawiono schemat prasy wielkogabarytowej.



Schemat prasy wielkogabarytowej: 1 – podbieracz, 2 – zespół rozdrabniający, 3 – dyszel, 4 – koło zamachowe, 5 – przekładnia główna, 6 – nagarniacz, 7 – tłok, 8 – aparat wiążący, 9 – igła, 10 – komora prasowania, 11 – ślizg [W/W.coach-bioenergy.eu]

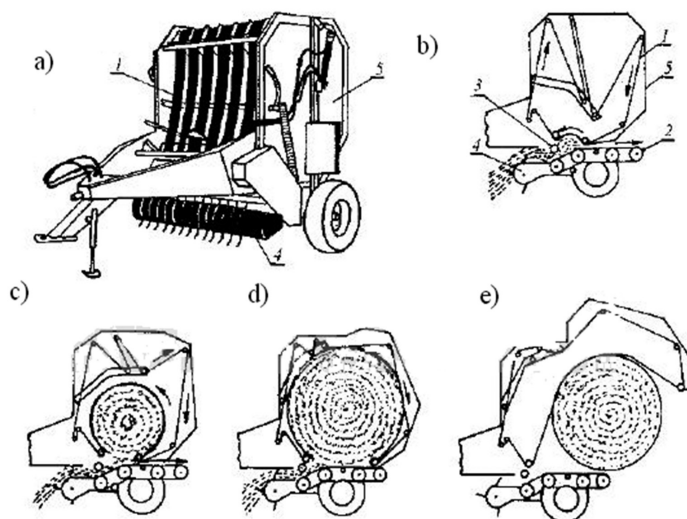
Prasy zwijające charakteryzują się prostą konstrukcją zespołu prasującego oraz prostymi urządzeniami do owijania beli sznurkiem. W prasach zwijających materiał formowany jest w postaci walców. Prasy te dzieli się na prasy o zmiennej i o stałej komorze prasowania. Na rysunku poniżej przedstawiono prasę zwijającą o stałej komorze prasowania.



Rys. 18. Prasa zwijająca ze stałą komorą prasowania: a) widok ogólny, b) początek zwijania, c) formowanie beli i owijanie, d) wyładunek

1 – rama przednia, 2 – rama tylna, 3 – podajnik z rolkami, 4 – podbieracz, 5 – komora zwijania, 6 – zespół zwijający, 7 – mechanizm owijający belę sznurkiem [www.tractor.pl]

Na rysunku poniżej przedstawiono prasę zwijającą o zmiennej komorze prasowania.



Rys. 19. Prasa zwijająca ze zmienną komorą prasującą: a) widok ogólny, b, c, d) fazy tworzenia się bali, e) wyładunek

1 – pasy, 2 – przenośnik, 3 – wałek napędowy, 4 – podbieracz, 5 – uchylna część komory [www.tractoor.pl]

Balowanie zwiększa gęstość energetyczną biomasy, co przekłada się na obniżenie kosztów jej transportu i magazynowania [Livingston, 2005]. Biomasa pozyskana w formie bali może być bezpośrednio użyta głównie w instalacjach z kotłami rusztowymi przystosowanymi do spalania słomy w tej postaci. W kotłowniach wyposażonych w inne kotły wymagana jest jej dalsza obróbka poprzez jej rozdrobnienie.

Brykietowanie biomasy

Brykietowanie zwiększa gęstość energetyczną i polepsza właściwości przemiatowe biomasy, dzięki czemu możliwe jest jej współmielenie z węglem. Problemem są właściwości hydrofilowe brykietów. Przechowywanie brykietów w wilgotnych pomieszczeniach może doprowadzić do degradacji biologicznej oraz rozpadu ich struktury, dlatego do ich składowania powinny być zapewnione specjalne warunki [Drożdż i inni, 2010].

Pelletyzacja biomasy

Pelletyzacja zwiększa gęstość energetyczną biomasy, przez co obniżeniu ulegają koszty transportu, umożliwia użycie paliwa w instalacjach z automatyczną linią podawania. Problemem jest wrażliwość pelletu na wodę – po kontakcie z wodą może pęcznieć i roz-

padać się, podobnie jak brykiet wymaga specjalnych warunków składowania. Pellet jest aktualnie najpopularniejszą i uniwersalną formą biomasy, stosowaną zarówno w dużych systemach współspalania, jak i małych, lokalnych kotłach na biomasę [Bergman, Boersma, Zwart, Kiel, 2005].

Produkcja pelletu polega na poddaniu biomasy suszeniu, mieleniu i prasowaniu [Rutkowska-Filipczak, 2006, Szczukowski, 2006].

Przed sprasowaniem surowiec należy odpowiednio przygotować, aby był podobnej jakości, jednolity, bez zanieczyszczeń oraz charakteryzował się niską wilgotnością.

Wg Rutkowskiej-Filipczak [2006], można wyróżnić następujące etapy technologii produkcji pelletu:

- oczyszczanie surowca z kamieni i większych kawałków drewna (za pomocą separatorów powietrznych) oraz z zanieczyszczeń metalowych (za pomocą silnych magnesów),
- suszenie (należy zwrócić szczególną uwagę, żeby było dokładne, gdyż wpływa to na jakość pelletu),
- rozdrabnianie – podczas tego etapu surowiec doprowadzony jest do odpowiedniej jednolitej wielkości umożliwiającej sprasowanie (za pomocą młynów młotkowych),
- przesiewanie przez sito rozdrobnionego surowca w celu uzyskania jednolitej optymalnej frakcji,
- dodanie pary wodnej, w wyniku czego materiał zostaje zmiękczony, przez co uzyskuje właściwą sprężystość oraz naturalną kleistość,
- granulacja (w granulatorze) – cały proces polega na tym, że surowiec za pomocą rolek jest wciskany pod dużym ciśnieniem w matrycę, w której znajdują się okrągłe otwory. Średnica produkowanego pelletu zależy od średnicy otworów w matrycy. Następnie za pomocą noży produkt jest przycinany na odpowiednią długość. W rezultacie otrzymuje się cylindryczny pellet o średnicy 6-10 mm i 20-30 mm długości. Po wyciśnięciu pellet ma temp. 70-90°C i musi być schłodzony,
- schłodzenie,
- przesiewanie, którego celem jest oddzielenie pokruszonego i niesprasowanego materiału,
- pakowanie.

Toryfikacja

Toryfikacja jest procesem termicznego przetwarzania biomasy do postaci paliwa stałego, tzw. biowęgla, o właściwościach zbliżonych do węgla. Proces przebiega w temperaturze 200-300°C, w atmosferze beztlenowej i przy ciśnieniu atmosferycznym.

Na proces toryfikacji wpływ ma wiele czynników, z których wyróżnić należy m.in.: skład biomasy, stopień jej rozdrobnienia, temperaturę i szybkość jej narastania oraz czas trwa-

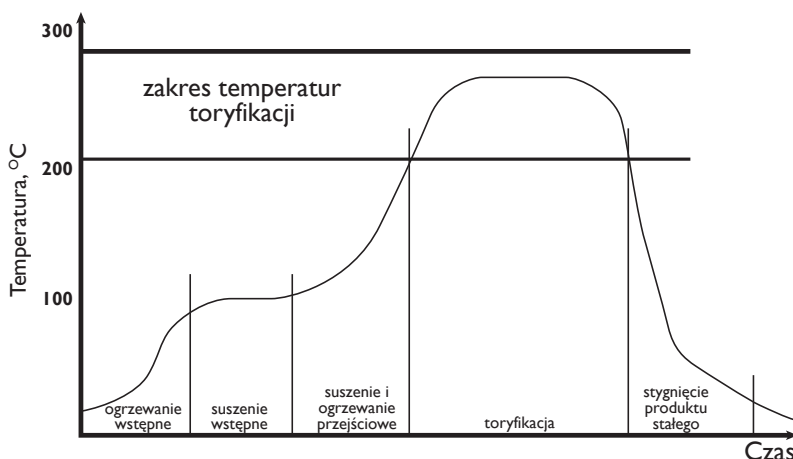
nia procesu.

Każdy z trzech polimerów budujących biomasę wykazuje odmienną wrażliwość na temperaturę. Wyróżnia się podstawowe zjawiska fizykochemiczne podczas ogrzewania biomasy typu lignino-celuloza:

- suszenie,
- depolimeryzacja,
- ograniczone odgazowanie i karbonizacja,
- rozległe odgazowanie i dalsze zwęglanie [Bergman, 2005].

Suszenie rozpoczyna się w temperaturze 100°C. Dla hemicelulozy proces ten przebiega najszybciej i kończy się przy 130-145°C, natomiast dla celulozy przebiega w najszerszym zakresie temperatur – do 170-200°C [Bergman, 2005]. Podczas suszenia ligniny obserwuje się dodatkowo mięknienie.

Depolimeryzacja przebiega w temperaturze 200-300°C, gdzie hemiceluloza i celuloza podlegają odgazowaniu i karbonizacji. Proces toryfikacji, poprzez rozpad struktur polimerowych, prowadzi nie tylko do zniszczenia włóknistej budowy biomasy i zmniejszenia jej wytrzymałości mechanicznej, ale również zwiększa kaloryczność paliwa [Bergman, 2005].



Rys. 20. Etapy ogrzewania wilgotnej biomasy do pożądanej temperatury toryfikacji w zależności od czasu procesu i z uwzględnieniem etapu studzenia produktu stałego [Bergman, 2005]

W tabeli przedstawiono ocenę wszystkich omówionych sposobów obróbki wstępnej biomasy i ich potencjał w zapobieganiu problemom w systemach współspalania z węglem.

Tabela 15. Rola obróbki wstępnej w zapobieganiu typowym problemom w systemach energetycznych wykorzystujących biomasę [Cocker-Maciejewska, 2007]

Wyszczególnienie	Kosztowny transport, przechowywanie	Straty masy (energii) podczas przechowywania	Zagrożenia dla bezpieczeństwa podczas przechowywania	Problemy z użytkowaniem istniejącej infrastruktury	Korozja
suszenie	0	++	++	x	0
rozdrabnianie	+	-	-	+	0
balotowanie	++	+	+	x	0
brykietowanie	+++	++1	++1	+	o2
pelletyzacja	+++	++1	++1	++	o2
toryfikacja	0	+++	+++	+	+
piroliza	+++3	+++3	+++3	+++3	-

(+) niewielka poprawa, (++) znaczna poprawa, (+++) bardzo duża poprawa, (-) negatywny wpływ, (0) bez znaczenia, (x) brak danych

1) Jeżeli odpowiednie warunki przechowywania są zapewnione.

2) Chyba że dodatki podwyższające punkt topnienia są dodane w procesie.

3) Paliwo w formie płynnej, wymagana jest dedykowana infrastruktura (przechowywanie, transport).

7. Mierzenie ekonomiczno-finansowych efektów funkcjonowania przedsięwzięcia

7.1. Mierzenie efektów ekonomicznych

Do mierzenia (analizy) efektów ekonomicznych realizowanych projektów najczęściej wykorzystuje się metodykę analizy kosztów i korzyści: AKK (często określana również skrótem CBA od ang. cost-benefit analysis). Jest to metodyka analizy zaliczana do ocen ex-ante (czyli przeprowadzana jeszcze przed rozpoczęciem realizacji projektu). W analizie tej zwraca się uwagę nie tylko na samą analizę finansową projektu, ale również na wpływ realizacji projektu na szeroko określone otoczenie. W ramach metodyki do dochodów generowanych przez projekt dolicza się przychody generowane dla otoczenia (umożliwienie generowania przychodów, jak np. dodatkowa sprzedaż) oraz oszczędności na kosztach (jak np. dostęp do tańszych produktów, usług).

Celem przeprowadzanej analizy CBA jest wykazanie, że realizacja projektu przyniesie korzyści nie tylko dla inwestora, ale również dla regionu (społeczeństwa, kraju).

Przystępując do analizy ekonomicznej należy przyjąć założenia odnośnie do tzw. cen dualnych (określanych często też cenami kalkulacyjnymi). Definicję cen dualnych można znaleźć w „Przewodniku do analizy kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych” wydanym przez Komisję Europejską. Zgodnie z zaproponowaną przez Komisję Europejską definicją, ceną dualną określamy: „alternatywny koszt dóbr, który zazwyczaj różni się od aktualnych cen rynkowych i od wysokości regulowanych taryf. Użycie cen kalkulacyjnych w analizie ekonomicznej pozwala ująć w bardziej adekwatny sposób rzeczywiste koszty nakładów i rzeczywiste korzyści dla społeczeństwa” [Komisja Europejska, 2008].

Przy przeprowadzaniu analizy ekonomicznej istotna jest również identyfikacja oraz oszacowanie wartości generowanych przy okazji realizacji projektu efektów zewnętrznych. Efekty zewnętrzne występują, gdy realizacja projektu przez dany podmiot ma wpływ na funkcjonowanie innego podmiotu (grupy podmiotów, rynku). Przykładem efektu zewnętrznego może być funkcjonowanie zakładu przemysłowego generującego „hałas” w pobliżu zabudowy mieszkaniowej. Fakt funkcjonowania zakładu przemysłowego obniża komfort korzystania z zabudowy mieszkaniowej. Efektem zewnętrznym funkcjonowania zakładu przemysłowego będzie obniżenie komfortu mieszkania (czasami jest on wyceniany na podstawie zmiany wartości analizowanej nieruchomości mieszkaniowej, lokalu mieszkaniowego).

Kolejnym elementem analizy ekonomicznej jest uwzględnienie efektów pośrednich generowanych przez projekt (jeśli ich wielkość jest istotna). Dla przykładu efektem bezpośrednim budowy nowej drogi będzie liczba osób (podmiotów) z niej korzystających, efektem pośrednim będzie przenoszenie się gospodarstw domowych do dzielnic (miej-

scowości] podmiejskich ze względu na lepsze połączenia z miejscami pracy dzięki nowej drodze.

Oszacowane w ramach przeprowadzonej analizy ekonomicznej koszty i korzyści należy dyskontować za pomocą tzw. realnej społecznej stopy dyskontowej (SDR). Często propozycję jej wielkości można znaleźć w wytycznych do sporządzania analiz ekonomicznych przy okazji aplikowania o środki unijne. W roku 2014 propozycja wielkości społecznej stopy dyskontowanej była na poziomie ok. 5%.

Mając oszacowane i zdyskontowane wielkości kosztów i korzyści generowanych przez projekt można obliczyć podstawowe wskaźniki, na podstawie których można obliczyć efektywność ekonomiczną:

Wartość ekonomicznej zaktualizowanej wartości netto (ENPV). Jest to wskaźnik liczony jako różnica pomiędzy zdyskontowanymi całkowitymi korzyściami i kosztami społecznymi. Przyjmuje się, że wartość tego wskaźnika w danym okresie (często określanym jako okres referencyjny, tzw. okres odniesienia, czyli okres „ekonomicznego życia projektu”, często również dla liczenia ENPV przyjmuje się okresy krótsze, jak np. okres tzw. trwałości projektu) powinna być wyższa od zera. Wartość ENPV liczona jest wg wzoru [Departament Regionalnego Programu Operacyjnego, Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego, 2008]:

$$ENPV = \sum_{t=0}^n a_t S_t^E = -\frac{S_0^E}{(1+r)^0} + \frac{S_1^E}{(1+r)^1} + \dots + \frac{S_n^E}{(1+r)^n}$$

gdzie:

S^E – salda strumieni ekonomicznych kosztów i korzyści generowanych przez projekt w poszczególnych latach przyjętego okresu odniesienia analizy,

n – okres odniesienia (liczba lat),

a – ekonomiczny współczynnik dyskontowy

$$a_t = \frac{1}{(1+r)^t}$$

r – przyjęta ekonomiczna stopa dyskontowa.

Poziom ekonomicznej stopy zwrotu (ERR). ERR powinna być na poziomie nie niższym niż przyjęta w analizach społeczna stopa dyskonta. Kwestią do dyskusji jest przyjęcie okresu, dla którego liczona jest ekonomiczna stopa zwrotu z realizacji projektu. Często okres, dla którego jest ona szacowana, jest zbieżny z okresem, który przyjmuje się jako okres, dla którego szacowana jest ENPV. Wartość ERR liczona jest wg wzoru [Departament Regionalnego Programu Operacyjnego, Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego, 2008]:

$$ENPV = \sum_{t=0}^n \frac{S_t^E}{(1+ERR)^t} = 0$$

gdzie:

S^E – salda strumieni ekonomicznych kosztów i korzyści generowanych przez projekt w poszczególnych latach przyjętego okresu odniesienia analizy,

n – okres odniesienia (liczba lat).

Wartość wskaźnika korzyści/koszty (K/K). Jest to wskaźnik liczony jako stosunek zdyskontowanych korzyści ekonomicznych do kosztów. Wartość tego wskaźnika powinna być wyższa od 1 (lub przynajmniej jemu równa). Oznacza to, że generowane przez projekt korzyści są na poziomie wyższym niż koszty. Wartość K/K liczona jest wg wzoru [Departament Regionalnego Programu Operacyjnego, Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego, 2008]:

$$B/c = \frac{\sum_{t=0}^n a_t B_t^E}{\sum_{t=0}^n a_t C_t^E} = \frac{\frac{B_0^E}{(1+r)^0} + \frac{B_1^E}{(1+r)^1} + \dots + \frac{B_n^E}{(1+r)^n}}{\frac{C_0^E}{(1+r)^0} + \frac{C_1^E}{(1+r)^1} + \dots + \frac{C_n^E}{(1+r)^n}}$$

gdzie:

B^E – strumienie korzyści ekonomicznych generowanych przez projekt w poszczególnych latach przyjętego okresu odniesienia analizy,

C^E – strumienie kosztów ekonomicznych generowanych przez projekt w poszczególnych latach przyjętego okresu odniesienia analizy,

n – okres odniesienia (liczba lat),

a – ekonomiczny współczynnik dyskontowy,

$$a_t = \frac{1}{(1+r)^t}$$

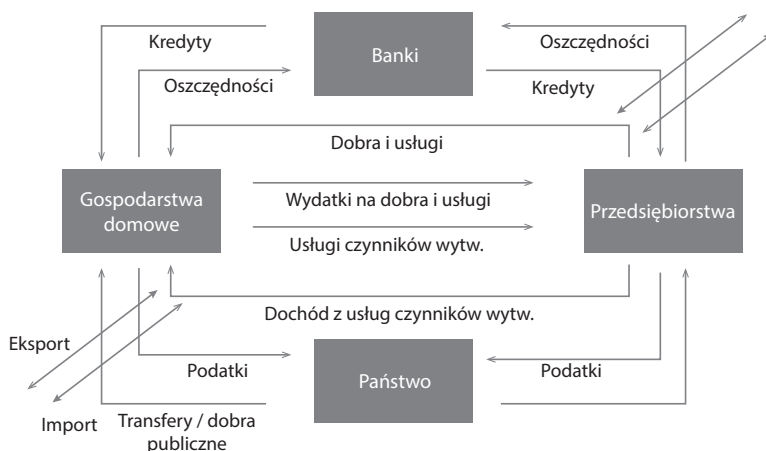
r – przyjęta ekonomiczna stopa dyskontowa.

Punktem przeprowadzenia analizy ekonomicznej powinny być przepływy pieniężne oszacowane przy przeprowadzaniu analizy finansowej. Obliczając wskaźnik ENPV, oszacowane w analizie finansowej przepływy pieniężne powinny zostać skorygowane o przepływy wynikające ze zidentyfikowanych efektów zewnętrznych i pośrednich. Należy pamiętać, że analiza ekonomiczna nie powinna ograniczać się tylko do analizy finansowej, ale również jakościowej. Przy szacowaniu efektów „jakościowych” uwzględniane są dane, które są trudne do wyceny (w jednostkach pieniężnych), należy podjąć próbę ich przed-

stawienia w formie liczbowej. Wpływ projektu na środowisko, powietrze można przedstawić np. jako spadek pyłów PM w powietrzu.

W analizie ekonomicznej należy zwrócić szczególną uwagę na tzw. transfery. Transferami są określane wszystkie podatki, opłaty, koszty finansowe, subsydia. W trakcie analizy ekonomicznej należy zwrócić uwagę (zdecydować, założyć), w którym miejscu analizy będą uwzględniane transfery. Analiza powinna być skorygowana o transfery tylko w przypadku, gdy mają one charakter tylko transferu dochodów pomiędzy inwestorem a państwem i społeczeństwem (gospodarką). W przypadku, gdy inwestor nie wykazuje transferów w swojej analizie finansowej, należy rozważyć ich uwzględnienie w analizie ekonomicznej. W przypadku transferów należy podać ich rodzaj i wartość (również w odniesieniu do transferów, które nie są uwzględniane w analizie ekonomicznej).

Przeprowadzając analizę ekonomiczną należy uwzględnić wszystkich interesariuszy względem projektu. Podczas przeprowadzania analizy ekonomicznej, przy uwzględnianiu wpływu projektu na transfery w gospodarce, przydatne jest spojrzenie na gospodarkę krajową jako całość powiązanych między sobą podmiotów i transferów występujących między nimi. Podstawowymi ogniwami gospodarki są gospodarstwa domowe i przedsiębiorstwa. Funkcję wspierającą pełni Państwo (które pełni funkcję „realokacji zasobów”) oraz banki (które pełnią funkcję „realokacji kapitału”).



Rys. 21. Model obiegu gospodarczego [opracowanie własne]

Przy przeprowadzaniu analizy ekonomicznej należy przeprowadzić analizę wrażliwości (ryzyka), czyli ocenę wpływu na efektywność ekonomiczną projektu zidentyfikowanych, kluczowych czynników (zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych). Analizę wrażliwo-

ści można przeprowadzić nie tylko z punktu widzenia „wartościowego”, ale także jakościowego. Wśród obszarów ryzyka jakościowego można wyróżnić m.in.:

- techniczne (np. pojawienie się nowych technologii, które mogą spowodować pojawienie się substytutów względem produktów projektu),
- ekologiczne (np. możliwe nowe obowiązki w zakresie ochrony środowiska),
- społeczne (np. opór społeczny).

7.2. Mierzenie efektów finansowych

Rozpoczynając realizację projektu należy przeprowadzić analizę opłacalności przedsięwzięcia. W trakcie funkcjonowania firmy przeprowadzać należy bieżący monitoring stanu finansów przedsiębiorstwa.

Przeprowadzając rachunek ekonomiczny, w podstawowym wariancie należy oszacować stopę zwrotu z zaangażowanego kapitału. Stopa zwrotu z zaangażowanego kapitału powinna być nie niższa niż możliwy do uzyskania zwrot z tzw. inwestycji alternatywnej zaangażowania kapitału, która jest wolna od ryzyka (np. inwestycja w obligacje skarbu państwa czy lokata bankowa). Stopę zwrotu z zaangażowanego kapitału utożsamia się często z wewnętrzną stopą zwrotu. Zgodnie z literaturą, wewnętrzna stopa zwrotu z inwestycji to taka stopa procentowa, „przy użyciu której aktualna wartość netto wszystkich wpływów i wydatków związanych z realizacją i eksploatacją projektu inwestycyjnego jest równa zero” [Świderska, 2010]. Innymi słowy, liczona jest ona dla sytuacji, gdy wszystkie środki netto (wpływy pomniejszone o wydatki operacyjne) generowane dzięki realizacji projektu zrównają się z nakładami inwestycyjnymi poniesionymi w związku z realizacją projektu. Wewnętrzną stopę zwrotu zaangażowanego kapitału liczy się wg wzoru [Świderska, 2010]:

$$0 = \sum_{i=0}^n \frac{NCF_i}{(1 + R)^i}$$

gdzie:

NCF – strumień pieniężny netto uzyskany zarówno w okresie realizacji projektu inwestycyjnego, jak i jego eksploatacji,

k – ostatni okres realizacji projektu lub okres, w którym następuje jego likwidacja,

i – kolejne okresy realizacji projektu, a następnie jego eksploatacji: 1, 2, ..., k,

R – wewnętrzna stopa zwrotu.

Po przekształceniach powyższego wzoru można otrzymać wzór na R [Świdarska, 2010]:

$$R \approx r_1 + \frac{NPV_1 \cdot (r_2 - r_1)}{NPV_1 + dNPV_2}$$

gdzie:

r_1 – poziom stopy procentowej, przy użyciu której obliczone $NPV_2 > 0$,

r_2 – poziom stopy procentowej, przy użyciu której obliczone $NPV_2 < 0$.

W praktyce liczona jest wewnętrzna stopa zwrotu jako IRR. W tym celu wykorzystywany jest skoroszyt Excel i dostępna w nim funkcja. Istotne jest uwzględnienie przy liczeniu IRR ujemnych przepływów pieniężnych występujących na początku realizacji projektu.

Szacując stopę zwrotu z inwestycji istotne jest oszacowanie przychodów oraz wartości nakładów i kosztów uzyskania przychodów. Szacując pozycje przychodowe oraz kosztowe należy przyjąć je w tzw. wariancie pesymistycznym, tzn. przychody powinny być założone na poziomie najniższym do przewidzenia, a koszty na poziomie najwyższym z możliwych do przewidzenia. Plan przychodów oraz wartości nakładów i kosztów uzyskania przychodów powinien być sporządzony w formie harmonogramu rzeczowo-finansowego. W harmonogramie przedstawione są wielkości w ujęciu ilościowym i wartościowym w podziale na okresy, w jakich będą ponoszone. W skład nakładów (wydatków kapitałowych, tzw. CAPEX) wchodzi wartość nakładów związanych z zakupem nowych składników majątku trwałego oraz wydatków odtworzeniowych (tzw. inwestycji restytucyjnych). W przypadku projektów związanych z nowymi inwestycjami istotną wartość mają wydatki związane z zakupem nowych składników majątku. Jednak w planach należy również uwzględnić tzw. wydatki odtworzeniowe, które są związane z utrzymaniem majątku trwałego w stanie umożliwiającym generowanie korzyści ekonomicznych. Często kosztem mającym przybliżyć wartość kosztów związanych z tzw. wydatkami odtworzeniowymi jest amortyzacja. Koszty uzyskania przychodów są nazywane kosztami operacyjnymi (tzw. OPEX). Głównymi składowymi kosztów operacyjnych są koszty materiałów i energii (w tym koszt energii cieplnej, elektrycznej, paliwa), usług obcych (w tym wynajmu pomieszczeń) oraz koszty wynagrodzeń (ponoszone w przypadku zatrudniania pracowników). Przychody powinny być planowane na podstawie wielkości możliwej sprzedaży oraz ceny sprzedawanych produktów / usług.

Przykład: wielkości finansowe związane z projektem funkcjonowania w segmencie biomas.

Nakłady inwestycyjne (CAPEX) np.: wydatki związane z założeniem plantacji roślin energetycznych (przygotowanie terenu, zakup sadzonek, koszty robocizny itp.), zakup suszarni, kotłów na biomasę (w tym przygotowanie powierzchni budynku), środków transportu. Wszystkie ww. wydatki można zaliczyć w poczet wartości majątku trwałego.

Wydatkami odtworzeniowymi będą np. koszty związane z uzupełnianiem liczby sadzonek, remontami kotłów;

Koszty operacyjne (OPEX), np. koszty paliwa (np. wykorzystywanego przez środki transportu przy uprawach roślin energetycznych lub podczas transportu biomasy), koszty osobowe (np. wynagrodzenia osób zatrudnionych przy wytwarzaniu, dystrybucji biomasy oraz wytwarzaniu energii z biomasy razem ze składkami płaconymi na ubezpieczenie społeczne);

Przychody, np.: przychody ze sprzedaży biomasy (liczone jako iloraz Mg biomasy oraz ceny), przychody ze sprzedaży biomasy przygotowanej do wykorzystania na cele energetyczne (liczone jako iloraz Mg biomasy oraz ceny), przychody ze sprzedaży wytworzonej energii (liczone jako wielkość sprzedanych MWh oraz ceny), przychody uzyskiwane z tytułu świadczenia usług transportu biomasy (tutaj punktem wyjścia może być ustalenie ceny, czy będzie to opłata uzależniona od dystansu, objętości, ciężaru ładunku, usług oraz liczby sprzedanych usług).

Jedną ze składowych szacowania zwrotu z inwestycji jest szacowanie wartości bieżącej netto (NPV). NPV to skumulowana, zdyskontowana wartość środków pieniężnych generowanych przez projekt. NPV liczymy wg wzoru [Świderska, 2010]:

$$NPV = \sum_{i=0}^k \frac{NCF_i}{(1+r)^i}$$

gdzie:

NCF_i – strumień pieniężny netto uzyskany zarówno w okresie realizacji projektu inwestycyjnego, jak i jego eksploatacji,

k – ostatni okres realizacji projektu lub okres, w którym następuje jego likwidacja,

i – kolejne okresy realizacji projektu, a następnie jego eksploatacji: 1, 2, ..., k ,

r – stopa procentowa⁹.

Z tego powodu istotnym elementem jest przyjęcie czynnika dyskontującego na odpowiednim poziomie. Często czynnik dyskontujący przyjmowany jest na podstawie oszacowanego poziomu kosztu kapitału. W przypadku przedsiębiorstwa szacowany jest średnioważony koszt kapitału (WACC). Na średnioważony koszt kapitału składa się koszt kapitału własnego oraz koszt kapitału obcego. Średnioważony koszt kapitału liczony jest wg wzoru [Gabrusewicz, 2014]:

$$WACC = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot k_i)$$

9 Często w praktyce jest ona utożsamiana ze średnioważonym kosztem kapitału.

gdzie:

WACC – średni ważony koszt kapitału,

w – udział danego kapitału w kapitale całkowitym wyznaczającym jego wagę,

k – koszt poszczególnych kapitałów,

i – dany rodzaj kapitału.

Podstawą szacowania kosztu kapitału własnego jest koszt inwestycji alternatywnej, wolnej od ryzyka. W przypadku kosztu kapitału obcego podstawą szacowania kosztu kapitału jest koszt długu (utożsamiany z efektywną stopą opodatkowania kredytu). Dla mniejszych problemów pewnym przybliżeniem szacowania kosztu kapitału własnego może być przyjęcie oprocentowania inwestycji wolnej od ryzyka (np. Obligacji 10-letnich Skarbu Państwa lub lokaty bankowej). W przypadku projektów dofinansowywanych ze środków unijnych można spotkać się ze wskazaniem tzw. społecznej stopy dyskonta na poziomie 5–5,5%.

Dla możliwości szacowania tzw. opłacalności realizacji projektu należy założyć pożądany okres zwrotu, czyli okresu (często określanego w latach), po jakim zostanie osiągnięta dodatnia wartość skumulowanych, zdyskontowanych środków pieniężnych generowanych dzięki realizacji projektu. Drugą wartością, jaką należy określić, jest wartość wewnętrznej stopy zwrotu, tzw. IRR. Przyjęto się, że powinien on osiągnąć pożądaną wartość (zazwyczaj nie niższą niż koszt kapitału) w wybranym okresie.

Dodatkowo w przypadku analizy finansowej powinna być przeprowadzana analiza wrażliwości otrzymanych wyników (okresu zwrotu, wewnętrznej stopy zwrotu) na kluczowe czynniki, których wartość potencjalnie może zmienić się w przyszłości, której na dzień szacowania, tzw. opłacalności projektu, nie można było w 100% określić. Często czynnikami tymi są cena, osiągnięta marża oraz koszt kapitału. Analizę wrażliwości najłatwiej sporządza się w programie MS Excel jako „tabelę danych” (w zakładce Dane / analiza warunkowa).

9,39	4,0%	5,0%	7,0%	7,5%	8,0%	10,0%	12,0%
400	10,10	10,64	12,00	12,44	12,91	15,56	0,00
410	9,62	10,10	11,3	11,67	12,07	14,25	18,37
420	9,18	9,62	10,68	10,99	11,35	13,16	16,31
425,0	8,98	9,39	10,40	10,70	11,01	12,69	15,48
430	8,79	9,18	10,12	10,41	10,71	12,26	14,75
440	8,42	8,78	9,63	9,87	10,14	11,48	13,51
450	8,09	8,41	9,17	9,40	9,64	10,79	12,50

Tabela 16. Przykładowa tabela analizy wrażliwości okresu zwrotu inwestycji na cenę i koszt kapitału

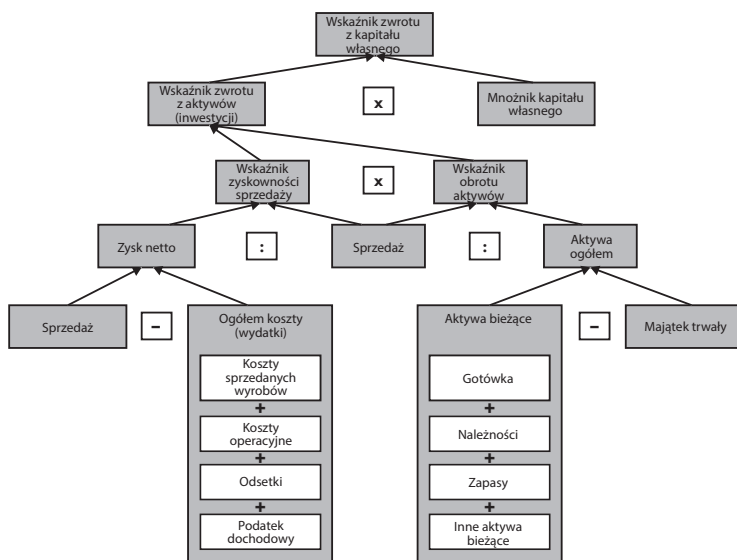
Źródło: Opracowanie własne

W przypadku, gdy projekt realizowany jest w formie prawnej, dla której prowadzony jest system rachunkowości, możliwe jest sporządzanie sprawozdań finansowych. Na sprawozdania finansowe składa się bilans, rachunek wyników (zysków i strat) oraz rachunek przepływów pieniężnych. Należy zwrócić uwagę, że nowelizacja ustawy o rachunkowo-

ści z 2014 roku wprowadziła pojęcie jednostki mikro, do których zalicza się m.in. spółki handlowe oraz spółki cywilne, które mają małą skalę działalności, „nie przekroczyły co najmniej dwóch z następujących trzech wielkości:

- a) 1 500 000 zł – w przypadku sumy aktywów bilansu na koniec roku obrotowego,
- b) 3 000 000 zł – w przypadku przychodów netto ze sprzedaży towarów i produktów za rok obrotowy,
- c) 10 osób – w przypadku średniorocznego zatrudnienia w przeliczeniu na pełne etaty” [DzU 2014].

Sprawozdania finansowe analizowane są za pomocą wskaźników. Głównym analizowanym wskaźnikiem pod kątem oceny tzw. opłacalności inwestycji jest wskaźnik zwrotu z kapitału własnego. Szacuje się go jako iloczyn mnożnika kapitału własnego oraz wskaźnika zwrotu z aktywów. Mnożnik kapitału własnego (często utożsamiany z dźwignią finansową) informuje o relacji pomiędzy wartością aktywów a wartością kapitału własnego. Wskaźnik zwrotu z aktywów obliczany jest jako iloraz iloczynu wskaźnika zyskowności sprzedaży (czyli ilorazu zysku netto i sprzedaży) oraz wskaźnika obrotu aktywów (czyli ilorazu sprzedaży i aktywów ogółem). Zysk netto jest to różnica pomiędzy przychodami ze sprzedaży oraz kosztami operacyjnymi powiększonymi o podatek dochodowy. Powyżej przedstawioną analizę wskaźnikową zaproponował Du Pont w tzw. drzewie Du Ponta, które zostało zaprezentowane poniżej.



Rys. 22. Analiza Du Pont [opracowanie własne na podstawie Koźmiński, Piotrowski, 2002]

Analizując sprawozdania finansowe należy również zwracać uwagę na wskaźniki oceny funkcjonowania przedsiębiorstwa pod kątem utrzymania płynności finansowej oraz sprawności funkcjonowania. Płynność finansową często utożsamia się ze zdolnością do regulowania bieżących zobowiązań. Płynność finansową liczy się jako iloraz gotówki operacyjnej i zobowiązań krótkoterminowych. Często przy ocenie płynności finansowej dokonywana jest również ocena sprawności funkcjonowania „przedsiębiorstwa”. Do oceny sprawności funkcjonowania wykorzystywane są wskaźniki rotacji zapasów, należności oraz zapasów. Wskaźniki rotacji zapasów i należności w dniach dostarczają informacji, na jaki okres „zamrażana” jest gotówka z zapasach (np. paliwo) oraz na jaki okres jest udzielany kredyt odbiorcom (oczekujemy na spłatę należności z tytułu sprzedaży). Z drugiej strony, wskaźnik rotacji zobowiązań informuje, na jaki okres finansujemy się, dzięki odraczaniu płatności wobec dostawców. W przypadku, gdy okres rotacji zapasów i należności jest krótszy niż rotacji zapasów, następuje finansowanie działalności tzw. kapitałem pracującym. Wskaźnik rotacji zapasów w dniach liczymy wg wzoru [Sierpińska, Niedbała, 2003]:

$$CZap_d = \frac{Zap \cdot D}{S}$$

gdzie:

$CZap_d$ – cykl rotacji zapasów w dniach,

Zap – średni stan zapasów w okresie,

D – liczba dni w okresie,

S – przychody ze sprzedaży.

Wskaźnik rotacji należności w dniach liczymy wg wzoru [Sierpińska, Niedbała, 2003]:

$$CN_d = \frac{N \cdot D}{S}$$

gdzie:

CN_d – cykl rotacji należności w dniach,

N – średni stan należności w okresie,

D – liczba dni w okresie,

S – przychody ze sprzedaży.

Wskaźnik rotacji zobowiązań w dniach liczymy wg wzoru:

$$CZob_d = \frac{Zob \cdot D}{S}$$

gdzie:

$CZob_d$ – cykl rotacji zobowiązań w dniach,

Zob – średni stan zobowiązań krótkoterminowych (bez kredytów) w okresie,

D – liczba dni w okresie,

S – przychody ze sprzedaży.

8. Potencjalne źródła finansowania zielonych miejsc pracy

Dzięki rozwojowi produkcji biomasy zostanie stworzony „mikrosegment”. W skład nowego segmentu lokalnej gospodarki będą wchodzić:

- producenci biomasy (rolnicy),
- podmioty przygotowujące biomasę do wykorzystania energetycznego,
- podmioty wytwarzające energię z biomasy,
- podmioty wytwarzające urządzenia na potrzeby produkcji i przygotowania biomasy na cele energetyczne oraz wytwarzania energii z biomasy,
- podmioty zajmujące się logistyką biomasy.

Zgodnie z wyżej przeprowadzonymi analizami, przychody uzyskiwane z produkcji biomasy i jej wykorzystywania na cele energetyczne powinny wystarczyć na pokrycie kosztów stworzonych zielonych miejsc pracy oraz wygenerowanie dodatniego dochodu. W poniższej tabeli przedstawiono ogniwa wchodzące w segment produkcji biomasy oraz potencjalne źródła finansowania zielonych miejsc pracy stworzonych w poszczególnych ogniwach.

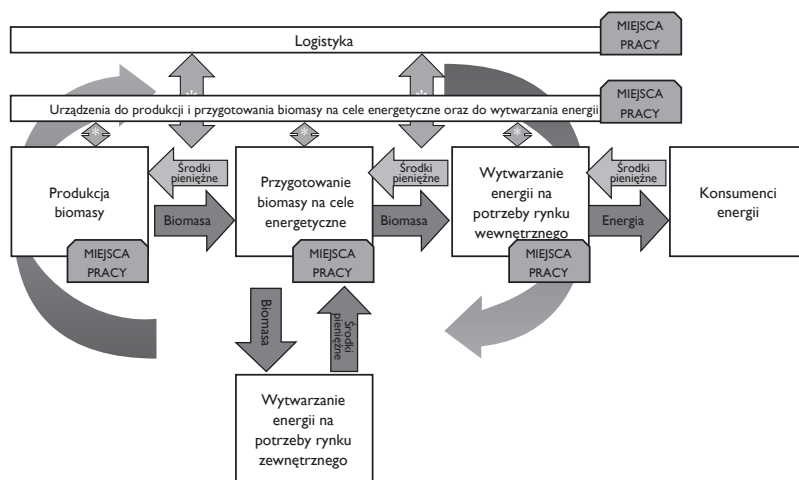
Tabela 17. Potencjalne źródła finansowania zielonych miejsc pracy

Nazwa ogniwa	Potencjalne miejsca pracy	Źródło finansowania stworzonych miejsc pracy
Produkcja biomasy	W przypadku biomasy rolniczej rolnicy W przypadku biomasy leśnej leśnicy W przypadku biomasy pochodzącej z odpadów komunalnych nie będą generowane nowe miejsca pracy	Przychody ze sprzedanej biomasy W przypadku sprzedaży do lokalnych wytwórców biomasy/energii będą to środki pochodzące z regionu W przypadku sprzedaży do zewnętrznych wytwórców biomasy/energii będą to nowe środki, „ściągnięte” do regionu

Nazwa ognia	Potencjalne miejsca pracy	Źródło finansowania stworzonych miejsc pracy
Przygotowanie biomasy na cele energetyczne (suszenie, magazynowanie)	Pracownicy obsługujący suszarnie Pracownicy obsługujący magazyny (w przypadku magazynów lokalnych pracownicy ochrony)	Źródła finansowania miejsc pracy w tym ogniu będą analogiczne jak w poprzednim
Wytwarzanie energii na potrzeby rynku wewnętrznego	W przypadku lokalnej ciepłowni będą to osoby do bieżącej obsługi – zapewnienie ciągłego wsadu do kotła Osoby zajmujące się konserwacją urządzeń Osoby zajmujące się zarządzaniem (m.in. kontraktacja dostaw)	Przychody uzyskane ze sprzedaży: ciepła i chłodu od odbiorców na rynku lokalnym, energii elektrycznej do dystrybutorów energii elektrycznej lub odbiorców lokalnych (przedsiębiorcy)
Urządzenia do produkcji biomasy na cele energetyczne oraz wytwarzania energii	Pracownicy biurowi/handlowcy Pracownicy fizyczni Monterzy wytworzonych urządzeń	Przychody uzyskane od odbiorców z rynku lokalnego i zewnętrznego
Logistyka (gł. transport)	Osoby zajmujące się załadunkiem i rozładunkiem dostaw biomasy Kierowcy Pracownicy serwisów (zazwyczaj to będzie dodatkowa część etatu) W przypadku firm zewnętrznych osoby zarządzające (zazwyczaj to będzie dodatkowa część etatu)	Przychody z dostarczonej biomasy W przypadku sprzedaży do lokalnych wytwórców biomasy/energii będą to środki pochodzące z regionu W przypadku sprzedaży do zewnętrznych wytwórców biomasy/energii będą to nowe środki, „ściągnięte” do regionu

Źródło: CASE-Doradcy, Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży, „Diagnoza i analiza problemu zastępowania konwencjonalnych surowców energetycznych biomasą w ramach projektu pt. „Innowacyjne możliwości tworzenia zielonych miejsc pracy szansą dla województwa podlaskiego. Raport końcowy”, Łomża, 2013, str. 43-45.

Schemat obiegu środków pieniężnych oraz miejsca, gdzie potencjalnie mogą być tworzone nowe miejsca pracy, został zaprezentowany poniżej.



Rys. 23. Schemat tworzenia zielonych miejsc pracy [CASE-Doradcy, Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży, 2013]

8.1. Przykładowa analiza ekonomiczna

Rozpatrując ekonomiczne efekty funkcjonowania zielonych miejsc pracy w zakresie wytwarzania, dystrybucji oraz wykorzystania biomasy na cele energetyczne należy dokonać identyfikacji obszarów szeroko rozumianego otoczenia sektora biomasy. Funkcjonowanie sektora biomasy może mieć istotny wpływ na:

- rynek pracy,
- sektor publiczny,
- środowisko naturalne,
- sektor energetyczny.

Przeprowadzając analizę ekonomiczną funkcjonowania sektora biomasy można ją przeprowadzić w dwóch aspektach. W pierwszym podejściu sektor może być traktowany niezależnie, analizowane są tylko efekty związane z funkcjonowaniem sektora. W drugim podejściu rozwój sektora jest analizowany w kontekście wpływu na sektor „substytucyjny” (czyli sektor, który wraz z rozwojem sektora analizowanego będzie ulegał zmniejszeniu).

W przypadku rynku pracy, podstawowym efektem tworzonych w ramach sektora zielonych miejsc pracy będzie pozytywny wpływ na wzrost wskaźnika zatrudnienia (widoczny w skali regionu), a co z tym się wiąże, obniżenie stopy bezrobocia.

W przypadku sektora publicznego pozytywny wpływ będzie wynikał z kilku czynników. Pierwszym będzie wzrost bazy podatkowej (zarówno podatków bezpośrednich płaconych przez osoby fizyczne, jak i przedsiębiorców funkcjonujących w ramach sektora biomasy lub świadczących dla niego usługi/dostarczających produkty). Ponadto funkcjonowanie sektora powinno przynieść dodatkowe przychody z tytułu podatków płaconych przy okazji transakcji zawieranych w ramach funkcjonowania sektora biomasy, takich jak podatek VAT, akcyza płacona przy okazji zakupu paliwa. Dzięki tworzeniu zielonych miejsc pracy część osób do tej pory bezrobotnych znajdzie zatrudnienie. Potencjalnie powinno to zmniejszyć obciążenie finansów publicznych wynikające z konieczności realizacji świadczeń na rzecz osób bezrobotnych.

Wykorzystywanie biomasy na cele energetyczne zamiast konwencjonalnego nośnika energii, węgla powinno pozytywnie wpływać na środowisko naturalne. Przy spalaniu biomasy emitowanych jest do atmosfery istotnie mniej szkodliwych substancji niż w przypadku spalania węgla. Dodatkowo biomasa wykorzystywana lokalnie wymaga mniejszego zużycia paliw związanych z transportem niż w przypadku węgla (który często jest dostarczany z bardziej odległych miejsc) [Osiak, Skudlarski, Izdebski, (2009b)]. Dzięki temu do atmosfery emitowanych jest mniej szkodliwych substancji generowanych podczas transportu.

Sektor energetyczny potencjalnie dzięki funkcjonowaniu powinien mieć dostęp do tańszego „paliwa” wykorzystywanego do wytwarzania energii.

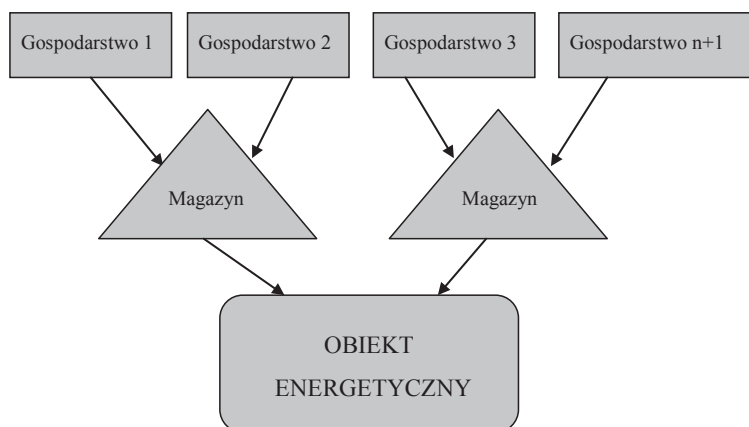
Funkcjonowanie sektora biomasy potencjalnie może mieć wpływ na sektor rolnictwa. Wytwarzanie biomasy przez gospodarstwa rolne wiąże się z jednej strony z możliwością dywersyfikacji źródeł dochodów oraz aktywizacji członków gospodarstw rolnych, którzy są w stanie bezrobocia (ukrytego). Sprzedaż biomasy może również przyczynić się do możliwości osiągania przychodów z tytułu zagospodarowania „odpadów” generowanych przy okazji funkcjonowania gospodarstw rolnych, jak np. gnojowica [Osiak, Skudlarski, Izdebski, 2009a].

Kolejnym sektorem, na który rozwój sektora biomasy może mieć wpływ, jest sektor edukacji. Funkcjonowanie sektora biomasy wiąże się ze wzrostem zapotrzebowania na specjalistów zarówno w obszarze wytwarzania biomasy (uprawa roślin energetycznych), dystrybucji biomasy (w tym specjalistów obsługujących maszyny wykorzystywane w procesie dystrybucji jak m.in. samochody, suszarnie), jak i wytwarzania energii. Wzrost zapotrzebowania na specjalistów może wiązać się z zapotrzebowaniem na nowe kierunki kształcenia. Rozwój sektora biomasy również powinien mieć wpływ na inne sektory, wśród których można wyróżnić sektor, w którym funkcjonują firmy transportowe, sektor, w którym funkcjonują firmy wytwarzające sprzęt wykorzystywany przy okazji wytwarzania, dystrybucji oraz wykorzystania biomasy na cele energetyczne.

8.2. Przykładowa analiza finansowa

W niniejszym rozdziale zaprezentowano analizę finansową opracowaną na podstawie danych uzyskanych z badań w ramach zadania pn. „Diagnoza i analiza problemu zastępowania konwencjonalnych surowców energetycznych biomasą” zrealizowanego w projekcie pn. „Innowacyjne możliwości tworzenia zielonych miejsc pracy szansą dla województwa podlaskiego”. W pierwszej części rozdziału przedstawiono analizę finansową wraz z propozycją schematu postępowania przy sporządzaniu takich analiz na własne potrzeby. Analizy zostały opracowane na przykładzie: producenta biomasy oraz podmiotu transportującego biomasę. Dane wejściowe do analiz pochodziły z badań, którymi zostały objęte dwie gminy miejskie i trzy wiejskie z województwa podlaskiego. Na potrzeby analizy dane z badań uśredniono. Założono, że biomasę będzie transportowana przy wykorzystaniu ciągnika siodłowego z naczepą lub samochodu ciężarowego z przyczepą¹⁰. Dodatkowo przyjęto, że biomasę będzie przewożona na odległości nie większe niż 30 km, co wynika z rachunku ekonomicznego (opłacalności ekonomicznej i finansowej). Przyjęto dwa warianty systemów logistyki biomasy do wytwórców energii mających siedzibę w analizowanych regionach:

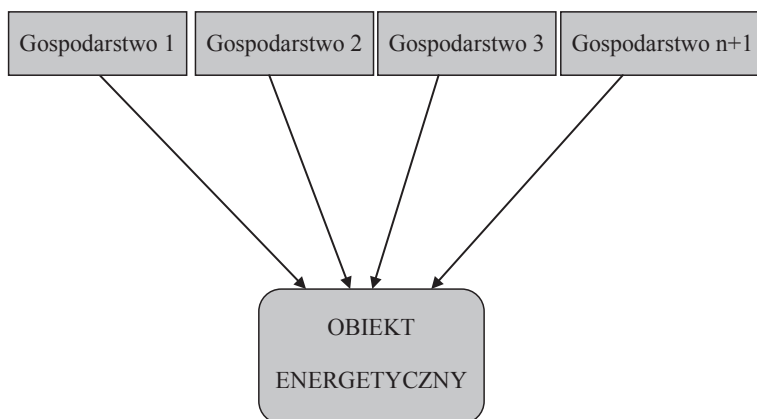
wariant pierwszy zakłada budowę lokalnych magazynów, z których biomasę będzie dostarczana do odbiorcy końcowego (wytwórcy energii)



Rys. 24. Schemat organizacji zakupu biomasy z wykorzystaniem magazynów lokalnych [CASE-Doradcy, Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży, 2013]

¹⁰ Na podstawie informacji uzyskanych od firm transportowych świadczących usługę przewozu słomy w postaci białotów.

wariant drugi zakłada bezpośrednią dostawę biomasy od producentów biomasy do odbiorcy końcowego.



Rys. 25. Schemat organizacji zakupu biomasy od gospodarstw rolnych [CASE-Doradcy, Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży, 2013]

Dodatkowo przeprowadzone badania pozwoliły przyjąć, że biomasa będzie wykorzystywana na potrzeby wytwarzania energii:

- w regionie gminy Łomża i miasta Łomża potencjalnym odbiorcą biomasy może być MPEC Łomża. Potencjał wykorzystania biomasy na cele energetyczne determinowany jest wykorzystaniem kotła o mocy cieplnej 7 MW. Na chwilę przeprowadzania projektu inwestycja mogła być rozważana tylko w postaci planów. Na wielkość kotła ma wpływ z jednej strony dostępność biomasy, z drugiej „chłonność” rynku przy odbiorze wytworzonego ciepła;
- w regionie gminy Kolno i miasta Kolno jako potencjalnego odbiorcę zidentyfikowano Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej i Gospodarki Wodno-Ściekowej Spółka z o.o. w Kolnie. Potencjał wykorzystania biomasy na cele energetyczne determinowany jest wykorzystaniem kotła o mocy cieplnej nie większej niż 3 MW. Na chwilę przeprowadzania projektu instalacja nie funkcjonowała. Podobnie jak w przypadku Łomży, na jej wielkość ma wpływ z jednej strony dostępność biomasy, z drugiej „chłonność” rynku przy odbiorze wytworzonego ciepła;
- w przypadku Narewki nie ma lokalnego wytwórcy energii, który mógłby być odbiorcą biomasy. Najbliższe miejscowości, w których zlokalizowane są ciepłownie, mogące wykorzystywać biomasę, to Białystok oraz Hajnówka. Z tego powodu oraz ze względu na relatywnie małe zasoby biomasy w gminie Na-

rewka założono wykorzystanie wytworzonej biomasy przez mniejszych odbiorców.

Analizy przeprowadzone przy założeniu dwóch scenariuszy wykorzystania maszyn:

- scenariusza umiarkowanego wykorzystania maszyn. W scenariuszu tym przyjęto niepełne wykorzystanie zdolności produkcyjnej maszyn. Przyjęto wykorzystanie na poziomie 50% całkowitych zdolności produkcyjnych (odpowiada to np. wykorzystaniu ciągnika przez 300 godzin w roku);
- scenariusza maksymalistycznego wykorzystania maszyn. W scenariuszu tym przyjęto pełne wykorzystanie zdolności produkcyjnej maszyn. Przyjęto wykorzystanie na poziomie 100% całkowitych zdolności produkcyjnych (odpowiada to np. wykorzystaniu ciągnika 800 godzin rocznie).

Dodatkowo w analizie kosztów uwzględniono koszty materiałowe (m.in. pestycydy, nawozy), pracy maszyn oraz ludzi. Przyjęto eksploatację plantacji przez 18 lat. Jako składowe kosztów wyróżniono koszty założenia plantacji ze zbiorem w pierwszym roku, koszty uprawy w drugim roku i latach następnych oraz koszty likwidacji plantacji. Zarówno koszty założenia, jak i likwidacji plantacji, zostały rozłożone na lata jej użytkowania. Oszacowane w ten sposób koszty produkcji odniesiono do 1 ha uprawy i 1 tony plonu suchej masy, jak również do 1 GJ wartości kalorycznej wierzby.

W poniższej tabeli zaprezentowano wyniki w przypadku produkcji wierzby wiciowej.

Tabela 18. Koszt produkcji wierzby wiciowej

	Przypadek I: Umiarkowane wykorzystanie maszyn	Przypadek II: Maksymalistyczne wykorzystanie maszyn
koszty założenia plantacji [PLN/ha/rok]	688,83	663,96
koszty nawożenia i ochrony w II roku [PLN/ha/rok]	35,09	32,76
koszty uprawy wierzby [PLN/ha/rok]	2 431,76	2 077,22
koszty likwidacji plantacji [PLN/ha/rok]	44,45	36,37
koszt produkcji wierzby [PLN/ha/rok]	3 180,31	2 791,21
plon zebranej masy [t/ha]	10,00	10,00
koszt produkcji wierzby [PLN/t/rok]	318,03	279,12

	Przypadek I: Umiarkowane wykorzystanie maszyn	Przypadek II: Maksymalistyczne wykorzystanie maszyn
koszt 1GJ energii [PLN/GJ]	17,67	15,51

Źródło: CASE-Doradcy, Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży, „Diagnoza i analiza problemu zastępowania konwencjonalnych surowców energetycznych biomasą w ramach projektu pt. „Innowacyjne możliwości tworzenia zielonych miejsc pracy szansą dla województwa podlaskiego” Raport końcowy”, Łomża, 2013.

Przeprowadzono także analizy uwzględniając kwestię transportu. Założono prowadzenie transportu zrębków (cytowany przypadek wierzby) przy wykorzystaniu samochodu ciężarowego z przyczepą. Przyjęto wyposażenie zestawu samochodowego w dwa kontenery (o objętości 37 m³ każdy) do przewozu materiałów objętościowych. Przyjęto, że wielkość ładunku dla tego środka transportu będzie wynosić 26 Mg. W poniższej tabeli zaprezentowano wyniki przeprowadzonych analiz.

Tabela 19. Kalkulacja kosztów pozyskania energii z wierzby

Forma transportu	Usługa	Transport własny
koszt transportu [PLN/Mg]	8,43	6,06
plon [Mg/ha]	11	11
koszt transportu na 1 ha [PLN/ha]	92,62	66,68
koszt produkcji bez transportu [PLN/ha]	2 183,93	2 183,93
koszt produkcji z transportem [PLN/ha]	2 276,67	2 250,73
wartość energetyczna plonu [GJ/ha]	202	202
koszt produkcji bez transportu [PLN/GJ]	11,27	10,79
koszt produkcji z transportem [PLN/GJ]	11,27	11,14

Źródło: CASE-Doradcy, Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży, „Diagnoza i analiza problemu zastępowania konwencjonalnych surowców energetycznych biomasą w ramach projektu pt. „Innowacyjne możliwości tworzenia zielonych miejsc pracy szansą dla województwa podlaskiego” Raport końcowy”, Łomża, 2013.

Wyniki przeprowadzonych analiz wykazały, że dodatni dochód dostarczenia biomasy do odbiorcy wykorzystującego biomasę na potrzeby wytwarzania energii cieplnej będzie osiągalny, gdy cena płacona za dostarczoną biomasę będzie wyższa od oszacowanych kosztów. Przy średniej obecnej cenie dostarczonego ciepła na poziomie ok. 23 PLN/GJ dodatnie dochody będą możliwe do uzyskania w przypadku osiągnięcia przez gospodarstwa rolne „wysokich” plonów. Dodatkowo przeprowadzono analizy możliwości wykorzystania biomasy na cele wytwarzania energii, które wykazały, że potencjalnym sposobem możliwości osiągnięcia dodatniego dochodu przy dostarczaniu biomasy będzie wytwarzanie energii w kogeneracji (wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej).

Przykładowa ocena rentowności inwestycji w produkcję biomasy na przykładzie uprawy wierzby wiciowej).

Na podstawie analiz przeprowadzonych w ramach projektu założono, że kalkulację należy przeprowadzić na przykładzie uprawy 10 ha. Poniżej zaprezentowano główne założenia odnośnie do kosztów:

Nakłady inwestycyjne (CAPEX) będą na poziomie 73,3 tys. PLN (założenie plantacji, koszty nawożenia i ochrony w II roku oraz likwidacji plantacji).

Koszty operacyjne (bieżące, „eksploatacyjne, OPEX) – koszty pracy będą na poziomie 20,7 tys. PLN/rok (koszty materiałowe, pracy maszyn, robocizn, pozostałe koszty pośrednie).

Plon na poziomie 11 Mg z hektara.

Cenę sprzedaży 1 Mg biomasy na poziomie 340 PLN/Mg biomasy.

Przy dyskontowaniu przepływów pieniężnych założono stopę procentową na poziomie obligacji 10-letnich (założenie, że inwestycja będzie realizowana środkami własnymi, stopę dyskontową przyjęto na poziomie stopy inwestycji wolnej od ryzyka) – 3%¹¹.

Analizę przeprowadzono dla okresu 10-letniego (czyli okresu zbieżnego z okresem instrumentu finansowego, który był podstawą założenia stopy wolnej od ryzyka). Wyniki przeprowadzonej oceny rentowności przedstawiono w tabeli poniżej. Przedstawiając analizę dokonano, celem zwiększenia jej przejrzystości, szeregu „uproszczeń”, wśród których można wyróżnić:

- przedstawienie łącznie (w jednym wierszu) kosztów operacyjnych,
- nieuwzględnianie w analizie inflacji (zmiany wartości kosztów oraz przychodów),
- pominięcie faktu konieczności płacenia podatków.

11 Oprocentowanie obligacji ED00125 w pierwszym rocznym okresie odsetkowym wynosi 3,00 % w skali roku.

Tabela 20. Analiza rentowności inwestycji w planacji wierzby wciowej przeznaczonej na cele energetyczne, tys. PLN

Wyszczególnienie	Rok										Metodyka obliczeń
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
nakłady inwestycyjne (CAPEX)	73,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A
koszty operacyjne (OPEX)	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	B
przychody	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	C = C1 × C2
ilość [szt.]	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	C1
cena [PLN]	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	C2
przepływy pieniężne	-56,7	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	D = C - A - B
skumulowane przepływy pieniężne	-56,7	-40,1	-23,4	-6,8	9,8	26,5	43,1	59,7	76,3	93,0	E = Dt-1 + Dt
zdyskontowane przepływy pieniężne	-55,0	15,7	15,2	14,8	14,3	13,9	13,5	13,1	12,7	12,4	F = D / (1+r)t
skumulowane, zdyskontowane przepływy pieniężne /NPV	-55,0	-39,4	-24,1	-9,3	5,0	18,9	32,4	45,6	58,3	70,7	G = Ft + Ft-1
wewnętrzna stopa zwrotu (IRR)	n/a	-0,71	-0,29	-0,06	0,07	0,14	0,19	0,22	0,24	0,26	[funkcja IRR Ekseel]
okres zwrotu	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	-----

Źródło: Opracowanie własne

Z przedstawionych powyżej wyników analiz wynika, że zwrot z zainwestowanego kapitału w założenie plantacji wyniesie 5 lat. Wybrano jako czynniki, na które potencjalnie inwestor ma pośredni wpływ, cenę oraz wielkość plonu z hektara. Wyniki, analizę wrażliwości przedstawiono poniżej.

Tabela 21. Analiza wrażliwości rocznych przepływów pieniężnych na wielkość plonów oraz cenę sprzedaży biomasy, PLN

16 627,80	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00
100,00	-11 772,20	-10 772,20	-9 772,20	-8 772,20	-7 772,20
200,00	-2 772,20	-772,20	1 227,80	3 227,80	5 227,80
300,00	6 227,80	9 227,80	12 227,80	15 227,80	18 227,80
340,00	9 827,80	13 227,80	16 627,80	20 027,80	23 427,80
400,00	15 227,80	19 227,80	23 227,80	27 227,80	31 227,80

Źródło: Opracowanie własne

Dzięki przeprowadzonej analizie wrażliwości można w łatwy sposób stwierdzić, jaki wpływ będzie miała zmiana zakontraktowanej ceny sprzedaży biomasy oraz wielkości plonów uzyskanych z hektara na roczne przepływy pieniężne uzyskane z plantacji. Powyżej przedstawiona została przykładowa analiza wrażliwości. Należy pamiętać, że można wybrać dowolny wskaźnik, dla którego będzie badana analiza wrażliwości, również dowolnie wybranego wskaźnika wynikowego projektu (jak np. IRR, NPV, osiągnięte przychody).

Przykładowa ocena rentowności inwestycji w firmę transportową świadczącą usługi przewozu biomasy

Na podstawie analiz przeprowadzonych w ramach projektu założono:

- usługi transportu świadczą firmy posiadające już samochód, koszt zakupu samochodu to 100 tys. PLN, przy czym wydatek na koszt transportu to 1/12 całości wydatku, założenie wynika z eksploatacji samochodu 1/12 roku – ze względu na wielkość i cykliczność popytu czas „efektywnej” pracy w ciągu roku to niecałe 30 dni (warto podkreślić, że przy powyższym założeniu przedsiębiorca powinien przewozić inne towary niż biomasę, aby w pełni wykorzystać „zdolności przewozowe posiadanego taboru”;
- analiza obejmuje okres 10 lat – okres, na jaki alternatywnie mógłby być zainwestowany kapitał w obligacje;
- w ramach wydatków operacyjnych (OPEX) wyróżniono:
 - koszty związane z przeglądem pojazdów – 500 PLN na rok;
 - koszty związane z napędzaniem pojazdu (zużycie paliwa 50 l /100 km, koszt litra paliwa 5 PLN /samochód napędzany ON/, liczba przejechanych kilometrów 660);

- pozostałe wydatki związane z eksploatacją pojazdów 1000 PLN/rok;
- koszty wynagrodzeń – minimalna pensja miesięczna 1680 PLN brutto;
- przychody: wynikające z przewiezienia 400 Mg rocznie (10% udział w rynku w przypadku rynku kolneńskiego /miasto i gmina wiejska/ przy cenie 16,5 (średnia z 18 i 15).

Wyniki przeprowadzonej oceny rentowności przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 22. Analiza rentowności inwestycji w firmę transportową świadczącą usługi przewozu biomasy, tys. PLN

Źródło: Opracowanie własne

Rok	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Metodyka obliczeń
Wyszczególnienie											
nakłady inwestycyjne (CAPEX)	8,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A
koszty operacyjne (OPEX)	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	B = B1 + B2 + B3 + B4
wynagrodzenia [PLN]	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	B1
koszty paliwa	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	B2 = B21 X B22 X B23 / 100
liczba przejechanych kilometrów [km]	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	B21
zużycie paliwa [l/100 km]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	B22
koszt paliwa [PLN/l]	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	B23
przebiegi [PLN]	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	B3
eksploatacja [PLN]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	B4
przychody	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	C = C1 x C2
ilość [szt.]	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	C1
cena [PLN]	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	C2
przepływy pieniężne	-6,6	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	D = C - A - B
skumulowane przepływy pieniężne	-6,6	-4,8	-3,0	-1,3	0,5	2,3	4,1	5,8	7,6	9,4	E = Dt-1 + Dt
zdyskontowane przepływy pieniężne	-6,4	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	F = D / (1+r)t
skumulowane, zdyskontowane przepływy pieniężne	-6,4	-4,7	-3,1	-1,5	0,0	1,5	3,0	4,3	5,7	7,0	G = Ft + Ft-1
wewnętrzna stopa zwrotu (IRR)	n/a	-0,73	-0,33	-0,10	0,03	0,11	0,16	0,19	0,21	0,23	[funkcja IRR Ekse]
okres zwrotu	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	-----

Z przedstawionych powyżej wyników analiz wynika, że zwrot z zainwestowanego kapitału w założenie plantacji wyniesie 5 lat. Wybrano jako czynniki, na które potencjalnie inwestor ma pośredni wpływ, cenę oraz liczbę przejechanych kilometrów. Wyniki, analizę wrażliwości przedstawiono poniżej.

Tabela 23. Analiza wrażliwości rocznych przepływów pieniężnych na wielkość przejechanych kilometrów oraz cenę sprzedaży biomasy, PLN

1770,00	500,00	600,00	660,00	700,00	1000,00
14,00	1170,00	920,00	770,00	670,00	-80,00
15,00	1570,00	1320,00	1170,00	1070,00	320,00
16,50	2170,00	1920,00	1770,00	1670,00	920,00
18,00	2700,00	2520,00	2370,00	2270,00	1520,00
19,00	3170,00	2920,00	2770,00	2670,00	1920,00

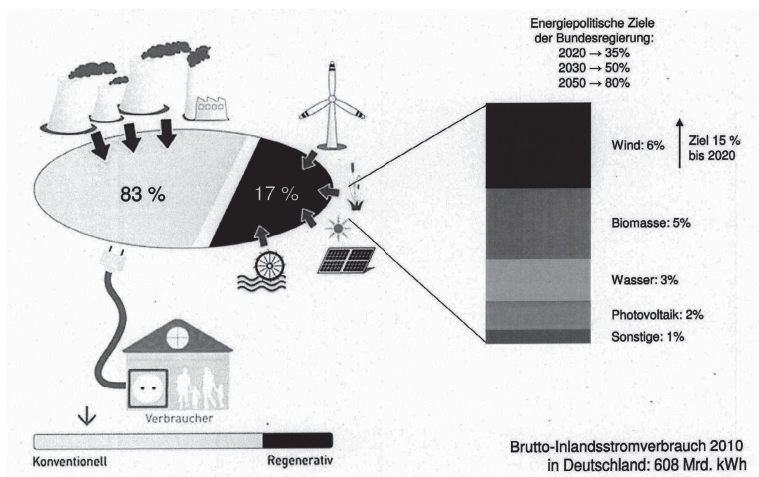
Źródło: Opracowanie własne

Dzięki przeprowadzonej analizie wrażliwości można w łatwy sposób stwierdzić, jaki wpływ będzie miała zmiana ceny przewozu biomasy oraz wielkości przejechanych kilometrów na roczne przepływy pieniężne uzyskane z plantacji. Powyżej przedstawiona została przykładowa analiza wrażliwości. Należy pamiętać, że można wybrać dowolny wskaźnik, dla którego będzie badana analiza wrażliwości, również dowolnie wybranego wskaźnika wynikowego projektu (jak np. IRR, NPV, osiągnane przychody).

9. Dobre praktyki (przykład niemiecki)

W ramach realizowanego projektu pt. „Innowacyjne możliwości tworzenia zielonych miejsc pracy szansą dla województwa podlaskiego” odbyto wyjazd studyjny do niemieckiego miasta Damme celem poznania doświadczeń w zakresie logistyki biomasy. Miasto Damme położone jest w kraju związkowym Dolna Saksonia, w powiecie Vechta. Liczy ok. 16,5 tys. mieszkańców, z czego ponad 6 tys. osób pracuje w 7 lokalnych zakładach przemysłowych. Preferencje w zakresie uzyskiwania zezwoleń na prowadzenie działalności gospodarczej występują w stosunku do firm o profilach proekologicznych (oraz/lub niskim oddziaływaniu na środowisko). Władze regionu w ramach oferty inwestycyjnej skierowanej do potencjalnych inwestorów wskazują na istniejące w regionie uzbrojone tereny inwestycyjne, atrakcyjne ceny terenów inwestycyjnych, ulgi podatkowe, komfortowy i dobrze oznakowany dojazd, bezpłatną reklamę oraz instytucje otoczenia biznesu, w tym w szczególności sektora finansowego – banki.

Z danych udostępnionych przez władze miasta wynika, że ok. 5% energii elektrycznej produkowanej w Niemczech pochodzi ze spalania biomasy.



Rys. 26. Struktura źródeł pozyskiwania energii [materiały przekazane przez władze miasta Damme]

Miasto Damme ze względu na udział odnawialnych źródeł energii w wytwarzaniu energii wyróżnia się pozytywnie. Ponad 45% energii wytwarzanej w tym rejonie pochodzi z odnawialnych źródeł energii (średnia krajowa dla Niemiec wynosi 17%). Miasto Damme określane jest jako „miasto pomiędzy lasem a jeziorem”, gdzie zarówno jezioro, jak i las, są

terenami rezerwatów. Istnienie wokół miasta rezerwatów stanowi istotne ograniczenie jego rozwoju. Warto zauważyć, że mimo to na istotnej części obszaru są zlokalizowane farmy wiatrowe oraz planowane są dalsze lokalizacje pod kolejne elektrownie wiatrowe. Gospodarstwa rolne są zobowiązane do ekologicznej utylizacji swoich odpadów. Istnieją plany scentralizowania procesu zagospodarowania odpadów z produkcji rolniczej, jednak warunkiem sukcesu ekonomicznego jest przystąpienie do systemu 90% rolników. Pozwoli to na wybudowanie 1 (lub 2) centralnego kompleksu zlewni mających na celu ujednolicenie parametrów dostarczanych odpadów. W rejonie okręgu (powiatu) Damme istnieje 29 dużych gospodarstw rolniczych, które mogłyby wejść w skład powyższego projektu.

Proces fermentacji metanowej pozwala na utylizację odpadów rolniczych. Jednak jest bardzo wrażliwy na parametry substratów, dlatego głównym składnikiem procesu jest kukurydza, a odpady rolnicze (głównie gnojowica) stanowią jedynie dodatek. Związane jest to ze zwiększonym zapotrzebowaniem na pola uprawne i związanym z tym wzrostem cen ziemi. Powoduje to, że część gospodarstw rolnych jest zlokalizowana w znacznej odległości. Jednocześnie z przeprowadzonych kalkulacji wynika, że transport biomasy na odległość ponad 35 km stawia rentowność pod znakiem zapytania, 50 km uważa się za granicę strefy umożliwiającej uzyskanie punktu rentowności (zrównanie kosztów i przychodów). Ze względów ekonomicznych, rolnik na swoim odległym polu zatrudnia miejscowych pracowników, oni uprawiają, zbierają i sprzedają kukurydzę lokalnie. Zaś za uzyskane środki kupuje się potrzebną kukurydzę w rejonie biogazowni. Szeroko stosowany jest barter usług i towarów. W regionie funkcjonuje 20 biogazowni, z czego w planach inwestycyjnych ma powstać jeszcze 11. Należy zwrócić uwagę, że przesłanką dla powstania 20 działających w regionie biogazowni był rachunek ekonomiczny. Jego podstawą jest fakt, że gospodarstwo rolne nie musi ponosić kosztów utylizacji. Dzięki przeznaczaniu odpadów na wytwarzanie biogazu może uzyskiwać przychody ze sprzedaży wytworzonej energii elektrycznej oraz uzyskiwać „darmowy” nawóz. Po stronie nakładów inwestycyjnych główny nakład wiąże się z zakupem instalacji – biogazowni. Wśród kosztów należy wyróżnić „bieżące” koszty funkcjonowania, m.in. koszty: eksploatacji instalacji (konserwacja, energia), obsługi, zakupu dodatkowych substratów. Po stronie przychodów można wyróżnić: przychody ze sprzedaży wytworzonej energii elektrycznej, „oszczędność” na kosztach alternatywnych – koszty utylizacji odpadów oraz wartość uzyskanego nawozu z procesu fermentacji metanowej.

10. Bibliografia

- Bergman P.C.A. (2005) Combined torrefaction and pelletisation: the TOP process, ECN publication ECN-C--05-073, <http://www.ecn.nl/>
- Buczek J., Kryńska B., Zasoby biomasy – zasady i wskaźniki sporządzania bilansu biomasy, 2007.
- CASE-Doradcy, Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży, „Diagnoza i analiza problemu zastępowania konwencjonalnych surowców energetycznych biomasą w ramach projektu pt. „Innowacyjne możliwości tworzenia zielonych miejsc pracy szansą dla województwa podlaskiego” Raport końcowy”, Łomża, 2013.
- Chabbert N. i in. „Biomass”, 1985, 6, s. 271-284.
- Cieślak E., Filipiak-Florkiewicz A., Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) – możliwości wykorzystywania do produkcji żywności funkcjonalnej. *Żywność* 1(22) 2000, 71-81.
- Cocker-Maciejewska A., Obróbka wstępna biomasy na potrzeby systemów energetycznych, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* nr 30, 2007, s. 133-141.
- Curkowski A., Mroczkowski P., Oniszk-Popławska A., Wiśniewski G., Biogaz rolniczy – produkcja i wykorzystanie, Warszawa, 2009, s. 10-12.
- Denysiuk W. H., Piechocki J., Techniczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele grzewcze, Wydawnictwo UWM, 2005.
- Departament Regionalnego Programu Operacyjnego, Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego, „Metodologia studium wykonalności – analiza ekonomiczno-finansowa, Wrocław, 2008.
- Drożdż B., Izdebski W., Osiak J., Skudlarski J., Wojalski J., Wykorzystanie słomy zbożowej do produkcji brykietów. Wybrane aspekty energetyczne i ekonomiczne. XXIX Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna pt. „Problemy gospodarki energią i środowiskiem w mleczarstwie”, Białowieża, 7-10 września 2010 r., Białowieża, 2010, s. 93-100.
- Dudek J., Klimek P., Kołodziejczak G., Niemczewska J., Zaleska-Bartosch J., Technologie energetycznego wykorzystywania gazu składowiskowego, Kraków, 2010.
- Faber A., Potencjał i konsekwencje rolnej produkcji biomasy dla energetyki, Płońsk, 2008.
- Gabrusewicz W., Analiza finansowa przedsiębiorstwa. Teoria i zastosowania, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2014.
- Ginalski Z., Substraty dla biogazowni rolniczych, Centrum Doradztwa Rolniczego, Radom, 2010, s. 1-2.
- Góral S., Topinambur – słonecznik bulwiasty, uprawa i użytkowanie, IHAR, Radziłów, 1999.
- Gradziuk P., Biopaliwa, „Wieś jutra”, Warszawa, 2003.

- Guzenda R., Świgoń J., Techniczne i ekologiczne aspekty energetycznego wykorzystania drewna i odpadów energetycznych. *Gospodarka Paliwami i Energią* 1: 10-12, 20, 1997.
- Harasim A., Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce, Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowy Instytut Badawczy, Puławy, 2008, s. 43.
- Janowicz L., „Biomasa w Polsce”, *Energetyka*, 2006, s. 601.
- Jarosz Z., Faber A., Borzęcka-Walker M., Pudełko R., Szacowanie i regionalizacja potencjału biomasy. *Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 2014, tom XVI, zeszyt 3, s. 99-103.
- Jasiulewicz M., *Potencjał biomasy w Polsce*. Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2010.
- Kalembsa D., Ilość i skład chemiczny popiołu z biomasy roślin energetycznych. *Acta Agrophysica* 7(4) 2006, s. 909-914.
- Kapuśniak J., Wykorzystanie słomy do celów grzewczych, „*Globenaria*”, 2008, nr 4.
- Kasparbauer R.D., The effects of biomass pretreatments on the products of fast pyrolysis, Theses and Dissertations. Paper 10064, <http://lib.dr.iastate.edu/etd/10064>, 2009.
- Klepacka A.M., Osiak J., Powała M., Skudlarski J., Krajowe wykorzystanie surowców rolnych do produkcji biopaliw transportowych. MOTROL. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE, 2013, Vol. 15, No. 1, s. 63-66.
- Komisja Europejska, Dyrekcja Generalna ds. Polityki Regionalnej, „Przewodnik do analizy korzyści i kosztów projektów inwestycyjnych. Fundusze strukturalne, Fundusz Spójności oraz Instrument Przedakcesyjny”, 2008.
- Komorowicz M., Wróblewska H., Pawłowski J., Skład chemiczny i właściwości energetyczne biomasy z wybranych surowców odnawialnych, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* nr 40, 2009, s. 402-410.
- Kowalczyk-Juśko A., Topinambur, Kościak B., *Rośliny energetyczne*, Wyd. Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin, 2003, s. 96.
- Koźmiński A.K., Piotrowski W., red., *Zarządzanie. Teoria i praktyka*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 2002.
- Lewandowski W.M., *Proekologiczne źródła energii odnawialnej*, WNT, Warszawa, 2002.
- Livingston W.R., A review of the recent experience in Britain with the co-firing of biomass with coal in large pulverised coal-fired boilers, Mitsui Babcock, Renfrew, Scotland, Presented at IEA Exco Workshop on Biomass Co-firing, Copenhagen, 2005.
- Loo S., Koppejan J. (2007): *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*, EARTHSCAN, ISBN 9781844072491.
- Materiały szkoleniowe „Innowacje w technologiach roślinnych podstawą kształto-

wania rolniczej przestrzeni produkcyjnej przez samorząd terytorialny”, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów, s. 179-187.

- Mystkowski E., Uprawa wierzby energetycznej na potrzeby Elektrociepłowni Białystok, Szepietowo, 2007.
- Nalborczyk E., „Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii”, Wyd. SGGW, Warszawa, 1996, s. 82.
- Nazaruk B., Identyfikacja odnawialnych źródeł energii w województwie podlaskim. *Ekonomia i Środowisko*, nr 1(48) 2014, s. 197-202.
- Niedziółka I., Zuchniarz A., Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego, MOTROL, Lublin, 2006.
- Olejniczak J., Adamska E., Rola i znaczenie roślin alternatywnych, *Hodowla Roślin i Nasiennictwo*, nr 3, 1996, s. 4-8.
- Osiak J., Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce do 2020 r. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 2011, 5.
- Osiak J., Kupczyk A., Stan obecny i perspektywy sektora bioetanolu w Polsce na tle międzynarodowym, *Energetyka*, nr 2(704) 2013, s. 191-195.
- Osiak J., Skudlarski J., Izdebski W., Assessment of profitability levels of agricultural biomass production for purposes of the professional energy sector. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, PAN, 9, 2009, s. 205-210.
- Osiak J., Skudlarski J., Izdebski W., Assessment of farmers' potential decisions on setting up perennial plantations of energy plants. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, 9, 2009, s. 199-204.
- Osiak J., Skudlarski J., Izdebski W., Możliwości pozyskania biomasy pochodzenia rolniczego na potrzeby energetyki zawodowej w Polsce. MOTROL, 11, 2009c, s. 138-143.
- Osiak J., Skudlarski J., Izdebski W., Profitability of energy plants cultivation with consideration to production and market risk as a limiting factor of biomass production for the power plants. *Annals of Warsaw University of Life Science – SGGW, Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)*, 54, 2009b, s. 19-25.
- Pierścieniak M., Bartkiewicz B., Zagospodarowanie biogazu powstającego w procesie fermentacji metanowej w oczyszczalni ścieków, *Ochrona środowiska i zasobów naturalnych*, nr 47, Warszawa, 2011, s. 48-49.
- Piłat J., Pora na C-4, „Agroenergetyka”, nr 2, 2008, s. 23.
- Piskier T., Topinambur – alternatywne źródło energii, „Czysta energia” nr 12, 2004, s. 12-13.
- Pod red. Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M., Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce, Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i Politechniki Śląskiej, Zabrze-Gliwice, 2007.
- Pod red. W. Kortylewski W., Spalanie i paliwa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2001.

- Polska Norma PN-92/D-95018.
- Polska Norma PN-92/D-95019.
- Popczyk J., Rola biomasy i polskiego rolnictwa w realizacji Pakietu energetycznego, *Czysta Energia*, nr 2 (2008) s. 18.
- Roszewski R., Miskant olbrzymi – *Miscanthus sinensis giganteus*, Nalborczyk E., „Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii”, Wyd. SGGW, Warszawa, 1996, s. 124-133.
- Różański H., Jabłoński K., Możliwości zaspokojenia zapotrzebowania na drewno energetyczne pochodzące z pozostałości pożębowych i cięć przedrębnych drzewostanów sosnowych w aspekcie jego rozmieszczenia, efektywności pozyskiwania i własności fizykochemicznych, DGLP, Warszawa, 2006.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii (DzU Nr 156, poz. 969).
- Rybak W., Spalanie i współspalanie biopaliw stałych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2006.
- Sawicka B., Skiba D., Michałek W., Słonecznik bulwiasty jako alternatywne źródło biomasy na Lubelszczyźnie, *Zesz. Probl. PNR* 2009; 542:465-79.
- Sawicki B., Kościk K., Trawy i zbiorowiska trawiaste, Wyd. Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin, 2003, s. 130.
- Sierpińska M., Niedbała B., Controlling operacyjny w przedsiębiorstwie, Polskie Wydawnictwa Naukowe, Warszawa, 2003.
- Sjaak van Loo, Jaap Koppejan, The handbook of Biomass Combustion and Co-firing,
- Sørensen A., Teller P.J., Hilstrøm T., Ahring B.K., Hydrolysis of *Miscanthus* for bio-ethanol production using dilute acid presoaking combined with wet explosion pre-treatment and enzymatic treatment. *Bioresource Technology*, 99, 2008, s. 6602-6607.
- Strumiłło Cz., Podstawy teorii techniki suszenia, WNT, Warszawa, 1983.
- Świdarska G.K., red., Kontroling kosztów i rachunkowość zarządcza, Difin, Warszawa, 2010.
- Terlikowski J., Biomasa z trwałych użytków zielonych jako źródło energii odnawialnej. *Problemy Inżynierii Rolniczej* (I-III) z. 1(75) 2012, s. 43-49.
- Tytko R., Odnawialne źródła energii, wydanie trzecie uzupełnione, Warszawa, 2009, s. 275.
- Ustawa z dnia 11 lipca 2014 r. o zmianie ustawy o rachunkowości, DzU z 2014 poz. 1100.

- Wihersaari M., Evaluation of greenhouse gas emission risks from storage of wood residue, *Biomass and Bioenergy*, 28 (2005), 444–453.
- Wilk J., Wykorzystanie osadów ściekowych do produkcji biogazu, Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Termodynamiki, Lwów, 2009, s. 9–12.
- Wymagania techniczne i klasy (2007) CEN/TS 14961.
- Zawadzka A., Imbierowicz M. i inni, Inwestowanie w Energetykę Odnawialną, PAN, Oddział w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska, 2019, s. 169–184.

Spis tabel:

Tabela 1. Wartość opałow drewna różnego rodzaju.....	17
Tabela 2. Ilość przemysłowej biomasy powstającej w przemyśle drzewnym w tys. m ³ ...	18
Tabela 3. Zestawienie powierzchni upraw wieloletnich roślin energetycznych w poszczególnych województwach w 2011 roku [ha].....	20
Tabela 4. Skład elementarny oraz właściwości energetyczne wybranych roślin energetycznych	22
Tabela 5. Wartość opałowa słomy [Kapuśniak, 2008]	24
Tabela 6. Procentowa zawartość składników nawozowych w suchej masie słomy zbóż i rzepaku [Kucińska 1999]	25
Tabela 7. Potencjał techniczny uprawy wierzby wiciowej na terenie województwa podlaskiego [na podstawie danych Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowy Instytut Badawczy dalej IUNG-PIB]	30
Tabela 8. Charakterystyka fizykochemiczna mискanta olbrzymiego (w %) [Sørensen i inni, 2008, Zawadzka, Imbierowicz i inni. 2010]	36
Tabela 9. Potencjał techniczny uprawy mискanta w województwie podlaskim [na podstawie danych IUNG PIB]	37
Tabela 10. Potencjał energetyczny topinamburu [Piskier 2004]	43
Tabela 11. Potencjał techniczny uprawy ślazuwca pensylwańskiego w województwie podlaskim [na podstawie danych IUNG PIB]	47
Tabela 12. Wykaz głównych surowców wykorzystywanych do produkcji biogazu rolniczego w latach 2011–2013 (w Mg)	57
Tabela 13. Produkcja biogazu rolniczego, energii elektrycznej i ciepła z biogazu rolniczego w latach 2011–2013	58
Tabela 14. Charakterystyka różnych typów rębaków [Cocker-Maciejewska, 2007]	77

Tabela 15. Rola obróbki wstępnej w zapobieganiu typowym problemom w systemach energetycznych wykorzystujących biomasę [Cocker-Maciejewska, 2007]	88
Tabela 16. Przykładowa tabela analizy wrażliwości okresu zwrotu inwestycji na cenę i koszt kapitału	96
Tabela 17. Potencjalne źródła finansowania zielonych miejsc pracy	100
Tabela 18. Koszt produkcji wierzby wiciowej.....	107
Tabela 19. Kalkulacja kosztów pozyskania energii z wierzby.....	108
Tabela 20. Analiza rentowności inwestycji w plantacji wierzby wiciowej przeznaczonej na cele energetyczne, tys. PLN	110
Tabela 21. Analiza wrażliwości rocznych przepływów pieniężnych na wielkość plonów oraz cenę sprzedaży biomasy, PLN.....	111
Tabela 22. Analiza rentowności inwestycji w firmę transportową świadczącą usługi przewozu biomasy, tys. PLN.....	113
Tabela 23. Analiza wrażliwości rocznych przepływów pieniężnych na wielkość przejechanych kilometrów oraz cenę sprzedaży biomasy, PLN.....	114

Spis rysunków:

Rys. 1. Gleby dopuszczone do lokalizacji wieloletnich roślin energetycznych oraz rejony, w których plantacji nie należy lokalizować [IUNG-PIB]	21
Rys. 2. Potencjalne zasoby słomy do celów energetycznych w latach 2007-2012 w tys. Mg [Polska Izba Biomasy]	27
Rys. 3. Potencjał techniczny słomy z upraw zbożowych [Jarosz, Faber, Borzęcka-Wal-ker, Pudełko, 2014]	27
Rys. 4. Wierzba wiciowa [http://www.misiuneacasa.ro/uploads/205/incalzirea-casei-cu-salcie-energetica_204104.jpg]	29
Rys. 5. Sposób rozmieszczenia sadzonek na plantacjach a) małych, b) przemysłowych [Mystkowski, 2007]	34
Rys. 6. Miskantus olbrzymi [www.horticulture.umn.edu/miscanthus/biomass/gigante-us.jpg]	36
Rys. 7. Topinambur [http://images8.fotosik.pl/2870/57184984f990b2bd.jpg]	40
Rys. 8. Ślázowiec pensylwański [http://ak-sida.de/onewebstatic/639ad855b7-DSC_0010.JPG]	45

Rys. 9. Schemat możliwości wykorzystania surowców roślinnych na cele energetyczne [na podstawie danych z U.S. Department of Energy: Energy Efficiency and Renewable Energy, www.eere.energy.gov]	51
Rys. 10. Zmiana składu gazu w zależności od wieku składowiska [www.ekowat.pl]	56
Rys. 11. Schemat wyznaczania potencjału energetycznego [Jasiulewicz, 2010]	64
Rys. 12. Gminy o warunkach szczególnie korzystnych do zakładania wieloletnich plantacji roślin energetycznych oraz szacunki łącznej produkcji biomasy dla wierzb, miskanta i ślazuwca (kolorem czerwonym zaznaczono położenie największych polskich elektrowni) [IUNG PIB]	65
Rys. 13. Proces suszenia biomasy z wykorzystaniem energii słonecznej [Sjaak van Loo, Jaap Koppejan, 2008]	78
Rys. 14. Suszarka bębnowa jednobiegowa [www.wakro.com.pl]	79
Rys. 15. Schemat suszarni taśmowej	80
Rys. 16. Suszarka pneumatyczna [www.wakro.com.pl]	81
Rys. 17. Suszarka fluidalna	82
Rys. 18. Prasa zwijająca ze stałą komorą prasowania: a) widok ogólny, b) początek zwijania, c) formowanie beli i owijanie, d) wyładunek	84
Rys. 19. Prasa zwijająca ze zmienną komorą prasującą: a) widok ogólny, b, c, d) fazy tworzenia się beli, e) wyładunek	85
Rys. 20. Etapy ogrzewania wilgotnej biomasy do pożądanej temperatury toryfikacji w zależności od czasu procesu i z uwzględnieniem etapu studzenia produktu stałego [Bergman, 2005]	87
Rys. 21. Model obiegu gospodarczego [opracowanie własne]	92
Rys. 22. Analiza Du Pont [opracowanie własne na podstawie Koźmiński, Piotrowski, 2002]	97
Rys. 23. Schemat tworzenia zielonych miejsc pracy [CASE-Doradcy, Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży, 2013]	117
Rys. 24. Schemat organizacji zakupu biomasy z wykorzystaniem magazynów lokalnych	104
Rys. 25. Schemat organizacji zakupu biomasy od gospodarstw rolnych	105
Rys. 26. Struktura źródeł pozyskiwania energii [materiały przekazane przez władze miasta Damme]	114



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



CZŁOWIEK – NAJLEPSZA INWESTYCJA

PUBLIKACJA BEZPŁATNA

Publikacja współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego oraz ze środków budżetu państwa w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki.

