

52/2003

Raport Badawczy

RB/34/2003

Research Report

Biomasa lignocelulozowa

W. Ciechanowicz

**Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk**

**Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences**



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 8373578

fax: (+48) (22) 8372772

Kierownik Pracowni zgłaszający pracę:
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Nahorski

Warszawa 2003

Biomasa Lignocelulozowa

Wiesław Ciechanowicz

Instytut Badań Systemowych, PAN

1 Informacje ogólne

Co to jest biomasa ?

Biomasę stanowią: drzewa, trawy, w tym lucerna, rośliny uprawne takie jak zboża i okopowe. Biomasa jest formą gromadzenia energii słonecznej jako produktu fotosyntezy, a więc procesu, w wyniku którego rośliny produkują węglowodany z dwutlenku węgla zawartego w atmosferze i wody w obecności promieniowania słonecznego.

Węglowodany stanowią istotne dla życia biologicznego chemiczne związki organiczne, w skład których wchodzi: węgiel, wodór i tlen. Wśród węglowodanów rozróżnia się:

- celulozę, hemicelulozę i ligninę stanowiące materię organiczną drzew,
- cukry i skrobię, będące podstawowymi składnikami upraw konsumpcyjnych.

Celuloza, jako włókniste węglowodany, tworzy podstawowy zrąb ściany komórkowej. Hemiceluloza stanowi około jedną czwartą substancji zdrewniałych tkanek roślinnych. Lignina, występująca w zdrewniałych tkankach roślin, zwiększa wytrzymałość mechaniczną i chemiczną ścian celulozowych. Znanymi cukrami występującymi w roślinach są sacharydy i glukoza.

W niniejszej monografii **biomasa**, pozyskiwana w postaci odpowiednich gatunków wierzby będących efektem modyfikacji genetycznych, a więc **biomasa lignocelulozowa**, będzie rozważana **jako surowiec energetyczny**, którego uprawa może mieć nieograniczony rynek zbytu, a także może tworzyć wiele miejsc pracy na obszarach wiejskich. Czyni się to dlatego, że tylko biomasa uprawiana jako

podstawowa produkcja rolna może zapewnić ciągłość dostawy surowca energetycznego o określonej wartości opałowej. Są to podstawowe wymagania odbiorcy biomasy. Nie mogą tych warunków spełniać ani słoma ani odpady leśne ani inne źródła odnawialne.

Czynniki decydujące o tym, które rośliny uprawne lub drzewa mogą być wykorzystywane do celów energetycznych

Są to trzy podstawowe czynniki:

1. stosunek energii zawartej w biomase do energii potrzebnej na jej uprawę i pozyskanie,
2. zdolność gromadzenia energii słonecznej w postaci biomasy,
3. rodzaj biomasy ze względu na sprawność przetwarzania na paliwa ciekłe i gazowe, która zależy między innymi od tego, czy materię organiczną rośliny tworzy celuloza, a więc przetwarzana chemicznie lub cukry, które są przetwarzane biologicznie.

Rośliny charakteryzujące się najkorzystniejszym stosunkiem energii wyjściowej do wejściowej

Dla oceny wydajności energetycznej roślin mogących stanowić biomasę wykorzystywaną do celów energetycznych badano tradycyjne uprawy spożywcze, takie jak zboża, buraki cukrowe i inne okopowe, lucernę, trawy, trzcinę, rośliny przeznaczone na cele energetyczne jak krótko-rotacyjną uprawę wierzby krzewiastej (*Salix L.*), pozostałości upraw rolnych i leśnych. W pracy [1] zamieszczono oceny wydajności energetycznej dla stanu obecnego wybranych upraw i przewidywane dla 2015 roku.

W tablicach 1 i 2 podano odpowiednio: wydajność energetyczną, wielkość zbiorów w tonach i jednostkach energetycznych dla wybranych upraw roślinnych oraz wzrost procentowy wydajności wybranych upraw w Szwecji dla okresów: 1971-1989, 1990-2000 i przewidywanych w okresie 1995-2000.

Tablica 1. Wydajność energetyczna, wielkość zbiorów w tonach i jednostkach energetycznych dla wybranych upraw roślinnych [1]

Rodzaj uprawy	Rok	Wydajność energetyczna GJ/t	Zbiory w tonach t/ha	Zbiory w jednostkach energetycznych GJ/ha
Pszenica (ziarno)	1998	18.5	5.1	94
	2015		7.5	140
Rzepak (nasiona)	1998	27.8	2.5	70
	2015		3.1	86
Ziemniaki	1998	17.0	7.7	130
	2015		10.0	180
Buraki cukrowe	1998	17.4	11.0	190
	2015		14.0	240
Lucerna	1998	19.0	8.0	150
	2015		14.0	270
Wierzba Salix L.	1998	19.5	9.3	180
	2015		17.0	330

Rozważano zużycie energii jako paliwo silnikowe zużywane podczas upraw, wymagane dla wyprodukowania nasion, nawozów sztucznych, środków ochrony roślin i w czasie transportu różnymi środkami transportu. W tablicy 3 podano wyniki przeprowadzanych analiz, z których wnioskuje się, że najkorzystniejszymi uprawami ze względu na relacje energii wyjściowej, zawartej w biomase jako w nośniku energii, do energii wejściowej, wymaganej dla produkcji biomasy, charakteryzują się uprawy wieloletnie, jak lucerna i wierzba, a nie uprawy jednoroczne jak pszenica i inne uprawy spożywcze.

Tablica 2. Wzrost procentowy wydajności wybranych upraw w Szwecji dla okresów 1971-1989, 1990-2000 i przewidywanych w okresie 1995-2000 [1]

Rodzaj uprawy	Wzrost wydajności upraw spożywczych w latach 1971-1989	Wzrost wydajności upraw energetycznych w latach 1971-1989	Wzrost wydajności upraw energetycznych w latach 1995-2015
Pszenica (ziarna)	2.3	3-5	2.0
Rzepak (nasiona)	0.2	2-3	1.0
Ziemniaki	0.7	3-4	1.5
Buraki cukrowe	0.8	1-2	1.0
Lucerna	-	5-6	3.0
Wierzba Salix L.	-	5-7	3.0

Tablica 3. Wybrane wyniki przeprowadzanych analiz [1]

Rodzaj uprawy	Rok	Wydajność energetyczna GJ/ha rok	Energia wejściowa uprawy GJ/ha rok	Relacja wydajności energetycznej do energii wejściowej
Pszennica (ziarno)	1998	94	18.0	5.2
	2015	140	14.8 (20.0)	9.4 (7.0)
Pszennica (ziarno + słoma)	1998	130	19.5	6.7
	2015	176	16.0 (21.6)	11.0 (8.2)
Rzepak (nasiona)	1998	70	15.8	4.4
	2015	86	12.1 (17.0)	7.1 (5.1)
Rzepak (nasiona + słoma)	1998	106	17.2	6.2
	2015	122	13.2 (18.5)	9.2 (6.6)
Ziemniaki	1998	130	43.4	3.0
	2015	180	39.2 (53.5)	4.6 (3.4)
Buraki cukrowe	1998	190	27.0	7.0
	2015	240	23.5 (33.4)	10.0 (7.2)
Lucerna	1998	150	10.5	14
	2015	270	12.5 (17.8)	22 (15)
Wierzba Salix L.	1998	180	8.4	21
	2015	330	9.1 (12.1)	36 (26)

* Liczby nie ujęte w nawiasy dotyczą przypadku, gdy energię wejściową stanowią paliwa kopalne, a liczby ujęte w nawiasy obejmują zaś sytuację, gdy energię wejściową stanowią pochodne biomasy.

Rośliny posiadające największą zdolność gromadzenia energii słonecznej w postaci biomasy

Oczywiste jest, że tylko te rośliny mogą być wykorzystywane jako nośniki energii, które posiadają największą zdolność gromadzenia energii słonecznej w postaci biomasy, a więc zdolność asymilacji poprzez fotosyntezę węgla zawartego w dwutlenku węgla.

Fotosynteza jest sposobem przekazywania energii pomiędzy przyrodą nieożywioną a ożywioną. Jest ona złożonym procesem wytwarzania związków organicznych z dwutlenku węgla i wody kosztem energii światła słonecznego. Fotosynteza przebiega w dwóch etapach, z których każdy składa się z wielu procesów pośrednich. Pierwszym etapem jest fotoliza, rozkład wody na wodór i tlen pod wpływem

światła, i wydzielanie wolnego tlenu. W drugim etapie, nie wymagającym światła, następuje rozkład dwutlenku węgla, któremu towarzyszy także wydzielanie wolnego tlenu. Zachodzi asymilacja węgla zawartego w dwutlenku węgla i w wyniku tego powstaje roślinna substancja organiczna. Proces wydzielania się wolnego tlenu stanowi niejako proces oddychania roślin, określane mianem *respiracji*.

Istotnym elementem w procesie fotosyntezy są *chloroplasty* (zielone ciała komórek roślinnych) występujące w zielonych, oświetlonych częściach rośliny, a więc w liściach. Ich zadaniem jest pochłanianie energii światła i jej przekształcanie w energię chemiczną, zużywaną w procesie fotolizy. Uogólniając zagadnienie można powiedzieć, że w procesie fotosyntezy ma się do czynienia z przejmowaniem energii promieniowania słonecznego przez chloroplasty i jej gromadzeniem w postaci energii wiązań chemicznych poprzez redukcję dwutlenku węgla do molekuł węglowodanów, lipidów (tuszczowców) i protein.

Na zdolność gromadzenia energii słonecznej w postaci wiązań chemicznych mają wpływ następujące czynniki [2]:

- rozwój liści,
- relacja fotosyntezy do respiracji, a więc zdolności pozyskiwania energii słonecznej do energii „oddychania” roślin,
- w jaki sposób i dokąd materia organiczna, powstająca w liściach w wyniku asymilacji węgla, jest rozprowadzana w roślinach, a więc w jaki sposób następuje alokacja asymilacji,
- odradzanie się cienkich korzeni,
- jak efektywnie jest wykorzystywana woda i nawozy, szczególnie azot i fosfor,
- odporność roślin na szereg czynników zewnętrznych.

Rozwój liści

Zadaniem zielonych ciałek komórek roślinnych liści jest pochłanianie energii światła i przekształcanie jej w energię chemiczną. Dlatego powierzchnia liści w relacji do powierzchni gruntu jest istotnym czynnikiem wpływającym na produkcję masy roślinnej. Ważnym czynnikiem jest także czas pochłaniania energii światła. Wczesny rozwój powierzchni liści i późne więdnienie w jesieni jest korzystne dla trwania procesu fotosyntezy. Duża liczba małych liści bardziej efektywnie gromadzi energię słoneczną aniżeli ta sama powierzchnia dużych liści.

Relacja fotosyntezy do respiracji

Nie cała energia światła absorbowana przez rośliny jest gromadzona w postaci organicznych substancji. Znaczna część jest wykorzystywana w procesie respiracji, a więc w procesie rozkładu dwutlenku węgla i wody, którym towarzyszy wydzielanie wolnego tlenu. Pozostała część, która może być magazynowana w postaci materii organicznej, jest równoważna energii procesu fotosyntezy pomniejszonej o energię towarzyszącą procesowi wydzielania tlenu, a więc procesowi respiracji. Oznacza to, że dla uzyskiwania wysokiej wydajności materii organicznej biomasy musi zachodzić duża intensywność fotosyntezy przy równocześnie małej intensywności respiracji. Ten fakt tłumaczy, dlaczego produkcja masy drzewnej w południowej Szwecji jest w przybliżeniu taka sama jak w lasach na obszarach klimatu tropikalnego. Aczkolwiek sezon wzrostu roślin jest znacznie dłuższy i nasłonecznienie jest znacznie intensywniejsze w lasach tropikalnych. Także jest znacznie większa średnia temperatura. Ponieważ respiracja jest bardzo zależna od temperatury, jest ona o wiele intensywniejsza w lasach tropikalnych aniżeli w lasach szwedzkich. W ten sposób można częściowo tłumaczyć fakt, że plantacja topoli w południowej Szwecji, nawadniana i nawożona, produkuje prawie tę samą masę organiczną jak plantacja eukaliptusa w Brazylii.

Alokacja asymilacji

Przez alokację oznacza się rozmieszczanie materii organicznej, przeważnie cukrów, powstającej w liściach, gdzie jest formowana, do różnych części roślin. Różne rośliny różnie rozmieszczają materię organiczną. Rozmieszczają ją w gałęziach, liściach i korzeniach. Z punktu widzenia biomasy energetycznej najbardziej istotne jest rozmieszczanie materii w gałęziach, które corocznie mogą być pozyskiwane i wykorzystywane do celów energetycznych. Wiele iglastych drzew w początkowym okresie wzrostu rozmieszcza materię organiczną w korzeniach i stosunkowo mało w rozwijających się pędach. Wiele odmian wierzby ma stosunkowo płytko i rzadko rozmieszczony system korzeni, podczas gdy materia organiczna jest głównie kierowana do rozrastających się pędów. Zjawisko to zachodzi w początkowych latach wzrostu. W następnych latach wierzba coraz więcej rozmieszcza materii organicznej w systemie korzeni. To zjawisko tłumaczy, dlaczego wierzba jest ścinana w trzy lub pięcioletnich okresach wzrostu, dzięki czemu jest zachowywany stan wzrastania, a w konsekwencji duża wydajność masy drzewnej w pozyskiwanych pędach.

Odradzanie się cienkich korzeni

Odradzanie się cienkich korzeni jest stosunkowo skomplikowanym procesem i nasza wiedza o tym jest raczej ograniczona. System korzeni penetruje otaczającą je glebę w poszukiwaniu wody i nawozów jako odżywek. Penetracji dokonują cienkie korzenie o średnicy 1 mm i poniżej 1 mm. Szybkie odradzanie się cienkich korzeni stwarza warunki dla odpowiedniego wzrostu, a więc dla uzyskiwania wysokich zbiorów. W niektórych odmianach wierzby formowanie się cienkich korzeni zachodzi na tyle szybko, że całkowity wzrost korzeni w sezonie wzrostu jest porównywalny do wzrostu pędów wierzby, a okres życia cienkich korzeni wynosi kilka tygodni.

Efektywność wykorzystywania wody

Drzewa liściaste i iglaste zużytkowują dwukrotnie mniej wody aniżeli zboża lub okopowe rośliny uprawne. Istnieją znaczne różnice w zapotrzebowaniu na wodę przez różne odmiany tych samych gatunków drzew. Istnieje także znaczna rozpiętość w zapotrzebowaniu na wodę przez różne odmiany wierzy.

W podsumowaniu można stwierdzić, że najbardziej istotnymi czynnikami mogącymi mieć wpływ na zdolność gromadzenia energii słonecznej w postaci wiązań chemicznych, a więc na możliwie wysoką produkcję biomasy, są: szybkość rozwoju powierzchni liści, gdzie są rozmieszczane produkty fotosyntezy w roślinach i odradzanie się cienkich korzeni. Wpływ tych czynników może znacznie wzrastać poprzez wybór odpowiednich odmian, poprzez powielanie i usprawnianie metod uprawy.

Możliwa wielkość produkcji biomasy w warunkach normalnej i przyspieszonej uprawy

Badania prowadzone w Szwecji (Langa-Veka, Karinslund) [2] wykazały, że istnieje górna granica biologicznej produkcji biomasy na hektar, uzyskiwana w różnym czasie:

- zawierająca się w przedziale 10-12 ton/ha rok dla **normalnych** warunków uprawy dla różnych rodzajów drzew: wierzy, topoli, olchy, brzozy, świerku i buku, którą to uzyskuje się dla:

- wierzy po 2.5 latach,
- topoli po 6-ciu latach,
- olchy lub brzozy po 10-ciu latach,
- świerka po 25 latach,
- buku po około 70 latach,

- dla **krótkorotacyjnej przyspieszonej** uprawy, obejmującej wczesne odchwaszczanie, nawożenie i nawadnianie, osiągalną maksymalnie dla

- wierzy w ilości od 30 do 35 ton/ha po 5-ciu latach
- topoli w ilości 25 ton/ha po 10-ciu latach.

Przedstawione powyżej wyniki, stanowiące rezultaty doświadczeń prowadzonych przez Szwedzki Uniwersytet Rolniczy (w Langa-Veka, Skogaby, Flakaliden i Asa), dowodzą dlaczego wierzba, charakteryzująca się największą wydajnością masy drzewnej uzyskiwanej najszybciej spośród innych drzew, została wybrana jako biomasa uprawiana do celów energetycznych [2].

2 Rodzaj biomasy preferowany ze względu na sprawność przetwarzania na paliwa ciekłe lub gazowe

Ze względu na rodzaj stosowanych technologii przetwarzania rozróżnia się biomasę, której materię organiczną tworzą głównie celuloza lub cukry i skrobia. Pierwszą grupę reprezentuje wierzba i inne rodzaje roślin tworzących lignocelulozową biomasę, drugą rośliny spożywcze.

W technologii przetwarzania biomasy na wtórne nośniki energii, takie jak ciepło, paliwa gazowe i ciekłe, można wyróżnić technologie [3]:

- chemicznego przetwarzania,
- biologicznego przetwarzania.

Przedstawicielami chemicznego przetwarzania biomasy tworzonej przez celulozę są:

- procesy spalania, dla wytwarzania ciepła,
- proces gazyfikacji lub pirolizy, w wyniku którego uzyskuje się gaz,
- proces gazyfikacji, a następnie proces syntezy metanolu, dla produkcji metanolu.

Technologie biologicznego przetwarzania obejmują procesy fermentacji tlenowej i beztlenowej.

W wyniku procesu fermentacji uzyskuje się etanol. Surowcami w produkcji etanolu mogą być: cukry zawarte w trzcinie cukrowej, burakach cukrowych, skrobia zawarta w zbożach lub celuloza tworząca podstawowy zrąb ściany komórkowej biomasy. W zasadzie tylko cukry mogą stanowić surowiec do wydajnej produkcji etanolu. W przypadku biomasy tworzonej głównie

przez celulozę, a więc drewno, tylko niektóre polisacharydy mogą uczestniczyć w procesie fermentacji uzyskując etanol z etylenu, co znacznie obniża sprawność przetwarzania w stosunku do przetwarzania biomasy drzewnej do metanolu [4].

Sprawność beztlenowej fermentacji jest uwarunkowana sprawnością działania bakterii w procesie hydrolizy wytwarzającej lotne kwasy i bakterii produkujących wodór, octany lub metan. Jednakże, dotychczas nie znaleziono sposobu generacji bakterii, charakteryzujących się wysoką sprawnością przetwarzania zarówno w procesie fermentacji tlenowej jak i w procesie beztlenowego procesu fermentacji.

Oznacza to, że przetwarzając biomasę na paliwa gazowe lub ciekłe największą wydajność energetyczną, zawartą we wtórnych nośnikach energii, z uprawy jednego hektara uzyskiwałoby się stosując krótko-rotacyjną uprawę wierzby.

3 Korzyści ekonomiczne wynikające z uprawy i przetwarzania biomasy

Uprawa biomasy będzie przyczyniać się najbardziej do rozwoju obszarów wiejskich. Biomasa jako surowiec, ze względu na nieopłacalność jej transportu poza region uprawy, musi być przetwarzana w regionie o promieniu 30-40 km, gdzie jest uprawiana. Przetwarzana do paliw ciekłych pozwoli produkcją własną znacznie zastąpić import ropy. W ten sposób znaczne kwoty zamiast trafiać do eksporterów ropy mogą zostać przekazane na tereny wiejskie, zasilając dochody mieszkańców regionu. Wartość importu paliw mineralnych jest rzędu 4 mld USD rocznie. Przyjmując, analogicznie jak w USA [5], że biomasa w ponad 50 % mogłaby zastąpić ciekłe paliwa importowane, na obszarach wiejskich pozostawałoby około 2 mld USD rocznie.

Biomasa stwarza nieograniczony rynek zbytu na produkcję roślinną. Ma to szczególne znaczenie w sytuacji, gdy w Polsce, w Stanach Zjednoczonych i Europie Zachodniej występuje nadmiar produkcji żywności.

Ponadto, w Polsce jednostkowa produkcja spożywczych upraw roślinnych jest od 2 do 2,6 razy mniejsza w stosunku do krajów Zachodniej Europy i Szwecji (tablica 4). Wprowadzanie innowacji w postaci intensywnego nawożenia i nawadniania upraw przestaje mieć sens, gdy brak jest rynku zbytu. Taki rynek zapewnia właśnie uprawa biomasy wykorzystywanej do celów energetycznych.

Tablica 4. Dane charakteryzujące plony niektórych upraw roślinnych w krajach Unii Europejskiej i krajach Europy Środkowo-Wschodniej dla 1993 roku (Rocznik GUS 1994 r.)

	Polska	Białoruś	Rosja	Belgia	Dania	Francja	Holandia	Niemcy	Szwecja
Pszonica									
Produkcja na ha	33.3	30.8	20.1	68.4	75.0	63.3	85.4	64.7	61.5
Żyto									
Produkcja na ha	22.6	33.8	21.4	46.7	42.9	39.4	50.8	44.3	57.9
Udział w produkcji Światowej w %	17.1	9.2	47.6	0.1	1.0	0.7	0.1	10.1	0.8
Jęczmień									
Produkcja na ha	27.9	20.0	17.0	62.4	48.3	56.2		50.2	42.8
Owies									
Produkcja na ha	23.3	21.6	12.8	39.2	46.2	44.4	52.7	47.0	45.2
Ziemiaki									
Produkcja na ha	206	105	112	360	333	362	419	314	288
Udział w produkcji Światowej w %	13.2	3.0	14.1	0.7	0.7	2.4	2.6	3.5	0.4
Buraki cukrowe									
Produkcja na ha	294	264	196	585	508	680	462	509	417
Mięso z uboju									
Produkcja w kg na mieszkańca	76.8	94.5	54.8	142	355	106	180	73.2	
Udział w produkcji Światowej w %	1.6	0.5	4.5	0.8	1.0	3.3	1.5	3.2	
Ludność rolnicza jako % ludności ogółem w 1992 r.	9.9	Brak danych	Brak danych	0.7	2.4	2.2	1.4	2.1	1.9

Liczba gospodarstw w Polsce o powierzchni użytków rolnych 7 ha i poniżej 7 ha wynosi 68 %.

Wobec mechanizacji prac rolnych, korzystanie z kombajnów zbożowych, ziemniaczanych, pras do zgniatania słomy, rzeczywisty czas pracy rolnika gospodarującego ma gospodarstwie 7-mio i poniżej 7-

mio hektarowym wynosi około 3 miesięcy w ciągu roku. Uzyskane pieniądze ze sprzedaży zbiorów muszą wystarczyć na wydatki ponoszone w ciągu roku. Takich gospodarstw w Polsce jest około 2 milionów, gospodarujących na glebach słabych i bardzo słabych, których jest odpowiednio 60 i 30 % ogólnej powierzchni uprawnej. Powstaje więc problem restrukturyzacji gospodarstw, a w konsekwencji tworzenia nowych miejsc pracy [6].

Jedynym rozwiązaniem narastającego problemu bezrobocia na obszarach wiejskich, obok edukacji, mogą być rozproszone miejsca pracy uprawy i przetwarzania biomasy. Także w krajach uprzemysłowionych biomasa okazuje się być ważnym źródłem zatrudnienia. Pracochłonność produkcji nośników energii na bazie biomasy jest około 4 do 10 razy większa w porównaniu do pracochłonności analogicznej produkcji na bazie paliw kopalnych. W porównaniu do energii jądrowej, biomasa wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej zwiększa 15-krotnie wymagane zatrudnienie.

4 Wpływ stosowania biomasy jako paliwa na środowisko

Przewidywana zmiana klimatu w skali globu ziemskiego napawa coraz większym niepokojem. W wyniku użytkowania paliw kopalnych nastąpiła emisja setek miliardów ton gazów cieplarnianych do atmosfery. Przewidywany jest wzrost intensywności opadów, a także wzrost częstotliwości silnych sztormów. Przewidywana jest możliwość zmiany rozkładu stref wegetacyjnych w skali kuli ziemskiej. Istnieje ryzyko powstawania zupełnie nowych zjawisk, które są niemożliwe obecnie do przewidzenia.

Wszystkie uprawy, włączając uprawy energetyczne, pochłaniają węgiel w okresie wzrostu. Ilość pochłanianego węgla może przewyższać ilość emitowanego, ponieważ uprawy energetyczne są wieloletnie. Po zniwach wierzby pozostają korzenie, stabilizujące glebę i regenerujące pędy w następnym roku.

Kwaśne deszcze są konsekwencją emisji tlenków siarki i tlenków azotu do atmosfery w wyniku spalania paliw kopalnych. W składzie chemicznym biomasy nie występuje siarka, a więc nie występuje problem kwaśnych deszczy przy stosowaniu biomasy do celów energetycznych.

Reasumując, uprawa biomasy w skali globalnej może w przyszłości zapobiegać nieprzewidywalnym zmianom klimatu ziemskiego, a także likwidować przyczyny powstawania kwaśnych deszczy.

5 Wielkość zasobów biomasy

Wielkość zasobów biomasy drzewnej warunkują dwa czynniki: *powierzchnia uprawna i wydajność z hektara*. Największe możliwości zwiększenia wydajności biomasy w odniesieniu do stosowanych gatunków wierzby tkwią w genetyce, która stwarza warunki do wzrostu wydajności do 40% [7]. Ostatnio wyhodowano gatunki wierzby odpornych na choroby, które charakteryzują się szybkim wzrostem i zdolnością regeneracji z pnia po ścięciu [8].

W celu przyspieszenia produkcji biomasy drzewnej rozwinięto i rozwija się *krótko-rotacyjną intensywną kulturę* upraw tej wierzby. Jest to intensywna uprawa, wykorzystująca szybko wzrastające krzewy wierzby, rotację 3 - 4 letnich cykli wycięcia, gęsto sadzonych roślin, z nawadnianiem i nawożeniem gleby. W Szwecji, uprawiając wierzbę *Salix L.*, uzyskiwano wydajność 25-30 ton suchej masy drzewnej z hektara średnio w roku [1]. W Polsce uzyskano w warunkach doświadczalnych 26 t suchej masy z ha/rok [10].

Wielkość zasobów biomasy w skali globalnej

Równowartości energetyczne biomasy w tonach węgla ocenia się na [9]:

1440 miliardów ton węgla - ilość biomasy znajdującej się na kuli ziemskiej,

160 miliardów ton węgla rocznie - globalna wartość biomasy, która mogłaby być uprawiana do celów energetycznych,

w porównaniu do:

600 miliardów ton - zidentyfikowanych zasobów węgla w skali świata,

24 miliardów ton węgla rocznie - przewidywanego zapotrzebowania na energię pierwotną w 2030 roku w skali świata.

Ocenia się, że:

- w 2050 roku biomasa może zaspokajać przewidywane zapotrzebowanie w skali świata do 50%.

Przytaczane powyżej dane wskazują na to, że biomasa może stanowić globalnie dostępne odnawialne źródło energii.

Literatura

1. Borjesson Pal, Biomass in a Sustainable Energy System, Lund University, Sweden, 1998.
2. Christersson Lars, Deciduous tree Species for Energy, Fibre and Purification of Wastewaters, Materiały Konferencji Polish-Swedish workshop in Starbienio, 25- 28,05, 1997 Polska.
3. Ciechanowicz W., Energia, Środowisko i Ekonomia, Instytut Badań Systemowych PAN, 1-wsze wydanie 1995, 2-gie wydanie 1997.
4. Foran B., Mardon Ch., Beyond 2025: Transitions to a Biomass-Alcohol Economy Using Ethanol and Methanol, Working Paper Series 99/07, December 1999.
5. Rosenberg T.L., Biomass Energy, America's Secret Renewable Energy Resource, Renewable Energy Experts & Advocates, 1997.
6. Ciechanowicz W. et al, Problems of Economy, Energy, Water Management and Environment in the Simulation of the Sustainable Development of Regions with the Majority of Rural Areas, International Meeting „IIASA days in Ukraine”, Kiev, March 1999.

7. Perlack R.D., Short rotation intensive culture for production of energy feedstocks in the US; a review of experimental results remaining obstacles to commercialisation, *Biomass*, No. 2, str. 145-159, 1986.
8. Krantz B., Wood fuel independence, *Materiały Konferencji CONF- 830622*, Minneapolis, USA, 01.06.1983.
9. Bioenergy, Background Paper 2, *FAO/Netherlands Conference on the Multifunctional Character of Agriculture and Land*, 2000.
10. Szczukowski S., Tworkowski J. Produktywność oraz wartość energetyczna biomasy wierzb krzewiastych *Salix* sp. na różnych typach gleb w pradolinie Wisły. *Postępy Nauk Rolniczych* 2: 29-38, 2001

