

BIOMASA PALIWEM XXI WIEKU

Szymon Szufa

Katedra Techniki Ciepłej i Chłodnictwa, Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka

1. Wprowadzenie

W trakcie historii ludzkości biomasa w każdej swojej formie była najważniejszym źródłem wśród wszystkich sześciu podstawowych potrzeb człowieka, często podsumowywanych jako: pożywienie, schronienie, paliwo, surowce, włókna, nawóz. Produkty biomasy są również bardzo często źródłem tzw. siedmiu podmiotów finansowych. Do wczesnych lat XIX wieku biomasa była głównym źródłem energii krajów uprzemysłowionych jak i w wielu krajach rozwijających się [1]. Przemijające cywilizacje są najlepszymi świadkami roli bioenergii. Lasy miały największy wpływ na cywilizowany świat, który rozwijał się tak długo lasy i pola uprawne przekształciły się w wioski i miast. Drewno było fundamentem, na którym stały minione społeczeństwa ludzkie. Bez tego źródła cywilizacje upadały, lasy był tym dla nich czym obecnie jest olej i ropa dla naszej cywilizacji. Na przykład Rzymianie zużywali olbrzymich ilości drewna do budowania, ogrzewania oraz w prawie każdej gałęzi przemysłu. Rzymianie wysyłali swoje floty statków by przywozły im drewno z tak daleka jak z Francji, Północnej Afryki i Hiszpanii. Drewno było materiałem dla architektów do budowy statków, paliwem w metalurgii, wykorzystywanym w gotowaniu, kremacji zwłok i w ogrzewnictwie, pochodziło głównie z lasów wyspy Kreta, Cypru, Grecji i wielu innych terenów dookoła Rzymu. Kiedy lasy zostały wycięte a czas na ich odrastanie był zbyt krótki i cywilizacje zamieszkujące te tereny stopniowo stawały się coraz mniejsze aż zostały unicestwione.

Pierwsze kroki w kierunku uprzemysłowienia również bazowały na źródłach biomasy. Biorąc za przykład węgiel drzewny używany w produkcji stali przez tysiące lat. Archeologowie sugerują, że stal bazująca na wytopie dzięki węglowi drzewnemu była odpowiedzialna za wylesienie w olbrzymiej skali obszarów jeziora Victoria w centralnej Afryce około 2500 lat temu. W czasach nowożytności Addis Ababa jest bardzo dobrym przykładem uzależnienia od paliwa w postaci drewna. Państwo Etiopii nowoczesnej stolicy dopóki nie założono nowoczesnych plantacji eukaliptusa, które zostały wykorzystywane od w sposób ciągły od początku XX wieku i niezmiernie mocno wpłynęły na rozwój Addis Ababa, stolicy Etiopii. W latach wcześniejszych plantacje eukaliptusa nie istniały, a rząd Etiopii był zmuszony do przenoszenia się z obszarów gdzie rośliny te wyczerpywały się na nowe tereny. W rzeczywistości niektórzy historycy sprzecząją się między sobą nad tym czy Ameryka i Europa mogły by się tak doskonale rozwinąć bez ciągłych dostaw drzewa, gdyż rewolucja przemysłowa potrzebowała olbrzymich źródeł biomasy. Wielka Brytania jest najlepszym przykładem kraju, który w trakcie rewolucji przemysłowej rozwinął swoją potęgę dzięki dużej dostępności biomasy w postaci drewna pochodzącego z lasu. Początkowo prawie dwie trzecie Anglii było pokryte lasami, głównie dębowymi. Drewno i węgiel drzewny pochodzące z tych lasów były podstawowym źródłem energii w trakcie rewolucji przemysłowej oraz długo po niej do końca XIX wieku. Na świecie paliwo z biomasy jest używane do gotowania w domach oraz w wielu instytucjach oraz wioskach i w przemyśle bawełnianym, w przemyśle do wytwarzania cegieł, stali, w piekarniach, w procesach wytwarzania żywności oraz w wielu restauracjach (np. w piecach drzewnych przy gotowaniu pizzy). Od niedawna powstaje również wiele elektrowni i elektrociepłowni, w których produkowana jest energia elektryczna i ciepła poprzez bezpośrednie spalanie biomasy bądź poprzez spalanie biogazu z fermentacji.

Generalnie wzrost zainteresowania biomasą jest spowodowanym trzema głównymi czynnikami:

- wzrostem populacji ludzkości
- urbanizacją i wzrostem poziomu życia ludzi
- wzrostem ilości koncernów działających na rzecz ochrony środowiska

W XXI wieku biomasa ponownie zaczyna odgrywać kluczową rolę jako główne źródło energii w wielu wysokorozwiniętych krajach, zazwyczaj w tradycyjnej formie jako zabezpieczenie 35 % zapotrzebowania na energię dwóch trzecich światowej populacji ludzi. Procent ten wzrasta do 60 lub nawet 90 w najbardziej najbiedniejszych krajach naszej planety. Jakkolwiek nowoczesne technologie wykorzystujące biomasę wzrastają w niesamowitym tempie zarówno w przemyśle jak i w krajach rozwijających się i stanowią obecnie 25 % całkowitej energii zużywanej w procesach przemysłowych. Biomasa w Ameryce stanowi 4 % energii pierwotnej, natomiast już w Szwecji i w Finlandii stanowi ona 20 % energii pierwotnej. Energia z biomasy nie jest energią nadającą się do pełnego zastąpienia paliw kopalnych na świecie, jednak będzie dla ludzkości jednym z podstawowych źródeł paliwa jeszcze przez wiele lat. Międzynarodowa Agencja Energii (z ang. *International Energy Agency*) w swoich badaniach przeprowadzonych w 2002 roku podaje co następuje: „Ponad 2.6 miliardów ludzi w krajach rozwijających się będzie korzystała z biomasy w gotowaniu i ogrzewaniu w roku 2030...jest to o 240 milionów ludzi więcej niż korzysta obecnie. W roku 2030 zużycie biomasy na cele grzewcze w domach jednorodzinnych będzie stanowiło ponad połowę wśród typów używanych paliw...”. Z powodu wielorakiego wykorzystywania biomasy bardzo istotne staje się dla nas ludzi zrozumienie powiązań występujących pomiędzy celami wykorzystywania biomasy oraz określenia możliwości jej bardziej efektywnej produkcji i szerszego stosowania. Sukces każdej nowej formy biomasy przeznaczonej na cele energetyczne będzie najprawdopodobniej zależał od rozważnych zaawansowanych technologicznie rozwiązań [2]. Oznacza to, że jeżeli biomasa ma stanowić na długą przyszłość w obszarze źródeł energii, musi dostarczać to czego chcą ludzie: dostępną, czystą i efektywną formę energii elektrycznej oraz w postaci płynnej i gazowej. To stawia biomasę w bezpośredniej rywalizacji z innymi paliwami takimi jak paliwa kopalne i paliwa jądrowe.



Rys.1. Zachód słońca w lesie, źródło: <http://photobucket.com/images/forest/>

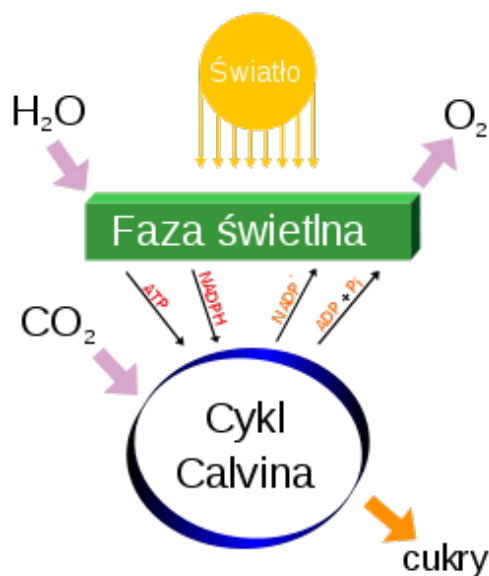
Biomasa występuje we wszystkich wirtualnych scenariuszach globalnego zużycia energii, jako że zasoby biomasy szacowane są na największe na świecie oraz najbardziej

stabilne ze wszystkich rodzajów źródeł energii. Biomasa jest potencjalnie nieograniczonym źródłem energii zawierającym około 220 oven suchych ton co stanowi 4500 exajoules (EJ) rocznej podstawowej produkcji, roczna produkcja bioenergii potencjalnie wynosi 2900 EJ (około 1700 EJ energii pochodzącej z lasów, 850 EJ z pól uprawnych oraz około 350 EJ z obszarów rolniczych). Teoretycznie możliwe było by wytwarzania z samych tylko obszarów wiejskich na Ziemi około 800 EJ energii bez negatywnego wpływania na produkcję żywności.

Występują bardzo duże rozbieżności w jakości jako paliwie potencjalnie produkowanej biomasy. Związane jest to z bardzo kompleksową naturą produkcji biomasy i jej wykorzystania, wymieniając takie problemy jak poprawne szacowanie dostępności zasobów, długo-terminową stabilność jej wytwarzania oraz opłacalność produkcji i zagospodarowania biomasy [3]. Powoduje to powstawanie szerokiego zasięgu technik konwersji, zarówno ekologicznych, społecznych, środowiskowych oraz kulturowych pozostawionych rozważeniu. Oszacowanie zużycia energii z biomasy jest również problematyczne ze względu na szerokie wykorzystywanie energii z biomasy u odbiorców końcowych i łańcuch dostawców oraz pełne wykorzystanie istniejących zasobów biomasy. Występuje szereg niepewności otaczających określenie potencjalnie roli nowo stosowanych źródeł energii takich jak rośliny energetyczne mające zastąpić pierwotnie wykorzystywaną biomasę pochodzenia leśnego, która to posiada dużo większą ilość zastosowań i wyższy potencjał energetyczny w postaci większej wartości opałowej. Co jest bardzo ważne dostępność źródeł energii, wliczając biomasę, zależy od poziomu rozwoju społeczno-ekonomicznego. Wszystkie te czynniki powodują, że ekstrapolowanie potencjału bioenergii staje się bardzo trudne w skali globalnej.

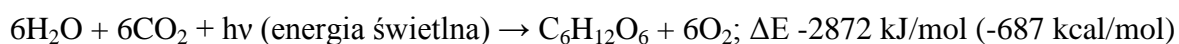
2. Definicje biomasy

Biomasa to masa organiczna zawarta w organizmach roślin i zwierząt. Terminem tym opisuje się substancje, które zawierają węgiel pochodzenia organicznego. Jest to najstarsze i najczęściej obecnie wykorzystywane odnawialne źródło energii. Biomasę określa się również jako rodzaj odpadu przez różnego rodzaju organizmy żywe z grupy roślin i z grupy zwierząt. Należą do niej zarówno odpadki z gospodarstwa domowego, jak i pozostałości po przycinaniu zieleni miejskiej oraz odpady pochodzące z lasów. Definiując biomasę jako jedno ze źródeł z alternatywnych źródeł energii powinno się wytłumaczyć pojęcie „biopaliwo” czyli termin szeroko stosowany dla każdego typu paliwa jakie otrzymuje się z palnej substancji biomasy. Biomasa jest to cała istniejąca na Ziemi materia organiczna, wszystkie substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego ulegające biodegradacji. Biomasą są resztki z produkcji rolnej, pozostałości z leśnictwa, odpady przemysłowe i komunalne [4]. Dyrektywa Unii Europejskiej dotycząca sprawy wspierania produkcji energii elektrycznej na rynku wewnętrznym ze źródeł odnawialnych przyjmuje taką biomasę, która jest podatna na biologiczny rozkład frakcji produktów, odpady i pozostałości z przemysłu rolnej (wraz z substancjami zwierzęcymi i roślinnymi), leśnictwa a także powiązane z nim gałęzie gospodarki, jak również podatne na degradację biologiczną frakcje odpadów pochodzących z przemysłu i z odpadów miejskich. Inaczej mówiąc biomasa to głównie pozostałości i odpady. Niektóre jej formy są jednak celem, a nie efektem ubocznym produkcji. Specjalnie po to, by pozyskiwać biomasę uprawia się pewne rośliny – przykładem takim jest wierzba wiciowa, rdest lub trzcina pospolita. Do tych upraw energetycznych nadają się zwłaszcza rośliny, które charakteryzują się dużym przyrostem rocznym i niewielkimi wymaganiami glebowymi.

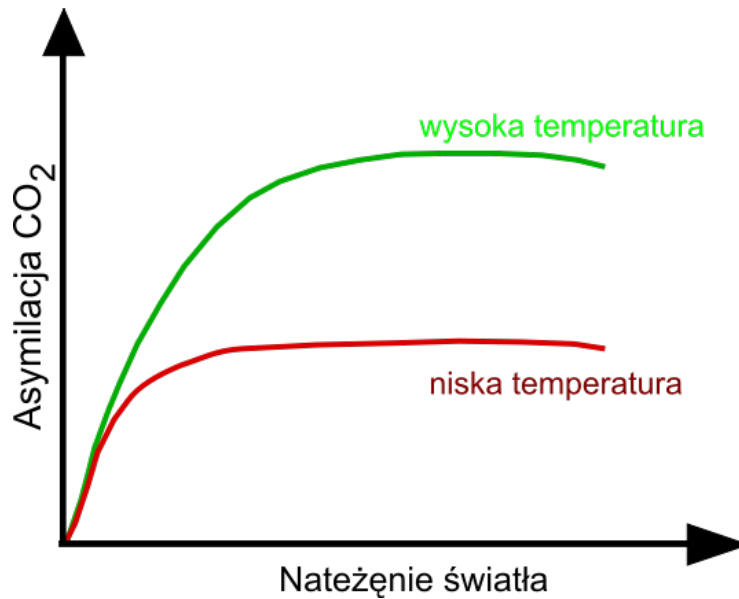


Rys.2. Fotosynteza przebiega dwuetapowo. W fazie jasnej powstają NADPH, ATP oraz tlen. W cyklu Calvin'a dwutlenek węgla jest redukowany z wytworzeniem prostych cukrów.

Odnawialność źródeł biomasy związane jest z faktem, że energia pochodząca ze słońca została zmagazynowana w roślinach w trakcie procesu fotosyntezy, to znaczy w trakcie procesu podczas którego woda i składniki mineralne zawarte w glebie a także dwutlenek węgla z powietrza są przekształcane w biomasę przy użyciu energii zawartej w świetle promieni słonecznych. Fotosynteza zachodzi w dwóch etapach: pierwszy z nich nazywa się fazą jasną (określana również jako faza przemiany energii) podczas której światło jest absorbowane a jego energia jest zamieniana na energię wiązań chemicznych, a jako produkt uboczny wydzielany jest tlen [5]. W drugim etapie zwanym fazą ciemną (określana inaczej jako faza przemiany substancji), w której energia wiązań chemicznych, związków powstałych w fazie świetlnej, jest przeznaczana do syntezy związków organicznych. Zarówno pierwsza jak i druga faza zachodzą jednocześnie przy obecności promieni świetlnych. Wydajność konwersji energii świetlnej na energię wiązań chemicznych węglowodanów wynosi około 22–33%. W ogólnie skróconej formie, sumaryczny przebieg fotosyntezy z glukozą jako węglowodanem ulegającym syntezie, zapisuje się następującym równaniem :



Substratami fotosyntezy są dwutlenek węgla i woda, a produktami – węglowodan i tlen (jako uboczny produkt fotosyntezy), a źródłem światła – słońce. Zarówno bezpośrednie produkty fotosyntezy, jak i niektóre ich pochodne (np. skrobia i sacharoza) określane mianem asymilatów.



Rys.3. Schemat zmian natężenia fotosyntezy w zależności od natężenia światła dla niskiej i wysokiej temperatury

Następna dyrektywa 2001/80/EC (z dnia 23.10.2003) związana z limitem emisji substancji toksycznych do powietrza pochodzących z instalacji spalania pojęcie „biopaliw” definiuje następująco: „ Paliwem jest również biomasa rozumiana jako produkty składające się w całości lub części z substancji roślinnych pochodzących z rolnictwa lub leśnictwa używane w celu odzyskania zawartej w nich energii na które składają się następujące odpady traktowane jako paliwo:

- odpady roślinne rolnictwa i leśnictwa,
- roślinne odpady przemysłu spożywczego jeśli wytworzone ciepło jest wykorzystywane,
- włókniste odpady roślinne z produkcji surowej pulpy i z produkcji pulpy papierniczej jeśli proces spalania przebiega w miejscu ich powstawania a wytworzone ciepło jest wykorzystywane,
- odpady korka,
- odpady drzewne wyjątkowych odpadów drewna które mogą zawierać halogenowa składniki oraz metale ciężkie jako rezultat konserwacji lub powlekania drewna i które znajdują się w odpadach pochodzących z odpadów budowlanych lub rozbiórkowych”.

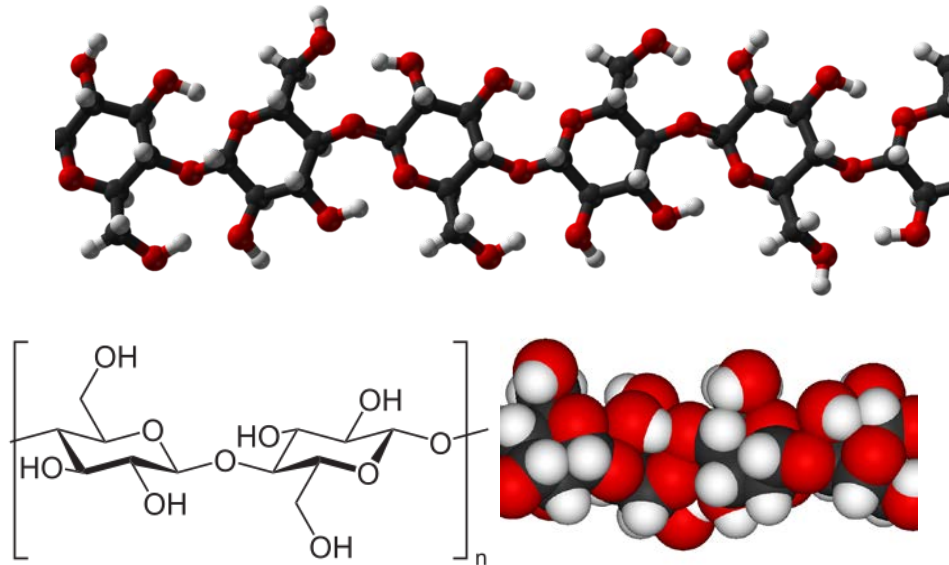
W drugiej definicji nie występują zwierzęce, jednakże mogą znajdować się one pod postacią odpadów przemysłu spożywczego.

3. Typy i rodzaje biomasy

1) Drewno:

- Opał drzewny np. polana czyli kawałki drewna przygotowane do spalania w piecu lub w kominku
- Odpady pochodzenia leśnego, np. ścinki, zrębki oraz inne pozostałości po wyrębie drzew,
- Odpady drzewne powstające w mieście, np. koszeniu trawników, odpady z przydomowych ogródków, pozostałości po przycinaniu gałęzi drzew,
- Odpady oraz produkty uboczne przemysłu leśnego, np. trociny, kora i wióry,

Drewno należy do grupy biomasy typu ligninocelulozowego i gdy drewno nie posiada w swoim składzie żadnych dodatków uzdatniających lub uszlachetniających charakteryzuje się odmiennymi właściwościami niż drewno wykorzystywane w technologiach i procesach, w których takowe dodatki się stosuje. Inne jest również zachowanie drewna w procesach konwersji termicznej. Bardzo często w Polsce jak i poza granicami naszego kraju w trakcie procesu uzdatniania drewna wykorzystywane są tzw. melaminowo-mocznikowo-formaldehydowe praktycznie stosowane w budowie płyt PCW a także elementy mebli biurowych, kuchennych i innych. Czyste drewno nie zawiera w swoim składzie wielu substancji toksykogennych tworzących w procesie spalania związki rodzaju: NO, SO_x czy HCl, natomiast dodatki różnego rodzaju żywic powodują, iż w drewnie mogą się znajdować emisjogenne składniki, których emisja będzie zależeć od metody procesu spalania. Drzewa stanowią jeden z najważniejszych pierwiastków zachowania równowagi w przyrodzie w większości rejonów naszej planety a ich celowe lub niewłaściwe eksploataowanie a także zbyt intensywne sadzenie może spowodować zaburzenia w funkcjonowaniu wielu ekosystemów. Według wielu ekspertów usuwanie z lasów tzw. „pozostałości po wyrębie drzew” i jego nadmiaru, który zalega w postaci gałęzi, wiatrołomów lub karp spowoduje zakłócenie struktur rozwoju biologicznego życia lasu i może doprowadzić do jego unicestwienia [6]. Drewno jest wykorzystywane jako surowiec w przemyśle chemicznym. Pierwotnie drewno było wykorzystywane w do produkcji węgla drzewnego w procesie beztlenowego uwęglania. Drzewo wprost po jego ścięciu charakteryzuje się zawartością wilgoci rzędu 40 do 50% oraz wartości opałowej na poziomie 8000 do 8500 kJ/kg. W stanie powietrzno-suchym po upływie około 10 miesięcy poziom zawartości wilgoci spada do 15-25%, a jego wartość opałowa zwiększa się do 12500-14500 kJ/kg. Zawartość popiołu w drewnie zawiera się w granicach 0,2 do 8%. Skład popiołu różni się w zależności od danego rodzaju drzewa jak i tego czy badamy zawartość popiołu w pniu, gdzie znajduje się mniej go o od 15do 80% oraz mniej pentanów natomiast więcej jest, bo około 15-25% w porównaniu do gałęzi składnika celulozy. Celuloza jest jednym z najważniejszych składników drewna obok ligniny i hemicelulozy, celuloza jest polimerem, który stanowi ponad połowę całej masy drewna. Celuloza należy do grupy sacharydów zbudowanych z reszt glukozowych, które są ze sobą połączone w bardzo długie łańcuchy. Tkanka roślinna jest zbudowana w głównej mierze właśnie z celulozy, oczyszczone włókno roślinne zawiera jej 97%, drewno od 41 do 51% a trzcina i słoma 36%. Rodzima celuloza jest w postaci białej włóknistej masy o gęstości ok. 1,25g/cm³, jest substancją nie ulegającą topnieniu, jest nierozpuszczalna w rozpuszczalnikach organicznych, natomiast rozpuszczalna w tzw. odczynniku Schweitzera. Praktycznie celuloza wykorzystywana jest w swojej postaci naturalnej (włókno przemysłowe i drewno) a także w formie częściowo zmodyfikowanej (papier, pergamin) oraz w postaci całkowicie przekształconej poprzez pozbawienie jej struktury włóknistej (celofan, włókno wiskozowe). Takie materiały jak kleje, lakiery, zagęszczacze, tworzywa sztuczne i różnego rodzaju folie są produkowane z estrów właśnie celulozy. Drugim obok celulozy najważniejszym składnikiem występującym w budowie drewna jest hemiceluloza. Hemiceluloza w odróżnieniu do strukturalnej budowy celulozy posiada rozgałęzione łańcuchy. Najważniejszymi wśród elementów łańcucha hemicelulozy są tzw. pentozy (ksyloza, arabinoza), heksozy (D – (+) – glukoza), monoza oraz galaktoza a także kwasy heksozowe i inne. Ostatnim z głównych składników drewna jest lignina, która jest wysokocząsteczkowym polimerem, który zawiera w swoim składzie alkohole i fenole nienasycone. Lignina jest związkiem, który jako jedyny obok celulozy i hemicelulozy nie jest węglowodanem tylko aromatyczną substancją, która jest spolaryzowana z wiązaniami poprzecznymi złożoną w głównej mierze z alkoholu koniferylowego. W masie drzewnej lignina odgrywa rolę bardzo plastycznego spoiwa włókien celulozy.



Rys.4. Fragment struktury łańcuchowej bez rozgałęzień celulozy

2) Biomasa pochodzenia roślinnego

- Słoma zbóż, roślin oleistych (np. rzepak) i roślin strączkowych
- Pozostałości po zbiorach np. łuski orzechów kokosowych, resztki z kolb kukurydzy
- Odpady i produkty uboczne przemysłu przetwórczego np. pozostałości po przerobieniu trzciny cukrowej i wyluki z oliwek

W Tabeli 1 znajduje się skład elementarny i wartość opałowa wybranych produktów rolnych, które są zaliczane do grupy biomasy pochodzenia roślinnego. W Tabeli 2 zostały przedstawione te same typy biomasy co w Tabeli 1, z tym iż wraz ze składem metali występujących w ich budowie. Od niedawna coraz szerzej wytwarzane są biomasy z tzw. upraw energetycznych. Są to takie typy roślin, które charakteryzują się szybkim tempem wzrostu oraz dużym przyrostem masy suchej. Jednym z istotnych problemów w produkcji roślin energetycznych staje się dobór tych gatunków, które mają możliwość rozwijać się w różnego rodzaju warunkach glebowych i środowiskowych zmieniającego się klimatu, być wykorzystywane wielokierunkowo oraz wytwarzają dużą ilość biomasy łatwej do konwersji na energię elektryczną i ciepłą. W warunkach globalnych zmian klimatycznymi poszukuje się więc takich rodzajów roślin energetycznych, które mogłyby być uprawiane w zróżnicowanych warunkach pogodowych, łatwo adaptowały się do warunków lokalnych, nadawały się do zagospodarowania wszystkich terenów i jednocześnie mogły być wykorzystane w rekultywacji zdegradowanych terenów przemysłowych i fitoremediacji. Zwłaszcza przydatne są te rośliny, które wytwarzając duży plon, mogą być uprawiane na glebach niskiej jakości nie konkurując z produkcją roślin przeznaczonych na cele spożywcze.

Tab.1. Skład elementarny oraz wartość opałowa produktów biomasy [7]

Wielkość	c+h+o+n+s+cl+p=1						Popiół kg i/kg p	Części lotne	Wartość opałowa m.s. MJ/kg
	C	H	O*	N	S10- 3	Cl10 -3			
Słoma									
Słoma Słoma zbóż (mieszana) – ogółem*	0,45	0,06	0,42	0,005	0,74	2,5	0,06	76,2	17,2
Słoma żytnia*	0,47	0,06	0,42	0,006	0,85	3,96	0,05	76,4	17,5
Słoma pszeniczna	0,46	0,06	0,42	0,005	0,82	1,92	0,06	77	17,2
Słoma pszenżyta	0,44	0,06	0,43	0,004	0,56	2,65	0,06	75,2	17,1
Słoma jęczmienna	0,47	0,06	0,46	0,005	0,89	4,05	0,05	77,3	17,5
Słoma kukurydziana	0,46	0,05	0,41	0,007	1,2	3,5	0,07	76,8	17,7
Słoma rzepakowa	0,47	0,06	0,40	0,008	2,7	4,67	0,06	75,8	17,1
Łodygi słonecznika	0,42	0,05	0,38	0,011	1,46	8,13	0,12	72,7	15,8
Słoma lnu	0,47	0,06	0,41	0,007	1,24	3,69	0,05	74,8	17,8
Ziarno									
Ziarno zbożowe (ogółem)	0,44	0,64	0,45	0,02	1,06	0,86	0,02	80,8	17,0
Ziarno żyta	0,46	0,06	0,43	0,02	1,08	1,61	0,02	80,9	17,1
Ziarno pszenicy	0,44	0,06	0,45	0,02	1,21	0,43	0,03	80,0	17,0
Ziarno pszenżyta	0,43	0,06	0,46	0,02	1,07	0,69	0,02	81,0	16,9
Ziarno rzepaku	0,61	0,07	0,24	0,04	1,00	-	0,05	85,2	26,5
Cale rośliny									
Rośliny zbożowe** (ogółem)	0,45	0,06	0,43	0,012	1,37	1,81	0,04	78,2	17,1
Żyto	0,48	0,06	0,40	0,011	1,12	3,42	0,04	79,1	17,7
Pszenica***	0,45	0,06	0,43	0,014	1,20	0,86	0,04	77,6	17,1
Pszenżyto ****	0,44	0,06	0,44	0,011	1,80	1,40	0,04	78,2	17,0
Siano łąkowe i specjalnie uprawiane trawy*	0,45	0,06	0,40	0,013	1,65	7,59	0,07	74,2	17,1
Trzcina	0,41	0,06	0,42	0,009	1,42	4,98	0,08	72,0	16,4
Trawa łąkowa	0,46	0,06	0,37	0,013	1,35	13,9	0,09	74,8	16,5
Konopie* (włókno konopie i słoma)	0,46	0,06	0,42	0,007	1,04	1,98	0,05	81,4	17,0
Specjalne									
Siano ze zbiorów pielęgnacyjnych	0,45	0,06	0,41	0,011	1,58	3,11	0,06	75,4	17,4
Trawa z koszenia poboczy dróg	0,37	0,05	0,32	0,015	1,92	8,77	0,23	61,7	14,1

Tab.2. Średnia zawartość wybranych metali w biomasie [7]

Wielkość	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
Mg/kg m.s.											
Słoma											
Słoma zbóż (mieszana) ogółem*	0,04	0,07	0,14	4,62	2,21	0,01	22,0	0,38	0,69	0,37	9,4
Słoma żytnia*	1,60	0,11	0,40	29,50	3,17	0,01	44,0	1,10	1,00	1,02	37
Słoma pszeniczna	0,06	0,08	0,23	8,22	2,43	0,01	24,0	0,51	1,29	0,49	11,4
Słoma pszenżyta	0,03	0,05	0,05	1,53	1,92	0,01	18,9	0,30	0,34	0,10	5,8
Słoma jęczmienna	0,57	0,07	0,20	4,54	2,51	0,03	45,2	0,37	2,30	1,48	24,6
Słoma kukurydziana	-	0,05	-	-	3,71	0,01	-	-	-	0,21	-
Słoma rzepakowa	0,23	0,19	1,18	37,75	4,69	0,01	36,3	0,25	1,68	5,05	10,8
Łodygi słonecznika	0,02	0,18	0,24	1,75	12,2	0,01	5,1	0,24	0,54	0,71	14,3
Słoma lnu	0,22	0,19	0,28	32,97	4,15	0,01	28,6	0,40	4,46	0,27	12,5
Ziarno											
Ziarno zbożowe (ogółem)	0,02	0,05	0,05	0,38	3,96	0,00	33,2	0,19	0,99	0,10	20,8
Ziarno żyta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ziarno pszenicy	0,02	0,05	0,09	0,49	3,50	0,00	30,5	0,75	0,57	0,10	32,6
Ziarno pszenżyta	0,02	0,05	0,05	0,32	4,08	0,00	33,4	0,12	1,03	0,10	18,4
Ziarno rzepaku	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cale rośliny											
Rośliny zbożowe** (ogółem)	0,04	0,05	0,10	1,01	2,78	0,00	25,8	0,32	0,64	0,14	13
Żyto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pszenica***	0,07	0,09	0,22	1,64	2,62	0,01	26	0,58	0,52	0,25	16,3
Pszenżyto ****	0,05	0,05	0,10	0,89	2,87	0,00	25,6	0,28	0,66	0,11	12,2
Siano łąkowe i specjalnie uprawiane trawy*	0,10	0,17	0,20	1,08	4,28	0,01	52,2	0,85	1,93	0,65	27,5
Trzcina	0,08	0,11	0,34	1,21	4,89	0,03	39,0	0,85	1,14	0,17	22,5
Konopie* (włókno konopie i słoma)	0,86	0,11	0,34	1,21	4,89	0,03	65	0,54	1,08	0,76	22,5
Specjalne											
Siano ze zbiorów pielęgnacyjnych	0,21	0,06	0,56	1,94	3,45	0,01	182	0,36	0,69	0,77	22,5
Trawa pokosów trzydrogowych poboczy	1,72	0,18	1,63	9,59	12,0	0,02	122	1,76	4,06	24,0	51,1

Według założeń „Strategii rozwoju energetyki odnawialnej” udział energii odnawialnej w bilansie energii pierwotnej w skali kraju powinien zwiększyć się z około 2,5% obecnie do 7,5% w roku 2010, natomiast emisja dwutlenku węgla powinna być ograniczona o 20% w porównaniu z poziomem emisji w roku 1996. W tym czasie udział biomasy w całości energii pierwotnej pozyskiwanej z odnawialnych źródeł energii powinien wynosić ponad 90 procent. Ze względu na ograniczone możliwości wykorzystania drewna opałowego z lasów, drewna odpadowego z przemysłu drzewnego czy też słomy z rolnictwa, dla osiągnięcia tego celu konieczne będzie zakładanie plantacji roślin energetycznych. Prace badawcze i wdrożeniowe nad produkcją drewna opałowego na specjalnych plantacjach prowadzone są w wielu krajach. W Szwecji realizowany jest program rządowy pod nazwą Energy Forestry. Plantacje wierzby krzewiastej w Szwecji powiększają się rocznie o kolejne 16 tys. ha, a plany zakładają kolejne wprowadzenie uprawy na 800 tys. ha. W Walii prowadzony jest program Salix Project, który ma doprowadzić do zmiany użytkowania gleb z pastwiskowego na energetyczne. W Danii, Niemczech, Austrii i Stanach Zjednoczonych prowadzone są prace nad produkcją alkoholu metylowego z biomasy wierzbowej, który byłby dodatkiem do paliw płynnych zmniejszającym zanieczyszczenie środowiska, a w najbliższej przyszłości alternatywnym paliwem dla silników. Zwiększenie wykorzystania biomasy pochodzącej z upraw energetycznych wymaga utworzenia całego systemu obejmującego produkcję, dystrybucję i wykorzystanie biomasy. Tak więc działania powinny być ukierunkowane nie tylko na zakładanie plantacji, ale również na zorganizowanie systemu magazynowania i dystrybucji paliwa oraz zapewnienie efektywnego wykorzystania biomasy. Biomasa pochodząca z plantacji roślin energetycznych może być przeznaczona do produkcji energii elektrycznej lub ciepłej, a także do wytwarzania paliwa ciekłego lub gazowego. Tylko równoległe rozwijanie wszystkich elementów systemu opartego o biomasę może zapewnić sukces.

Do obecnej chwili w naszym kraju znaczna ilość działań w zakresie pozyskiwania bioenergii koncentrowała się na pozyskiwaniu energii z wierzby wiciowej, której monokulturowa uprawa mogłaby w przyszłości naruszyć równowagę ekosystemu i w rezultacie doprowadzić do degradacji środowiska [8][9][10]. Są zagrożenia, że w związku z globalnymi zmianami klimatycznymi i zaburzeniami efektu cieplarnianego mogą wystąpić nieprzewidywalne zmiany w plonowaniu roślin i problemy agrotechnologiczne, co może doprowadzić do zmniejszenia ilości pozyskiwanej biomasy i zachwiania systemu energetycznego. Dlatego proponuje się poszerzenie asortymentu biomasy roślinnej o wiele innych gatunków roślin, które wytwarzają dużą ilość suchej biomasy na glebach niskiej jakości, mające właściwości fitoremediacyjne, są one odporne na zmiany i stres temperatury i suszy oraz mogą być także wykorzystane w innych celach niż energetyczny [11, 12].

Uprawa roślin energetycznych powinna zawsze obejmować więc jak najwięcej gatunków dostosowanych do zróżnicowanych warunków klimatyczno-glebowych. Zwiększenie różnorodności biologicznej przyczyni się do zachowania równowagi ekologicznej a przez to do ograniczenia rozprzestrzeniania się chorób i szkodników, które z łatwością atakują rozległe monokultury rolnicze i leśne. Zestaw roślin możliwych do uprawy na cele energetyczne w polskich warunkach obejmuje kilkadziesiąt gatunków ale większość z nich jest nadal mało znana w naszym kraju. Wśród roślin wieloletnich gatunkiem najbardziej popularnym i dobrze przebadanym pod kątem uprawy w Polsce jest nadal wierzba wiciowa (*Salix viminalis*). Duże nadzieje wiąże się także z wieloma innymi gatunkami uprawianymi w cyklu wieloletnim, w tym: topole, róża wielokwiatowa, ślaziowiec pensylwański, topinambur (słonecznik bulwiasty), sylfia, rdest, a także jednoliścienne rośliny energetyczne z uwzględnieniem miskanta olbrzymiego, prosa różgowatego, spartiny periwowej, kukurydzy oraz dużej liczby gatunków zbóż i traw wieloletnich. Rośliny tych gatunków wytwarzają stosunkowo dużą biomasę, zazwyczaj korzystnie wpływają na strukturę i żyzność gleby,

kształtują stosunki wodne i absorbują silnie substancje. Niektóre z nich są dość odporne na istniejące niesprzyjające warunki środowiskowe, dobrze rozwijają się w zmieniającym klimacie oraz zmiennych warunkach pogody i gleby, w porównaniu do wierzby, której rozwój pod wpływem tych czynników trudno obecnie ocenić [13].

Cechy roślin energetycznych

Rośliny energetyczne powinny charakteryzować się dużym przyrostem rocznym, wysoką wartością opałową, znaczną odpornością na choroby oraz wszelkiego rodzaju szkodniki oraz stosunkowo niewielkimi wymaganiami glebowymi. Niezwykle istotna sprawa jest również możliwość mechanizacji prac agrotechnicznych związanych z zakładaniem plantacji oraz zbieraniem plonu. Uprawa roślin energetycznych może być średnio użytkowana przez okres 15-20 lat. Do najważniejszych roślin energetycznych uprawianych w Polsce warto wymienić:

- wierzba wiciowa,
- ślazier pensylwański, zwany również malwą pensylwańską,
- słonecznik bulwiasty, zwany powszechnie topinamburem,
- róża wielokwiatowa,
- rdest sachaliński,
- trawy wieloletnie, m. in. miskant olbrzymi, miskant cukrowy, spartina preriowa, palczatka



Rys.5. Zdjęcie wierzby wiciowej (*Salix viminalis*), źródło: www.google.pl

1) Wierzba wiciowa (*Salix viminalis*)

Wierzba wiciowa jest powszechnie uprawianą rośliną energetyczną, której alternatywą lub uzupełnieniem powinny być inne rośliny. Wierzba energetyczna to gatunek krzewiasty osiągający wysokość do 8 m. Cechą charakterystyczną tej odmiany jest niezwykle silny wzrost. W korzystnych warunkach, zwłaszcza dużej wilgotności gleby i obfitym nawożeniu, roślina ta wyrasta w jednym sezonie do wysokości 3 m. Produkcja prawidłowo założonej plantacji powinna trwać co najmniej 15-20 lat z możliwością 5-8 krotnego pozyskiwania drewna w ilości 10 -15 ton s.m./ha/rok, a w sprzyjających warunkach nawet 26 t/ha. Problemem jest wysoka wilgotność biomasy (50-60%) w chwili zbioru, co zmusza do suszenia jej przed spalaniem. Zawartość popiołów przy spalaniu wynosi około 1% spalanej masy, podczas gdy przy spalaniu gorszych gatunków węgla zawartość ta sięga do 20%. Wartość energetyczna jednej tony suchej masy drzewnej wynosi 4,5 MWh, co odpowiada wartości kalorycznej jednej tony niskiej jakości miazgi węglowej lub 500 litrom oleju opałowego [14]. Drewno wierzby krzewiastej może być także surowcem do produkcji biometanolu. Wierzba posiada także właściwości fitoremediacyjne i może być wykorzystana w oczyszczaniu gleb z metali ciężkich i innych związków toksycznych [15]. Rośnie do 10 razy szybciej niż sosna czy świerk a z ekonomicznego punktu widzenia jej uprawa do celów

energetycznych na gruntach ornych jest bardziej opłacalna niż uprawa jęczmienia jarego i pszenicy ozimej [16].

Wierzba wiciowa najlepiej rośnie na terenach podmokłych i wymaga intensywnego nawożenia, mogącego prowadzić do skażenia gleby i eutrofizacji wód. Do uprawy mogą być wykorzystane prawie wszystkie grunty, jednak wysokie plonowanie biomasy (od 12 do 15 ton/ha/rok) uzyskuje się na gruntach ornych III i IV klasy bonitacyjnej o odczynie (pH) 5,5 – 7,5. Może rosnać też na gruntach klasy V pod warunkiem, że ziemia jest wilgotna od marca do października, lecz nie zabagniona i odpowiednio nawożona [17]. We wczesnym okresie wegetacji akumuluje ona duże ilości węgla w łodygach. Najkorzystniejsze jest wycinanie roślin w odstępach 3-5 letnich. Według Szczukowskiego i Budnego [18] najbardziej przydatnymi klonami są m.in.: *Salix viminalis* 082, *Salix viminalis* var. *Gigantea*, *Salix viminalis* 052, *Salix viminalis* 051 oraz *Salix viminalis* 'Piaskówka', których plon świeżej biomasy roślin dwuletnich może wynieść odpowiednio: 74,13; 60,30; 70,30; 59,98 i 52,34 ton/ha. Metody uprawy wierzby wiciowej na glebach średniej klasy są powszechnie znane. Uprawa jej możliwa jest również na glebach bardzo słabych ale wzbogaconych przerobionymi osadami z oczyszczalni przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniej wilgotności gleby, gdyż susza może spowodować spadek plonowania nawet o 50%.

2) Ślázowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita*)

Ślázowiec pensylwański jest jedną z perspektywicznych roślin, które podobnie jak wierzba, mogą być wykorzystywane do celów energetycznych. Nadaje się do uprawy w klimacie Polski, na glebach średniej i niskiej jakości włącznie z piaszczystymi klasy piątej i nieużytkach. Może też być stosowany do rekultywacji terenów zdegradowanych. Formy ślázowca mniej ulistnione (tzw. łodygowe) są bardziej przydatne do spalania, natomiast formy obficie ulistnione bardziej nadają się do produkcji biogazu. Roślina ta posiada także inne zastosowanie – m.in. jest rośliną miododajną, może też być uprawiana na paszę, włókno, i jako surowiec w przemyśle celulozowego – papierniczym. Plantacja ślázowca może być użytkowana przez okres 15-20 lat. Z 1 ha można uzyskać do 15 ton suchej biomasy, z czego 6,7 ton stanowi celuloza. Ciepło spalania cienkich łodyg ślázowca wynosi 14,5 MJ/kg, a grubszych łodyg 11,9 MJ/kg. W bardzo sprzyjających warunkach plon zbieranej zimą masy roślinnej wynosi 20-25 ton/ha, a jej wilgotność w czasie zbioru waha się w granicach 20-25%. Z tego względu może być bezpośrednio po zbiorze spalana, bez suszenia, co obniża koszty pozyskiwania energii. Problemem jest stosunkowo wysoka zawartość popiołu, 14,7-16,6% suchej masy. Rozmnaża się z nasion, które kiełkują nierównomiernie i w niskim procencie. Kondycjonowanie nasion przyspiesza kiełkowanie i zwiększa odsetek wschodzących siewek.

3) Miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus*)

Miskant olbrzymi, to mieszańiec powstały w wyniku skrzyżowania miskanta chińskiego z miskantem cukrowym. Jest on okazałą trawą kępową o bardzo głębokim, silnym systemie korzeniowym sięgającym do 2,5 m w głąb ziemi oraz części nadziemnej dorastającej do wysokości 200-350 cm. Wartość kaloryczna miskanta wynosi 19,25 MJ/kg s.m. Charakteryzuje się on szybkim wzrostem, wysokim plonem biomasy (6-30 t/ha w zależności od warunków uprawy) oraz stosunkowo wysoką odpornością na niskie temperatury roślin starszych. W warunkach naszego kraju nie wytwarza nasion i rozmnażany jest tylko wegetatywnie. Biomase miskanta zbiera się w lutym lub marcu. Rośliny te można uprawiać przez 10-12 lat na jednym polu, przy czym najlepiej plonują one w ciągu pierwszych 8-9 lat trwania plantacji .



Rys.6. Miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus*)

4) Topola (*Populus* sp.)

Topola jest najszybciej rosnącym drzewem w naszych warunkach klimatycznych i posiada zbliżone znaczenie użytkowe i środowiskowe jak wierzba. Najwyższy plon biomasy wytwarza w warunkach występujących w dolinach rzek i zbiorników wodnych. Wymagania glebowe topoli są podobne jak wierzby. Najczęściej biomasa pozyskiwana jest w cyklu 4-6 letnim, a jej plon wynosi 6-12 t/ha. W Polsce polecany do uprawy jest szybko rosnący mieszaniec osiki szwedzkiej i osiki amerykańskiej, który nadaje się do uprawy na dobrze nawodnionych nieużytkach i gruntach zdegradowanych. Innym mieszańcem polecanym do nasadzeń na plantacjach energetycznych jest wyhodowana w Polsce topola bujna, która w krótkim okresie wytwarza biomasę porównywalną do wierzby i jest odporna na choroby. Drzewa ścina się co 3-4 lata.

5) Róża wielokwiatowa (*Rosa multiflora*)

Rośliny róży wielokwiatowej to wysokie, ekspansywne i szeroko rozrastające się krzewy, dorastające do wysokości 4-6 m. Plon biomasy zbieranej w październiku wynosi 10 –15 t/ha. Biomasa ta może być brykietowana, spalana lub zgazowywana. Róża ta rośnie dobrze na glebach słabych nawożonych osadami pościekowymi. Mieszańcowa odmiana JART, bezkolcowa i silnie odrastająca, może być uprawiana na piaskach i ubogich piaszczystych glebach klasy V i VI. Jest ona wytrzymała na suszę, silnie rośnie na osadach pościekowych, a plon biomasy wynosi 20 t/ha [19].

6) Słonecznik bulwiasty (topinambur; *Helianthus tuberosus*)

Słonecznik bulwiasty jest bardzo interesującą rośliną energetyczną, która może być wykorzystywaną do produkcji dużej ilości biomasy (część nadziemna) oraz biopaliw (wykorzystując bulwy). Topinambur jest rośliną o bardzo wysokim potencjale produkcyjnym. Wysokość plonów uwarunkowana jest przede wszystkim genotypem roślin, ale istotny wpływ ma również żyzność gleby. Plon biomasy może wynieść nawet 110 t/ha, w tym: zielonej masy 75,6 t/ha, a bulw 32,4 t/ha. Surowcem do celów energetycznych mogą być bulwy, które można przeznaczyć do produkcji etanolu lub biogazu oraz części nadziemne. Ze świeżych lub zakiszonych pędów może być wytwarzany biogaz, natomiast suche mogą być spalane lub wykorzystane do produkcji brykietów opałowych i peletów. Topinambur rośnie dobrze i wytwarza dużą biomasę w szerokim zakresie warunków. Najlepiej udaje się na glebach średnio zwięzłych, przewiewnych, zasobnych w składniki pokarmowe i dostatecznie wilgotnych. Może być także uprawiany na gorszych stanowiskach, zwłaszcza jeżeli jest stosowane nawożenie uzdatnionymi odpadami ściekowymi [20]

7) Sylfia, rożnik przerośnięty (*Silphium perfoliatum*),

Sylfia, to trwała roślina dwuliścienna charakteryzująca się niewielkimi wymaganiami glebowymi. Z tego względu może być polecana jako roślina pionierska przy rekultywacji terenów zdegradowanych. Pędy sylfii osiągają wysokość do 2,5 m. Jej plantacje energetyczne zakłada się późną jesienią (X-XI) wysiewając nasiona bezpośrednio do gruntu. Po upływie 3-4 lat z plantacji można uzyskać około 100 t biomasy z ha (ok. 19 t s.m./ha). Sylfia stanowi jednocześnie cenną roślinę miododajną, leczniczą oraz pastewną.

8) Rdest japoński (*Reynoutria japonica*) i rdest sachaliński (*R. sachalinensis*).

Rdesty to bardzo szybko rosnące rośliny, dorastające do 6 m wysokości. Jednoroczne pędy dorastają do 4 m. W warunkach Polski rdesty rozpoczynają wegetację w kwietniu-maju a wegetację kończą wraz z nastaniem pierwszych przymrozków. Ścinane jesienią lub zimą pędy zawierają 32-36% wody i z tego względu przez spalaniem lub przygotowaniem do zgazowywania nie wymagają dosuszania. Problemem jest to, że rdesty nie nawożone szybko wyjaławiają glebę. Gatunki te łatwo dziczeją oraz szybko rozprzestrzeniają przez wysiew szybko dojrzewających i opadających nasion lub rozrastanie się długich (5-6 m) rozłogów. Powoduje to tworzenie się gęstych skupisk tych roślin, trudnych do likwidacji.

9) Proso różgowe (*Panicum virgatum*)

Proso różgowe jest nieznaną w Polsce jednoliścienną rośliną energetyczną, podczas gdy w USA i w Zachodniej Europie prowadzone są intensywne prace nad jej szerokim zastosowaniem w uprawach energetycznych. Według dotychczasowych informacji nadaje się do uprawy w naszym klimacie. Plon suchej masy w czasie zbioru jest bardzo wysoki i wynosi 16-22 ton/ha, a wartość energetyczna 17-18,4 MJ/kg. Rozmnaża się z nasion, których podczas zakładania plantacji wysiewa się 3-11 kg/ha na głębokość 0,6-1,3 cm. Nasiona kiełkują w około 50%. Proso różgowe rośnie dobrze na glebach o odczynie pH 4,9-7,6. Siewki najlepiej wschodzą w 20°C, rośliny przeżywają natomiast temperaturę -30°C. Trwałość plantacji może wynosić 10 lat. Korzystne dla energetyki jest też to, że rośliny są typu fotosyntetycznego C4.

10) Kukurydza (*Zea mays*)

Kukurydza jest powszechnie uprawianą rośliną na ziarno na świecie. Plon zielonej masy wynosi 50-60 ton/ha, natomiast plon suchej masy może sięgać 45 ton/ha, w tym plon łądyg stanowi około 30 ton, ziarna 11 ton, osadek 3-5 ton, co przy dużej masie roślinnej i niskiej wilgotności powinno stawiać tę roślinę wśród najbardziej przydatnych w energetyce. Wartość energetyczna jest zbliżona do wartości zbóż (ok. 17-18 MJ/kg suchej masy). Korzystne dla energetyki jest też to, że rośliny są typu fotosyntetycznego C4. Kukurydzę uprawia się z siewu ziarna na glebach żyznych, ciepłych, przewiewnych, których jakość mogłaby być poprawiona zastosowaniem odpowiednich biostymulatorów i nawożeniem uszlachetnionymi osadami z oczyszczalni miejskich [21]. Kukurydza zaczyna znajdować duże zastosowanie w produkcji bioenergii ze względu na wysoki plon biomasy, sprzyjające warunki klimatyczne obecnie i w przewidywanym ocieplającym się klimacie oraz możliwość uzyskania z niej energii poprzez spalanie, zgazowywanie lub produkcję biopaliw.



Rys.7. Kukurydza (*Zea mays*)

Doskonałym surowcem energetycznym i opłacalnym z punktu widzenia ekonomicznego, oprócz wspomnianych wyżej roślin, mogą być zboża, które po skoszeniu spala się wraz z ziarnem lub w postaci tylko słomy. Dotyczy to głównie żyta i owsa, które uprawia się na glebach słabszych. Kolejnymi, mającymi duże zastosowanie w produkcji energii odnawialnej są wieloletnie trawy, które wytwarzają wysoki plon biomasy na glebach różnej jakości, korzystnie wpływają na ekosystem, użyźniają glebę i mogą być bezpośrednio spalane lub zgazowywane [22] [23].

Obecnie większość biomasy jest wykorzystywana do produkcji energii i ciepła, a najczęściej stosowaną technologią jest współspalanie biomasy z konwencjonalnymi paliwami [24]. Wobec nie przystosowania dotychczas stosowanych kotłów w energetyce współspalanie biomasy roślinnej z węglem stwarza wiele problemów eksploatacyjnych, co obniża efektywność pozyskiwania energii tą metodą.

3) Inne odpady organiczne

- Odchody zwierzęce np. trzody chlewnej, kurcząt i bydła,
- Osady ściekowe np. pochodzące ze ścieków komunalnych,
- Składowiska odpadów, gdzie części organiczne wykorzystuje się do produkcji biogazu

Możliwa jest wstępna obróbka biomasy, taka jak np. brykietowanie lub granulowanie. Brykiet drzewny produkowany jest z rozdrobnionych odpadów drzewnych takich jak trociny, wióry czy zrębki, które są sprasowywane pod wysokim ciśnieniem bez dodatku substancji klejących. Niska zawartość wilgoci sprawia, że wartość opałowa brykietów jest wyższa niż drewna. Dzięki dużemu zagęszczeniu materiału w stosunku do objętości, proces spalania jest stopniowy i powolny. Brykiet drzewny ma najczęściej kształt walca lub kostki. Technologia produkcji brykietów drzewnych była już stosowana przed II wojną światową w Szwajcarii, jednak produkcja na skale przemysłowa rozwinęła się dopiero w latach osiemdziesiątych XX wieku. Surowcem do produkcji brykietu z biomasy może być każdy rodzaj rośliny lub odpadów pochodzenia roślinnego. Największe znaczenie gospodarcze i największa wartość handlową mają brykiety produkowane z drewna. Do przerobu nadają się praktycznie wszystkie rodzaje drewna i odpadów drzewnych, w tym zrębki i trociny. Brykietowanie następuje w prasach mechanicznych lub hydraulicznych bez stosowania żadnych substancji

wiązących. O kształcie otrzymywanego brykietu decyduje rodzaj zastosowanej prasy brykietującej. Linie do produkcji brykietu zarówno mechaniczne, jak i hydrauliczne, oferowane są przez producentów krajowych i zagranicznych. Pelet (granulat) to wysoko wydajne, odnawialne paliwo, produkowane z biomasy. Peletyzacja biomasy jest procesem zagęszczania paliwa do postaci tzw. biopaliwa celem zbliżenia jego właściwości do właściwości węgla. Zagęszczeniu ulegają biomasy typu stałego takie jak: trociny, słoma, ziarna, łuski, wióry, zrębki. Ten rodzaj obróbki biomasy zwiększa jej gęstość energetyczną, powoduje ujednoczenie rozmiarów i kształtów a także obniża zawartość wilgoci co sprawia iż tego typu przetworzona biomasa jest podstawowym biopaliwem dla energetyki zawodowej. Zwiększona gęstość energetyczna biomasy to obniżenie kosztów transportu, lepsze możliwości mieszania z pyłem węglowym w instalacjach z zautomatyzowaną linią podawania paliwa, polepszone właściwości przemiałowe. Peletyzacja biomasy pozwala na zwiększenie stosunku biomasa/węgiel w jej współspalaniu co ma istotny wpływ przy ograniczeniach związanych z wielkością kotła. Technologia ta wywodzi się z technik granulowania szeroko stosowanych w przemyśle chemicznym, paszowym i farmaceutycznym, jednak granulowanie biomasy odbywa się pod większym ciśnieniem. Przed procesem wyłaczania biomasa jest oczyszczana, suszona bądź dowlżana do optymalnej zawartości wilgoci jaką jest 15% a następnie jest rozdrabniana. Czasem dodawane są specjalne substancje wiążące w postaci tzw. *lepiszcza*. Rynek związany z biopelletami rozwija się bardzo szybko, a w raz z nim rozwijana jest technologia otrzymania pelletów. Jednym z problemów pellet jest wysoka wrażliwość na wodę, gdyż pelaty po kontakcie z wodą mogą pęcznieć i rozpadać się, w związku z czym pelaty wymagają specjalnych warunków składowania. Pelaty należy przetrzymywać w trakcie transportu szczelnych workach a ich składowanie wymaga odpowiedniej infrastruktury (silosów lub zadaszenia), gdyż w innym wypadku pelaty ze względu na swoją higroskopijną naturę ulegną biodegradacji. Proces peletyzacji rozwiązuje wiele problemów związanych z różnicami we właściwościach biomasy jako paliwa i węglem ale nie pozwala na całkowitą substytucję węgla. Pelaty wciąż wymagają stosowania młynów młotkowych pomimo poprawionej przemiałowości względem świeżej nieprzetworzonej biomasy w celu ich współspalania w kotłach energetycznych przy stosunku biomasa/węgiel wyższym niż 10%. Ważną zaletą pelletu jest to, że mogą być produkowane z lokalnie dostępnych surowców. Daje to możliwość stworzenia nowych miejsc pracy. Granulat produkowany jest z odpadów drzewnych, zatem jego produkcja przyczynia się do zmniejszania problemu zagospodarowania odpadów i zużycia paliw kopalnych. Spalanie drewna nie powoduje emisji CO₂, ponieważ emisje równoważone są przez pochłanianie dwutlenku węgla w procesie fotosyntezy. Pelaty spalane są w pełni automatycznych kotłach c.o. Na rynku polskim jest już wielu producentów i dystrybutorów kotłów, przystosowanych do spalania pellet. Istnieje również możliwość zastosowania przystawki do kotła starego typu. Do posiadanego kotła grzewczego możemy wmontować odpowiednio przystosowany palnik do spalania granulatu. Granulat jako paliwo nadaje się do wykorzystania zarówno w instalacjach indywidualnych, jak i systemach ciepłowniczych [25]

4) Biomasa pochodzenia zwierzęcego

Wymieniając rodzaje biomasy pochodzenia zwierzęcego należy wziąć pod uwagę odpady zwierzęce, przetwórstwo mięsa oraz zwierzęta w całej postaci, które powstały w wyniku zaistnienia sytuacji nadzwyczajnych jak na przykład epidemia. Według Dyrektywy Rady 90/667/EEC oraz 2000/418/EEC oraz Rozporządzenia (WE) Nr 1774/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 03.10.2002 o sposobach wykorzystywania poubojowych odpadów w Unii Europejskiej odpady dzielimy na trzy grupy:

- odpady poubojowe niskiego ryzyka LRM (z ang. *low risk material*)

- odpady wysokiego ryzyka HRM (z ang. *high risk material*)
- odpady szczególnego ryzyka SRM (z ang. *specified risk material*)

Do grupy odpadów LRM zalicza się:

- te odpady zwierzęce, które należą do zwierząt uznanych za zdatne do spożycia przez człowieka,
- odpady pochodzenia zwierzęcego, które nie stanowią zagrożenia dla ludzi oraz dla zwierząt,
- wszystkie świeże ryby pochodzące z zakładów przetwórstwa rybnego,
- te odpady ryb, które zostały złowione na morzu w celu produkcji mączki rybnej,
- sierść, skóra, racice, rogi oraz inne.

Do grupy odpadów HRM zalicza się:

- odpady, które pochodzą od zwierząt u których stwierdzono występowanie chorób zakaźnych stwarzających niebezpieczeństwo dla ludzi i zwierząt,
- krew zwierzęca,
- zwierzęta hodowlane, które zostały poddane ubojowi podczas transportu ze względów etycznych,
- zwierzęta rzeźne, dziczyzna, drób, produkty mleczne, ryby pochodzące z krajów spoza obszaru Unii Europejskiej i niezgodnymi z wymaganiami Unii,
- produkty spożywcze, mięso, drób pochodzenia zwierzęcego niewłaściwej jakości,
- części zwierząt przeznaczonych do konsumpcji, wyłączeniem włosów, sierści, skór, wełny i rogów.

4. Metody konwersji biomasy w energię cieplną i elektryczną

1) Spalanie

Proces spalania wykorzystywany jest zarówno do produkcji energii cieplnej, jak i do wytwarzania energii elektrycznej spalanie jest najbardziej rozpowszechnioną i jednocześnie najprostszą formą uzyskiwania energii z biomasy. W wyniku spalania generuje się aż 90% energii, uzyskiwanej na świecie z biomasy, przy założeniu że biomasa może ulegać spalaniu we wszystkich stanach skupienia. Należy wymienić dwa typy spalania:

- spalanie w sposób bezpośredni – w paleniskach zamkniętych (piece, kotły) lub w otwartych (ogniska)
- spalanie w sposób pośredni – poprzez wstępną gazyfikację w oddzielnych gazyfikatorach, a następnie poprzez spalanie otrzymanego w ten sposób gazu palnego np. w kotłach lub zasilanie nim silników spalinowych.

2) Gazyfikacja

Proces gazyfikacji podobnie jak spalanie jest zachodzącym w wysokiej temperaturze procesem konwersji termo-chemicznej, z tą jednak różnicą, że jej produktem nie jest ciepło, lecz gaz, który dopiero po spaleniu dostarcza energii cieplnej. Poza wytwarzaniem ciepła, gaz ten może być wykorzystywany także w kuchenkach gazowych oraz w turbinach, służących do produkcji elektryczności i maszynach, wykonujących prace mechaniczne. Proces gazyfikacji polega na częściowym spalaniu biomasy w temperaturze około 1200-14000 °C w warunkach ograniczonego dostępu powietrza bądź tlenu.

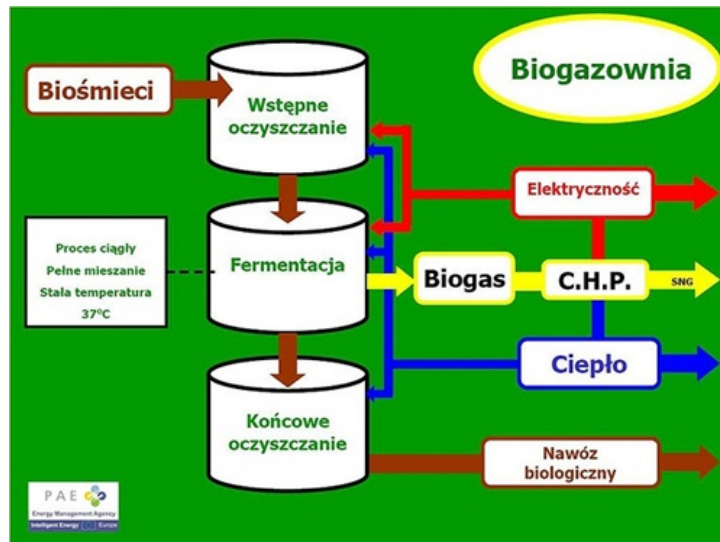
3) Piroliza

Jest wstępnym etapem w procesie spalania oraz gazyfikacji, piroliza to technologia, która w porównaniu ze spalaniem i gazyfikacją znajduje się dopiero we wczesnym stadium rozwoju. Jej produktem jest ciekłe biopaliwo zwane bio-olejem lub inaczej olejem pirolitycznym, będące złożoną mieszką utlenionych węglowodorów. Piroliza w oparciu o kilka metod, które są opracowywane dla produkcji paliwa z biomasy, która może obejmować upraw dla celów energetycznych lub biologicznych odpadów z innych branż. Mimo, że syntetyczny olej napędowy nie może jeszcze być produkowany bezpośrednio w procesie pirolizy materiałów organicznych, jest sposób wytwarzania podobnych cieczy ("bio-oleju"), które mogą być wykorzystywane jako paliwo po usunięciu cennych bio-chemicznych substancji, które mogą być używane jako dodatki do produkcji żywności lub leków. Wyższą efektywność uzyskuje się przez tzw. błyskawiczną pirolizę, podczas której silnie surowiec, który jest rozdrobniony podgrzewa się szybko do temperatury od 350 do 500 ° C w czasie krótszym niż 2 sekundy. Paliwa bio-oleju przypominające lekkiej ropy mogą być również produkowane przez proces uwodnionej pirolizy z różnego rodzaju surowców, w tym przez odpady z hodowli trzody chlewnej i indyka, w procesie zwanym procesowi termicznej depolimeryzacji (co może jednak obejmować inne reakcje oprócz pirolizy). Zaletą pirolizy jest większa niż w przypadku spalania i gazyfikacji łatwość transportowania produktu wyjściowego, pozwalająca znacznie ograniczyć koszty transportu. Piroliza jest złożonym procesem, a właściwości jej produktu zależą od wysokości temperatury, od tego jak długo poddawano materiał jej działaniu, od obecności wody, tlenu i gazów, a także od cech poddanego pirolizie surowca. Piroliza zachodzi w temperaturze w granicach 200-600°C przy bardzo małym dostępie tlenu. W jej trakcie następuje wyodrębnienie z drewna lotnych składników (drewno zawiera ich nawet do 80%). Ponieważ piroliza to jeden z etapów zgazowania, pojęcia te są czasami mylone. Główną różnicą jest ilość powietrza (tlenu), która bierze udział w procesie. Różnice występują również w produktach obu procesów - w przypadku zgazowania mamy tylko palny gaz (gaz drzewny) i popiół [26].

4) Biogaz

Biogaz zazwyczaj odnosi się do gazu wytwarzanego w wyniku biologicznego rozkładu materii organicznej w warunkach beztlenowych. Biogaz produkowany jest z odpadów organicznych, takich jak martwe materiały roślinne i zwierzęce, odchody zwierzęce i odpady kuchenne. Biogaz pochodzi z materiałów biogennych i jest rodzajem biopaliwa.

Biogaz powstaje w wyniku fermentacji beztlenowej, fermentacji z materiałów ulegających biodegradacji takich jak biomasa, oborniki, ścieki, odpady komunalne, odpady zielone, materiały roślinne i rośliny. Biogaz składa się głównie metan (CH_4) i dwutlenku węgla (CO_2) i może zawierać niewielkie ilości wodoru oraz siarkowodoru (H_2S) i wilgoci. Metan jako jeden z gazów palnych może być spalany w obecności tlenu. Ta wersja energii pozwala wykorzystać biogaz jako paliwo. Biogaz może być wykorzystywany jako paliwo w każdym kraju, do celów grzewczych oraz takich procesów jak gotowanie.



Rys.8. Schemat procesu produkcji biogazu w biogazowni

Może być również produkowany w beztlenowych komorach fermentacyjnych, gdzie jest później zazwyczaj używany w silniku gazowym do konwersji energii gazu na energię elektryczną i ciepłą. Biogaz może być skompresowany, podobnie jak gaz ziemny i używany do napędzania pojazdów mechanicznych. W Wielkiej Brytanii na przykład szacuje się, że biogaz może zastąpić około 17% paliw. Biogaz jest paliwem odnawialnym, więc kwalifikuje się do odnawialnych źródeł energii i podlega dotacją w niektórych częściach świata. Biogaz może być oczyszczany i dostosowywany do norm naturalnego gazu i staje się wówczas biometanem. Biogaz powstaje w procesie beztlenowej fermentacji odpadów organicznych, podczas której substancje organiczne rozkładane są przez bakterie na związki proste. Fermentacja beztlenowa np. trzciny cukrowej lub ziemniaków celem wytworzenia alkoholu etylowego do paliw silnikowych jest złożonym procesem biochemicznym zachodzącym w warunkach beztlenowych. W procesie fermentacji beztlenowej do 60% substancji organicznej zamienianej jest w biogaz. Zgodnie z przepisami obowiązującymi w Unii Europejskiej składowanie odpadów organicznych może odbywać się jedynie w sposób zabezpieczający przed niekontrolowanymi emisjami metanu. Gaz wysypiskowy musi być spalany w pochodni lub w instalacjach energetycznych, a odchody zwierzęce fermentowane. Istotny jest fakt, że wykorzystując będący jednym z gazów cieplarnianych metan zapobiega się jego emisji do atmosfery. Im mniej zaś w atmosferze gazów cieplarnianych, tym mniejsze natężenie efektu cieplarnianego, tym mniej związanych z globalnym ociepleniem niekorzystnych zmian klimatu.

Biogaz wykorzystywany do celów energetycznych powstaje w wyniku fermentacji:

- osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków,
- odpadów organicznych na składowiskach odpadów,
- odpadów zwierzęcych w gospodarstwach rolnych,

Biogaz powstający w wyniku fermentacji beztlenowej składa się głównie z metanu (od 40% do 70%) i dwutlenku węgla (około 40-50%), ale zawiera także inne gazy, m. in. azot, siarkowodór, tlenek węgla, amoniak i tlen. W celu produkcji energii cieplnej lub elektrycznej może być wykorzystywany biogaz zawierający powyżej 40% metanu. Biogaz może być wykorzystywany w wieloraki sposób. Biogaz może być spalany w specjalnie przystosowanych kotłach, zastępując gaz ziemny. Uzyskane ciepło może być przekazywane do instalacji centralnego ogrzewania. Energia elektryczna wyprodukowana w silnikach

iskrowych lub turbinach może być sprzedawana do sieci energetycznych. Biogaz jest również wykorzystywany w układach skojarzonych do produkcji energii elektrycznej i ciepła.

5) Gaz wysypiskowy

Odpady organiczne stanowią jeden z głównych składników odpadów komunalnych. Ulegają one naturalnemu procesowi biodegradacji, czyli rozkładowi na proste związki organiczne. W warunkach optymalnych z jednej tony odpadów komunalnych może powstać około 400-500 m³ gazu wysypiskowego. Gaz wysypiskowy może być dostarczany do sieci gazowej, wykorzystywany jako paliwo do pojazdów lub w procesach technologicznych. Jednak w rzeczywistości nie wszystkie odpady organiczne ulegają pełnemu rozkładowi, a przebieg fermentacji zależy od szeregu czynników. Dlatego też przyjmuje się, że z jednej tony odpadów można pozyskać maksymalnie do 200 m³ gazu wysypiskowego. W chwili obecnej na świecie działa ponad 800 instalacji energetycznego wykorzystania gazu wysypiskowego. W Europie najbardziej zaawansowana jest pod tym względem Wielka Brytania, gdzie w 2000 r. moc zainstalowana wynosiła 292 MW energii elektrycznej. W Polsce zarejestrowanych jest obecnie ok. 700 czynnych składowisk odpadów. Oszacowano, że produkują one rocznie ponad 600 mln m³ metanu. W praktyce zasoby gazu wysypiskowego możliwe do pozyskania nie przekraczają 30-45% całkowitego potencjału powstającego na wysypisku gazu. W takich warunkach zasoby metanu realnie możliwe do pozyskania z wysypisk odpadów komunalnych są szacowane na 135-145 mln m³ metanu rocznie, co jest równoważnikiem 5235 TJ. Potencjał ten jest obecnie wykorzystywany tylko w nieznacznym stopniu. W 2002 r. w Polsce działało zaledwie 18 instalacji do wykorzystania gazu wysypiskowego.

6) Biogazownie rolnicze

W gospodarstwach hodowlanych powstają znaczne ilości odpadów, które mogą być wykorzystane do produkcji biogazu. Z 1 m³ płynnych odchodów można uzyskać średnio 20 m³ biogazu, a z 1 m³ obornika – 30 m³ biogazu, o wartości energetycznej ok. 23 MJ/m³. Potencjał biogazu z odchodów zwierzęcych w Polsce wynosi 3310 mln m³, jednak w praktyce instalacje do pozyskania biogazu mają szansę powstać tylko w dużych gospodarstwach hodowlanych.

7) Biogaz pochodzący z oczyszczalni ścieków

Potencjał techniczny dla wykorzystania biogazu z oczyszczalni ścieków do celów energetycznych jest bardzo wysoki. W Polsce jest 1759 przemysłowych i 1471 komunalnych oczyszczalni ścieków i liczba ta wzrasta. Standardowo z 1 m³ osadu (4-5% suchej masy) można uzyskać 10-20 m³ biogazu o zawartości ok. 60% metanu. Do bezpośredniej produkcji biogazu najlepiej dostosowane są oczyszczalnie biologiczne, które mają zastosowanie we wszystkich oczyszczalniach ścieków komunalnych oraz w części oczyszczalni przemysłowych. Ponieważ oczyszczalnie ścieków mają stosunkowo wysokie zapotrzebowanie własne zarówno na energię cieplną i elektryczną, energetyczne wykorzystanie biogazu z fermentacji osadów ściekowych może w istotny sposób poprawić rentowność tych usług komunalnych. Ze względów ekonomicznych pozyskanie biogazu do celów energetycznych jest uzasadnione na tylko większych oczyszczalniach ścieków przyjmujących średnio ponad 8 000-10000 m³/dobę.

8) Biopaliwa płynne

Następujący współcześnie szybki rozwój transportu ma swoje dobre i złe strony. Do tych ostatnich należą niewątpliwie powodowane przez transport zanieczyszczenia. To transport

odpowiada za około jedna czwarta emisji dwutlenku węgla (CO₂), przy czym aż 80% tej sumy przypada na transport drogowy. Nic więc dziwnego, że w trosce o środowisko naturalne ludzie coraz częściej zwracają się ku alternatywom dla tradycyjnych paliw. Jedną z takich alternatyw są Biopaliwa płynne.

9) Bioetanol i biometanol

Jeśli chodzi o postać ciekłą, to największe znaczenie odgrywają alkohole produkowane z roślin o dużej zawartości cukru oraz biodiesel produkowany z roślin oleistych. W wyniku fermentacji, hydrolizy lub pirolizy na przykład kukurydzy czy też trzciny cukrowej otrzymuje się etanol i metanol – biopaliwa, które mogą być następnie dodawane do paliw tradycyjnych. Przykładowo, około 90% wyprodukowanego w Stanach Zjednoczonych etanolu wykorzystuje się do wytwarzania „E 10”, paliwa zwanego także „gazoholem”. Ta, zawierająca tylko 10% etanolu mieszanina może napędzać każdy silnik, pracujący normalnie na benzynie, jednak na „E 85”, paliwie zawierającym 85% etanolu i 15% benzyny mogą jeździć tylko specjalnie przystosowane samochody. Biodiesel jest biopaliwem otrzymywanym z olejów roślinnych bądź tłuszczów zwierzęcych. Nadaje się on do stosowania w silnikach diesla, przy czym jego spalanie jest znacznie bardziej przyjazne środowisku - w jego trakcie emitowanych jest mniej szkodliwych substancji chemicznych niż przy spalaniu oleju napędowego. Biodiesel otrzymywany jest z oleju roślinnego (lub tłuszczu zwierzęcego), metanolu i katalizatora (np. KOH). W odróżnieniu od normalnego oleju napędowego, biodiesel jest paliwem biodegradowalnym i nietoksycznym, jego wykorzystanie powoduje znaczne obniżenie emisji szkodliwych substancji do atmosfery. Nadaje się on do wykorzystania prawie wszędzie tam, gdzie dziś stosuje się olej napędowy.

Tab.3. Wartości opałowe produktów biomasy w porównaniu z paliwami konwencjonalnymi.

Rodzaj biomasy	Wartość opałowa
Jednostka	MJ/kg
gaz ziemny	48
etanol	25
słoma szara	15,2
słoma □ żółta	14,5
drewno odpadowe	13
Węgiel kamienny	25

5. Wpływ biomasy na środowisko człowieka

Biomasę warto wykorzystywać z wielu powodów. Paliwo to jest nieszkodliwe dla środowiska: ilość dwutlenku węgla emitowana do atmosfery podczas jego spalania równoważona jest ilością CO₂ pochłanianego przez rośliny, które odtwarzają biomasę w procesie fotosyntezy. Niższa niż w przypadku paliw kopalnych jest także emisja dwutlenku siarki (SO₂), tlenków azotu (NO_x) i tlenku węgla (CO). Przykładowo, spalając 1 GJ oleju napędowego, powodujemy emisję 1,255 kg tlenków azotu, 0,004 kg podtlenku azotu (N₂O) i 73,84 kg dwutlenku węgla. Spalenie analogicznej ilości drewna opałowego przyczynia się jedynie do emisji 0,202 kg tlenków azotu, zaś współczynnik emisji podtlenku azotu i dwutlenku węgla jest równy zeru. Ogrzewanie biomasa staje się opłacalne - ceny biomasy są konkurencyjne na rynku paliw. Wykorzystanie biomasy pozwala wreszcie zagospodarować nieużytki i spożytkować odpady.

Wykorzystanie biomasy jest korzystne z punktu widzenia ochrony środowiska nie tylko ze względu na zmniejszona emisję zanieczyszczeń. Pozyskując energię z biomasy zapobiegamy marnotrawstwu nadwyżek żywności, zagospodarowujemy odpady produkcyjne przemysłu leśnego i rolnego, utylizujemy odpady komunalne. Wysypisko, na którym składowane jest 100 000 ton odpadów komunalnych w ciągu jednej godziny dostarcza 50 m³ biogazu – tyle, ile potrzeba do wyprodukowania 90 kW energii elektrycznej i 156 kW energii cieplnej. Dodatkową korzyścią, wynikającą z wykorzystania biogazu jest fakt, że woń rozkładających się na wysypisku opadów traci na intensywności, a stan środowiska naturalnego w pobliżu wysypiska ulega znacznej poprawie [27].

Autobusy w 17 szwedzkich miastach jeżdżą wyłącznie na paliwie biogazowym, którego wartość energetyczna jest o około 10% wyższa od wartości opałowej benzyny. By przejechać ten sam dystans, potrzeba więc mniej metrów sześciennych biogazu niż litrów benzyny. Wcześniejsze modele zasilanych biogazem samochodów osiągały maksymalną prędkość 230 km/h, nowszymi można jeździć z prędkością dochodzącą do 350 km/h. Zasoby biomasy są dostępne na całym świecie. Jako źródło energii elektrycznej biomasa jest mniej zawodna niż – na przykład - energia wiatru czy energia Słońca. Uprawy na cele energetyczne pozwalają też zagospodarować nieużytki rolne i rekultywować tereny poprzemysłowe: w Polsce a 20% powierzchni kraju to obszary, na których została przekroczona norma stężenia metali ciężkich w glebie, co oznacza, że uprawiane tam rośliny mogą być wykorzystywane wyłącznie przemysłowo. Wykorzystanie biomasy ma także pozytywne skutki społeczne, gdy wzrastający popyt na produkty rolne przyczynia się do tworzenia nowych miejsc pracy na wsi [26].

Literatura:

- [1] Anon (2001) „G8 renewable energy task force”, Final Report, IEA, Paris
- [2] Anon (2003) „Word etanol production powering ahead”, F. O. Lichts, vol 1, no 19, p139, www.agr-net.com
- [3] Anon (2004) „Word etanol and biofuel report”, F.O. Lichts, vol 7, no 3 p129-135,
- [4] Azar, C. Lindgren, K. and Anderson, B. A. (2003) „Global energy scenarios meeting stringent CO2 constrains: Cost-effect fuel choics in the transportation sector“, Energy Policy, vol 31, p961-976,
- [5] Bauen, A., Woods, J. and Hailes, R. (2004), „Bioelectricity vision: Acheving 15% of electricity from biomass in OECD countries by 2020“, WWF, Brussel, Belgium, www.panda.org/downloads/europe/biomassreportfinal.pdf
- [6] Bhattacharaya, S.C. (2004), „Fuel for thought: The status of biomass energy in developing countries’, Renewable Energy World, vol 7, no 6, p 122-130
- [7] J. W. Wandrasz, (2006) „Paliwa formowane, biopaliwa i paliwa z odpadów termicznych”, Warszawa
- [8] Grzesik M., Romanowska-Duda Z. B. (2009). Technologia hydrokondycjonowania nasion ślázowca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita*) w aspekcie zmian klimatycznych. W: Monografia: Produkcja Biomasy, Wybrane Problemy. ISBN 83-89503-81-6, wyd. Wieś Jutra, red. Alojzy Skrobaccki, rozdz. VII. 63-69.
- [9] Grzesik M., Romanowska-Duda B. (2009). The effect of potential climatic changes, *Cyanobacteria*, Biojodis and Asahi SL on development of the Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita*) plants. Pamiętnik Puławski: Zeszyt 151. 483-491
- [10] Grzesik M., Romanowska-Duda Z. B., Piotrowski K. (2009). The effect of potential change in climatic conditions on the development of the energy willow (*Salix viminalis*) plants. Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) and SECOTOX Conference, Mykonos, Ed: A. Kungolos, K. Aravossis, A. Karagiannidis, P. Samaras, GRAFIMA" Publ., D. Gounari 62-68, Thessaloniki, ISBN 978-960-6865-09-1, vol. IV. 1877-1882.
- [11] Romanowska-Duda Z., J. Mankiewicz, A. Małecka, A. Wolska (2004). Nitrogen-excreting *Cyanobacteria* (blue-green algae) as nitrogen fertilizer supplier for growth of higher plant. Konferencja COST, X. 2004. Hiszpania.
- [12] Grzesik M., Z.B. Romanowska-Duda. (2006). The use of blue green algae in ecological plant production. Workshop of Inter. Research Network: Physiological and practical aspects of the yield and seed quality improvement by ecological methods; 21.06.2006, Warsaw. 16-17.
- [13] Majtkowski W. (2003): Potencjał upraw energetycznych. Seminarium Badania właściwości i standaryzacji biopaliw stałych. EC BREC, Warszawa.
- [14] Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K., 2001: Słoma energetyczne paliwo, „Wieś Jutra” Sp. z o.o. Warszawa.
- [15] Hałuzo M., Musiał R., Brokos B. (2004). Ocena zasobów i potencjalnych możliwości pozyskania surowców dla energetyki odnawialnej w województwie pomorskim. Biuro Planowania Przestrzennego w Słupsku. 1-59
- [16] Stolarski M. J.: (2004): Produktywność i pozyskiwanie biomasy wierzby energetycznej, Seminarium „Bioenergia w rolnictwie” opublikowany w: Czysta Energia, październik 2004
- [17] Szczukowski S., Tworowski J.: (2009). Wybrane aspekty plonowania i wykorzystania biomasy wierzby. Wieś Jutra. 15-2
- [18] Dom Doradztwa Biznesowego (2007) Wierzba – świętokrzyski las energii. Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej, z Europejskiego Funduszu Społecznego

oraz z budżetu państwa w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego.

[19] Jabłoński R. (2002): *Rosa multiplora* jako roślina energetyczna. Konferencja Wdrażanie nowych technologii w zakresie wykorzystania produktów roślinnych jako materiału energetycznego. RCDRRiOW w Barzkowicach.

[20] Romanowska-Duda Z. B., M. Grzesik, (2010). Racjonalne wykorzystanie osadów ściekowych i *Cyanobacteria* w produkcji biomasy ślazu pensylwańskiego na cele energetyczne. 5 Międzynarodowa Konferencja „Energia Odnawialna Wizytówką Nowoczesnej Gospodarki” 5th International Conference on Renewable Energy, Zakopane, Poland, 23 – 24 March 2010. 21.

[21] Grzesik M., Z. Romanowska-Duda, M.E. Andrzejczak, P. Woźnicki, D. Warzecha 2007. Application of sewage sludge to improve of soil quality by make use of model plant energy Acta Physiol. Plant. 65-66.

[22] Jabłoński R. (2004): Rośliny energetyczne – wyniki badań energetyczności. Seminarium Bioenergia w rolnictwie, Poznań, w: Czysta Energia, 10/2004.

[23] Gostomczyk W. (2009). Energetyczne wykorzystanie słomy jako lokalnego paliwa. Konwersja odnawialnych źródeł energii. Wieś Jutra. Warszawa 109-121

[24] Romanowska-Duda Z., M. Grzesik, M.E. Andrzejczak, P. Woźnicki, D. Warzecha 2007. Influence of stabilized sewage sludge on biomass growth of chosen species of energy plants. Acta Physiol. Plant. 102.

[25] S. Szufa, Romanowska-Duda Z., M. Grzesik (2012), „Inwestowanie w Odnawialne Źródła Energii”, „Rośliny energetyczne i urządzenia dla przetwarzania i spalania biomasy”, PAN Komisja Ochrony Środowiska w Łodzi.

[26] A. Zawadzka, M. Imbierowicz and others, 2010: „Inwestowanie w Energetykę Odnawialną”, PAN Oddział w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska, str.169-184,

[27] F. R. Calle, P. de Groot, S. L. Hemstock, J. Woods, “The Biomass Assesment Handbook, Bioenergy for sustainable environment“