

Wpłynęło 03.04.2012 r.  
Zrecenzowano 08.05.2012 r.  
Zaakceptowano 18.06.2012 r.

## **Biomasa i bioenergia – bariery technologiczne i energetyczne**

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

**Andrzej ROSZKOWSKI**<sup>ABCDEF</sup>

*Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Warszawie*

### **Streszczenie**

Dążenie do zaspokajania stale rosnącego zapotrzebowania na wszelkie postacie energii nowymi lub udoskonalonymi technologiami jest przyczyną modyfikowania obowiązujących regulacji prawnych i ekonomicznych. Przeciwnością wymogów zwiększania efektywności energetycznej i ekonomicznej przez wzrost intensywności i skali produkcji i wymogów ochrony środowiska, utrzymania bioróżnorodności i wykorzystania obszarów o ograniczonej przydatności żywnościowej (ILUC – Indirect Land Use Change), doprowadziły do przyjęcia przez UE dyrektyw RED (Renewable Energy Directive) i FQD (Fuel Quality Directive). W pracy przedstawiono uwarunkowania dalszego wykorzystania biomasy jako surowca energetycznego, wynikające ze skutków implementacji dyrektywy RED (promowanie energii ze źródeł odnawialnych z zachowaniem „zrównoważoności środowiskowej”) i dyrektywy FQD (dotyczącej jakości biopaliw) oraz ich znaczenie dla warunków krajowych. Omówiono przyczyny różnic między plonami roślin i upraw energetycznych, opisano determinanty logistyczne i infrastrukturalne przetwarzania biomasy na bioenergię oraz techniczne przyczyny utrudnień w obrocie biomasą jako surowcem energetycznym. Przedstawiono uwarunkowania i ograniczenia w komercyjnym wdrażaniu nowych technologii hydrotermicznych i biochemicznych, powodowane małą sprawnością procesów i specyficznymi cechami biomasy, utrudniającymi zwiększenie wydajności. Wskazano na obiektywne trudności w ocenie kierunków przemian i rozwoju rynków energetycznych, do których zaliczono opisowy, a nie analityczny, charakter definicji biomasy w krajach UE, kształtowanie się cen ropy i gazu w perspektywie 10–20 lat, niestabilną metodologię oznaczania struktury i ilości emisji zanieczyszczeń podczas wytwarzania i przetwarzania biomasy, zróżnicowanie taryf energetycznych w różnych krajach, istotne odmienności w strukturze podatków i subwencji, rozbieżności interpretacyjne wymagań dla paliw transportowych, długookresowy wpływ na rynki żywnościowe (wielkość podaży i ceny).

**Słowa kluczowe:** biomasa, bioenergia, bariery technologiczne, przyrodnicze i ekonomiczne, ciepło, energia elektryczna, biopaliwa



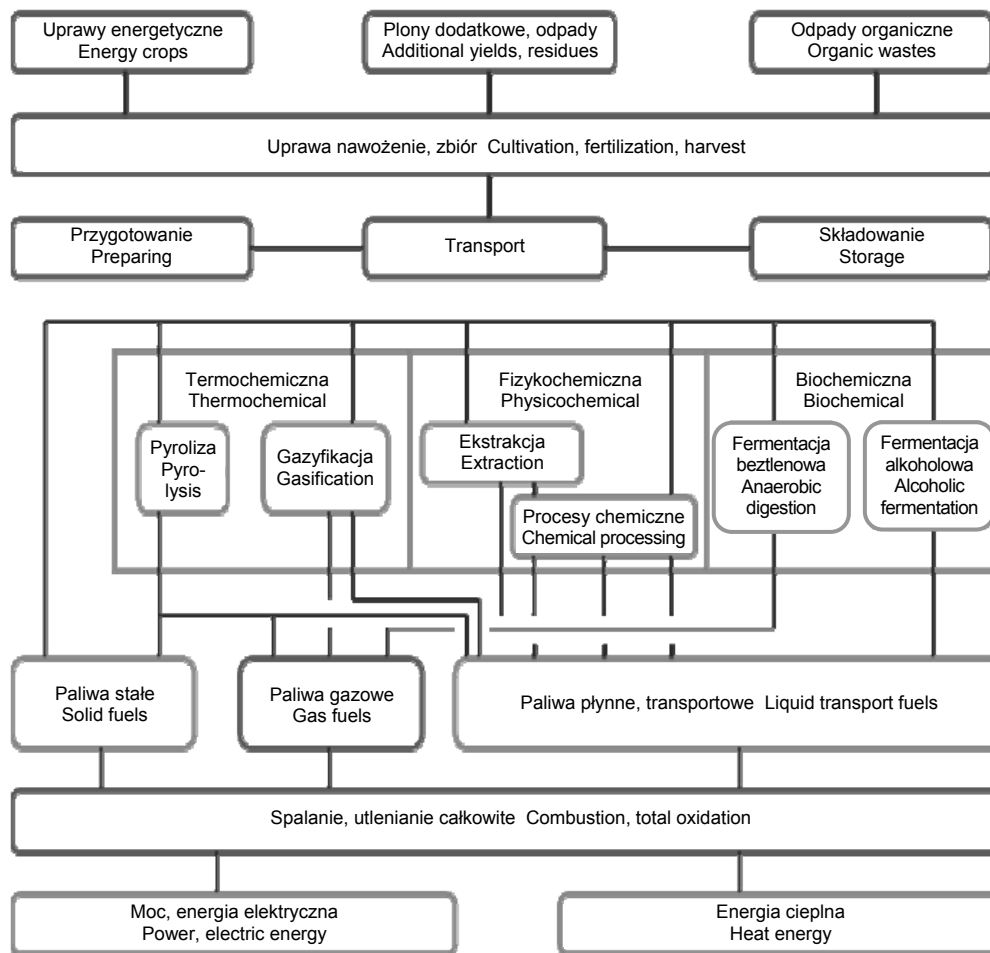
## Wstęp

Główne technologie przetwarzania biomasy obecnie i w przyszłości to pozyskiwanie ciepła i energii elektrycznej. Specyficzne właściwości różnych rodzajów biomasy (małe nasycenie energią, utrudnienia w logistyce i in.) są przyczyną powstania barier energetycznych (niekorzystny stosunek uzyskanej energii użytkowej do wydatkowanej) i technologicznych (przemiana biomasy na paliwa, ciepło, energię elektryczną i in.). Biomasa może być jednym ze źródeł wytwarzania innych nośników energii, w tym płynnych biopaliw transportowych.

Biomasa, pod względem wielkości i dostępności zasobów, jest uznawana za trzecie źródło energii na świecie [BOERJESSON 1996; CAPROS i in. 2010; DUNNETT, SHAH 2007; IEA 2007; ROSZKOWSKI 2009]. W krajach rozwijających się pokrywa ok. 30% zapotrzebowania na energię, w krajach UE ok. 9% w 2009 r. [CAPROS i in. 2010; IEA 2007; SPITZER 2011]. Oprócz stabilności dostępu, dodatkową zaletą energii z biomasy jest potencjalne ograniczenie emisji gazów cieplarnianych i tym samym zmniejszenie tempa wzrostu temperatury Ziemi [BOERJESSON 1999; CLARKE i in. 2011; FAGERNÄS i in. 2006]. Pozyskiwanie ciepła ze spalania biomasy z drewna należy do najstarszych technologii stosowanych dotychczas w szerokim zakresie, z tą różnicą, że obecnie ważniejszą staje się przemiana ciepła z biomasy na znacznie dogodniejszą postać energii elektrycznej [CAPROS i in. 2010; HAQ 2002; KALTSCHMITT 2011] (rys. 1). Wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w UE w ciągu najbliższych 20 lat szacowany jest na ok. 20% [CAPROS i in. 2010; EEA 2008].

Wykorzystanie biomasy do wytwarzania biopaliw transportowych ma znacznie krótszą tradycję (rys. 2). Za historyczny początek uznaje się próby wykorzystania olejów roślinnych jako paliwa do silników Diesla, niejako uzupełnione późniejszym zastosowaniem gazu drzewnego. Jednak przełom w zakresie zastosowania paliw transportowych z biomasy nastąpił po ubiegłowiecznym kryzysie naftowym, w powiązaniu z zaostrzeniem ustawodawstwa dotyczącego ochrony środowiska i ograniczeniem (zakazem) stosowania MTBE (eter metylo-tert-butylowy), będący powszechnie stosowanym utleniaczem). W rezultacie, w stosunkowo krótkim czasie, zwiększył się udział bioetanolu wytwarzanego z ziarna zbóż i kukurydzy (do 10% w paliwach do silników niskoprężnych). W paliwach do silników wysokoprężnych, rozpowszechnionych zwłaszcza w Europie, dość powszechnie zaczęto stosować estry z oleju rzepakowego (w USA z oleju sojowego).

Szybkie rozpowszechnienie się uprawy roślin na cele energetyczne stało się przyczyną wzrostu obaw o bezpieczeństwo żywnościowe i środowiskowe. W UE OZE dostarczają ok. 18% energii, w tym ok. 62% stanowi biomasa stała. Do 2020 r. udział biomasy ma się nieznacznie zmniejszyć do ok. 55%, natomiast przewidywana ilość energii z siłowni wiatrowych zwiększyć z ok. 10 do 18% [CAPROS i in. 2010; SPITZER 2011]. W Polsce aktualny udział biomasy stałej w strukturze energii OZE w ostatnich kilku latach zwiększył się z ok. 88 do 92–94%, a ok. 6% biomasy wykorzystuje się do wytwarzania biopaliw. W wytwa-



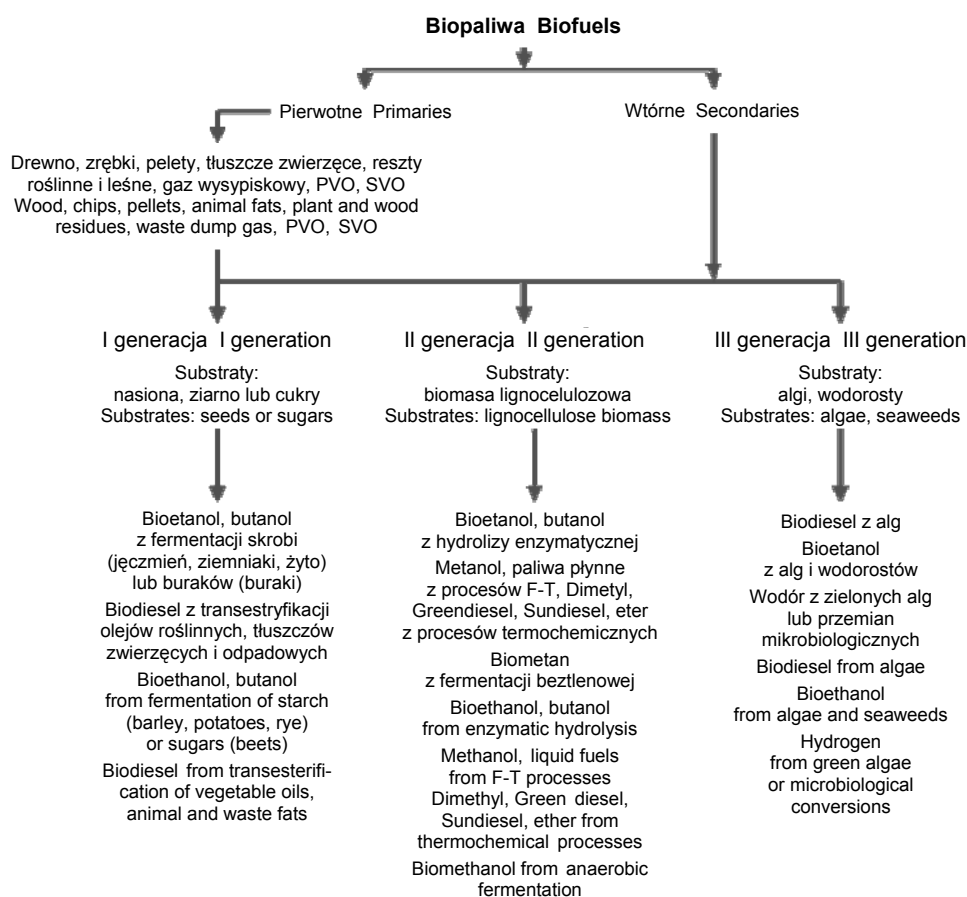
Źródło: opracowanie własne na podstawie: KALTSCHMITT [2011].  
Source: own elaboration based on KALTSCHMITT [2011].

Rys. 1. Schemat pozyskiwania paliwa i energii z biomasy  
Fig. 1. Schematic diagram of gaining the fuel and energy from biomass

rzaniu energii elektrycznej w Polsce udział OZE ma osiągnąć 15%, w tym biomasa ma stanowić ok. 60%.

Celem niniejszej pracy jest dokonanie przeglądu obecnych problemów i barier (utrudnień, ograniczeń), dotyczących wykorzystania bądź zastosowania biomasy jako potencjalnego surowca energetycznego do wytwarzania i przetwarzania na różne nośniki energii.

W artykule wykorzystano opracowania i rezultaty badań opublikowanych w literaturze przedmiotu oraz wyniki własnych badań studyjnych.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: NIGAM, SINGH [2011].  
Source: own elaboration based on NIGAM, SINGH [2011].

Rys. 2. Technologie wytwarzania biopaliw z biomasy  
Fig. 2. Production technology of biofuels from biomass

### Bariery energetyczne

Zużycie energii końcowej przez „mieszkalnictwo” i usługi w UE wynosi ok. 40%, w transporcie ok. 33% i ok. 24% zużywane jest przez przemysł. W Polsce mieszkania i usługi pochłaniają ok. 42%, transport 21% i przemysł ok. 27%. Z kolei zużycie energii do ogrzewania mieszkań (łącznie z wodą) szacowane jest na 87%, a gotowanie i oświetlenie zużywają łącznie ok. 13%, przy czym zapotrzebowanie na energię cieplną pokrywane jest w 62% przez spalanie węgla, a w 13% oleju opałowego [SMUSZ 2010]. Pozostałe ok. 22% energii cieplnej to tzw. ciepło sieciowe, a tylko ok. 3% pokrywane jest biomasą i energią elektryczną [Eurostat 2011]. Jednocześnie powszechnie uważa się, że energetyczna efektywność wykorzystywania energii pierwotnej jest na zbyt niskim poziomie, zwłaszcza w odniesieniu do biomasy i energii elektrycznej. W Polsce do gniaz-

dek elektrycznych dociera tylko ok. 28–30% energii pierwotnej (początkowej). W celu wywarcia nacisku na podnoszenie efektywności energetycznej, jako najtańszego sposobu pokrywania rosnącego zapotrzebowania na różne postacie energii, powstała ustawa o efektywności energetycznej [Ustawa... 2011]. Nowym elementem jest konieczność wdrożenia (implementacji) dyrektyw RED (Renewable Energy Directive) i FQD (Fuel Quality Directive). Pierwsza z nich dotyczy promowania energii ze źródeł odnawialnych z zachowaniem „równowagi środowiskowej” (dla Polski wytwarzanie 15% energii cieplnej i elektrycznej oraz 10% biopaliw ze źródeł odnawialnych, 20% poprawy wydajności energetycznej do 2020 r. i 20% redukcji emisji GHG wg protokołu z Kioto, wygasającego z końcem 2012 r.) [Dyrektywa... 2009a]. Dyrektywa FQD [Dyrektywa... 2009b], dotycząca jakości biopaliw, definiuje źródła pochodzenia substratów (biopaliwa nie mogą być wytwarzane z biomasy pochodzącej z obszarów o dużej bioróżnorodności, podmokłych, torfowisk oraz terenów zalesionych) i procedury ich zaliczania do podwójnie liczonych biopaliw II generacji (odpady i pozostałości, niespożywczy materiał celulozowy, lignoceluloza, minimalne ograniczenie emisji GHG od 35% w 2013 r. do 60% w 2017 r., wymóg stosowalności procedur LCA – Life Cycle Assessment). Implementacja dyrektyw RED i FQD wymaga zmian w prawodawstwie krajowym (projekt ustawy o OZE (Odnawialne Źródła Energii) opublikowano w lipcu 2012 r. [Ministerstwo Gospodarki 2012]).

Struktura dotychczasowych głównych źródeł pozyskiwania biomasy, sprzyjająca wykorzystywaniu przede wszystkim obszarów leśnych, wywołała silną konkurencję między energetyką a przemysłami meblarskim i papierniczym o dostawy drewna. W Polsce ceny drewna (grubizna) należą obecnie do najwyższych w Europie ( $340 \text{ zł}\cdot\text{m}^{-3}$  – w pozostałych krajach  $200\text{--}260 \text{ zł}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Wzrost zapotrzebowania na tradycyjne postacie biomasy był dodatkowym czynnikiem sprzyjającym zmianom systemów biologicznych, które spowodowały zwiększenie plonów zbóż, ocenianych na ok. 250% w ostatnich 50 latach. Ten wyraźny trend wzrostowy rzeczywistych plonów zbóż nie znajduje jednak odzwierciedlenia w tendencjach wzrostu plonów roślin energetycznych, łącznie z biomasą leśną, w której ilość grubizny, w tym samym okresie, zwiększyła się tylko o ok. 75% (w Polsce).

Obserwacje i osiągnięte wielkości plonów i zbiorów roślin z upraw energetycznych wykazują istotne wahania i brak stabilności między wynikami ośrodków o zbliżonych warunkach glebowo-klimatycznych (tab. 1) [BOERJESSON 1999; BURCZYK 2012; FISCHER i in. 2009; KRASUSKA, ROSENQVIST 2012; KUŚ, MATYKA 2009; MAIN i in. 2007; MCLAUGHLIN, KSZOS 2005; PICAZO-ESPINOSA i in. 2011]. Również nakłady energii na wytworzenie biomasy roślinnej wykazują relatywnie duże wahania (tab. 2 i 3). Nakłady te w produkcji roślinnej stanowią 4–7% wartości energetycznej plonu lasów energetycznych i słomy, 7–12% upraw wieloletnich i 15–40% upraw jednorocznych [MAIN i in. 2007; MANTAU 2010]. Uzyskanie zadowalającego plonu związane jest z wielkością nawożenia azotem, którego udział w kosztach produkcji biomasy szacowany jest na 40–60% dla upraw jednorocznych i 20–40% dla upraw wieloletnich [BOEHMEL i in. 2008; DUNNET, SHAH 2007]. Prawdopodobną przyczyną tych różnic jest relatywnie krótki okres „rozwoju” agrotechniki upraw energetycznych oraz wolny postęp i trudności dostosowania

Tabela 1. Porównanie plonów z doświadczeń i plonów w warunkach rzeczywistych  
Table 1. Comparison of yields from the experiments and yields under real conditions

Grupa i roślina Group and plant	Plon z doświadczeń [t s.m.·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> ] Yield from experiments [t d.m.·ha <sup>-1</sup> ·year <sup>-1</sup> ]	Plon rzeczywisty [t s.m.·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> ] Real yield [t d.m.·ha <sup>-1</sup> ·year <sup>-1</sup> ]
<b>Krzewy i drzewa szybkorosnące</b> <b>Fast-growing shrubs and trees</b>		
Wierzba ( <i>Salix</i> sp.) Willow	25–40	10–12
Topola ( <i>Populus</i> L.) Poplar	12–25	4–12
<b>Byliny trwałe Perennial plants</b>		
Róża wielokwiatowa ( <i>Rosa multiflora</i> Thumb.)	10–20	8–10
Ślaziowiec pensylwański ( <i>Sida hermaphrodita</i> L.) Rusby	20–25	10–15
Różnik przerośnięty ( <i>Silphium perfoliatum</i> L.)	8–19	4–14
<b>Trawy wieloletnie Perennial grasses</b>		
Miskant ( <i>Miscanthus giganteus</i> )	30–40	7–12
Spartina preriowa ( <i>Spartina pectinata</i> )	17–29	4–16
Mozga trzcinowata ( <i>Phalaris arundinacea</i> L.)	10–15	5–11
Wyczyniec łąkowy ( <i>Alopecurus pratensis</i> L.)	8–10	6–8
Proso różgowe ( <i>Panicum virgatum</i> F. Muell.)	15–24	5–15
Ruń łąkowa Meadow sward	15–24	5–7
Kostrzewa trzcinowa ( <i>Festuca arundinacea</i> Schreb.)	10–14	8–10
Żylica trwała ( <i>Lolium perenne</i> L.)	12–14	9–10
Tymotka ( <i>Phleum pratense</i> L.)	9–16	8–12
<b>Inne rośliny Other plants</b>		
Konopie włókniste ( <i>Cannabis sativa</i> L.) Hemp	16–20	10–13
Sorgo ( <i>Sorghum</i> ) Sorghum	26–32	15–18

Źródło: opracowanie własne na podstawie: BOEHMEL i in. [2008]; DUNNETT, SHAH [2007]; ECN [2012]; KUŚ, MATYKA [2009]; SZCZUKOWSKI [2012].

Source: own elaboration based on BOEHMEL et al. [2008]; DUNNETT, SHAH [2007]; ECN [2012]; KUŚ, MATYKA [2009]; SZCZUKOWSKI [2012].

Tabela 2. Nakłady energii na produkcję biomasy roślinnej  
Table 2. Energy inputs on plant biomass production

Rodzaj nakładów Kind of inputs	[GJ·t <sup>-1</sup> s.m.] [GJ·t <sup>-1</sup> d.m.]
Uprawa, nawożenie, ochrona Cultivation, fertilization, protection	0,25–0,35
Zbiór (rozdrabnianie), straty zbioru Harvest (chopping), harvest losses	0,1–0,4
Peletyzacja Pelleting	0,3–0,4
Suszenie Drying	0,25–0,35
Inne Other	0,1–0,2
Transport, przewóz Transport, carriage	0,3–1,2

Źródło: BOEHMEL i in. [2008]; DUNNETT, SHAH [2007].

Source: BOEHMEL et al. [2008]; DUNNETT, SHAH [2007].

wymagań najbardziej wydajnych roślin o mechanizmie fotosyntezy C<sub>4</sub> do warunków odpowiednich dla roślin C<sub>3</sub>, przeważających na obszarach klimatu umiarkowanego. Dodatkowym utrudnieniem w energetycznym wykorzystaniu biomasy z roślin C<sub>3</sub> jest duża zawartość popiołów, utrudniająca procesy spalania (tab. 4). Wydaje się, że pokonanie tych ograniczeń wymaga użycia narzędzi genomiki, co prowadzi do uprawy roślin doskonalonych genetycznie. Pomimo tych niedosko-

Tabela 3. Wskaźniki nakładów energii w nawozach na produkcję biomasy  
Table 3. Indices of energy inputs in fertilizers on biomass production

Uprawa Crop	Optimum N [kg N·ha <sup>-1</sup> ]	Wskaźnik Index [kg N·t <sup>-1</sup> s.m.] [kg N·t <sup>-1</sup> d.m.]	Wskaźnik Index [kg N·GJ <sup>-1</sup> ]
Wierzba Willow	0	3,7	0,20
Miskant ( <i>Miscanthus giganteus</i> )	40	1,9	0,11
Mozga trzcinowata ( <i>Phalaris arundinacea</i> L.)	80	5,0	0,28
Kukurydza Maize	120	15,3	0,82
Rzepak Oilseed rape	240/160	14,7	0,85

Źródło: BOEHMEL i in. [2008]; DUNNETT, SHAH [2007].  
Source: BOEHMEL et al. [2008]; DUNNETT, SHAH [2007].

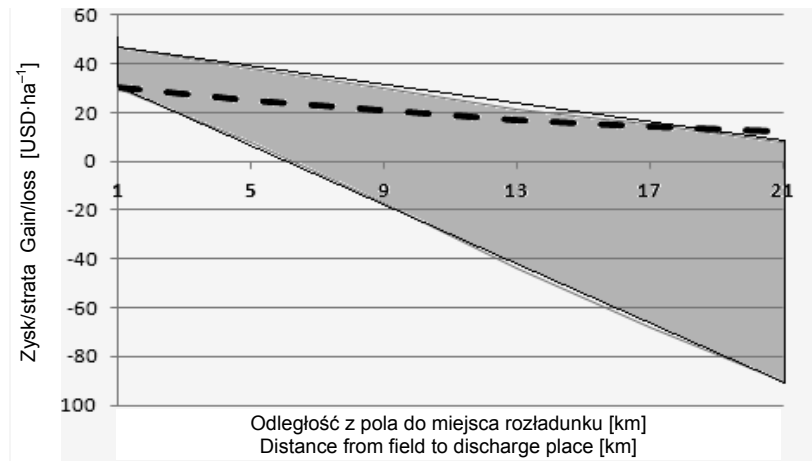
Tabela 4. Zawartość popiołu w biomacie roślinnej  
Table 4. Ash content in plant biomass

Substrat Substrate	Zawartość popiołu [% s.m.] Ash content [% d.m.]
Drewno miękkie i twarde Soft and hard wood	0,3
Wierzba, topola Willow, poplar	1,0–2,7
Miskant C4 <i>Miscanthus giganteus</i> C4	2,0–3,9
Spartina preriowa C4 ( <i>Spartina pectinata</i> ) C4	1,6
Proso różgowe C4 ( <i>Panicum virgatum</i> L.) C4	1,7–2,8
Mozga trzcinowata C3 ( <i>Phalaris arundinacea</i> L.) C3	6,3
Wyczyniec łąkowy C3 ( <i>Alopecurus pratensis</i> L.) C3	–
Słoma pszenna C3 Wheat straw C3	7,0–11,0
Słoma kukurydzy Maize straw	3,7–4,0
Słoma rzepakowa Rape straw	5,0
Trzcina cukrowa (słoma) C4 Sugar cane (straw) C4	2,5
Trzcina pospolita C3 Reed C3	7,5
Ruń pastwiskowa C3 Pasture sward C3	3,0–4,0
Siano łąkowe, sianokiszonka C3 Meadow hay, haylage C3	5,3–9,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie: CZYŻ, DAWIDOWSKI [2005]; ECN [2012]; KOMOROWICZ i in. [2009]; SZCZUKOWSKI [2012]; SZCZUKOWSKI i in. [1998].  
Source: own elaboration based on CZYŻ, DAWIDOWSKI [2005]; ECN [2012]; KOMOROWICZ et al. [2009]; SZCZUKOWSKI [2012]; SZCZUKOWSKI et al. [1998].

nałości w wysokości i stabilności plonów upraw energetycznych, za kluczowy obecnie determinant ich dalszego rozwoju „ilościowego” należy uznać stan infrastruktury, zapewniającej logistykę dostosowaną do warunków regionalnych wraz z uwzględnieniem stałości dostaw biomasy o w miarę stabilnych parametrach jakościowych. Istotnym elementem jest także dostosowanie do wymogów lokalizacyjnych, wynikających ze skali produkcji zakładu przerobu biomasy.

Dostarczenie biomasy do „przerobu” na energię jest kosztowne zarówno pod względem energetycznym, jak i ekonomicznym (rys. 3). W większości opracowań za górną granicę opłacalności odległości dowozu biomasy uznaje się 80–100 km [BOERJESSON 1996; HUANG, ZHANG 2011; ROGERS, BRAMMER 2009]. Przewóz 1 t biomasy wymaga nakładów określanych na 0,3–1,2 GJ·t<sup>-1</sup>·km<sup>-1</sup>, co wpływa na związek między plonem a kosztami transportu (rys. 4).



Źródło: opracowanie własne na podstawie: THORSELLA i in. [2004].  
 Source: own elaboration based on THORSELLA et al. [2004].

Rys. 3. Wpływ technologii zbioru i transportu biomasy na koszty zbioru (pole zacieniowane – różne technologie, linia kreskowana – zbiór ziarna kukurydzy)  
 Fig. 3. Effect of harvesting technology and biomass transport on the costs of harvest (shaded area – various technologies, dashed line – maize grain harvesting)



Rys. 4. Przykład wpływu plonu zbieranej biomasy na koszty jej transportu (koszt = 100% dla plonu 2 Mg·ha⁻¹, w warunkach dziennego zapotrzebowania 5 tys. Mg)  
 Fig. 4. An exemplary effect of harvested yield biomass on the costs of its transport (cost = 100% for yield 2 Mg·ha⁻¹, at daily demand 5 thous. Mg)

Wysokie koszty przewozu wynikają z małej gęstości energetycznej biomasy ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ), która wprawdzie może być zwiększana na skutek zagęszczania (zrębkowanie, rozdrabnianie, sprasowanie – tab. 5), ale te operacje wymagają dodatkowych nakładów energetycznych. Efektywność energetyczna przerobu biomasy na różne postacie energii z reguły jest istotnie większa dla większych wydajności [BRAUN 2007; KALTSCHMITT i in. 2009; MALATAK, PASSIAN 2011; MOERSCHNER, GEROWITT 1998], przy czym w wytwarzaniu energii skojarzonej ważne są także proporcje odbioru ciepła i energii elektrycznej (tab. 6).



Tabela 5. Gęstość energetyczna biomasy

Table 5. Energetic density of biomass

Rodzaj biomasy (postać) Kind of biomass (form)	Wilgotność Moisture content [%]	Energia Energy [GJ·t <sup>-1</sup> ]	Masa jedn. Mass per unit [t·m <sup>-3</sup> ]	Objętość Volume [m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> ]
Drewno (zrębki) Wood (chips)	20–30	13–15	0,15–0,25	4,0–6,7
Wierzba (zrębki) Willow (chips)	45–50	9–10	0,28–0,35	2,9–3,6
Pelet (drewno) Wood (pellets)	8–10	17–18	0,6–0,8	1,3–1,5
Miskant (bele) Miscanthus (bales)	15–18	15–20	0,12–0,18	5,6–8,3
Miskant, sida, spartina (siecзка) Miscanthus, sida, spartina (chaff)	15–18	15–20	0,07–0,10	10–14
Słoma zboża, kukurydza (bele) Cereal straw, maize (bales)	15–17	14,5–17	0,1–0,15	6,7–10
Słoma zboża, kukurydza (siecзка) Cereal straw, maize (chaff)	15–17	14,5–17	0,06–0,10	10–15
Rzepak (wytloki) Oilseed rape (oil cake)	–	8,0–13,5	0,15–0,30	3,3–6,6

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Tabela 6. Podstawowe wskaźniki wytwarzania energii elektrycznej z biomasy

Table 6. Basic indices of electric energy generation from biomass

Technologia Technology	Moc zakładu Power of plant [MWe]	Nakłady inwestycyjne Investment inputs [USD·KWe <sup>-1</sup> ]	Sprawność energetyczna Energetic efficiency [%; LHV]
Współspalanie Co-combustion	10–50	1 100–1 300	35–40
Cykl parowy Steaming cycle	5–25	3 000–5 000	30–35
ORC	0,2–1,5	3 000–6 000	30–40
IGCC	10–30	2 500–5 500	30–40
Zgazowanie + CHP Gasification + CHP	0,2–1,0	3 000–4 000	25–30
Stirling + CHP	<0,1	5 000–7 000	11–20
Biogazownia Biogas works	0,3–10,0	3 000–3 500	10–15

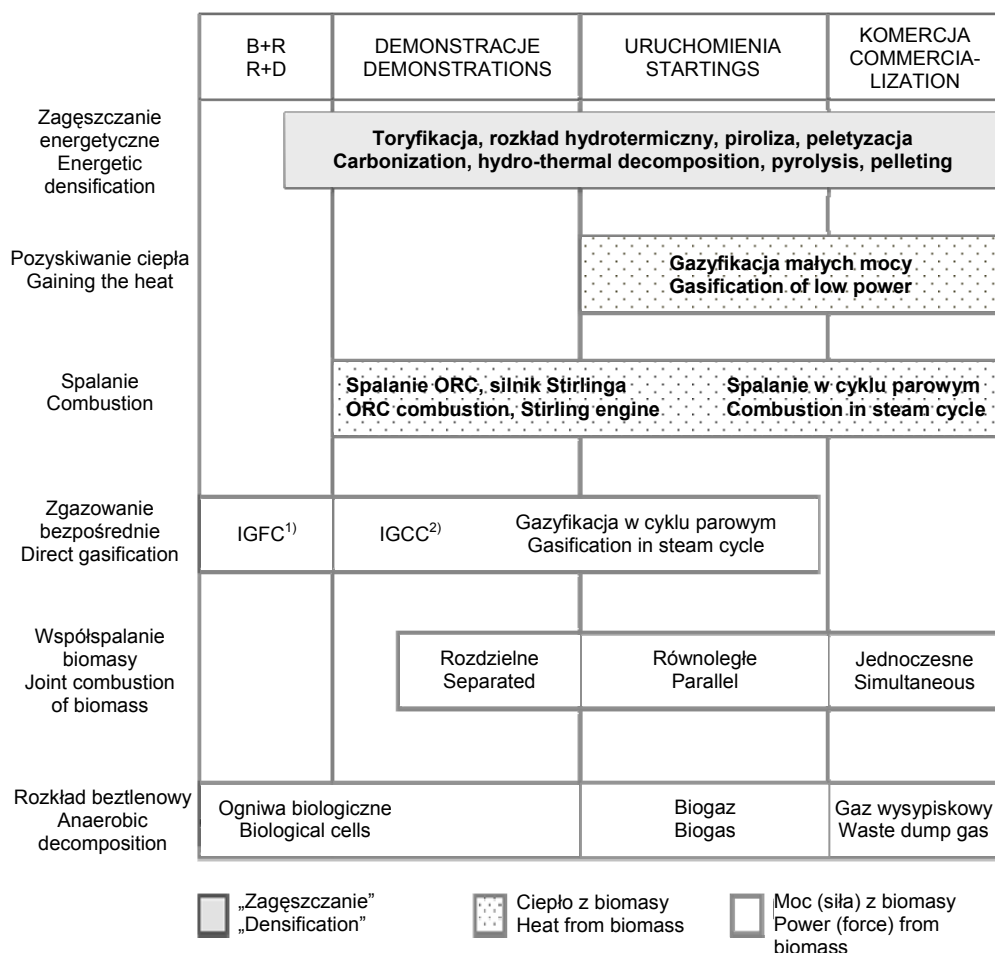
Źródło: DUNNETT, SHAH [2007]. Source: DUNNETT, SHAH [2007].

Za dodatkowy czynnik, ograniczający możliwości optymalnej logistyki, uważa się brak możliwości międzynarodowego handlu biomasą, co wydatnie ogranicza konkurowanie. Pewne nadzieje wiąże się z dalszym rozwojem technologii wytwarzania BtL (biooleje), ale dopiero po udoskonaleniu obecnych cech jakościowych bioolejów, wykazujących silne oddziaływanie korozyjne.

### Bariery technologiczne

Pozyskiwanie różnych postaci energii cieplnej z biomasy dokonuje się dwiema głównymi metodami, tj. termochemiczną i biologiczną. Technologie wykorzystujące te metody cechują się dużym zróżnicowaniem stopni rozwoju i przydatności techniczno-użytkowej (rys. 5). Do bardziej zaawansowanych zalicza się technologie „zagęszczania energetycznego”, tj. peletyzację, pirolizę z wytwarzaniem BtL (biooleje), pozyskiwanie relatywnie małych ilości ciepła przez spalanie i gazyfikację biomasy, wytwarzanie energii elektrycznej przez spalanie i wykorzystanie

cyklu parowego (turbiny), bezpośrednie współspalanie biomasy z węglem w elektrowniach (siłowniach) konwencjonalnych i wytwarzanie biogazu jako paliwa gazowego [PERLACK, TURHOLLOW 2003]. Bardziej wydajne metody to, znajdujące się na etapie wdrożeń i aplikacji, zgazowanie biomasy w cyklu kombinowanym (IGCC i pochodne), w którym paliwo (węgiel i biomasa) reagują z tlenem i parą wodną, wytwarzając gaz pirolityczny (syntezowy, Syngaz). Gaz ten, po oczyszczeniu, zazwyczaj jest spalany w turbinach gazowych wytwarzających energię elektryczną oraz parę wodną do celów grzewczych, ale może być także surowcem do uzyskania wielu innych produktów.

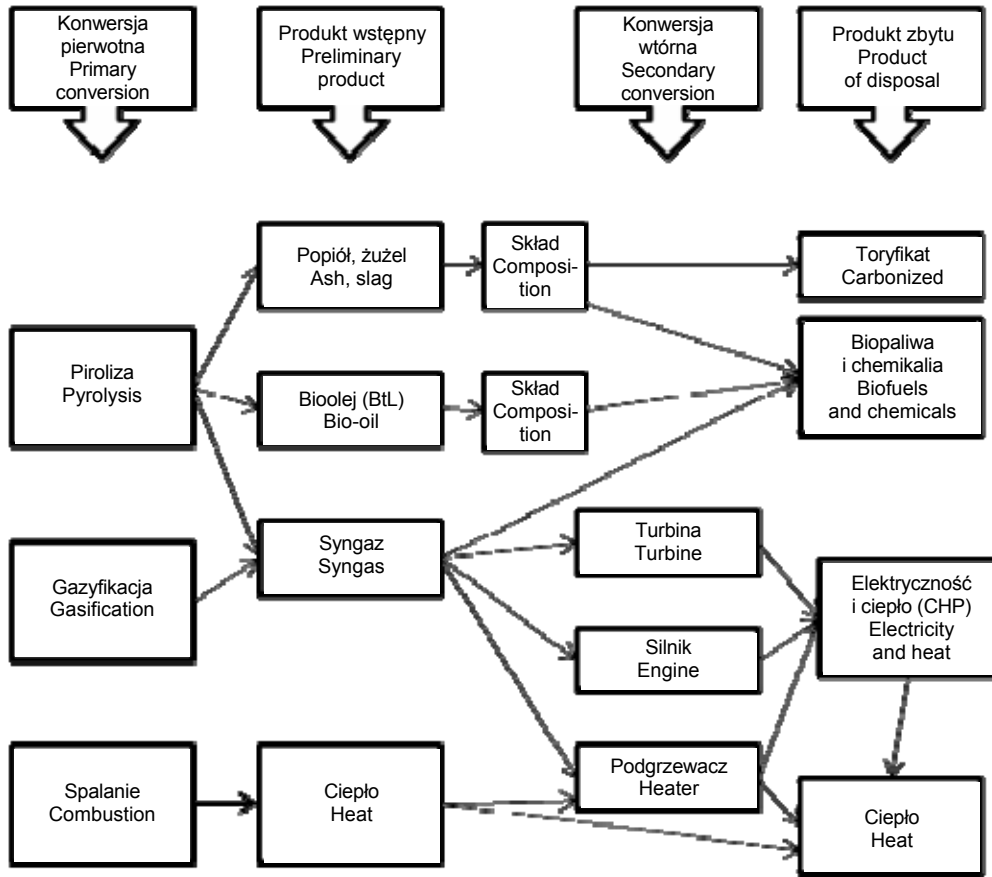


<sup>1)</sup> Integrated Gasification Fuel Cell. <sup>2)</sup> Integrated Gasification Combined Cycle.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: CAPROS i in. [2010]; NIGAM, SINGH [2011].  
Source: own elaboration based on CAPROS et al. [2010]; NIGAM, SINGH [2011].

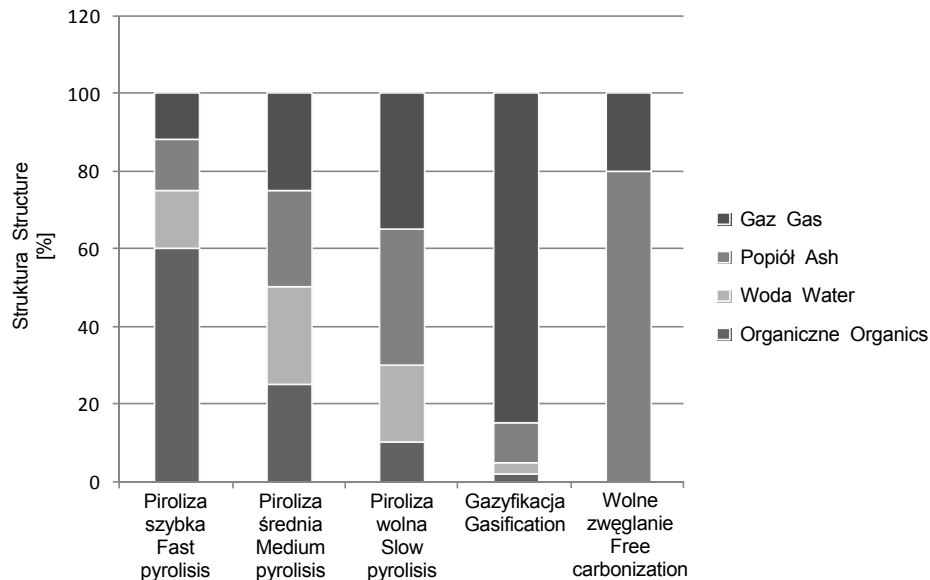
Rys. 5. Technologie przetwarzania biomasy na bioenergię i ich rozwój  
Fig. 5. Technologies of biomass transformation into energy and their development

Za podstawowy proces termochemiczny uważa się rozkład pirolityczny (rys. 6), prowadzony w różnych, zdeterminowanych technologicznie i technicznie warunkach, w wyniku czego uzyskuje się różne produkty (rys. 7). Z Syngazu, w wyniku dalszych procesów katalitycznych, można uzyskiwać także różne rodzaje paliw transportowych o zróżnicowanych właściwościach i dodatki do paliw (rys. 6) [DEMIRBAS 2011; KERN, EMMERICH 2011]. Obecnie czynnikiem ograniczającym wykorzystanie Syngazu jest wymaganie użycia w procesach pirolizy biomasy o wilgotności poniżej 10% i odpowiedniej wielkości cząstek (im większe rozdrobnienie, tym wydajniejsze procesy). Dotychczasowe wyniki badań i doświadczeń aplikacyjnych wskazują na potencjalne możliwości zastosowania (i dostosowania) przemian termochemicznych do przerobu biomasy z odpadów komunalnych [KAVALOV, PETEVES 2005].



Źródło: opracowanie własne na podstawie: BRIDGWATER [2012].  
 Source: own elaboration based on BRIDGWATER [2012].

Rys. 6. Termochemiczne technologie przetwarzania biomasy  
 Fig. 6. Thermo-chemical technologies of biomass conversion

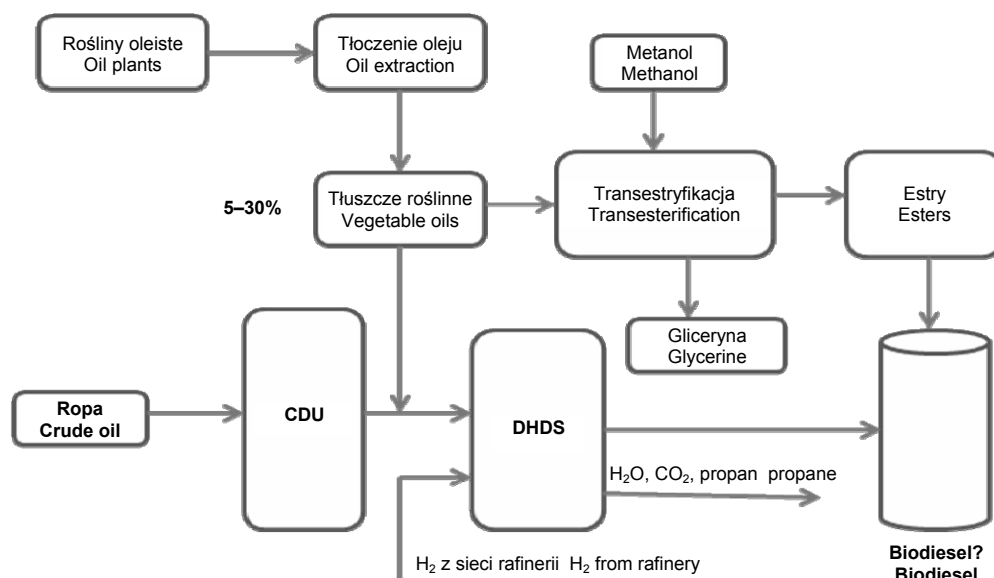


Źródło: opracowanie własne na podstawie BRIDGWATER [2012].  
 Source: own elaboration based on BRIDGWATER [2012].

Rys. 7. Wpływ warunków pirolizy (czas, temperatura) na skład produktów końcowych  
 Fig. 7. Impact of pyrolysis conditions (time, temperature) on the composition of final products

Podczas wytwarzania paliw transportowych z biomasy ograniczenia technologiczne wynikają z obecnie obowiązujących trudności w doborze upraw (surowców, substratów) z obszarów o ograniczonej przydatności żywnościowej [HAMELINCK i in. 2005; KEOLEIAN, VOLK 2005]. Tego warunku nie spełniają tradycyjne surowce (ziarno zbóż i kukurydzy, oleje roślinne, zwłaszcza rzepakowy i sojowy), w większości uprawiane na obszarach bardzo dobrze nadających się do wytwarzania żywności. Spełnienie tych wymagań w sensie ekonomicznym eliminuje znane i opanowane dotychczas procesy estryfikacji (biodiesel, estry itp.) i fermentacji alkoholowej (bioetanol). W odniesieniu do paliw do silników wysokoprężnych na etapie aplikacji i doświadczeń pozostają procesy uwodornienia oraz pozyskiwanie paliw w końcowych etapach termochemicznych przemian biomasy (tzw. Greendiesel, Sundiesel i inne pozyskiwane z katalizy Syngazu) [SCHOLZ i in. 1998; ZHANG i in. 2004]. Na podobnym etapie wdrożeń znajdują się technologie uwodornienia olejów roślinnych (HVO – Hydrotreated Vegetable Oil, KH – kataliza hydrotermalna), polegające na hydorafinacji (współwodornieniu) mieszanin komponentów z przerobu ropy naftowej oraz olejów roślinnych i/lub odpadowych tłuszczów zwierzęcych [JUDY i in. 2011; KERN, EMMERICH 2011] (rys. 8).

Technologie przerobu surowych olejów roślinnych (PVO, SVO), polegające na dostosowaniu niektórych typów silników wysokoprężnych (niewyposażonych w układy Common Rail) do specyficznych cech paliw PVO z oleju rzepakowego, nie będą mogły być rozpowszechniane bez uprzedniej akceptacji możliwości wykorzystania



Objaśnienia: CDU – Crude Distillation Unit (krakowanie); DHDS – uwodornienie, odsiarczanie.  
 Explanations: CDU – Crude Distillation Unit (cracking); DHDS – hydrogenation, desulfurization.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: IEA [2007; 2009–2011], materiały firmy Orlen.  
 Source: own elaboration based on IEA [2007; 2009–2011], data of Orlen.

Rys. 8. Schemat ideowy technologii uwodorniania tłuszczów roślinnych itp. (VHO i KH)  
 Fig. 8. Schematic diagram of hydrogenation of vegetable oils etc. (VHO, KH)

olejów z upraw nieodpowiadających wymogom paliw II generacji. Istotnym czynnikiem niepewności dalszych kierunków zmian jest przetwarzanie na biopaliwa takich olejów, jak palmowy z Indonezji i Malezji, jatropha z Chin i Indii, sojowy z Argentyny, bez uprzedniego wyjaśnienia konieczności zachowania lub pominięcia zasady zrównoważoności środowiskowej, wymaganej przez UE. Otwartym problemem pozostają kwestie przyjęcia wspólnych norm jakościowych i metod czy procedur ich oznaczania przez poszczególne państwa i korporacje międzynarodowe oraz przemysł motoryzacyjny. Dodatkowo należy uwzględnić dalszy rozwój ilościowy i jakościowy samochodów z napędem elektryczno-spalinowym. Paliwa III generacji, jak biowodór i biometanol, otrzymywane w wyniku zgazowania lignocelulozy i biochemicznej syntezy produktów zgazowania, znajdują się na etapie prac B+R. Technologie pozyskiwania biopaliw z alg (mikroalg), mimo pewnego zaawansowania prac aplikacyjnych w krajach dysponujących odpowiednimi warunkami termicznymi (Australia, Chile, Hiszpania), nie wyszły dotychczas poza doświadczenia, ze względu na m.in. brak skutecznych metod namnażania alg.

Spośród współczesnych technologii wytwarzania biopaliw do silników niskoprężnych II generacji najbardziej zaawansowane są prace z paliwami lignocelulozowymi z trzciny cukrowej, ze względu na to, że ten substrat cechuje się dużym udziałem masy „odpadowej”, nadającej się do wykorzystania jako źródło energii cieplnej. Technologie wykorzystujące kukurydzę i inne gatunki roślin

uprawnych do fermentacji lignocelulozowej, z uwagi na duże trudności z pogodzeniem sprzecznych wymogów biologicznych, dotyczących jednoczesnej hydrolizy i fermentacji, są relatywnie bardzo kosztowne i często budzą uzasadnione zastrzeżenia pod względem rzeczywistej efektywności energetycznej.

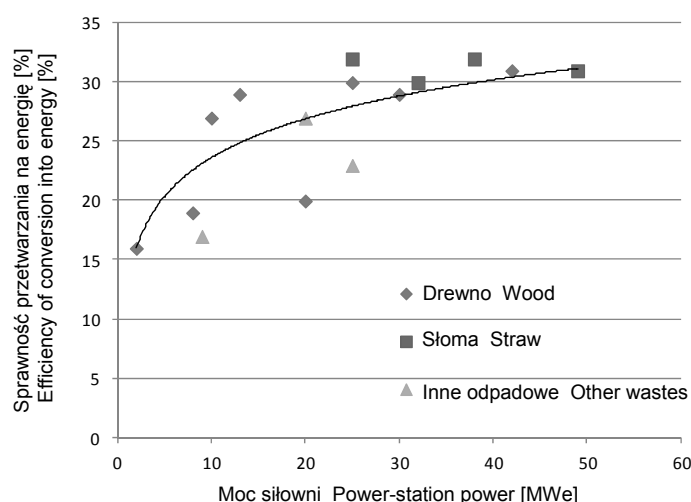
Według danych IEA, obecnie eksploatowane siłownie typu CHP, wykorzystujące biomasę (głównie zrębki leśne i wierzby), cechują się niewielką mocą 0,2–1,0 MW i uzyskują sprawności 17–32%, a kilka siłowni o mocach 35–70 MW – sprawności ok. 45% (rys. 9). Według dostępnych danych, nowoczesne siłownie węglowe IGCC (z zintegrowanym procesem zgazowania) uzyskują sprawności do 50% (tab. 6). Współspalanie biomasy w ilościach maksimum 5–10% w tradycyjnych siłowniach węglowych obniża sprawność z 35–45% do 30–38%. Ograniczenia ilościowe współspalania biomasy wynikają z dużej zawartości popiołu oraz jego składu chemicznego (obecność związków metali alkalicznych). Popioły tworzą osady i wywołują przyspieszoną korozję komór spalania. Szczególnie dużą zawartością i niekorzystnym składem cechują się popioły ze spalania porostu z TUZ, słomy z upraw jednorocznych i roślin energetycznych typu C3. Zastosowanie balotów słomy jako wyłącznego paliwa w siłowniach lokalnych o mocy ok. 0,8 MW umożliwi uzyskanie sprawności 10–16% (w zależności od stosunku MWe/MWh). Zastosowanie biomasy jako zastępczego (dodatkowego) komponentu paliwowego obniża uzyskiwane sprawności energetyczne [ZHANG i in. 2004].

Dodatkowym elementem, utrudniającym wdrożenie technologii energetycznego wykorzystania biomasy, jest także wyraźny efekt skali produkcji – siłownie czy wytwórnie biopaliw z biomasy, o dużych możliwościach produkcyjnych, cechują się większymi sprawnościami, ale w warunkach dużego wzrostu kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych (logistyka surowcowa). Koszt wytwarzania energii elektrycznej z biomasy obecnie wyraźnie ustępuje wielkościom uzyskiwanym z paliw konwencjonalnych (tab. 7). W przypadkach uwzględnienia w obliczeniach subwencji na pozyskiwanie energii z wykorzystaniem promieniowania słonecznego czy siły wiatru różnice te będą jeszcze większe.

Wątpliwości i zastrzeżenia budzi także sprzeczność między zwiększaniem efektywności ekonomicznej przez wzrost intensywności i skali wytwarzania biomasy a wymogami ochrony środowiska, wykorzystaniem obszarów o ograniczonej przydatności „żywnościowej” i oddziaływaniem na bioróżnorodność.

### **Bariery przyrodnicze i ekonomiczne**

Oprócz trudno przewidywalnego kształtowania się cen ropy naftowej i gazu ziemnego, do istotnych czynników utrudniających energetyczne wykorzystanie zasobów biomasy należy jej (biomasy) definicja, która ma charakter opisowy, powiązany ze zróżnicowanymi taryfami energetycznymi krajów UE (i nie tylko). Drugim, istotnym elementem, jest silne oddziaływanie ekonomiczne różnych wskaźników emisji zanieczyszczeń w warunkach nieustalonej metodologii ich oznaczania, a nawet braku ustalonych normatywów ilościowych (ważność ustaleń z Kioto wygasa z końcem 2012 r.). Do dalszych czynników ograniczających należy



Źródło: opracowanie własne na podstawie: CAPROS i in. [2010].  
 Source: own elaboration based on CAPROS et al. [2010].

Rys. 9. Sprawność przetwarzania biomasy na energię elektryczną w zależności od mocy  
 Fig. 9. Efficiency of biomass conversion into electric energy depending on the power

Tabela 7. Koszty produkcji i nakłady inwestycyjne przy wytwarzaniu energii elektrycznej  
 Table 7. Production costs and investment inputs at generation of electric energy

Paliwo, nośnik, rodzaj Fuel, carrier, type	Koszt 1 kWh Cost of 1 kWh [USD]	Nakład inwestycyjny [tys. USD·kW <sup>-1</sup> ] Investment inputs [thous. USD·kW <sup>-1</sup> ]
Węgiel Coal	1–4	2 800–3 400
Gaz Gas	2–5	1 000–1 300
Ropa Crude oil	6–8	b.d.
Woda Water	3–7	b.d.
Wiatr (lądowy) Wind (terrestrial)	4–6	700–1 000
Wiatr (morski) Wind (maritime)	6–10	1 200–2 000
Słońce PV Sun PV	20–50	4 700–6 800
Słońce kolektor Sun (collector)	12–18	3 000–4 500
Geotermia Geothermics	6–17	3 000–9 000
Biogaz Biogas	10–15	3 000–3 300
Biomasa (współspalanie) Biomass (co-combustion)	4–5	b.d.
Biomasa Biomass	11–13	1 800–4 300

Objaśnienie: b.d. – brak danych. Explanation: b.d. – no data available.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: BARTHELMIE [2008]; DUNNETT, SHAH [2007].  
 Source: own elaboration based on BARTHELMIE [2008]; DUNNETT, SHAH [2007].

także zaliczyć poziom ewentualnych dotychczasowych subwencji w produkcji biomasy (lub paliw – USA), wielkość podatków akcyzowych, rozbieżności interpretacyjne wymagań dla paliw transportowych, warunki konkurencyjności z przemysłem (papierniczym i meblarskim), długookresowy wpływ na wielkość produkcji i ceny żywności i wreszcie oddziaływanie na środowisko przyrodnicze krajów subtropikalnych Pokrewnym, ale oddzielnym problemem jest zróżnicowanie poglądów dotyczących wykorzystania biomasy z odpadów komunalnych, ścieków itp. (emisje, popioły, metale ciężkie). Nakłady poniesione na wytworzenie i przygotowanie biomasy na przetworzenie na określone postaci energii obecnie rzadko są rekompensowane sprawnością samego procesu konwersji (spalanie i w przyszłości prawdopodobnie piroliza) – tabele 8 i 9.

Tabela 8. Sprawność przetwarzania biomasy na energię (konwersja biomasy w zakładzie przetwórczym)

Table 8. Efficiency of biomass conversion into energy (processing in a processing plant)

Rodzaj produktu Kind of product	[%]
Etanol, metanol Ethanol, methanol	40–50
Estry (biodiesel) Esters (biodiesel)	30–40
Gazyfikacja (energia elektryczna) Gasification (electric energy)	40–50
FT (paliwa, energia elektryczna) FT (fuels, electric energy)	30–50
FT lignoceluloza (energia elektryczna) FC lignocellulose (electric energy)	30–40
Spalanie (ciepło) Combustion (heat)	70–90
Piroliza biomasy Biomass pyrolysis	60–70
Biogaz (energia elektryczna) Biogas (electric energy)	10–15
Etanol II generacji LC Ethanol of II generation LC	50–60

Źródło: HUANG, SHANG [2011]; de WIT, FAAIJ [2010]. Source: HUANG, SHANG [2011]; de WIT, FAAIJ [2010].

Tabela 9. Efektywność energetyczna konwersji biomasy na różne postaci paliw i energii (energia uzyskana  $E_u$ /nakłady energii  $E_n$ )

Table 9. Energetic efficiency of biomass conversion into various forms of fuels and energy (energy gained  $E_u$ /energy inputs  $E_n$ )

Rodzaj energii lub paliwa Kind of energy or fuel	$E_u/E_n$
Olej surowy rzepakowy Crude rapeseed oil	3,2
Biodiesel (estry) Biodiesel (esters)	2,4–3,4
Etanol I generacji Ethanol of I generation	1,2–2,0
Etanol II generacji Ethanol of II generation	5,0–10,0
BtL (bioolej) BtL (biooil)	7,0–8,0
Biogaz (trawy, kukurydza) Biogas (grasses, maize)	6,5–8,5
Biogaz (gnojowica i odpady) Biogas (slurry, wastes)	1,2–4,1
Ciepło i moc (wierzba) Heat and power (willow)	6,0–14,0
Ciepło i moc (trawy, proso) Heat and power (grasses, millet)	6,0–8,0
Ciepło i moc (kukurydza ziarno) Heat and power (maize grain)	3,0–5,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie: BRAUN [2007], HAMELINCK [2005], MAIN i in. [2007]. Source: own elaboration based on BRAUN [2007], HAMELINCK [2005], MAIN et al. [2007].



## **Podsumowanie**

Do głównych czynników, które powinny być brane pod uwagę podczas wytwarzania biomasy na cele energetyczne, należą:

1. Duża niestabilność uzyskiwanych plonów, uzależniona od rodzaju i gatunku rośliny oraz wszystkich warunków uprawy.
2. Istotne zróżnicowanie warunków produkcyjnych, utrudniające utrzymanie stałych warunków logistyki dostaw biomasy do miejsc jej energetycznego wykorzystania, co ogranicza skalę produkcji i ujemnie wpływa na efektywność.
3. Ogromna różnorodność postaci biomasy, wykluczająca obecnie powstanie warunków konkurencyjności produkcyjnej.
4. Niedostatki aktualnych technologii konwersji, powodujące ograniczenia w wydajności procesów przy jednocześnie ich niskich sprawnościach.
5. Brak możliwości uzyskania wiarygodnych prognostycznych danych ekonomicznych, dotyczących cen (kosztów) surowców konwencjonalnych i szacunku wielkości ich wydobycia oraz zapasów.
6. Brak uzasadnionych i perspektywicznych danych, dotyczących oddziaływania wytwarzania biomasy „energetycznej” na produkcję żywności i środowisko.
7. Porównanie efektywności energetycznej upraw jednorocznych i wieloletnich wykazuje przewagę upraw wieloletnich pod względem uzyskiwanych plonów suchej masy (energii) i niezbędnego poziomu nawożenia; uprawy roślin jednorocznych wymagają bardziej intensywnych metod produkcji.

Wydaje się, że tempo dotychczasowego rozwoju technologii pozyskiwania energii elektrycznej i biopaliw z biomasy tylko częściowo uzasadnia ich konkurencyjność (tych technologii) z wysokimi kosztami wdrażania już opracowanych technologii solarnych i wiatrowych (Niemcy, Dania) oraz rozwojem pojazdów hybrydowych (magazynowanie energii elektrycznej). Dodatkowym czynnikiem „hamującym” rozwój technologii energetycznego wykorzystywania zasobów biomasy, jest spodziewane zwiększenie dostępu i dostaw ziemnego gazu łupkowego.

Podstawową formą energetycznego zastosowania biomasy jest jej wykorzystanie jako źródła energii cieplnej za pomocą różnych metod konwersji termochemicznej, zawsze jednak obejmujących procesy spalania. Na przebieg spalania biomasy wpływa ok. 50 czynników, w tym słabo rozpoznane reakcje związków węgla z dwutlenkiem węgla, biorących istotny udział w procesach. Za podstawowy warunek rozwoju technologii przemysłowych przełomu XX/XXI w. uważa się standaryzację (normalizację) ich elementów składowych, umożliwiających „budowanie” technologii zgodnie z wymaganiami odbiorców. Biomasa, ze względu na zmienność swoich parametrów, nie odpowiada wymogom tak definiowanej standaryzacji. W połączeniu z niepewnością, zwłaszcza ekonomiczną, dotyczącą konwencjonalnych źródeł energii (ceny, dostępność, zapasy ropy i gazu), obecny poziom wiedzy nie pozwala uznać biomasę za przyszłościowy surowiec energetyczny. Za potencjalny rodzaj bioenergii, nadający się do rzeczywistych zastosowań energetycznych, można natomiast uważać postacie (formy) energii otrzymywane z przetwarzania odpadów organicznych, oczyszczalni ścieków,

wysypisk i źródeł biologicznych (biogaz) ze względu na ich uciążliwość dla środowiska i niską cenę takich substratów, a nie z racji bezpośrednich korzyści energetycznych.

## Bibliografia

- BARTHELMIE R. 2008. State of the art and trends regarding offshore wind farm economics and financing [online]. [Dostęp 12.03.2012]. Dostępny w Internecie: <http://www.offshorewindenergy.org/>
- BOEHMEL C., LEWANDOWSKI I., CLAUPEIN W. 2008. Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agricultural Systems*. Vol. 96 s. 224–236.
- BOERJESSON P.I. 1996. Energy analysis of biomass production and transportation. *Biomass Bioenergy*. Vol. 11 s. 305–318.
- BOERJESSON P.I. 1999. Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden: Identification and Quantification. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 16 s. 137–154.
- BRAUN R. 2007. Efficiency of energy crop digestion. W: Materials European Biogas Workshop [online]. Esbjerg. [Dostęp 12.03.2012]. Dostępny w Internecie: [http://www.ramiran.net/doc07/Biogas III/Rudolf\\_Braun.pdf](http://www.ramiran.net/doc07/Biogas III/Rudolf_Braun.pdf)
- BRIDGWATER A. 2012. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 38 s. 68–94
- BURCZYK H. 2012. Przydatność jednorocznych roślin, uprawianych do produkcji biomasy na potrzeby energetyki zawodowej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 59–68.
- CAPROS P., MANTZOS L., TASIOS N., DE VITA A., KOUVATAKIS N. 2010. EU energy trends to 2030 (up date 2009). Bruksela. Directoriat General for Energy. ISBN 978-92-79-16191-9 ss. 180.
- CLARKE S., ENG P., PRETO F. 2011. Biomass densification for energy production [online]. [Dostęp 12.03.2012]. Dostępny w Internecie: [www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/11-035.pdf](http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/11-035.pdf)
- CZYŻ H., DAWIDOWSKI B. 2005. Charakterystyka i wykorzystanie biomasy z upraw polowych jako źródła energii odnawialnej. *Energia Odnawialna*. Nr 1 s. 3–10.
- DEMIRBAS A. 2011. Competitive liquid biofuels from biomass. *Applied Energy*. Vol. 88 s. 17–28.
- DUNNETT A., SHAH N. 2007. Prospects for Bioenergy. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*. Vol. 1 s. 1–18.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE (a) z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Dz.U. L 140/16.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/30/WE (b) z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 98/70/WE odnoszącą się do specyfikacji benzyny i olejów napędowych oraz wprowadzającą mechanizm monitorowania i ograniczania emisji gazów cieplarnianych oraz zmieniającą dyrektywę Rady 1999/32/WE odnoszącą się do specyfikacji paliw wykorzystywanych przez statki żeglugi śródlądowej oraz uchylająca dyrektywę 93/12/EWG. Dz.U. L 140/88.
- ECN – Energy research Centre of the Neherlands 2012. Phyllis, database for biomass and waste [online]. [Dostęp 12.03.2012]. Dostępny w Internecie: [www.ecn.nl/phyllis/](http://www.ecn.nl/phyllis/)
- EEA – European Environment Agency 2008. Maximising the environmental benefits of Europe's bioenergy potential. Technical report. No 10. ISBN 978-92-9167-375-9 ss. 94.
- Eurostat 2010, 2011. Database [online]. [Dostęp 12.03.2012]. Dostępny w Internecie: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/european\\_business/data/database](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/european_business/data/database)

FAGERNÄS L., JOHANSSON A., WILÉN C., SIPILÄ K., MÄKINEN T., HELYNEN S., DAUGHERTY E., DEN UIL H., VEHLow J., KABERGER T., ROGULSKA M. 2006. Bioenergy in Europe – opportunities and barriers. Bioenergy NoE. Helsinki. VTT. ISBN 951-38-6815-X ss. 118.

FISCHER G., PRIELER S., VAN VELDHIJZEN H., LENSINK S.M., LONDO M. DE WIT M. 2009. Biofuel production potentials in Europe: Sustainable use of cultivated land and pastures. Część 2. Land productivity. Biomass and Bioenergy. Vol. 34 s. 173–187.

HAQ Z. 2002. Biomass for electricity generation [online]. U.S. Energy Information Administration. [Dostęp 12.03.2012]. Dostępny w Internecie: [http://docsfiles.com/pdf\\_biomass\\_for\\_electricity\\_generation\\_by\\_zia\\_haq.html](http://docsfiles.com/pdf_biomass_for_electricity_generation_by_zia_haq.html)

HAMELINCK C. N., VAN HOOIJDONK G., FAAIJ P. 2005. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. Biomass and Bioenergy. Vol. 28 s. 384–410.

HUANG W-D., ZHANG Y-HP. 2011. Energy Efficiency Analysis: Biomass-to-wheel efficiency related with biofuels production, fuel distribution, and powertrain systems [online]. [Dostęp 12.03.2012]. Dostępny w Internecie: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%210.1371%2journal.pone.0022113>

IEA – International Energy Agency 2007. Energy Technology Essentials. Biomass for Power Generation and CHP [online]. [Dostęp 12.03.2012]. Dostępny w Internecie: <http://www.iea.org/techno/essentials3.pdf>

IEA – International Energy Agency 2009, 2010, 2011. World Energy Outlook. Paryż.

JUDY A., LIBRA J.A., KYOUNG S. RO., KAMMANN C., FUNKE A., BERGE N. et al. 2011. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. Biofuels. Vol. 2(1) s. 89–124.

KALTSCHMITT M., HARTMANN H., HOFBAUER H. 2009. Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin, Heidelberg. Springer. ISBN 978-3-540-85094-6.

KALTSCHMITT M. 2011. Biomass for energy in Germany-status, perspectives and lessons learned. Journal of Sustainable Energy & Environment. Special Issue s. 1–10.

KAVALOV B., PETEVES S.D. 2005. Status and perspectives of biomass-to-liquid fuels in the European Union (Report EUR 21745 EN) [online]. European Commission, Joint Research Centre. [Dostęp 12.03.2012]. Dostępny w internecie: <http://www.virtualmaze.com/sample/Biofuels%20Info/Rhombus%20Power%20-%20biodiesel/EUR%2021745%20EN.pdf>

KEOLEIAN G.A., VOLK T.A. 2005. Renewable energy from willow biomass crops: life cycle energy, environmental and economic performance. Critical Reviews in Plant Sciences. Vol. 24 s. 385–406.

KERN J., EMMERICH H. 2011. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. Biofuels. Vol. 2(1) s. 89–124.

KOMOROWICZ M., WRÓBLEWSKA H., PAWŁOWSKI J. 2009. Skład chemiczny i właściwości energetyczne biomasy. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych. Nr 40 s. 402–410.

KRASUSKA E., ROSENQVIST H. 2012. Economics of energy crops in Poland today and in the future. Biomass and Bioenergy. Vol. 38 s. 23–33.

KUŚ J., MATYKA M. 2009. Wydajność wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w zależności od jakości gleby. Fragmenta Agronomica. Vol. 26 s. 103–110.

MAIN M., JOSEPH S., ZHANG Y., MACLEAN H. 2007. Assessing the energy potential of agricultural bioenergy pathways for Canada. Canadian Journal of Plant Science. Vol. 87 s. 781–792.

- MALATAK J., PASSIAN L. 2011. Heat-emission analysis of small combustion equipments for biomass. *Research Agricultural Engineering*. Vol. 57 s. 37–50.
- MANTAU U. (red.) 2010. EUwood – real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report. Hamburg ss. 160.
- MCLAUGHLIN S.B., KSZOS L.A. 2005. Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bio-energy feedstock in the United States. *Biomass Bioenergy*. Vol. 28 s. 515–535.
- Ministerstwo Gospodarki 2012. Projekt Ustawy o OZE z dnia 26 lipca 2012 r.
- MOERSCHNER J., GEROWITT B. 1998. Energiebilanzen von Raps bei unterschiedlichen Anbauintensitäten. *Landtechnik*. Nr 53 s. 384–385.
- NIGAM P.S., SINGH A. 2011. Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progres in Energy and Combustion Science*. Vol. 37 s. 52–68.
- PERLACK R., TURHOLLOW A. 2003. Feedstock cost analysis of corn stover residues for further processing. *Energy*. Vol. 28 s. 1395–1403.
- PICAZO-ESPINOSA R., GONZÁLEZ-LÓPEZ J., MANZANERA M. 2011. Bioresources for third-generation Biofuels. *Biofuels Engineering Process Technology*. M.A. dosSantos-Bernardes. Wiedeń s.16–133.
- ROGERS J.G., BRAMMER J.G. 2009. Analysis of transport costs for energy crops for use in biomass pyrolysis plant networks. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 33 s.1367–1375.
- ROSZKOWSKI A. 2009. Bioenergia – pola i lasy zastąpią węgiel, ropę i gaz? *Inżynieria Rolnicza*. Nr 1 s. 243–257.
- SCHOLZ V., BERG W., KAULFUSS P. 1998. Energy balance of solid biofuels. *Journal Agricultural Engineering Research*. Vol. 71 s. 263–272.
- SMUSZ R. 2010. Efektywność wykorzystania energii w Polsce [online]. [Dostęp 12.03.2012]. Dostępny w Internecie: [http://www.pae.org.pl/ee\\_konferencja/pdf/04\\_robert\\_smusz.pdf](http://www.pae.org.pl/ee_konferencja/pdf/04_robert_smusz.pdf)
- SPITZER J. 2011. Biofuels and biomass power [online]. IEA Bioenergy. [Dostęp 12.03.2012]. Dostępny w Internecie: [www.iea.org/work/2011/egrday1/Spitzer.pdf](http://www.iea.org/work/2011/egrday1/Spitzer.pdf)
- SZCZUKOWSKI S. (red). 2012. Wieloletnie rośliny energetyczne – monografia. Wydaw. Multico. Warszawa. ISBN 978-83-7763-051-8 ss.156.
- SZCZUKOWSKI S., Tworowski J., Wiwart M., Przyborowski J. 1998. Wiklina (*Salix* sp.). Uprawa i możliwości wykorzystywania. Olsztyn. Wydaw. ART. ISBN 8387443-40-9 ss. 53.
- THORSELLA S., EPPLINA F., HUHNKEB R., TALIAFERROC C. 2004. Economics of a coordinated bio-renewery feedstock harvest system lignocellulosic biomass harvest cost. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 27 s. 327–337.
- de WIT M., FAAIJ A. 2010. European biomass resource potential and costs. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 34 s. 188-202.
- Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej. Dz.U. 2011. Nr 94 poz. 551.
- ZHANG R., BROWN R.C., SUBY A. 2004. Thermochemical generation of hydrogen from switchgrass. *Energy and Fuels*. Vol. 18 s. 251–256.

**Andrzej Roszkowski**

## **BIOMASS AND BIOENERGY – TECHNOLOGICAL AND ENERGETIC BARRIERS**

### **Summary**

Study contains a review and an attempt to significance analysis of the factors affecting technologies of biomass conversion into energy (bioenergy). Main technologies of biomass conversion, actually and in the foreseen future, include heat and electric energy generation. Specific features of various kinds of biomass (low energy saturation, difficulties with logistics, etc.) are the reason of rising energetic barriers (adverse ratio of gained usable energy to spent energy), and the technological ones (biomass conversion into fuels, heat, electric energy, etc.). The trends to satisfy the constantly growing demand for all kinds of energy, gained with new or improved technologies, is also a reason to modifying the legal and economic regulations in force. Biomass may be one of the sources to generating other energy carriers, the liquid transport fuels inclusive. Until now plant production is the main source of biomass for biofuels, what becomes competitive in cultivation area to food production. Adversity in trends to increasing energetic and economic efficiency by growing intensity and production scale, and the requirements of environment protection, biodiversity preservation and using areas of limited food production usability (ILUC – Indirect Land Use Change), brought out to acceptance by EU the RED (Renewable Energy Directive) and the FQD (Fuel Quality Directive). Paper discussed the conditions of further biomass utilization, as an energetic raw material, resulted from implementation of RED directive (propagation of energy from renewable sources at preservation of the “environment sustainability”), and FQD directive (dealing with the quality of biofuels), as well as their importance for the local conditions. The reasons of differences in yields of energy plants and crops, logistic and infrastructural determinants of biomass conversion into bioenergy as well as the technical reasons of difficulties in trade turnover of biomass as an energy raw material, were discussed. Conditions and limitations in commercial implementation of new hydrothermal and biochemical technologies were described, as resulted from low effectiveness of processes and specific biomass features, which impede increasing the output. Objective difficulties in evaluating the directions of transformation and development of energetic markets were indicated; they include descriptive, non-analytical character of biomass definition in the EU countries, formation of petroleum and gas prices in prospect of 10–20 years, undetermined methodology of evaluating the structure and amount of pollutants’ emission during biomass generation and processing, differentiated scale of energy charges in various countries, significant dissimilarities in taxes and subsidy structure, interpretation divergences of the requirements regarding transport of fuels, long-term influence on the food markets (amount of supply and prices).

**Key words:** biomass, bioenergy, technological barriers, economic and natural barriers, heat, electric energy, biofuels

#### Adres do korespondencji

prof. dr hab. Andrzej Roszkowski  
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy  
Oddział w Warszawie  
ul. Rakowiecka 32, 02-532 Warszawa  
tel. 22 542-11-77; e-mail: a.roszkowski@itep.edu.pl

