

## BIOENERGIA - POLA I LASY ZASTĄPIĄ WĘGIEL, ROPE I GAZ ?

Andrzej Roszkowski

*Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie*

**Streszczenie.** Kryzys energetyczny. Czynniki ograniczające i uwarunkowania wykorzystania biomasy rolniczej jako źródła energii – powierzchnie uprawy, efektywność, konwersja, ograniczenia środowiskowe. Prognozy rodzajowe i ilościowe w krajach UE 27 i RP. Rola biomasy w wytwarzaniu ciepła, energii elektrycznej i paliw transportowych. Energetyczne perspektywy biomasy roślinnej i leśnej, węgla, paliw wodorowych i energii jądrowej.

**Słowa kluczowe:** Kryzys energetyczny, produkcja rolnicza, ceny rolne, biomasa, paliwa transportowe, energia cieplna i elektryczna, efektywność produkcji i konwersji na energię, zalety, wady

### Wstęp

Obok wody i żywności, różne postacie czy formy energii stanowią czynniki niezbędne do zaspokojenia elementarnych potrzeb populacji ludzkiej. Najnowsze opracowania IEA [WEO 2008] z kwietnia 2008 r., oceniają wzrost zapotrzebowania świata na energię do roku 2030 o 50%, co wyraźnie przewyższa szacunki sprzed dwóch lat. IEA szacuje, że w 2030 r. zapotrzebowanie na energię elektryczną podwoi się, a popyt na paliwa ropopochodne zwiększy się o 37% [WEO 2008]. Całkowite zapotrzebowanie szacowane jest na ok. 18 miliardów t<sub>oe</sub>, przy czym 84% energii będzie pochodzić z paliw konwencjonalnych (kopalnych). Jednocześnie wszystkie dostępne źródła analityczne wskazują na wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia kryzysu energetycznego. Obserwowane różnice dotyczą terminu wystąpienia tego kryzysu i szacowane są na najbliższe 15÷25 lat [Lapillonne 2007, Ramsay 2007, WEO 2008]. Jednocześnie znakomita większość analiz wykazuje, że niekorzystne zmiany klimatyczne powodowane są przede wszystkim wzrostem zużycia energii, co skutkuje zwiększoną emisją GHG do atmosfery. Ponad 90% emisji dwutlenku węgla powodowane jest wytwarzaniem lub utylizacją energii. W rezultacie średnia temperatura do roku 2030 wzrośnie prawdopodobnie o 1°C, przy jednoczesnym nasileniu się zjawiska deficytu wody, decydującego w znacznym stopniu o plonach rolniczych [Faber 2008, EPA 2005]. Oprócz energii nuklearnej i dużych, choć ograniczonych zapasów węgla, realnym źródłem energii może być biomasa organiczna (rolnicza, leśna i większość odpadów bytowych, przetwórczych i komunalnych). Obserwowane wyczerpywanie się tradycyjnych źródeł energii (ropa, gaz, węgiel) spowodowało ogromny wzrost wykorzystania OZE, w tym przede wszystkim biomasy pochodzenia rolniczego i leśnego [Roszkowski 2007c]. Ten wzrost zapotrzebowania na biomasę dodatkowo stymulowany jest także tendencją do

ograniczenia emisji gazów cieplarnianych co, wg części opracowań analitycznych, powinno poprawiać bilans GHG. Obok problemu energetycznego i niekorzystnego kierunku prawdopodobnych zmian klimatycznych należy także brać pod uwagę wzrost liczby ludności świata. Wzrost ten, związany z równoczesnym podnoszeniem się PKB, zwłaszcza w takich krajach jak Chiny i Indie (37% ludności świata), jest przyczyną wydatnego zwiększania się potrzeb żywnościowych, w tym i produktów wysoko przetworzonych, co wymaga większych ilości energii i wody. Wzrost intensywności wszechstronnego wykorzystywania biomasy rolniczej jest przeciwny rolnictwu, będącemu dotychczas głównym producentem żywności [Booth i in. 2007; Krasowicz 2008]. Szacuje się, że w okresie trzydziestu lat w samej EU27 deficyt energii zwiększy się z 50% do 70%. W krajach UE w nadchodzących latach nastąpi dalszy wzrost zapotrzebowania na różne postacie energii, przy nasilającym się deficycie produkcji (wytwarzania), co będzie powodowało konieczność zwiększania importu.

### **Czynniki warunkujące produkcję biomasy rolniczo-leśnej**

Podstawowymi uwarunkowaniami możliwości wytwarzania biomasy jest sprawność przetwarzania energii promieniowania słonecznego na biomasę, dostępność i przydatność agroklimatyczna obszarów Ziemi dla produkcji roślinnej i leśnej oraz uzyskiwane plony w przeliczeniu na energię netto [Chołuj i in. 2008; Faber i Kuś 2007; Jadczyzyn i in. 2008, Kuś i in. 2008, Matyka 2008, Stuczyński 2008]. Ze względu na to, że tylko część powierzchni Ziemi stanowią lądy nadające się do użytkowania rolniczo-leśnego oraz wskutek odbić promieniowania i ewaporacji rzeczywista ilość wykorzystywanej energii promieniowania słonecznego stanowi tylko 5÷6% co odpowiada 3,6 GJ (1000 kWh) na 1 hektar rocznie (dla warunków Europy). Pod względem fizyko-chemicznym i energetycznym biomasa może być uważana za rodzaj uniwersalnego „półsurowca” ponieważ można z niej uzyskiwać wszystkie rodzaje nośników jak energię cieplną i elektryczną, paliwa transportowe łącznie z perspektywicznymi paliwami wodorowymi i wreszcie obszerną grupę produktów chemicznych (polimery). Rolnictwo nie wytwarza energii – konieczna jest konwersja biomasy jako głównego energetycznego produktu rolniczego. Biomasa dostarcza światu 14% energii, w krajach rozwijających się 33%, ale w krajach rozwiniętych jest to tylko 2-3%. Energetyczne wykorzystywanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej jest przyczyną niebezpieczeństwa zakłóceń na rynkach żywnościowych, czego wskaźnikiem jest m.in. obserwowany wzrost cen żywności. Całkowita ilość ziarna na świecie wzrasta rocznie o 20Mt, a zapotrzebowanie na ziarno do samego bioetanolu, poczynając od 2005 r., wynosi 120 Mt. Ceny pszenicy w końcu 2007 r. były 2,5 razy wyższe niż na początku roku i były najwyższe od 35 lat. W USA, których udział w eksporcie zbóż wynosi około 70%, cena kukurydzy wzrosła o 50%. W wielu opracowaniach szacuje się wzrost cen żywności na 20-50% do roku 2015. W 2007 r. zapotrzebowanie Chin stanowiło o 2/3 popytu na paliwa transportowe. Dlatego Chiny wprowadziły zakaz wykorzystywania produktów żywnościowych jak np. kukurydzy do wytwarzania biopaliw. W tym celu można używać tylko produktów nie mających cech żywności.

Wzrost cen paliw konwencjonalnych stwarza warunki ekonomiczne do produkcji biopaliw, których cena dotychczas w przybliżeniu była dwukrotnie wyższa od równoważnika cieplnego paliw konwencjonalnych. W efekcie tych zmian cena biodiesla w przeciągu roku

2007 wzrosła do 1440 \$/t (dwukrotnie), a zwykłego ON do 840 \$/t. Według IEA za realny można uznać 13% udział biopaliw w rynku paliw transportowych. W zamierzeniach UE udział biopaliw w r.2020 ma stanowić 10%, a w USA 15%, ale w r.2022. Zredukowanie zużycia wszystkich paliw kopalnych o 10% wymagałoby przeznaczenia 40% obecnej powierzchni upraw na produkcję biopaliw. Wg OECD 10% paliw transportowych, których potrzebuje UE wymagałoby wykorzystania ok. 70% rolniczej przestrzeni produkcyjnej (USA, Brazylia i Kanada odpowiednio 30%, 3% i 0,3%). W części krajów UE rozwija się koncepcja importu, a nie własnej, wyraźnie droższej ze względu na warunki, produkcji. Polska nie jest zwolennikiem takiego stanowiska (importu).

Produkcja rolnicza na cele energetyczne powinna być optymalizowana pod względem efektywności energetycznej, a nie cech jakościowych dominujących w konwencjonalnym wytwarzaniu żywności i pasz. Takie tendencje potencjalnie zagrażają stosunkom białko-energia w produktach roślinnych. Wskutek aktualnych uwarunkowań ekonomicznych i legislacyjnych rynki energii zaczynają „kierować” rynkami rolniczymi. Decyzje produkcyjne dotyczące energetycznych upraw rolniczych obecnie podejmowane są z wykorzystaniem rezultatów niepełnych analiz energetycznych i ekologicznych, często pod wpływem zmiennych uregulowań ekonomicznych (systemy dotacji). W USA dopłaty do 1 litra bioetanolu z kukurydzy wynoszą 0,15\$, biodiesla z soi i tłuszczów -0,25\$ i do biodiesla z olejów przetworzonych -0,1\$. Dotacje USA do bioetanolu w 2006 r. wynosiły 7 miliardów \$. UE uznaje to za naruszanie zasad konkurencyjności i wprowadza cła karne na dotowany BD z USA. Dodatkowym bodźcem zwiększającym konkurencyjność biopaliw jest powstanie rynku (handlu) emisjami węgla, co pociąga za sobą ceny „rolnicze”. Ale podniesienie cen rolniczych jest wydatnie wolniejsze od tempa wzrostu cen energii, wskutek czego rolnictwo narażone jest na potencjalne straty.

Dane dotyczące liczby ludności i struktury powierzchni wskazują na silne zróżnicowanie wskaźników „per capita” ilości produkcyjnych użytków rolnych i lasów. Zróżnicowanie tych wskaźników, zwłaszcza pomiędzy krajami Unii, praktycznie uniemożliwia dostatecznie ściśle określenie wielkości powierzchni niezbędnych do wytwarzania żywności i (lub) biomasy. Obserwowana w rolnictwie krajów rozwiniętych dążność do zwiększania powierzchni upraw energetycznych (dotowanych w różnych formach) zwróciło uwagę FAO. Dane tej organizacji wykazują, że do 2030 r. kraje rozwijające się będą mogły zaspokoić we własnym zakresie tylko 85% potrzeb żywnościowych. Dla tych krajów oznacza to potrzebę zwiększenia importu zbóż z obecnych 103 Mt do 265 Mt z krajów rozwiniętych.

W UE i USA odpowiednio 4 i 3% zużywanej energii w latach 2004-2005 pochodziło z biomasy, stanowiąc około 50% energii odnawialnej. W UE do 2005 r. około 85% wykorzystywanej energetycznie biomasy pochodziło z lasów (62 Mtoe), z rolnictwa tylko ok. 5% (3,5 Mtoe). W bilansach i prognozach pozyskiwania i wykorzystywania biomasy, oprócz wielkości powierzchni i rodzaju surowca (uprawy), decydujące znaczenie ma wielkość uzyskiwanych plonów i całkowita sprawność (efektywność) przetwarzania, zależna przede wszystkim od technologii i długości dróg transportu biomasy. Całkowita ilość biomasy w UE uzyskiwana i prognozowana według różnych aktualizowanych dokumentów szacowana jest w r. 2030 na ok. 300 Mtoe, przy czym zakładany 4x wzrost pozyskiwania „bioenergii” ( w stosunku do r. 2004) ma być uzyskiwany głównie przez wzrost ilości biomasy z rolnictwa i odpadów (ścieków). Za preferowane kierunki utylizacji uznaje się

wytwarzanie biopaliw i elektryczności. Podobne tendencje występują i w USA, z tą różnicą, że największy wzrost wykorzystania biomasy ma wystąpić w produkcji biopaliw i bioproduktów (5x wzrost z 4-5% obecnie do 20-25% w r. 2030).

Programowane czy planowane ilości biomasy pochodzenia rolniczego i leśnego w większości zakładają uzyskiwanie nierealnych pod względem przyrodniczym wielkości średnich plonów suchej masy. Zwolennicy produkcji biomasy na rolniczej przestrzeni produkcyjnej zakładają uzyskiwanie plonów energii brutto na poziomie 300 GJ na ha i rok, tymczasem uzyskanie rzeczywistego rezultatu około 180-190 GJ to dobry rezultat. Analiza kilkuletnich danych wykazuje, że średnie plony biomasy w UE są mniejsze o 25-55% od najwyższych średnich plonów tych samych kultur w tym samym przedziałach czasowych [Kopetz i wsp. 2007]. Opłacalna produkcja energii w zrównoważonym rolnictwie o charakterze tradycyjnym wymaga intensywnych, przemysłowych technologii, zapewniających uzyskanie plonów 8-12 t s.m. z hektara rocznie. Przeprowadzone w UE obliczenia symulacyjne zakładające uzyskanie 25% paliw transportowych z biomasy wykazały jednoczesny wzrost zużycia nawozów o 40% [Kongshaug 1998, Commission staff etc. 2008]. Nawozy mineralne zwiększają emisję NO<sub>x</sub>, których ujemny wpływ na środowisko jest ok. 300 razy silniejszy niż CO<sub>2</sub>. Produkcja na obszarach odłogowanych, o niskiej produktywności 2-5 t s.m. ha<sup>-1</sup> jest nieopłacalna energetycznie i ekonomicznie (kosztowo).

### **Biomasa z rolnictwa i leśnictwa a uwarunkowania środowiskowe**

Dążenie do pozyskania tanich surowców i produktów (oleje roślinne, drewno, bioetanol) wywołują tendencje powrotu do rolnictwa przemysłowego i pogarszają bioróżnorodność. Obecny poziom produkcji rolniczej, limitowany dostępnością przydatnych rolniczo obszarów i wody, wskazuje na brak terenów dla rozwoju rolnictwa energetycznego w dotychczasowym konwencjonalnym (tradycyjnym) rozumieniu [Doornbosch i Steenblik 2007, Kopetz i wsp. 2007, Lewandowski 2006]. Przemysłowy charakter dotychczasowych upraw energetycznych, zwłaszcza jednorocznych, może być przyczyną przyspieszonej degradacji gleb pod względem zasobności w składniki pokarmowe i aktywności biologicznej. Jak dotychczas wzrost intensywności pociąga za sobą zwiększenie nakładów energii, zużycia nawozów, herbicydów, pestycydów i wydłużenie dróg transportu [Fehrenbach i Reinhardt 2007]. Dążność do zwiększenia stopnia wykorzystania produktu dodatkowego jakim jest słoma (zwłaszcza zbóż i kukurydzy) zmniejsza nie tylko zawartość próchnicy w warstwie uprawnej, ale zmienia także warunki insolacji słonecznej (większe odbicie promieniowania daje zmniejszenie opadów). Poprawę w tym zakresie może przynieść wprowadzenie do uprawy wieloletnich roślin energetycznych, o rozwiniętym systemie korzeniowym sięgającym do głębokości nawet kilku metrów. Pozyskiwanie biomasy z lasów energetycznych (wierzba, topola) o głębokich systemach korzeniowych może być z kolei przyczyną niekorzystnych zmian w stosunkach wodnych. Uprawa czy produkcja biomasy jako integralnej części rolnictwa intensywnego, przemysłowego będzie powodować znane z „zielonej rewolucji” zjawiska jak wzrost zapotrzebowania energii (nawozy, pestycydy, herbicydy, technika rolnicza, wydłużanie dróg transportu zebranych plonów). Rolnictwo jest głównym „konsumentem” wody (75-78%) przy czym wody gruntowe stanowią tylko około 0,76% (!) całkowitej objętości wody na Ziemi. Zasoby wody gruntowej, świeżej to 10,5 Mkm<sup>3</sup> – reszta to wody słone. Nawadnianie pozwala na zwiększenie plonów zbóż o 0,8 t na 1 m<sup>3</sup> wody.

Biomasa z lasów naturalnych, ze względu na swoją strukturę, wykorzystywana jest przede wszystkim jako surowiec przemysłowy, a zbiór i przetworzenie pozostałych części biomasy leśnej, podobnie jak i w przypadku słomy, powoduje degradację środowiskową obszarów leśnych. Uzyskanie bądź udoskonalenie nowych odmian roślin, a zwłaszcza drzew „energetycznych” i wprowadzenie ich do produkcji, będzie jednak wieloletnim procesem obciążonym wysokim prawdopodobieństwem konieczności zastosowania inżynierii genetycznej, niechętnie na ogół przyjmowanej [Plotkowski i Piekturn 2007, Roszkowski 2007 b]. Przykładem są próby, podjęte w Anglii, uprawy „modnej” jatrophy (roślina oleista pochodząca z Indii cechująca się znikomymi wymaganiami pokarmowymi i wodnymi) oraz amerykańskie odmiany sosny o dwukrotnie szybszym przyroście biomasy drzewnej w porównaniu do odmian tradycyjnych. W Chinach podjęto realizację planu obsadzenia 900 tys. ha (!) drzewami Chińskiego Drzewa Pistacjowego (*Pistacia Chinensis Bunga*), odpornymi na spadki temperatur do  $-20^{\circ}\text{C}$ , których owoce zawierają 40% tłuszczu.

Do zalet energii z produkcji rolniczej dość powszechnie zalicza się, obok dywersyfikacji źródeł zaopatrzenia i potencjalnej możliwości przyspieszenia postępu technologicznego i technicznego, także i redukcję emisji GHG. Zmiany klimatu Ziemi powstające wskutek efektu cieplarnianego w 90% (szacunki UE) są wywoływane czynnikami antropogenicznymi, w tym zwłaszcza spalaniem paliw kopalnych, wytwarzaniem i produkcją ogromnej ilości związków chemicznych oraz w 5% czynnikami naturalnymi (astronomicznymi, geofizycznymi). Wprawdzie istnieją również opinie diametralnie przeciwne, ale niezależnie od różnicy poglądów o przyczynach i skutkach efektu cieplarnianego statystyka „pogodowa” zdaje się potwierdzać ocieplenie Ziemi w perspektywie kilkudziesięciu lat. Z bilansu energii słonecznej wynika, że powierzchnia Ziemi pochłania istotnie więcej energii niż dostarcza Słońce. Zjawisko to jest właściwym efektem cieplarnianym powstającym wskutek promieniowania zwrotnego atmosfery zawierającej gazy cieplarniane [Brzózka 2007]. W rzeczywisty skład gazów cieplarnianych wchodzi około 30 związków chemicznych o różnej zdolności absorpcji promieniowania słonecznego i różnych okresach trwałości. Zaabsorbowane promieniowanie jest emitowane przez te gazy jako zwrócone promieniowanie cieplne powodując wzrost temperatury powierzchni Ziemi. Podstawowym gazem cieplarnianym jest para wodna, ale jej stężenie w atmosferze jest stałe. Do najważniejszych gazów zaliczany jest dwutlenek węgla  $\text{CO}_2$ , metan  $\text{CH}_4$ , chlorowco-węglowodory (freony) CFC i HFC, ozon  $\text{O}_3$  i podtlenki azotu  $\text{N}_2\text{O}$ . Istotność wpływu danego gazu na zatrzymywanie ciepła w atmosferze, w odniesieniu do  $\text{CO}_2$ , określa się wskaźnikiem GWP (Global Warming Potential) [Brzózka 2007, EPA 2005]. Podstawowe znaczenie dwutlenku węgla spowodowane jest bardzo długim czasem jego obiegu w biosferze, szacowanym na 50–200 lat. Tak długi okres trwania powoduje wystąpienie opóźnienia w skutkach jego emisji. Aktualne prognozy i przewidywania wykazują, że w tym stuleciu temperatura na świecie wzrośnie od  $1,8$  do  $4^{\circ}\text{C}$ , czego pośrednim skutkiem będą upały i silne opady, a poziom wód w oceanach wzrośnie o 18 do 59 cm [Commission of the European Communities 2007, EPA 2005]. Ze względu na długotrwałość oddziaływania nagromadzonych gazów cieplarnianych obecnie nie można uniknąć efektów ocieplenia Ziemi (przyrost temperatury o  $1,3^{\circ}\text{C}$  z 90% prawdopodobieństwem), które może także prowadzić do dalszych problemów środowiskowych, a zwłaszcza braku wody.

W odniesieniu do związków toksycznych, emitowanych przez wszelkiego rodzaju pojazdy (silniki), postanowienia UE z grudnia 2007 r. przewidują obniżenie emisji  $\text{SO}_2$

o 82%, NO<sub>x</sub> o 60%, VOC (lotne związki organiczne) o 51% i cząstek stałych PM 2,5 o 59% ( w stosunku do roku 2000). Ze względu na trudności metodologiczne i rozbieżność interesów krajów członkowskich w metodach określania ilościowego i jakościowego emisji związków toksycznych, wprowadzenie szczegółowych Dyrektyw Euro 4 i Euro 5 przebiega z dużymi oporami i opóźnieniami. Podobnie w USA propozycje obniżenia średniego zużycia paliwa w ciągu 10 lat z 6,7 dcm<sup>3</sup> na 100km do 5,4 dcm<sup>3</sup> na 100 km, co powinno skutkować obniżeniem emisji gazów średnio o 30%, natrafiają na ogromne opory przemysłu. Przeprowadzone rachunki symulacyjne wykazały, że proponowane zastąpienie 10% paliw transportowych biopaliwami zmniejszy emisje GHG o 3%. W odniesieniu do biopaliw w projekcie postanowienia komisji UE przewiduje się, że emisja GHG w przeliczeniu na CO<sub>2</sub>, powinna stanowić maksimum 35% emisji analogicznego produktu wytwarzanego z udziałem energii paliw kopalnych (gazu). Wskaźnika tego nie spełnia np. bioetanol z ziarna kukurydzy produkowany w USA ani biodiesel z oleju palmowego.

Analiza dotychczasowych metod energetycznego wykorzystywania zasobów biomasy leśnej pozwala wyłącznie na potwierdzenie potencjału ich wysokiej wartości energetycznej. Główną cechą lasów jest ich wartość przyrodnicza, zachowanie której wymaga „równoważonej hodowli”. Pozwala to tylko na bardzo ograniczone użytkowanie pozostałości zrębowych, których zabieranie istotnie zuboża zasoby siedliska, chociaż zmniejsza zagrożenia pożarowe. Lasy UE produkują rocznie ok. 420 Mm<sup>3</sup>, z czego drewno opałowe stanowi około 12-13%, a reszta przeznaczona jest do przerobu przemysłowego, zwłaszcza na papier i opakowania. Wzrost popytu na biomasę z lasów powoduje silną presję na jej ceny w wyniku czego cena ta w najbliższych dwóch latach może ulegnie podwojeniu, zwłaszcza w „lepszych” asortymentach [Płotkowski i Piekturn 2007, Roszkowski 2008a]. Do zaabsorbowania 1 t węgla (równoważnik 3,67 t CO<sub>2</sub>) potrzeba ok. 2,2 t drewna, co wymaga okresu ok. 100 lat. W przeliczeniu na absorpcję dwutlenku węgla oznacza to, że 100 ha lasu absorbuje w ciągu roku ok. 220 t CO<sub>2</sub>.

### **Struktura zapotrzebowania na postacie energii**

Największe wzrosty ilościowego zapotrzebowania na energię w strukturze zapotrzebowania sektorowego spodziewane są w paliwach do transportu i dla ludności, zwłaszcza z uwzględnieniem usług [Kopetz i in. 2007]. Natomiast pod względem struktury zapotrzebowania na rodzaje paliw największe potrzeby występują w paliwach ropopochodnych i gazowych. W strukturze rodzajowej postaci energii i jej nośników dominujące znaczenie mają paliwa transportowe i energia elektryczna, szczególnie z uwzględnieniem zapotrzebowania na ciepło w gospodarstwach domowych. Wytwarzanie i wykorzystywanie paliw transportowych i energii elektrycznej skutkuje emisją relatywnie dużej ilości CO<sub>2</sub> stanowiących podstawowy składnik gazów cieplarnianych. W UE największe zapotrzebowanie na energię w ogóle, w przeliczeniu na równoważniki olejowe, występuje w odniesieniu do ciepła (ok. 49%), transportu (31%) i elektryczności (20%). Ze względu na określoną przydatność i sposób wykorzystania biomasy w UE po uwzględnieniu, że część ciepła jest dostarczana w postaci energii elektrycznej, faktyczny udział elektryczności w zużyciu energii z biomasy stanowi ~48%, dla ciepła ~22% i ~tylko 2,0% dla paliw transportowych. Podobne proporcje występują i w USA (ok. 10% pozyskiwanej biomasy służy do produkcji biopaliw i ok. 2% do wytwarzania bioproduktów chemicznych. Warto także zwrócić uwagę,

że zapotrzebowanie na energię elektryczną w niedalekiej przyszłości będzie wykazywać bardzo silną tendencję wzrostową, ponieważ zdaniem wielu autorów, tylko ten rodzaj energii obecnie może stwarzać realne warunki do wytwarzania wodoru jako przyszłościowego paliwa transportowego.

### **Ciepło i energia elektryczna**

Analiza danych wykazuje, że największe ilości energii „użytecznej” z jednostki powierzchni uzyskuje się przy spalaniu biomasy (pozyskiwanie ciepła) natomiast najgorsze efekty dotyczą wytwarzania biopaliw transportowych. Za najbardziej sprawne pod względem efektywności energetycznej uważane są procesy pozyskiwania ciepła ze spalania określonych rodzajów biomasy, zwłaszcza cechujących się względnie małą wilgotnością (słoma, miskantus, wierzba, drewno opałowe – suszone „naturalnie”). Niezależnie od sposobu konwersji na energię cieplną zawartość wody w biomase wydatnie obniża ilość pozyskiwanej energii użytecznej. Z uwagi na znaczenie energii elektrycznej i dominujące w UE, a zwłaszcza w Polsce, technologie jej wytwarzania przede wszystkim z węgla, zastosowanie współspalania węgla z biomasą jest obecnie podstawową formą jej wykorzystania energetycznego. Pomimo, że udział biomasy w układach współspalania z węglem ze względów technicznych, wynosi na ogół nie więcej jak 5 - 10% (sporadycznie do 20%) i z reguły nieznacznie obniża sprawność przemian cieplnych, zapotrzebowanie energetyki przemysłowej na biomasę przewyższa możliwości jej wyprodukowania i dostarczenia. Uzyskiwane wyniki są uzależnione od ilości i wartości opałowej, będącej z reguły odzwierciedleniem wilgotności biomasy, oraz rodzaju instalacji paleniskowej. Ograniczenia techniczne wynikają z niedostosowania układów rozdrabniających i podających paliwo i samej instalacji kotła do właściwości biomasy. Przy współspalaniu biomasy o wilgotności do 15% z 10% udziałem masowym sprawność kotłów i standardy emisyjne nie ulegają istotnym zmianom [Majtkowski 2007, Szymanowicz 2007]. W kotłach fluidalnych udział „dobrej jakości” biomasy może dochodzić do 20%. Użycie biomasy, zwłaszcza o gorszych parametrach wilgotnościowych, powoduje obniżenie sprawności (wzrost strat wylotowych i zwiększenie emisji  $\text{NO}_x$ ). Średnia zawartość wody w biomase dostarczanej do elektrowni szacowana jest na ok. 45%. Utylizacja energetyczna biomasy z lasów naturalnych cechuje się niską efektywnością. Przyczyną obniżonej efektywności jest ograniczona ilość biomasy (4-7 m<sup>3</sup> z hektara rocznie) i konieczność ponoszenia nakładów na jej transport przy niskiej koncentracji energii w biomase oraz wzrost zużycia energii na przygotowanie biomasy do spalania (rozdrabnianie, usterki funkcjonalne konwencjonalnych urządzeń węglowych). Pomimo tych i innych niedogodności w pozyskiwaniu biomasy energetycznej z lasów naturalnych, paliwo to jest preferowane przez energetykę przemysłową ze względu na swoje właściwości technologiczne. Wysokie zapotrzebowanie na energetyczną biomasę z lasów naturalnych spowodowało, oprócz wzrostu cen i braków drewna jako surowca „przemysłowego”, także i dążenie do administracyjnych form ograniczeń jego pozyskiwania w Europie, a w USA tendencję do preferowania uprawy topoli, dość niechętnie przyjmowanej w Europie. Podstawowym czynnikiem wymuszającym na energetyce przemysłowej zainteresowanie spalaniem biomasy jest ekonomiczny nacisk na ograniczenie emisji gazów szklarniowych („zielona energia”, „zielone certyfikaty”). Wyłączne użycie biomasy z drewna pozwala na redukcję emisji GHG nawet o 70%, a spalanie słomy i siana (i po-

dobnych technologicznie) o 65-75%. Ze względu na relatywnie wysoki poziom zinwentaryzowanych zapasów węgla (nie tylko w Polsce) oraz bardzo długi okres amortyzacji elektrowni węglowych, węgiel pozostanie jeszcze przez wiele lat głównym źródłem przemiany energii cieplnej w elektryczną. Podejmowane dotychczas próby budowy elektrowni wykorzystujących wyłącznie biomasę wykazały konieczność ponoszenia bardzo wysokich nakładów nie tylko na urządzenia techniczne, ale także na niezbędny transport biomasy z dużych odległości, niejako wymuszonych wielkością niezbędnych powierzchni uprawy i ich „gęstością”. Zapotrzebowanie elektrowni o mocy znamionowej 1 MW na biomasę wynosi 5000 tsm co może być uzyskane z arealu co najmniej 500 ha. Przy 10% „gęstości” upraw energetycznych oznacza to powierzchnię 50 km kwadratowych. Wymienione ograniczenia nie wpływają na technologiczną przydatność biomasy do wytwarzania ciepła (spalania) w instalacjach grzewczych małej mocy. W tych zastosowaniach czynnikami warunkującymi powszechność użycia są koszty „energetyczne” i finansowe dodatkowych operacji zwiększających koncentrację energii w jednostce masy (peletowanie, brykietowanie, zrębkowanie z suszeniem). Rozdrabnianie, peletowanie i brykietowanie wymaga odpowiednio 0,5-1,0; 25-30 i 30-40 kWh/t, w zależności od rodzaju i cech biomasy. Pelety z biomasy, zwłaszcza z drzewa, są bardzo rozpowszechnionym rodzajem opału w krajach północnej Europy. Zapotrzebowanie UE na pelety w r. 2020 szacowane jest na 50-80Mt co odpowiada 20-32 Mtoe [Kopetz i in. 2007].

### Biopaliwa płynne

Okolo połowy popytu na ropę naftową generowane jest przez paliwa transportowe, a popyt na nie ma wzrosnąć o 7-8% w perspektywie 4-5 lat. Ceny ropy, a w dalszej konsekwencji także i paliw ropopochodnych, dotychczas zależne były od podaży, ale ceny od kilku lat kształtowane są głównie przez popyt. Wzrost cen baryłki ropy (w kwietniu 2008 ok. 100 \$ za baryłkę) powoduje zmianę ekonomiki pozyskiwania ropy z piasków i łupków roponośnych Kanady i głębokich odwiertów (7-8 km) w nowoodkrytych złożach podmorskich Brazylii. Pomimo tych zmian aktualna sytuacja na rynku paliw transportowych zwiększa naciski na wykorzystanie surowców roślinnych do wytwarzania paliw transportowych [Polasky 2007]. W latach 2000-2007 globalna produkcja biopaliw wzrosła 3x, ale i tak stanowi to tylko niespełna 3% paliw. Koszty surowca w wytwarzaniu biopaliw transportowych stanowią ok. 40-50% nakładów (trzcina w Brazylii 37%, buraki w UE 34%), a niezbędne nakłady energetyczne szacowane są na 20-25% równoważnika cieplnego płonu. Produkcja biopaliw na świecie, pomimo silnych tendencji wzrostowych, jest bardzo niewielka – tylko w Brazylii bioetanol z trzciny cukrowej stanowi 40% paliw płynnych, ale w UE i USA to tylko 3-5%. Bioetanol to 90% biopaliw w USA i Brazylii, a biodiesel to 88% biopaliw w UE. UE zakłada docelowo pozyskanie  $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{3}$  paliw z biomasy ze względu na bezpieczeństwo energetyczne, a w roku 2010 udział ten ma stanowić 10%. W UE bioetanol stanowi tylko ok. 20% biopaliw i jest wytwarzany głównie z buraków i pszenicy. Handel międzynarodowy jest jeszcze w fazie początkowej i nie przekracza 4% ogólnej produkcji. UE chroni swój rynek 45% cłem importowym, ale część krajów wspólnoty, mająca ograniczone powierzchnie uprawy, domaga się zniesienia takiej ochrony, a podobne stanowisko zajmuje i WTO. W UE w r. 2007 uzyskiwano średnio 3,7 tys dm<sup>3</sup> bioetanolu z hektara i 1,3 tys dcm<sup>3</sup> biodiesla z hektara. Technologie wytwarzania paliw I-iej gene-



racji (biodiesel i bioetanol) są uznawane za nie perspektywiczne, a technologie II-jej generacji za nie w pełni dopracowane. Bioetanol II-jej generacji jest wytwarzany na drodze biochemicznej przez konwersję enzymatyczną celulozy i hemicelulozy do cukrów, hydrolizę cukrów i fermentację do alkoholu. Biopaliwa II-jej generacji o cechach etanolu lub oleju napędowego (BTL – biomass to liquid) otrzymuje się także w procesach termochemicznych przez gazyfikację pirolityczną biomasy do gazu syntetycznego (syngaz) i syntezę paliwa w modyfikowanym procesie Fishera-Tropscha. Wytwarzanie biopaliw z olejów i tłuszczów poprzedzane jest procesem ich uwodorniania. Doświadczalne wytwórnie BTL już istnieją. Uzyskanie przemiany celulozy z biomasy roślinnej w płynne i gazowe formy energii, bez konwencjonalnej fermentacji, jest „świętym Graalem” biosyntezy paliw – potencjalnie może umożliwić wykorzystanie ziem marginalnych do produkcji upraw wieloletnich, cechujących się mniejszym zapotrzebowaniem energii, co pozwoliłoby na produkcję biomasy na ok. 20% powierzchni użytków rolnych [Schmer i wsp. 2007]. Praktyczne zastosowanie hydrolizy enzymatycznej jest dotychczas ograniczane wysokimi cenami enzymów. Proces hydrolizy jest „samoczynnie” hamowany przez powstające cukry, które powinny być jednocześnie fermentowane do alkoholu. Takie reakcje, będące zarazem scukrzaniem i fermentacją (SSF), są obecnie najbardziej wydajnym procesem (technologią). Nerozwiązanym zagadnieniem jest dobór termicznych warunków procesowych – obecne enzymy wymagają temperatury 50-55°C, a drożdże fermentacyjne 30-40°C. Polepszenie obecnie niezadowolającej jeszcze efektywności energetycznej procesów określanych mianem II-jej generacji jest uważane za całkowicie możliwe przez energetyczne wykorzystanie w procesach technologicznych produktów ubocznych (np. wyłoki z trzciny lub rzepaku). W USA obecne ceny bioetanolu z celulozy szacowane są na 2,5 \$ za galon, a z konwencjonalnego etanolu z ziarna kukurydzy na 1,65 \$ za galon.

Bilanse energetyczne i „ekologiczne” wytwarzania biopaliw transportowych I-jej generacji bioetanolu (z ziarna zbóż i kukurydzy- metody fermentacyjne) i biodiesla (oleje roślinne- metody estryfikacji) są przedmiotem rozlicznych analiz o rozbieżnych rezultatach [Babcock 2007]. W zastosowaniach bezpośrednich (tzn. bez uwzględniania w ocenach nakładów i energii zawartych w produktach dodatkowych czy ubocznych jak pasze w mokrym przemiale zbóż, wyłoki i gliceryna z estryfikacji, słoma) przeprowadzone analizy w większości wykazują w najlepszych przypadkach minimalną lub zerową efektywność energetyczną. Wielu autorów wykazuje wprost brak efektywności energetycznej bioetanolu i biodiesla (oprócz biopaliw produkowanych z surowców pozyskiwanych z obszarów subtropikalnych (trzcina cukrowa i olej palmowy). W połączeniu ze wspomnianą powyżej niską wydajnością z jednostki powierzchni wskazuje to na brak perspektyw upraw tych roślin w dłuższym okresie czasu. W opiniach wielu autorów utrzymywanie produkcji w obecnych uwarunkowaniach jest powodowane wyłącznie obowiązującymi systemami dopłat, bez uwzględniania rzeczywistych efektywności energetycznych. Niektórzy autorzy uważają, że „braki” w efektywności energetycznej podstawowych obecnie roślin (zboża, kukurydza, rzepak) mogą być rekompensowane przez ich ekstensywną uprawę na gruntach odłogowanych. Jednakże żadne z dotychczasowych obserwacji i badań nie potwierdza tego założenia. Bez odpowiednich nakładów, a zwłaszcza energochłonnego nawożenia azotowego, uzyskiwane plony nie rekompensują ponoszonych nakładów.

Pod względem efektywności ekologicznej biopaliwa I-jej generacji zdaniem autorów większości publikacji przynoszą pozytywne rezultaty w zakresie redukcji GHG emitowa-

nych przez silniki pojazdów (paliwa z olejów roślinnych 45-75%, bioetanol z cukrów 40-90% , a ze zbóż i kukurydzy 15-45%). Ale w odniesieniu do emisji GHG w całym cyklu wytwarzania i użytkowania biopaliw transportowych wyniki te nie są jednoznaczne, a często wręcz negatywne.

Wyniki dotychczas opublikowanych badań nad wytwarzaniem paliw II-iej generacji z biomasy (bioetanol z hydrolizy, BTL z pirolizy, metanol z syngazu i inn) nie upoważniają obecnie do przedstawienia jednoznacznych wniosków dotyczących efektywności energetycznej i ekologicznej tych nowych technologii. Wprawdzie spotyka się informacje o możliwości uzyskania plonu energii z jednostki powierzchni większego 3-4 razy od dotychczasowych technologii fermentacyjnych i estyfikacyjnych, ale nie znajdują one potwierdzenia w publikowanych wynikach badań. W odniesieniu do paliw wodorowych, zwłaszcza wykorzystujących biomasę do produkcji metanolu jako źródła energii w ogniwach paliwowych, można uznać, że wszystkie rezultaty badań wykazują ujemną efektywność energetyczną. Wydaje się, że w tym przypadku rozwiązaniem przyszłościowym jest wytwarzanie energii elektrycznej w elektrowniach nuklearnych, pomimo ogromnych nakładów inwestycyjnych i trudności z uzyskaniem akceptacji „społecznej”. Obecne ceny energii elektrycznej z siłowni nuklearnych i węglowych są porównywalne (30-60\$ za 1 MWh).

### **Biogaz i technologie zintegrowane**

Niedostatki i zastrzeżenia dotyczące długotrwałych efektów dotychczasowych metod pozyskiwania energii z biomasy spowodowały powtórne zainteresowanie się możliwością wykorzystania biogazu, wytwarzanego tradycyjnie z surowców trudnych do utylizacji i występujących w nadmiarze [Holm-Nielsen 2007]. Jednakże w przeciwieństwie do technologii sprzed 20-25 lat, kiedy podstawowym surowcem pochodzenia rolniczego były gnojowica, obornik, odpady organiczne różnego rodzaju i osady ściekowe, aktualne technologie zakładają wykorzystanie przede wszystkim „całości biomasy” roślinnej określane terminem BiOB (biomasa i odpady biodegradowalne). Za przydatne w warunkach europejskich, obok powyżej wymienionych surowców, uważane są wszystkie zboża, kukurydza, oleiste wraz ze słomą, porost z TUZ i obszarów odłogowanych, wyłoki z nasion oleistych, odpady organiczne z produkcji bioetanolu i cukru, gaz wysypiskowy z odpadów komunalnych itp. Ze względu na relatywnie niski koszt uzyskania biomasy największe nadzieje związane są z energetycznym wykorzystaniem porostu z TUZ, ale obecnie uzyskiwane plony rzeczywiste nie przekraczają 40% plonów z doświadczeń [Stuczyński i wsp. 2008]. Za najbardziej właściwe, docelowe rozwiązanie uważane są tzw. biorafinerie w których będzie można wytwarzać biogaz z zawartością metanu na poziomie 45-70%, biopaliwa (zwłaszcza bioetanol) oraz możliwie szeroką gamę produktów biochemicznych [Amon 2007]. Z 1 m<sup>3</sup> biogazu możliwe jest otrzymanie 2,1 kWh energii elektrycznej (sprawność 33%), 5,4 kWh ciepła (sprawność 85%), a przy wytwarzaniu skojarzonym 2,1 kWh energii i 2,9 kWh ciepła. W ocenach energetycznych należy uwzględnić, że ok. 25-30% pozyskiwanego surowego gazu jest wykorzystywane autogenicznie w procesach fermentacyjnych. W UE w roku 2006 biogaz stanowił równowartość energetyczną 6 Mtoe z propozycjami wzrostu do 12-15 Mtoe w roku 2020. W instalacjach doświadczalnych biogaz bywa stosowany jako 20% (i więcej) dodatek do gazu ziemnego, będącego podstawowym źródłem energii cieplnej, zapewniającym stabilność funkcjonalną. Do zalet tych nowych technologii

przetwarzania „globalnej biomasy” należy zaliczyć możliwość wykorzystania odpadowych (dodatkowych) produktów fermentacji w rolnictwie (obieg zamknięty). Takie „wszechstronne” wykorzystanie różnorodnej biomasy pozwala na maksymalne wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej i zmniejsza konkurencyjność obszarową „żywność czy energia”. Według niektórych autorów [Amon 2007, Holm-Nielsen 2007] poziom wykorzystania potencjału energii zawartego w biomacie do produkcji bioetanolu w takich rozwiązaniach jest co najmniej 2,5x wyższy ( w stosunku do klasycznych metod wytwarzania bioetanolu z ziarna zbóż metoda fermentacji). Zdaniem [Amon 2007] wykorzystanie 5% powierzchni UR UE przy plonach suchej masy 20 t s.m. z hektara rocznie pozwoliłoby na uzyskanie ok. 50 bilionów m sześciennych metanu, stanowiących równoważnik 45Mtoe. W kraju działa obecnie jedna biogazownia Poldanor w Pawłówkach k/Słupska, a w trakcie przygotowania do uruchomienia jest biogazownia Agrogaz – Kulczyk w Liszkowie działająca przy gorzelnii rolniczej, która ma wytwarzać energię elektryczną (2,1 MW).

## Podsumowanie i wnioski

1. Rolnictwo nie wytwarza energii – konieczna jest konwersja biomasy jako głównego energetycznego produktu rolniczego. Podstawowym warunkiem dalszego rozwoju energetyki rolniczej jest zapewnienie równowagi pomiędzy wykorzystywaniem przestrzeni i produkcji rolniczej do celów energetycznych a bezpieczeństwem żywnościowym przy skutecznym przeciwdziałaniu wzrostowi cen na produkty żywnościowe. Energetyczne wykorzystywanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej jest przyczyną niebezpieczeństwa zakłóceń na rynkach żywnościowych, czego wskaźnikiem jest m.in. obserwowany wzrost cen żywności wykazujący dalsze tendencje wzrostowe. Decyzje produkcyjne dotyczące energetycznych upraw rolniczych obecnie podejmowane są z wykorzystaniem rezultatów niepełnych analiz energetycznych i ekologicznych, często pod wpływem zmiennych uregulowań ekonomicznych (system dotacji).
2. Większość analiz wykazuje, że uprawy energetyczne powodują ujemne skutki środowiskowe, zwłaszcza w zakresie utrzymania bioróżnorodności. Biopaliwa efektywnie produkuje się w rejonach subtropikalnych, gdzie ochrona wartości przyrodniczych ze względów ekonomiczno-społecznych nie ma istotnego znaczenia, co powoduje wypieranie lasów deszczowych czy bagien przez te uprawy. Poziom ograniczenia emisji GHG w podstawowych technologiach produkcji biopaliw jest obecnie oceniany jako niejednoznaczny – tylko bioetanol z trzciny cukrowej (Brazylia) i z odpadowej celulozy (Szwecja) oraz biodiesel z tłuszczów zwierzęcych wykazują znacząco dodatni bilans redukcji GHG.
3. Światowa produkcja biopaliw w ostatnich kilku latach szacowana jest na 1-1,5% zużycia paliw transportowych. Zakładany wzrost do 10-12% będzie wywierał znaczący wpływ na gospodarkę. Wzrost cen paliw konwencjonalnych stwarza warunki ekonomiczne do produkcji biopaliw, zwłaszcza bioetanolu. Zastępowanie drogich biopaliw własnej produkcji przez import biomasy lub biopaliw nie poprawia bezpieczeństwa energetycznego. Za perspektywiczne uznawane są technologie wytwarzania biopaliw II-ej generacji, zwłaszcza z wykorzystaniem odpadowej celulozy i lignin. Dodatkowym bodźcem zwiększającym konkurencyjność biomasy jest powstanie rynku (handlu) emi-

sjami węgla, co pociąga za sobą ceny rolnicze. Ale podnoszenie cen rolniczych jest wydatnie wolniejsze od tempa wzrostu cen energii, wskutek czego rolnictwo narażone jest na potencjalne straty.

4. Obecny poziom produkcji rolniczej limitowany dostępnością przydatnych rolniczo obszarów i wody wskazuje na brak terenów dla rozwoju rolnictwa energetycznego w dotychczasowym konwencjonalnym (tradycyjnym) rozumieniu. Programowane czy planowane ilości biomasy pochodzenia rolniczego i leśnego w większości zakładają uzyskiwanie nierealnych pod względem przyrodniczym wielkości średnich plonów suchej masy. Opłacalna produkcja energii w zrównoważonym rolnictwie o charakterze tradycyjnym wymaga intensywnych, przemysłowych technologii, zapewniających uzyskanie plonów 8-12 t s.m. z hektara rocznie. Przeprowadzone w UE obliczenia symulacyjne zakładające uzyskanie 25% paliw transportowych z biomasy wykazały jednoczesny wzrost zużycia nawozów o 40%. Produkcja na obszarach odłogowanych, o niskiej produktywności 2-5 t s.m. ha<sup>-1</sup> jest nieopłacalna energetycznie i ekonomicznie (kosztowo).
5. Technologie wykorzystania biomasy do przetwarzania jej na energię cieplną i elektryczną należą obecnie do najtańszych i najbardziej przyjaznych dla środowiska. W tym przypadku ograniczeniem jest wielkość dostępnej bazy surowcowej (głównie drewno z lasów naturalnych i SRC) oraz konieczność wszechstronnego uwzględnienia transportu (paliwa, emisje, koszty). Spalanie biomasy w różnych formach to podstawowa historycznie forma jej wykorzystania. Przy rozpowszechnionym współspalaniu biomasy z węglem najbardziej efektywna jest biomasa z drewna. W UE i RP przewiduje się uzyskanie do 2025 r. 21% (15%) energii elektrycznej z biomasy.
6. Większość aktualnych opracowań uznaje, że energetyczne i racjonalne wykorzystanie potencjalnych zasobów rolnictwa wymaga dopracowania technologii umożliwiających całościowe, „globalne” wykorzystanie produktów rolniczych z uwzględnieniem produktów dodatkowych (np słomy) i odpadowych (gnojowica, osady ściekowe) z ewentualnym wykorzystaniem biogazu. Wytwarzanie biogazu z surowców roślinnych i odpadowych w części krajów UE nabiera coraz większego znaczenia. Biogaz traktowany jest głównie jako lokalne źródła energii dla CHP, ale z perspektywami dodawania (mieszania) go do europejskich sieci GN jako składnika obniżającego emisję GHG. Istotną barierę w rozwoju tych technologii są problemy związane z przewozem i składowaniem biomasy odpadowej oraz jej składem (zawartość części nieorganicznych).
7. Dobór i technologie produkcji upraw energetycznych powinny uwzględniać specyfikę, ograniczenia i wymagania środowiskowe określonego kraju czy regionu (tylko 7-8 krajów UE, w tym i Polska, dysponuje „wolnymi energetycznie” powierzchniami produkcyjnymi, pod warunkiem uwzględnienia cen na światowym rynku zbóż). Udział energii odnawialnej w ogólnym zużyciu energii pierwotnej przez RP w roku 2005 wg różnych źródeł oficjalnych wahał się od 5,42% do 7,2%, a osiągnięcie w roku 2020 udziału 20% jest uważane za nierealne. Możliwa wielkość tego udziału szacowana jest na 11-13%. Za właściwe kryterium należy uznać możliwości kraju, a nie odniesienie do PKB, jak zakłada to Komisja UE. Również swobodny handel na terenie UE zielonymi certyfikatami grozi wykupieniem ich przez państwa najbogatsze (cena 100 €/t CO<sub>2</sub>), tym bardziej, że dopuszczalny dla Polski limit emisji został obniżony o ok. 1/3 zgłoszonych potrzeb. Produkcja biomasy powinna być rozwinięciem (pochodną) aktualnych, zrównoważonych technologii rolniczych i leśnych. Za podstawowe warunki ogranicza-

jące uważane są powszechnie dostępność powierzchni uprawnych, uzyskiwane wydajności, koszty wytworzenia i transportu. W przypadku dalszego utrwalenia się dotychczasowej kilkuletniej tendencji utrzymywania się wysokich cen ropy i gazu należy liczyć się dużym prawdopodobieństwem konkurencyjności ropy z piasków i łupków (dotychczasowa cena „graniczna” 30-40 \$ za baryłkę ropy) i węgla (cena „graniczna” 40-45 \$), a w dalszej perspektywie również wodziany metanu a nawet Hel-3.

## Bibliografia

- Amon T.** 2007. Potential of Biogas Production from Sustainable Biorefinery Concepts Universität für Bodenkultur, Wien 30.05.2007 <http://www.forum-biogas.net>
- Babcock B.** 2007. The Long-Run Impact of Corn-Based Ethanol on the Grain, Oilseed, and Livestock. Presented at the Iowa Pork Congress, Des Moines, IA January 25, 2007.
- Booth E., Bell J., Mc Govern R., Hodsman L.** 2007. Review of the Potential for On Farm Processing of Various Non Food Crop Products National Non Food Crops Centre, May 2007 s. 117.
- Brzózka Z.** 2007. Gazy cieplarniane okiem chemika. e-mail: [brzozka@ch.pw.edu.pl](mailto:brzozka@ch.pw.edu.pl)
- Choluj D., Podlaski S., Wiśniewski G., Szmalec J.** 2008. Kompleksowa ocena biologicznej przydatności 7 gatunków roślin wykorzystywanych na cele energetyczne. Studia i raporty IUNG-PIB Zeszyt 11, Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. IUNG Puławy s. 82-99.
- Doornbosch R., Steenblik R.** 2007. Biofuels: is the cure worse than the disease? Round Table on Sustainable Development OECD Paris, 11-12 September 2007; SG/SD/RT(2007)3.
- Faber A.** 2008. Przyrodnicze skutki uprawy roślin energetycznych. Studia i raporty IUNG-PIB Zeszyt 11, Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. IUNG Puławy s. 43-52.
- Faber A., Kuś J.** 2007. Rośliny energetyczne dla różnych siedlisk. Wieś Jutra nr. 8-9. s 11-12. 9.
- Fehrenbach H., Reinhardt G.** 2007. Life cycle assessment of biofuels Workshop: Sustainable Biofuels - How to Certify Them? IFEU Berlin, February 9th 2007.
- Holm-Nielsen J. B.** 2007. The future of biogas in Europe: Vision and Targets 2020. University of Southern Denmark, Esbjerg, 14-16. June 2007 [www.sdu.dk/bio](http://www.sdu.dk/bio) & [www.acabs.dk](http://www.acabs.dk)
- Jadczyzyn J., Faber A., Zalewski A.** 2008. Wyznaczanie obszarów potencjalnie przydatnych dla uprawy wierzby i ślazuwca pensylwańskiego na cele energetyczne w Polsce. Studia i raporty IUNG-PIB Zeszyt 11, Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. IUNG Puławy s. 55-65.
- Kopetz H., Jossart J. M., Ragossnig H., Metschina C.** 2007. European Biomass Statistics 2007 AEBIOM, Bruksela s. 73.
- Kongshaug G.** 1998. Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production. Hydro Agri Europe, Norway.
- Krasowicz S.** 2008. Wpływ produkcji roślin energetycznych na rynek żywności. Studia i raporty IUNG-PIB Zeszyt 11, Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. IUNG Puławy s. 125-132.
- Kuś J., Stasiak M., Kawalec A.** 2008. Produkcyjność wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w różnych siedliskach. Studia i raporty IUNG-PIB Zeszyt 11, Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. IUNG Puławy s. 67-80.
- Majtkowski W.** 2007. Rośliny energetyczne na paliwo stałe. Wieś Jutra nr. 8-9 s. 16-18.

- Matyka M.** 2008. Opłacalność i konkurencyjność produkcji wybranych roślin energetycznych. Studia i raporty IUNG-PIB Zeszyt 11, Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. IUNG Puławy s. 113-123.
- Lapillonne B.** 2007. Energy efficiency: Striking the Balance the energy Future in an Interdependent World, Roma 12-15 November 2007.
- Lewandowski P.** 2006. Energia odnawialna na Pomorzu Zachodnim. Wyd. Hogben, Szczecin ISBN 83 -921923-0-3.
- Polasky S.** 2007. Bioeconomics of Biofuels: Environmental and Economic Consequences of Shifting Towards Renewable Biomass for Energy [www.ecosystemresearch.org/2007%20Meeting](http://www.ecosystemresearch.org/2007%20Meeting)
- Plotkowski L., Piekun J.** 2007. Lasy jako źródło biomasy dla celów energetycznych. Wieś Jutra nr. 8-9 s. 19- 21.
- Ramsay W.** 2007. Security of energy supply in the European Union International Energy Agency, Melnik ,31 maj 2007.
- Roszkowski A.** 2008. Efektywność energetyczna różnych sposobów produkcji i wykorzystania biomasy. Studia i raporty IUNG-PIB Zeszyt 11, Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. IUNG Puławy s. 102-111.
- Roszkowski A.** 2007. Technika rolnicza a GMO. Inżynieria Rolnicza nr.8(96) s. 219-224.
- Roszkowski A.** 2008. Energia a rolnictwo. Materiały IX Konferencji Naukowej Teoretyczne i Aplikacyjne Problemy Inżynierii Rolniczej. 19-22.06.07. Wrocław-Polanica s. 261-262. Inżynieria Rolnicza 4(102).
- Schmer M. R. , Vogel K. P., Mitchell R. B., Perrin R. K.** 2007. Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass Edited by Pamela A. Matson, Stanford University, Stanford, CA.
- Stuczyński T., Łopatka A., Faber A., Czaban P., Kowalik M., Koza P., Korzeniowska-Puculek R., Siebielec G.** 2008. Prognoza wykorzystania przestrzeni rolniczej dla produkcji roślin na cele energetyczne. Studia i raporty IUNG-PIB Zeszyt 11, Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. IUNG Puławy s. 25-42.
- Szymanowicz R.** 2007. Wytwarzanie energii odnawialnej w procesie wspólnego spalania biomasy i węgla. Biuletyn Naukowo-Techniczny Zakładów Pomiarowo-Badawczych Energetyki. Nr. 5 s. 741-748.
- Commission staff working document. 2008. Package of Implementation measures for the EU's objectives on climate change and renewable energy for 2020 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the EU greenhouse gas emission allowance trading system. Brussels, 27.2.2008; SEC(2008) 85 VOL. II.
- Commission of the European Communities - Commission Staff Working Document EU Energy Policy Data, Brussels, 10.10.2007; SEC(2007) 12.
- EPA. 2005. Emission Facts. EPA420-F-05-002.
- 2008 World Energy Outlook 2007. Wyd. OECD/MAE, Paris

## **BIOENERGY - WILL FIELDS AND FORESTS REPLACE COAL AND OIL?**

**Abstract.** The energy crisis. Restrictive factors and conditions of energetical utilization of agricultural and forestal biomass. Competitiveness of the food, limitation of agricultural, changes of prices. Organic biomass as the source of thermal and electric energy, raw materials for biofuels production, improvement of technologies, environmental restrictions. Quantitative prognoses for EU 27 and Poland. Perspectives of the energy from biomass, coal, hydrogen and nuclear energy

**Key words:** energy crisis, agricultural production , organic biomass, natural conditions, food market, heat and electric, effectivity conversion of biomass, advantages and ecological defects

**Adres do korespondencji:**

Andrzej Roszkowski; e-mail: [roszan@ibmer.waw.pl](mailto:roszan@ibmer.waw.pl)  
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa  
ul. Rakowiecka 32  
02-532 Warszawa