

Andrzej Roszkowski

*Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
w Warszawie*

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA RÓŻNYCH SPOSOBÓW PRODUKCJI I WYKORZYSTANIA BIOMASY

Wstęp

Perspektywa niedoborów energii powstających w wyniku wzrostu poziomu życia określanego poziomem PKB na osobę oraz zwiększenie liczby ludności powoduje, że energetyka staje się głównym obszarem inwestycji w nowe technologie (1, 6, 8, 12). Aktualne prognozy wykazują, że do roku 2050 zużycie energii na świecie podwoi się do poziomu 22 Gt_{oe}, a w samej Europie wzrośnie o blisko 40%. Za najbardziej energochłonny dość powszechnie uważany jest przemysł, tymczasem największe ilości energii zużywają gospodarstwa domowe (>40%) i transport (>30%). Obserwowane istotne zwiększenie ogólnego zapotrzebowania na energię jest wyraźnie uchwytne statystycznie, pomimo zwiększania efektywności energetycznej przez przemysł. Efektywność energetyczna przemysłu, według dostępnych danych dla USA i Japonii, w ostatnich 25-30 latach wzrosła dwukrotnie, a wzrost gospodarczy w USA, szacowany na 150%, spowodował wzrost zużycia ropy tylko o 25% (1, 6, 8). Znakomita większość analiz wykazuje bardzo wysokie prawdopodobieństwo zjawiska dotkliwego braku energii poprzedzonego szczytem jej zużycia. Ten szczyt, często określany „pikiem Hubberta”, wystąpi prawdopodobnie w ciągu najbliższych 20-30 lat (1, 5, 11).

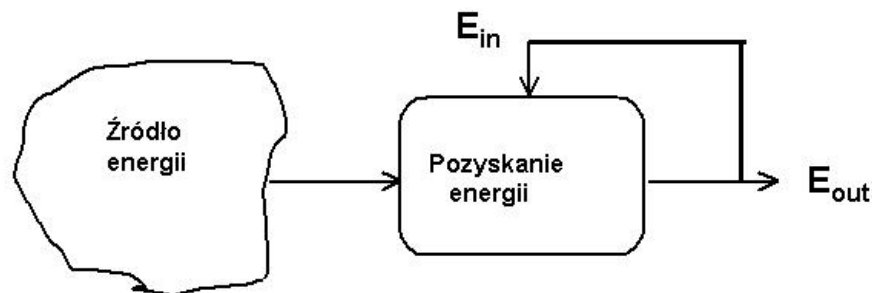
Wszystkie zasoby energetyczne Ziemi są pochodną energii promieniowania słonecznego, przekraczającej kilka tysięcy razy (!) zapotrzebowanie energetyczne świata. Jednak około 29% powierzchni Ziemi to lądy, a tylko około 19% to ziemie przydatne do uprawy, mogące „użytkować” docierającą energię promieniowania słonecznego do wytwarzania biomasy. Wskutek niskiej sprawności procesów fotosyntezy (maksimum 5-6%, średnio około 1%) rzeczywiste wykorzystanie energii słońca docierającej do powierzchni Ziemi nie przekracza ułamka procentu. W wyniku trwania tych procesów przez miliony lat doprowadziły one do powstania zapasów tradycyjnych źródeł energii w postaci węgla, ropy, gazu i materiałów rozszczepialnych. Te energetyczne „zapasy” Ziemi cechują się relatywnie dużą (w porównaniu z biomasą) koncentracją energii w jednostce masy czy objętości. Spodziewane wystąpienie kryzysu energetycznego spowodowało dążenie rozwiniętych gospodarek świata do wykorzystania odnawialnych źródeł energii, a zwłaszcza biomasy, do zastępowania kopalnych

zasobów energetycznych. Unia Europejska, zgodnie z ustaleniami „szczytu” energetycznego z marca 2007 r. i postanowieniami z marca 2008 r., zamierza do 2030 r. uzyskać po 20% energii elektrycznej i paliw transportowych ze źródeł odnawialnych (5, 6, 11). USA w tym samym okresie zamierzają zastąpić 30% ropy naftowej produktami pochodzącymi z biomasy (20% paliw transportowych, 5% energia elektryczna i 25% różnorodne produkty chemiczne (ropopochodne)). Jednakże doświadczenia kilkunastu ubiegłych lat dość jednoznacznie wykazują, że osiągnięcie zakładanych wskaźników zastępowania konwencjonalnych źródeł energii biomasą rolniczą czy leśną będzie niezwykle trudne lub wręcz niemożliwe (6, 9, 11). Najważniejszą przyczyną takich ocen są porównania nakładów energii włożonych (wydatkowanych) do uzyskanych, które w odniesieniu do biomasy i produktów z niej uzyskiwanych w bardzo wielu przypadkach wykazują wielkości ujemne. Jako dodatkowe przyczyny tego stanu wskazywane są ograniczenia powierzchni ziemi nadające się do produkcji biomasy (lasy deszczowe Brazylii, olej palmowy na Borneo) i możliwość wypierania upraw surowców żywnościowych wywołująca potencjalnie ujemne skutki społeczne w makroskali północ-południe i nie tylko (3, 8).

Mierniki efektywności energetycznej

W ocenach „całych” wyrobów zwykle stosuje się metodologię LCA (Life Cycle Assessment – pełny cykl życiowy) obejmującą sumę nakładów ponoszonych w całym cyklu użytkowania danego wyrobu od wytworzenia do utylizacji, z wyliczeniem lub przynajmniej oszacowaniem nakładów energetycznych, ekonomicznych (kosztów) i ekologicznych (usuwanie negatywnych lub uwzględnianie pozytywnych skutków oddziaływania na środowisko). W odniesieniu do biomasy, w porównaniach i ocenach jej przydatności energetycznej (pojmowanej, zgodnie z zasadami fizyki jako suma bezwrotnych strat energii pierwotnej) stosuje się różne metody wskaźnikowe, wykorzystujące stosunki liczbowe nakładów poniesionych do uzyskanych w całym lub częściowym cyklu wytwarzania bądź wytwarzania i użytkowania produktu (wyrobu). Dla ocen produktów o cechach nośników energii (ciepło, energia elektryczna) lub paliw, łącznie z różnymi formami biomasy, zazwyczaj stosuje się wskaźnik EROEI (Energy Returned on Energy Invested – wskaźnik zwrotu energii) tożsamy ze wskaźnikiem EROI (Energy Returned on Investment – wskaźnik zwrotu energii), schematycznie przedstawiony na rysunku 1 (5, 8, 12). Oprócz wskaźnika EROI stosowany jest także wskaźnik energii netto NEV (Net Energy Value), określany jako różnica pomiędzy ilością energii cieplnej uzyskanej w produkcji (wyrobie) a ilością energii cieplnej zużytej na wytworzenie tego produktu ($E_{out} - E_{in}$).

Ciepło jest formą energii, którą można wytwarzać wykonując pracę mechaniczną, a zużywając je można wykonać pracę proporcjonalną do jego ilości. Dlatego za podstawowy miernik ilości energii zazwyczaj przyjmuje się wartość cieplną (nie ciepło spalania!). Jednostką podstawową wartości cieplnej w układzie SI jest J (dżul) i jego wielokrotności oraz jednostki pochodne, takie jak W (Wat). Ze względu na energe-



$$\begin{aligned} \text{ERoI} &\Rightarrow \text{Energy Return on Investment} \\ \text{ERoEI} &\Rightarrow \text{Energy Return on Energy Investment} = \frac{E_{\text{out}}}{E_{\text{in}}} \\ \text{NEV} &\Rightarrow \text{NET Energy Value} = E_{\text{out}} - E_{\text{in}} \\ \text{FER} &\Rightarrow \text{Fossil Energy Ratio} = \frac{E_{\text{out}}}{E_{\text{fossil}}} \\ \text{FES} &\Rightarrow \text{Fossil Energy Savings} = E_{\text{out}} - E_{\text{fossil}} \end{aligned}$$

ERoI = (ERoEI) = wskaźnik zwrotu energii

NEV = Net Energy Value = wskaźnik energii netto

FES = (FER) = Fossil Energy Savings = wskaźnik zachowania energii nieodnawialnej

FER = Fossil Energy Ratio = wskaźnik zachowania energii nieodnawialnej

E_{out} = Energia pozyskana (użyteczna)

E_{in} = Energia włożona, nakład energii

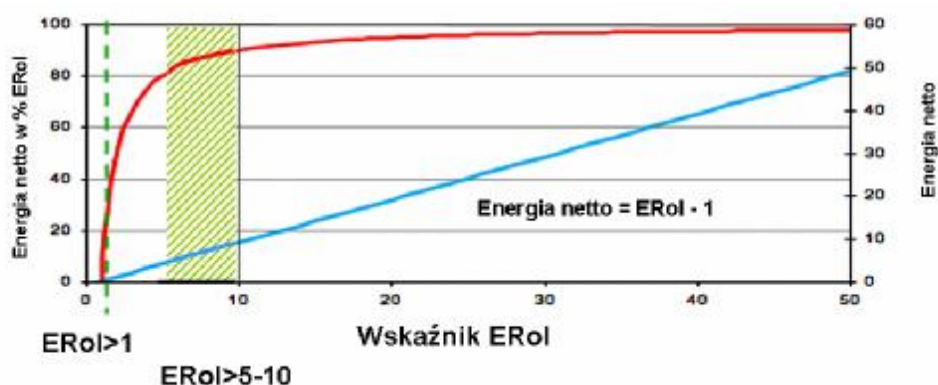
E_{fossil} = Energia zawarta (zużyta) w nośnikach nieodnawialnych (konwencjonalnych)

Rys. 1. Wskaźniki zwrotu energii (efektywności energetycznej)

Źródło: Opracowanie własne.

tyczną „uniwersalność” biomasy ocenę jej efektywności (sprawności) energetycznej zwykle wykonuje się dwuetapowo. W etapie I analizuje się i ocenia nakłady ponoszone na pozyskanie określonej ilości energii (równoważnika cieplnego) w biomasie (i jej składnikach), w etapie II analizie podlega ilość energii uzyskanej w końcowej postaci (formie), np. energii elektrycznej i ciepła. Przy obliczeniach wskaźników ERoI w I etapie dla różnych form czy postaci biomasy występują utrudnienia powodowane dużymi odchyleniami od wartości średnich płonów biomasy, jej wartości opałowej i stosowanych technologii przerobu czy wykorzystania (4, 6, 8). Trudności w ocenach energetycznych biomasy przeprowadzanych w etapie II polegają najczęściej na braku lub niedostatecznej znajomości danych dotyczących wartości cieplnych produktów dodatkowych, jak np. wyłoków i gliceryny z olejów roślinnych czy pasz powstających przy wytwarzaniu bioetanolu oraz nakładów koniecznych dla utylizacji odpadów (np. popiół przy spalaniu słomy).

Wielkość wskaźnika $ERoI < 1$ oznacza, że zużycie nośników energii na wytworzenie jednostki energii użytecznej jest większe niż ilość energii możliwej do pozyskania. Ze względu na relatywnie duże wahania wartości energetycznej za bezpieczną granicę przydatności energetycznej uznaje się wielkość $ERoI > 5-10$ (rys. 2). Wahania wartości energetycznej powodowane są istotnym zwiększaniem się nakładów energetycznych (i materiałowych) na uzyskanie konwencjonalnych, ale ciągle podstawowych nośników energii. Jako przykład może posłużyć wskaźnik $ERoI$ dla benzyny, który w roku 1950 wynosił 100, w roku 1970 tylko 25, a obecnie szacowany jest na 10. Zmiany te nastąpiły wskutek stale zwiększających się nakładów materiałowo-energetycznych na wydobycie i transport ropy naftowej, przy zachowaniu praktycznie stałej wartości energetycznej benzyn – $45 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (wartość cieplna w tym przypadku jest równoważna ciepłu spalania). Analogiczne zmiany zachodzą we wskaźnikach $ERoI$ dla węgla i gazu ziemnego. Pomimo tych różnic obliczeniowych i po części metodologicznych dane te wskazują na co najmniej wątpliwą efektywność energetyczną nośników energii pozyskiwanych czy wytwarzanych z biomasy. Przykładem skrajnych różnic poglądów jest wieloletnia polemika prowadzona w USA, poświęcona ocenom energetycznej celowości wytwarzania bioetanolu z kukurydzy (1). Wspomniane poprzednio perspektywy wyczerpywania się tradycyjnych, konwencjonalnych źródeł energii i podnoszenia się ich cen spowodowały powstanie nowych, dodatkowych wskaźników zachowania energii FES i FER (Fossil Energy Savings – wskaźnik zachowania energii nieodnawialnej i Fossil Energy Ratio – wskaźnik zachowania energii nieodnawialnej), obliczanych jako iloraz bądź różnica pomiędzy zużyciem energii nieodnawialnej (E_{out}) a odpowiednim zużyciem energii odnawialnej (E_{fossil}); (oszczędność nośników nieodnawialnych).



Rys. 2. Wskaźniki $ERoI$ i energii netto

Źródło: Opracowanie własne.

Wskaźniki efektywności

Istotnymi elementami ocen efektywności energetycznej biomasy są mierniki nieparametryczne, bardzo trudne do skwantyfikowania energetycznego. W literaturze przedmiotu podejmowano kilka prób ocen ilościowych „emergy”, ale działania te nie zostały uwieńczone powodzeniem w wycenie energetycznej. Jako jedynie możliwą do przyjęcia uznano metodę porównawczo-kosztową.

Takim czynnikiem ograniczającym energetyczne wykorzystanie biomasy jest kompleks warunków zapewniających bezpieczeństwo ekologiczne (bilans gazów szklarniowych, ochrona środowiska i krajobrazu, bioróżnorodność produkcji roślinnej i leśnej). W szacunkowych obliczeniach nie uwzględnia się zapotrzebowania na biomasę wynikającego z obligatoryjnego dążenia do 20% redukcji gazów cieplarnianych, zwłaszcza w energetyce przemysłowej (13). Emisje gazów cieplarnianych (GHG), w przeliczeniu na CO₂, powinny stanowić maksimum 35% emisji analogicznego produktu wytwarzanego z udziałem energii paliw kopalnych (gazu). Dodatkowym elementem utrudniającym skwantyfikowanie ocen energetycznych emisji GHG jest powstanie międzynarodowego (wg projektu UE) rynku (handlu) emisjami węgla, zwiększającym wprawdzie konkurencyjność biopaliw, ale i pociągającego za sobą ceny rolnicze.

Ostatnim elementem warunkującym energetyczne użytkowanie produktów rolnych jest konieczność produkowania żywności w warunkach ograniczonych zasobów powierzchni ziemi nadającej się do uprawy (6, 8, 12), przy jednoczesnym wzroście liczby ludności. Istotne znaczenie w tym przypadku ma zmiana preferencji żywnościowych ludności Chin i Indii (37% populacji). Produkcja rolnicza na cele energetyczne powinna być optymalizowana pod względem maksymalizacji efektywności energetycznej energii, a nie cech jakościowych dominujących w konwencjonalnym wytwarzaniu żywności i pasz. Wskutek aktualnych uwarunkowań ekonomicznych i legislacyjnych rynki energii zaczynają „kierować” rynkami rolniczymi. Takie tendencje potencjalnie zagrażają stosunkom białko–energia w produktach roślinnych już zauważalnych w rezultatach badań ziarna zbóż. Decyzje produkcyjne dotyczące energetycznych upraw rolniczych podejmowane są obecnie z wykorzystaniem rezultatów niepełnych analiz energetycznych i ekologicznych, często pod wpływem zmiennych uregulowań ekonomicznych (systemy dotacji). Prognozy dotyczące ilości biomasy pochodzenia rolniczego i leśnego w większości przypadków 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 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⁻¹ jest nieopłacalna energetycznie i ekonomicznie. Zasoby wody gruntowej (świeżej), której głównym konsumentem jest rolnictwo, to 10,5 Mkm³, co stanowi tylko 0,76% wody na świecie – reszta to wody słone.

Biomasa w energetyce przemysłowej

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 (tab. 1 i 2). 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 wy-

Tabela 1

Sprawność cieplna i efektywność energetyczna biomasy

Konwersja biomasy	Sprawność cieplna (100% = 1)	Wskaźnik oszczędności energii konwencjonalnej
Ciepło (spalanie)	0,25-0,35	4-15
Gazyfikacja odpadów, biogaz, CHP	0,20-0,30	
Biodiesel z rzepaku	0,80-1,10	2-3,2
Bioetanol z pszenicy i buraka cukr.	0,45-0,67	1,2-2,0
Bioetanol z ziarna kukurydzy	0,50-0,72	1,3-1,5
Bioetanol z lignocelulozy	0,26-0,56	4-5,3
Benzyna i olej napędowy	0,80	0,9

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 2

Kategoryzacja plonów energii w t_{0e} według średnich z lat 2003–2005 w UE 25

Plon rzecz. (toe/ha)	Postać energii użytecznej	Konwersja	Eout/Ein %	Rodzaj biomasy i plon (toe/ha)
3-6	ciepło ciepło i en. elektr. energia elektr. biogaz	termiczna termiczna termiczna fermentacja beztlenowa	70-90 30-90 25-30	drewno z lasów nat., SRC (wierzba, topola 3,5-3,6) miskant (4,8) kukurydza (3,9-4)
2-3	biopaliwa II gen.	termochemiczna (BTL) biochemiczna (rozkład enzymatyczny i hydroliza –SSF)	30-45 ? b.d.	wierzba (0,9-2,2) burak cukr. (2,9) kukurydza, trawy wieloletnie,
1-2	biopaliwa I gen.	fermentacja alkoholowa estryfikacja	50-60	kukurydza (1,5) pszenica (1,1) rzepak (1,0)

Źródło: Kopetz H. i in., 2007 (7).

nosi na ogół nie więcej jak 5-10% (sporadycznie do 20%) i z reguły nieznacznie obniża sprawność przemian ciepłych, 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 współpalaniu biomasy o wilgotności do 15% z 10% udziałem masowym sprawność kotłów i standardy emisyjne nie ulegają istotnym zmianom. W kotłach fluidalnych udział dobrej jakościowo biomasy może dochodzić do 20% (13). Użycie biomasy, zwłaszcza o gorszych parametrach wilgotnościowych, powoduje obniżenie sprawności (wzrost strat wylotowych i zwiększenie emisji NO_x). Zwraca uwagę niska efektywność utylizacji energetycznej biomasy z lasów naturalnych powodowana ograniczoną jej ilością (4-7 m³ z 1 ha rocznie). Przyczyną obniżonej efektywności jest konieczność ponoszenia nakładów na transport biomasy o niskiej koncentracji energii, a także 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 i skład chemiczny. Duże zapotrzebowanie na biomasę energetyczną z lasów naturalnych spowodowało, oprócz wzrostu cen i braków drewna jako surowca do innych celów, także dążenie do administracyjnych form ograniczeń jego pozyskiwania w Europie (1, 3). Podstawowym czynnikiem wymuszającym na energetyce przemysłowej zainteresowanie spalaniem biomasy jest ekonomiczny nacisk na ograniczenie emisji gazów szklarniowych („zielona energia”, „zielone certyfikaty”). Użycie biomasy z drewna pozwala na redukcję emisji GHG nawet o 70%, a spalanie słomy i siana (i materiałów podobnych technologicznie) o 65-75%. Ze względu na relatywnie wysoki poziom zinwentaryzowanych zapasów węgla (nie tylko w Polsce) oraz bardzo długi okres amortyzacji elektrociepłowni węglowych pozostanie on jeszcze przez wiele lat głównym źródłem przemiany energii cieplnej w elektryczną. Podejmowane dotychczas próby budowy elektrociepłowni wykorzystujących wyłącznie biomasę wykazały konieczność ponoszenia bardzo dużych 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 t s.m., co może być uzyskane z areалу co najmniej 500 ha. Przy 10% „gęstości” upraw energetycznych oznacza to powierzchnię 50 km².

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⁻¹, w zależności od rodzaju i cech biomasy (12). Pelety z biomasy, zwłaszcza z drzewa,

są bardzo rozpowszechnionym rodzajem opału w krajach północnej Europy. Zapotrzebowanie UE na pelety szacowane jest w r. 2020 na 50-80 Mt, co odpowiada 20-32 Mtoe.

Biomasa jako surowiec dla paliw płynnych

Wytwarzanie biopaliw transportowych I generacji, tj. bioetanolu (z ziarna zbóż i kukurydzy – metody fermentacyjne) i biodiesla (oleje roślinne – metody estryfikacji) jest przedmiotem rozlicznych analiz o rozbieżnych rezultatach. W zastosowaniach bezpośrednich (tzn. bez uwzględniania w ocenach nakładów i energii zawartych w produktach ubocznych, takich 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 (5, 6, 8). Wielu autorów wykazuje wprost brak efektywności energetycznej bioetanolu i biodiesla (oprócz biopaliw produkowanych z surowców pozyskiwanych z obszarów subtropikalnych – trzcina cukrowa i olej palmowy); (12). W połączeniu ze wspomnianą niską wydajnością z jednostki powierzchni wskazuje to na brak perspektyw uprawy tych roślin w dłuższym okresie czasu. W opiniach wielu autorów utrzymywanie produkcji w obecnych uwarunkowaniach jest powodowane wyłącznie obowiązującymi systemami dopłat, bez uwzględniania rzeczywistej efektywności energetycznej. Niektórzy autorzy uważają, że „braki” w efektywności energetycznej podstawowych 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 azotem, uzyskiwane plony nie rekompensują ponoszonych nakładów.

Pod względem efektywności ekologicznej biopaliwa I generacji, zdaniem autorów większości publikacji (3), przynoszą pozytywne rezultaty w zakresie redukcji GHG (paliwa z olejów roślinnych 45-75%, bioetanol z cukrów 40-90%, a ze zbóż i kukurydzy 15-45%).

Wyniki dotychczas opublikowanych badań nad wytwarzaniem paliw II generacji z biomasy (bioetanol z hydrolizy, BTL z pirolizy, metanol z syngazu i inne) 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 estryfikacyjnych, ale nie znajdują one potwierdzenia w publikowanych wynikach badań (4). Technologie wytwarzania paliw I generacji (biodiesel i bioetanol) są uznawane za nieperspektywiczne, a technologie II generacji za nie w pełni dopracowane. Bioetanol II generacji jest wytwarzany na drodze biochemicznej przez konwersję enzymatyczną celulozy i hemicelulozy do cukrów, hydrolizę cukrów i fermentację do alkoholu. Biopaliwa II 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 (10). Uzyskanie przemiany celulozy z biomasy roślinnej w płynne i gazowe formy energii, bez konwencjonalnej fermentacji, jest „świętym Graalem” biosyntezy paliw – potencjalnie może umożliwić wykorzystanie gruntów marginalnych do uprawy roślin wieloletnich, cechujących się mniejszym zapotrzebowaniem energii, co pozwoliłoby na produkcję biomasy na ok. 20% powierzchni użytków rolnych (11). 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. Wydatne polepszenie obecnej, niezadowolającej jeszcze efektywności energetycznej procesów określanych mianem II generacji uważane jest za możliwe przez energetyczne wykorzystanie w procesach technologicznych produktów ubocznych (np. wytloki z trzciny lub rzepaku). Aktualne w USA ceny bioetanolu z celulozy szacowane są na 2,5 \$ za galon, a z konwencjonalnego etanolu z ziarna kukurydzy na 1,65 \$ za galon. W odniesieniu do paliw wodorowych, zwłaszcza wykorzystujących biomasę do produkcji metanolu jako źródła energii w ogniwach paliwowych, obecnie wszystkie rezultaty badań wykazują ujemną efektywność energetyczną. Wydaje się, że w tym przypadku rozwiązaniem przyszłościowym jest wytwarzanie energii elektrycznej w elektrowniach nuklearnych i jej konwersja na paliwa wodoro-we, 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 (2, 4). 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. Za przydatne w warunkach europejskich, obok wymienionych surowców, uważane są wszystkie zboża, kukurydza, rośliny oleiste wraz ze słomą, masa roślinna pozyskiwana z trwałych użytków zielonych i obszarów odłogowanych, wytloki z nasion oleistych, odpady organiczne z produkcji bioetanolu i cukru, itp. Za najbardziej właściwe, docelowe rozwiązanie uważane są tzw. biorafinerie, w których będzie można wytwarzać biogaz o zawartości metanu na poziomie 60-75%, biopaliwa (zwłaszcza bioetanol) oraz możliwie szeroką gamę produktów biochemicznych. W instalacjach doświad-

czalnych biogaz bywa stosowany jako 20% (i więcej) dodatek do gazu ziemnego, będącego podstawowym źródłem energii cieplnej, zapewniającym stabilność funkcjonalną. Takie wszechstronne wykorzystanie różnorodnej biomasy pozwala również na maksymalne wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej i zmniejsza konkurencyjność obszarową w aspekcie „żywność czy energia”. Według niektórych autorów (2, 7) poziom wykorzystania potencjału energii zawartego w biomase do produkcji bioetanolu w takich rozwiązaniach jest co najmniej 2,5-krotnie wyższy (w stosunku do klasycznych metod wytwarzania bioetanolu z ziarna zbóż metodą fermentacji). Zdaniem B a b o c k a (2) wykorzystanie 5% powierzchni użytków UE przy plonach suchej masy 20 t s.m. z hektara rocznie pozwoliłoby na uzyskanie ok. 50 bilionów m³ metanu, stanowiących równoważnik 45 Mtoe.

Podsumowanie i wnioski

1. W ocenach efektywności energetycznej technologii pozyskiwania i konwersji biomasy rolniczej i leśnej stosuje się określone mierniki i wskaźniki. Posługiwanie się miernikami jest wystarczająco ściśle pod warunkiem sprecyzowania i ustalenia niezbędnych danych (porównawczych), natomiast użycie wskaźników wykazuje obecnie istotne braki i różnice w metodykach określania i porównywania. Decyzje produkcyjne dotyczące prowadzenia energetycznych upraw rolniczych podejmowane są z wykorzystaniem rezultatów niepełnych analiz energetycznych i ekologicznych, często pod wpływem zmiennych uregulowań ekonomicznych (systemy dotacji).

2. Obecny poziom produkcji rolniczej limitowany dostępnością przydatnych rolniczo obszarów i wody wskazuje na brak terenów dla rozwoju rolnictwa energetycznego w dotychczasowym konwencjonalnym (tradycyjnym) rozumieniu. W większości aktualnych opracowań uznaje się, że energetyczne i racjonalne wykorzystanie potencjalnych zasobów rolnictwa wymaga dopracowania technologii „energetycznych” umożliwiających całościowe wykorzystanie plonów rolniczych, z uwzględnieniem produktów ubocznych (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. Obecnie biogaz traktowany jest głównie jako lokalne źródło energii dla CHP, a uzasadnione propozycje dodawania (mieszania) go do europejskich sieci GN jako składnika obniżającego emisję GHG wydatnie powiększają jego perspektywy energetyczne.

3. Analiza dotychczasowych metod energetycznego wykorzystywania zasobów biomasy leśnej pozwala wyłącznie na potwierdzenie potencjału ich wysokiej wartości energetycznej. Główną właściwością 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. Z lasów UE uzyskuje się rocznie 415 Mm³ drewna, ale drewno opałowe stanowi tylko około 12-13%, zaś reszta przeznaczona jest do przerobu przemysłowego, zwłaszcza na papier i opakowania.

4. Dobór gatunków i technologie produkcji roślin 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). Produkcja biomasy powinna być rozwinięciem (pochodną) aktualnych, zrównoważonych technologii rolniczych i leśnych, z uwzględnieniem wymogów dotyczących ochrony środowiska, szczególnie emisji GHG. Posiadane zasoby naturalne nie powinny być umniejszane przez komercjalizację produkcji biomasy, zwłaszcza na terenach cennych przyrodniczo. Za podstawowe warunki ograniczające uważane są powszechnie dostępność powierzchni gruntów uprawnych i uzyskiwane wydajności roślin. W przypadku przedłużania się dotychczasowej 6-7-letniej tendencji do stałego wzrostu cen paliw ropopochodnych należy liczyć się z dużym prawdopodobieństwem konkurencyjności ropy wydobywanej z piasków i łupków, a nawet z wodzianów metanu, co może spowodować brak opłacalności ekonomicznej wytwarzania biomasy na cele energetyczne, zwłaszcza w warunkach wzrostu zapotrzebowania na przetworzoną żywność.

Literatura

1. A m o n T.: Potential of biogas production from sustainable biorefinery concepts. Universität für Bodenkultur, Wien, 2007, <http://www.forum-biogas.net>
2. B a b c o c k B.: The long-run impact of corn-based ethanol on the grain, oilseed, and livestock. Presented at the Iowa Pork Congress, Des Moines, IA, 2007.
3. B o o t h E., B e l l J., M c G o v e r n R., H o d s m a n L.: Review of the potential for on farm processing of various non food crop products. National Non Food Crops Centre, 2007, s. 117.
4. Commission of the European Communities. Commission Staff Working Document EU Energy Policy Data. Brussels, 10.10.2007; SEC(2007) 12.
5. D o o r n b o s c h R., S t e e n b l i k R.: Biofuels: is the cure worse than the disease? Round Table on Sustainable Development. OECD Paris, SG/SD/RT(2007)3.
6. H o l m - N i e l s e n J. B.: The future of biogas in Europe: Vision and Targets 2020. University of Southern Denmark, Esbjerg, 2007. www.sdu.dk/bio & www.acabs.dk
7. K o p e t z H., J o s s a r t J. M., R a g o s s n i c g H., M e t s c h i n a C.: European biomass statistics. AEBIOM, Bruksela, 2007, 73.
8. L a p i l l o n n e B.: Energy efficiency: striking the balance. The energy future in an interdependent world. Roma, 2007.
9. P o l a s k y S.: Bioeconomics of biofuels: Environmental and Economic. Consequences of Shifting Towards Renewable Biomass for Energy. www.ecosystemresearch.org/2007%20Meeting
10. R a m s a y W.: Security of energy supply in the European Union. International Energy Agency, Melnik, 2007.
11. R o s z k o w s k i A.: Technika rolnicza a GMO. Inż. Rol., 2007, **8(96)**: 219-224
12. R o s z k o w s k i A.: Energia a rolnictwo. Mat. IX Konf. Nauk. „Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej”, 2007, 261-262.
13. S z y m a n o w i c z R.: Wytwarzanie energii odnawialnej w procesie wspólnego spalania biomasy i węgla. Biul. Nauk.-Tech. Zakładów Pomiarowo-Badawczych Energetyki, 2007, **5**: 741-748.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Andrzej Roszkowski
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
ul. Rakowiecka 32
02-532 Warszawa
tel. (0-22) 542 11 00
e-mail: roszan@ibmer.waw.pl