

SUROWCE ENERGETYCZNE POCHODZENIA ROLNICZEGO CZ. II. BIOMASA JAKO PALIWO STAŁE (ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY)

Wojciech Budzyński, Stanisław Bielski
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Biomasę do bezpośredniego spalania może zapewnić wierzba krzewiasta, użytkowana w cyklach corocznych lub 2-3-letnich, a uzupełniająco niektóre introdukowane gatunki wieloletnie o fotosyntezie C₄, takie jak miskant cukrowy i spartina perio-wa, w mniejszym zakresie miskant olbrzymi i ślazowiec pensylwański. Wyniki badań nad innymi gatunkami, które również omówiono, nie upoważniają do formułowania zaleceń w tym względzie. Badania nad technologiami produkcji biomasy, szczególnie paliw sta-łych, a przede wszystkim jej przetwarzania są słabo zaawansowane. Dostępna literatura konstatuje potencjalną przydatność surowców do produkcji bioenergii bez rachunku ekono-miczno-energetycznego przedsięwzięcia.

Słowa kluczowe: energia odnawialna, biomasa, rośliny energetyczne, paliwa stałe

WSTĘP

Jest oczywiste, że odnawialne źródła energii nie zastąpią źródeł konwencjonalnych, ale mogą je uzupełniać. Czynnikiem ograniczającym jest rozproszenie energii odna-wialnej z biomasy i potrzeba stosunkowo dużych obszarów do jej pozyskiwania. Mię-dzynarodowa Agencja Energetyki ocenia, że do wyprodukowania 1 GWh energii elek-trycznej potrzeba ok. 60 ha rocznie plantacji energetycznych. Wydaje się, że energe-tyczne zastosowanie biomasy ma szczególne znaczenie w krajach o znacznym udziale rolnictwa w strukturze gospodarczej. Szczególne uzasadnienie mają lokalne instalacje, pracujące na potrzeby mniejszych grup odbiorców. Rolnictwo jest z jednej strony liczą-cym się producentem OZE, z drugiej – znaczącym konsumentem paliw i energii [Pluta 2001]. Prognoza IMBER przewiduje, że do 2020 roku udział odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym polskiej wsi i rolnictwa wzrośnie do 21,3% [Wójcicki

2003, Szeptycki i Wójcicki 2003], a więc do poziomu zapewniającego ponad 14% OZE w całym bilansie energetycznym kraju.

W terminie „rośliny energetyczne” mieszczą się wszystkie gatunki, które gromadzą odpowiednie ilości oleju lub węglowodanów jako produktów wyjściowych do wytwarzania nośników energii [Jeżowski 2001]. Za najważniejsze uważa się: rośliny drzewiaste szybkiej rotacji, krzewy i byliny szybko rosnące, rośliny trawiaste wieloletnie i plonujące corocznie oraz niektóre rośliny uprawne jednoroczne.

Najcenniejsze uprawy energetyczne powinny wyróżniać się wydajną zamianą energii promieniowania słonecznego na biomasę, a także charakteryzować się wysoką wartością suchej substancji. Szczególnie przydatne mogą tu być rośliny oszczędnie gospodarujące wodą, jak również odporne na choroby i niekorzystne warunki środowiskowe. Nie bez znaczenia jest też bilans energetyczny, uwzględniający relację nakładów ponoszonych na produkcję roślin i ilości energii uzyskanej w procesie spalania [Kowalik 1994, Praca pod red. Nalborczyka 1996, Jeżowski 2003, Kościak 2003].

SUROWCE DO BEZPOŚREDNIEGO SPALANIA

Wykaz gatunków uprawnych, mających lub mogących mieć zastosowanie w szeroko rozumianej energetyce, jest dość obszerny. Część z tych roślin została już opisana w literaturze na podstawie dość rozległych rodzimych badań naukowych, a nawet wdrożeń, część czeka na takie opracowanie, a niektóre są jedynie literaturową propozycją alternatywnego wykorzystania.

Drewno należy do liczących się nośników energii, szczególnie dla lokalnych grup odbiorców. Ma dobre właściwości energetyczne, które zależą przede wszystkim od jego wilgotności i gęstości, a w mniejszym stopniu od rodzaju i sposobu przygotowania. Wartość opałowa drewna absolutnie suchego wynosi $19,2 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1}$ s.m. i zmniejsza się wraz ze wzrostem wilgotności. Drewno świeże (50% wilgotności) ma o połowę niższą wartość opałową niż drewno suche. Spalając drewno ogranicza się znacznie emisję zanieczyszczeń do atmosfery w porównaniu ze spalaniem węgla kamiennego [Kozłowski 1999].

Drewno energetyczne może być wykorzystywane w różnej postaci, np. jako:

- odpady drzewne wcześniej wykorzystywane w innych celach (w leśnictwie, budownictwie; zniszczone skrzynie, palety itp.), rzadko z produkcji rolniczej;
- drewno opałowe, czyli pnie, gałęzie, korzenie i wierzchołki drzew, z reguły podzielone na 15-35 cm odcinki. Wilgotność zależy przede wszystkim od rodzaju surowca, czasu i sposobu przechowywania i waha się od 15 do 60%;
- zrębki – rozdrobnione drewno o długości do 5 cm. Są to pozostałości po wyрубkach drzewostanów, a także tartaczny produkt odpadowy. Obecnie najczęściej produkt z użytkowania wikliny na użytkach rolniczych;
- kora, trociny i wióry jako produkty uboczne przemysłu drzewnego, niejednorodne pod względem właściwości fizycznych i wilgotności;
- brykiety i pelet, których składnikiem jest rozdrobnione, suche drewno, sprasowane pod wysokim ciśnieniem, o bardzo niskiej wilgotności (ok. 10%). Drewno może pochodzić z przemysłu drzewnego lub z energetycznych surowców uprawy polowej.

Największe znaczenie spośród wymienionych form mają zrębki i tzw. pelet. Głównym źródłem peletu są uprawy energetyczne, szczególnie wierzba.

Szacuje się, iż znaczenie drewna jako nośnika energii wzrośnie, zwłaszcza w przypadku pozyskiwania surowca z plantacji celowo zakładanych na gruntach rolniczych lub na gruntach wyłączonych z produkcji żywności i pasz, a także na glebach marginalnych, szczególnie okresowo nadmiernie wilgotnych oraz zanieczyszczonych przez przemysł [Kowalik 1997, Szczukowski i in. 1998a, Praca pod red. Gradziuka 2003, Praca pod red. Kościka 2003].

Obecnie najczęściej wykorzystywanym gatunkiem do celów energetycznych jest wierzba konopianka (*S. viminalis* L. – wierzba wiciowa zwana wikliną) i jej mieszańce. Oprócz konopianki znaczenie energetyczne może mieć także wierzba migdałowa (*S. amygdalina* L.), długokończasta (*S. dasyclados* WIMM.) oraz liczne mieszańce międzygatunkowe. Odmiany używane do zakładania plantacji energetycznych powinny wyróżniać się przede wszystkim: bardzo dużymi przyrostami suchej masy drewna, szybkim odrostem pędów po zbiorze, odpornością na choroby i szkodniki, dużą wytrzymałością na wymarzenie oraz wysoką kalorycznością drewna. Podczas spalania drewna wierzbowego wydzielają się tylko nieznaczne ilości związków siarki i azotu, a powstający podczas spalania CO₂ jest ponownie asymilowany przez zielone części roślin. W nasadzeniach wierzby przeważają klony pochodzenia szwedzkiego i polskiego. W roku 2003 do Księgi Ochrony Wyłącznego Prawa do Odmiany w COBORU zgłoszono pierwsze trzy polskie odmiany (klony) wierzby energetycznej – Start, Sprint i Turbo [Szczukowski i in. 2004].

W zależności od warunków siedliskowych, odmiany i częstotliwości zbioru plony suchej masy wierzby wynoszą od 15 do 22 t·ha⁻¹ na rok. Z badań Szczukowskiego i in. [2004] wynika, że największe nakłady ponosi się w pierwszym roku uprawy. Koszt materiału sadzeniowego wynosi prawie 70% kosztów całkowitych założenia plantacji, ale rozkłada się on nawet na 24 lata eksploatacji. Najniższą energochłonność produkcji jednostki suchej masy zrębków, a także najwyższy wskaźnik efektywności energetycznej uzyskuje się w 3-letnim cyklu zbioru wierzby, na co wskazują wyniki przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Efektywność energetyczna uprawy wierzby w różnych cyklach zbioru [Szczukowski i in. 2004]

Table 1. Energy effectiveness of growing *Salix* sp. in different cycles of harvest [Szczukowski et al. 2004]

| Wyszczególnienie Item | Częstotliwość zbioru pędów Frequency of shoot harvest | | |
|---|--|----------------------------|----------------------------|
| | co rok every year | co 2 lata every 2 years | co 3 lata every 3 years |
| Nakłady energetyczne na uprawę, GJ·ha ⁻¹ Energy inputs for tillage, GJ·ha ⁻¹ | 12,2 | 18,4 | 30,1 |
| Plon suchej masy drewna, MJ·ha na rok Yield of dry matter of timber, MJ·ha for year | 14,9 | 16,1 | 21,6 |
| Energochłonność produkcji zrębków, GJ·Mg ⁻¹ s.m. Energy consumption of felling production, GJ·Mg ⁻¹ d.m. | 0,83 | 0,57 | 0,47 |
| Wartość energetyczna plonu, GJ·ha ⁻¹ Energy value of yield, GJ·ha ⁻¹ | 257 | 618 | 1 262 |
| Efektywność energetyczna* Energy effectiveness | 22,5 | 33,6 | 41,9 |

* stosunek wartości energetycznej plonu do nakładów energetycznych poniesionych na uprawę – ratio of yield energy value to tillage energy inputs

Jednak do pozyskiwania drewna co trzy lata (silnie zgrubiałych części nadziemnych) wymagane są specjalistyczne maszyny. Tymczasem Stolarski [2003] podaje, że zakup kombajnu do zbioru wierzby w cyklach dwu- i trzyletnich jest opłacalny dopiero przy eksploatacji 800 ha powierzchni plantacji.

Coroczne pozyskiwanie pędów polecane jest szczególnie w niewielkich gospodarstwach rolniczych. Przy produkcji wykorzystuje się znajdującą się na wsi siłę roboczą, a do zbioru można przystosować istniejący sprzęt rolniczy, np. zmodyfikowane siewkarnie do zbioru kukurydzy. Zbioru wierzby dokonuje się w okresie od grudnia do marca. Taki termin nie utrudnia organizacji pracy w gospodarstwie [Szczukowski i in. 2004].

Wiklinę można wysadzać na terenach zdegradowanych, o niskiej produktywności rolniczej i na nieużytkach. Pozwala na to głęboki system korzeniowy rośliny i łatwość, z jaką wierzba pobiera składniki pokarmowe z gleby [Praca pod red. Gradziuka 2003]. Bardzo dobre przystosowanie wierzby można uzyskać nawet na silnie toksycznych składnikach śmieci komunalnych [Szczukowski i in. 1998b]. Wierzbę wskazuje się jako bardzo dobry czynnik filtrujący i biodegradujący metale ciężkie z osadów ściekowych [Perttu 1993].

Wierzba krzewiasta może być spalana w specjalnie budowanych ciepłowniach drzewnych, ale także – na znacznie większą skalę – jako dodatek do tradycyjnych nośników (np. miału węglowego) spalanych w istniejących, dużych elektrociepłowniach. Wymaga to oczywiście przystosowań technicznych, ale przede wszystkim działań organizacyjno-logistycznych [Nowak i Sekret 2001, Grzybek 2004]. Szacuje się, że to zapotrzebowanie stworzy największy rynek biomasy wierzbowej [Żmuda 2004].

Nasadzenia wierzby energetycznej w Polsce wynoszą obecnie około 0,7 tys. ha. Według danych Departamentu Gospodarki Ziemią MRiRW do 2010 r. co najmniej 136-170 tys. ha użytków rolnych przeznaczony się pod uprawy energetyczne, przy założeniu intensywnych technologii i uwzględnieniu dotychczasowej sprawności technicznej urządzeń energetycznych (tab. 2). Oznacza to, że w 2010 r. około 1-1,2% gruntów ornych, a w 2020 około 1,7-2,2% powinno być objętych uprawami energetycznymi [Żmuda 2004].

Tabela 2. Szacowana powierzchnia upraw roślin energetycznych (MRiRW)

Table 2. Estimated area of energy plant cultivation

| Wyszczególnienie Item | Rok – Year | | | |
|---|------------|------|------|------|
| | 2006 | 2008 | 2010 | 2020 |
| Udział energii odnawialnej, % Renewable energy share | 3,6 | 5,0 | 7,5 | 14,0 |
| Powierzchnia, tys. ha – Area, th. ha: | | | | |
| minimalna – minimum | 65 | 90 | 136 | 253 |
| maksymalna – maximum | 81 | 113 | 170 | 317 |
| udział biomasy w OZE – biomass share in renewable sources of energy – 0,9 | | | | |
| udział upraw energetycznych w OZE z biomasy – share of energy plantations in renewable sources of energy from biomass – 0,7 | | | | |
| wydajność energetyczna 1 ha uprawy – energy efficiency per 1 ha of plantation – 400-500 GJ | | | | |

Obecnie istnieje już bogata literatura naukowa dotycząca wierzby energetycznej, opracowana, co warto podkreślić, na podstawie krajowych wyników badań. Niemniej jednak do najważniejszych – zdaniem autorów – nie rozwiązanych problemów siedliskowo-agrotechnicznych polowej uprawy krzewów i drzew szybko rosnących trzeba obecnie zaliczyć: wpływ bardzo intensywnej produkcji na egzogenną materię organiczną i jej reprodukcję w glebie, kwestię skutków degradującego wpływu nasadzeń na system melioracyjny pól (np. na Żuławach Wiślanych), określenie sposobu ochrony młodych nasadzeń przed uciążliwymi chwastami (np. powojowatymi), dobór genotypu do zróżnicowanych warunków siedliska, problemy wyboru sposobu nasadzeń i systemu użytkowania oraz naturalnego suszenia surowca i jego przechowywania, problem organizacji bazy surowcowej dla dużych elektrowni ciepłych.

Odrębnym i czasowo bardzo odległym zagadnieniem jest wykorzystanie biomasy wierzbowej przez gazyfikację lub pirolizę, a następnie spalanie w silnikach spalinowych lub turbinach.

Spośród drzew szybko rosnących na uwagę zasługują zwłaszcza topole. W Polsce występuje topola biała (*Populus alba* L.), czarna (*P. nigra* L.), osika (*P. tremula* L.) oraz mieszańce osiki i topoli białej – topola szara (*P. x canescens* Sm.). W uprawie występuje także kilka gatunków obcych i liczne mieszańce. Cechą charakterystyczną tej grupy jest duża zmienność cech morfologicznych liści, formy pnia oraz korony. Mimo szerokiego rozprzestrzenienia geograficznego mają podobne wymagania siedliskowe – doliny cieków i zbiorników wodnych. W odpowiednich warunkach siedliska topole są najszybciej rosnącymi drzewami strefy umiarkowanej półkuli północnej. Wytwórcze możliwości topoli o skróconym cyklu są w warunkach Polski znacznie większe niż wierzb. Obecnie nie zaleca się jeszcze zakładania plantacji produkcyjnych. Dylemat stanowi trwałość plantacji – czynnik decydujący o efekcie ekonomicznym. Wycinanie odrośli powoduje silny stres fizjologiczny i osłabia żywotność roślin. W Szwecji uzyskano odporne na choroby mieszańce topoli drżącej (*P. tremula* L.) i osiki amerykańskiej (*P. tremuloides* Michx.) o bardzo dobrych cechach technicznych drewna [Majtkowski 2003, Praca pod red. Kościka 2003].

W najbliższym czasie rozpoczną się badania nad celowością zakładania plantacji energetycznych robinii akacjowej (*Robinia pseudacacia* L.). Gatunek ten pochodzi z kontynentu północnoamerykańskiego i jest od dawna rozpowszechniony w Polsce. Drzewo to dorasta do wysokości ok. 25 m i odznacza się dużą zdolnością wydawania odrośli zarówno z pni, jak i korzeni. Robinia występuje w różnorodnych warunkach siedliskowych, nieodpowiednie są dla niej jedynie gleby ciężkie i podmokłe. Jest odporna na przymrozki wiosenne, dobrze znosi suszę i zanieczyszczenie powietrza. Dotychczasowe obserwacje wskazują na znaczne możliwości produkcyjne tej rośliny. Mimo to konieczne są dalsze badania w celu uzyskania rzetelnych wyników dotyczących produktywności i wierności plonowania w cyklu skróconym. Przy dotychczasowym stanie wiedzy zakładanie plantacji produkcyjnych nie jest polecane [Praca pod red. Kościka 2003].

Do najbardziej wydajnych traw wieloletnich, mogących stanowić wartościowe źródło surowców do produkcji energii odnawialnej, można zaliczyć niektóre z kilkudziesięciu gatunków rodzaju *Miscanthus*. Pochodzą one z Dalekiego Wschodu (głównie z Chin, Japonii oraz Indochin). Miskant olbrzymi (*Miscanthus giganteus* L.) jest mieszańcem tetraploidalnego gatunku *Miscanthus sacchariflorus* Maxim. i diploidalnego gatunku *Miscanthus sinensis* Anderss. Jest rośliną wieloletnią o fotosyntezie C₄, względnie małych wymaganiach glebowych, ale odznacza się wysoką produktywnością

suchej masy, dochodzącą do 30 t z ha. W porównaniu ze słomą zbóż i roślin wieloletnich wyróżnia się też kilkakrotnie mniejszą zawartością popiołu pozostającego po spalaniu. Potencjalne plony miskanta olbrzymiego dochodzą nawet do 50 t·ha⁻¹. Wartość energetyczna miskanta po spalaniu jest tylko nieco niższa od wartości drewna opałowego, a porównywalna do wartości opałowej słomy. Według Kalembasy i współautorów [2004a] wartość energetyczna miskanta jest zbliżona do wartości węgla, przy jednocześnie znacznie niższej zawartości siarki. Biomasa miskanta może służyć nie tylko jako zamiennik węgla, ale także jako surowiec do produkcji gazu opałowego i etanolu. Triploidalne klony miskanta tylko w niewielkim stopniu reagują na nawożenie NPK, po jego zastosowaniu zaobserwowano nawet obniżenie plonu części nadziemnych. Formy diploidalne natomiast bardzo wyraźnie zwiększają plony łodyg i liści pod wpływem nawożenia mineralnego [Kalembasa i in. 2004b]. W warunkach europejskich forma 2n nie rozmnaża się generatywnie, stąd nawet na skalę produkcyjną miskant rozmnażany jest przez intensywny podział kłaczy. Jest stosunkowo wrażliwy na niską temperaturę, szczególnie w pierwszym roku po posadzeniu. Najkorzystniejszym terminem zbioru są miesiące zimowe (luty, marzec), ze względu na obniżoną zawartość wody w roślinie. Ułatwia to mechanizację zbioru i przechowywanie zebranej masy. Okres użytkowania plantacji może dochodzić do 10-12 [Kościk i in. 2004], a nawet 15-20 lat [Roszewski 1996, Majtkowski 1998].

Wyniki badań Kościka i zespołu [2004] dowodzą jednak, że uprawa miskanta olbrzymiego gatunku może napotkać w Polsce poważne ograniczenia, głównie ze względu na niską zimotrwałość i wymagania świetlno-cieplne w 1. roku uprawy. Autorzy proponują uprawę gatunku *Miscantus sacchariflorus* Maxim. o podobnych walorach energetycznych, lecz o mniejszej zawadności. Opracowano główne zasady agrotechniki zarówno tego gatunku, jak i spartiny preriowej (*Spartina pectinata* Link.) [Kościk i in. 2003a].

Ta ostatnia pochodzi z Ameryki Północnej. Charakteryzuje się bardzo szerokim zasięgiem występowania. W środowisku naturalnym rośnie zarówno w miejscach o dużym uwilgotnieniu, jak i na terenach posusznych. Zarówno w pierwszym, jak i drugim roku uprawy wymaga gleb dobrze uprawionych i odchwaszczonych. Ze względu na to, iż jest to trawa luźnokępkowa, zwarty łan tworzy dopiero w trzecim roku. Gatunek ten znosi nawet silne zakwaszenie gleby. W warunkach Polski rozmnaża się wegetatywnie. Wprawdzie wytwarza dojrzałe nasiona, ale o niskiej zdolności kiełkowania. Zbiór najlepiej przeprowadzać nie wcześniej jak w lutym lub marcu (ze względu na późne zasychanie roślin). Wcześniejszy zbiór wymaga dosuszenia biomasy. Zbiór można przeprowadzać za pomocą kosiarki rotacyjnej i prasy zwijającej. Z powierzchni 1 ha można uzyskać od 17 do 29 ton suchej masy, którą można wykorzystać energetycznie w procesie spalania. *Spartina* jest odporna na niesprzyjające warunki siedliskowe i nadaje się do rekultywacji gleb zdewastowanych przez przemysł chemiczny [Majtkowski i in. 1996, Praca pod red. Kościka 2003, Kościk i in. 2004, Kowalczyk-Juško i Kościk 2004].

Palczatka Gerarda (*Andropogon gerardi* Vitman.) należy także do traw wieloletnich. Gatunek ten jest wrażliwy na zachwaszczenie, szczególnie w początkowych dwóch latach wegetacji. Może być uprawiany na glebach umiarkowanie wilgotnych, dobrze znosi warunki posuszne. Palczatka rozpoczyna wegetację dopiero w maju, a największe przyrosty notuje się od czerwca do sierpnia. Zbiór można przeprowadzić jesienią ze względu na wczesne zakończenie wegetacji (naturalne zaschnięcie). W zależności od żyzności gleby plon wynosi od 6 do 24 ton s.m. z hektara. Palczatka może być także

przydatna do rekultywacji terenów przemysłowych [Majtkowski 1998, Kościk i in. 2003b].

Przedstawione powyżej trawy charakteryzują się intensywną produkcją biomasy specyficznej dla gatunków o typie fotosyntezy C_4 . Różnice w budowie anatomicznej organów asymilacyjnych tych roślin są wynikiem przystosowania do wydajnego wiązania CO_2 w środowiskach o ograniczonej wilgotności, wysokiej temperaturze i silnym nasłonecznieniu. W warunkach klimatycznych Polski – typowych dla roślin C_3 – mogą wystąpić problemy z wydajnością. Trawy te nie są jeszcze rozpowszechnione w kraju, dlatego też należy rozszerzyć badania dotyczące technologii produkcji, zbioru i przetwarzania biomasy na energię. Nieliczne krajowe doświadczenia połowe pozwalają wstępnie ocenić, iż najbardziej rozwojowym gatunkiem jest miskant cukrowy [Kościk i in. 2003a]. Szybko tworzy zwarty łan odporny na zachwaszczenie, a także odznacza się wysoką potencjalną produkcją suchej masy. Najlepszym gatunkiem na gleby najslabsze wydaje się być spartina preriowa. Na stanowiskach ubogich jej plon przewyższa masę miskanta. W zestawieniu najgorzej wypada palczatka Gerarda ze względu na powolne tempo wzrostu po zimie i podatność na zachwaszczenie [Kościk i in. 2003b].

Kościk [2003] wskazuje na możliwości energetycznego wykorzystania plonów z naturalnych zbiorowisk trawiastych na trwałych użytkach zielonych, które z różnych przyczyn przestano użytkować paszowo. Podkreśla się bioróżnorodność takich zbiorowisk, brak zagrożenia inwazyjnego przez obcy gatunek, próśrodoewiskowy, mało intensywny sposób produkcji oraz stosunkowo wysoką efektywność energetyczną, szczególnie traw wysokich o dużym potencjale plonowania, takich jak: manna mielec, trzcina pospolita, mozga trzcinowata, kostrzewa trzcinowa i inne. Autorzy wyliczają, że przy plonie tylko 5 ton suchej masy z ha uzyskuje się energię rzędu 75 tys. MJ. Masę tę można wykorzystać także do fermentacji metanowej. Niestety nie ma w literaturze żadnych wyników badań porównujących realne nakłady energetyczne i ekonomiczne na pozyskiwanie i przetworzenie takiej masy z ich czystym efektem energetycznym i ekonomicznym.

Spośród bylin dwuliściennych uprawianych na cele energetyczne na uwagę zasługuje tylko kilka. Ślázowiec pensylwański albo Sida (*Sida hermafrodita* Rusb.) z rodziny *Malvaceae* jest gatunkiem zadomowionym u nas od lat sześćdziesiątych [Borkowska i Styk 1997]. Pochodzi z kontynentu północnoamerykańskiego i może być rozmnażany zarówno generatywnie, jak i wegetatywnie z podzielonych karp lub ukorzenionych sadzonek. Okres użytkowania ocenia się na 15-20 lat. Gatunek ten nie ma szczególnych wymagań i udaje się nawet na glebach piaszczystych, ale z dobrym uwilgotnieniem. Głęboki system korzeniowy i odporność na okresowe susze umożliwiają uprawę we wszystkich rejonach kraju. Roślina jest zdolna wytworzyć dużą masę nadziemną. Średni plon kształtuje się na poziomie 12 ton s.m. z ha, natomiast potencjalny dochodzi do 30 ton. W założeniach ślázowiec pensylwański miał być rośliną włóknistą. Jednak ze względu na niezadowalającą jakość włókna nie może on konkurować z podstawowymi roślinami włóknodajnymi. Wieloletniość nasadzeń oraz charakterystyczne właściwości ślázowca dotyczące pobierania metali ciężkich, a także podkreślana już wcześniej produkcja znaczących ilości biomasy wpływają na jej przydatność w energetyce. Do tego celu przeznaczone mogą być szczególnie łodygi zbierane zimą, gdyż zawartość suchej masy oscyduje w granicach 63-77%. Istnieje więc możliwość bezpośredniego spalania surowca bez konieczności dosuszania, tym bardziej, iż ciepło spalania łodyg cienkich ślázowca jest tylko o ok. 27% niższe od ciepła spalania drewna sosnowego [Borkowska i Styk 1997, Praca pod red. Kościka 2003].

Słonecznik bulwiasty (*Helianthus tuberosus* L.), czyli topinambur, może mieć różne zastosowania. Z racji dużej zdolności wiązania energii słonecznej i przetwarzania jej na masę biologiczną wyschnięte części nadziemne mogą być wykorzystywane w celach energetycznych do bezpośredniego spalania, do produkcji brykietów opałowych albo biogazu, a bulwy także do produkcji alkoholu. Topinambur wymaga gleb średnio żwizłych, przewiewnych, o dużej zawartości składników pokarmowych i dostatecznej wilgotności. Silnie rozwinięty system korzeniowy pozwala też na uprawę na gorszych stanowiskach, jak również na niezbyt zachwaszczonych odłogach. Ważną zaletą tego gatunku jest możliwość samoodnawiania się. Jest to szczególnie korzystne w miejscach trudno dostępnych, nie zachodzi bowiem konieczność corocznego sadzenia bulw. Gatunek ten ma wysoki potencjał produkcyjny. Na dobrych stanowiskach plon świeżej masy może dochodzić do 200 t·ha⁻¹, a plon samych bulw do 90 t·ha⁻¹. W badaniach krajowych łączny plon wyniósł ok. 110 t·ha⁻¹. Zbioru świeżej masy części nadziemnej można dokonywać nawet kilkakrotnie w sezonie wegetacyjnym [Góral 1998, 1999], co jednak ma niekorzystny wpływ na wydajność bulw.

Rdest sachaliński (*Polygonum sachalinense* Smidt.) pochodzi z Azji Wschodniej. Obecnie sadi się go w parkach jako roślinę ozdobną, gatunek słabo zadomowiony. Może być również wykorzystany na paszę, zawiera od 19 do 30% białka w suchej masie. Plon zielonej masy może wynosić od 18 do 40 t·ha⁻¹, największe plony uzyskuje się w 3.-4. roku uprawy. Aby zapewnić wysokie plony, plantację najlepiej jest prowadzić na glebach żyznych. Rdest rozmnażany jest wegetatywnie z części podziemnych. W naszych warunkach rozpoczyna wegetację dość późno, na przełomie kwietnia i maja. Rdest rośnie bardzo szybko, kończy wegetację wraz z nadejściem pierwszych przymrozków. Z uwagi na szybkie tempo wzrostu oraz wymagania glebowe roślina zasługuje na uwagę jako materiał energetyczny [Majtkowski i in. 1996].

Rdest japoński zwany też ostrokończystym (*Polygonum eupipidatum* Sieb. = *Reynoutria japonica* Houtt.) jest byliną rozmnażaną przez podział kłaczy, choć w sprzyjających warunkach termicznych może nawet wydawać owoce. Wydajność biomasy jest podobna jak u rdestu sachalińskiego. Jest jednak mniej wymagający, występuje w dużych skupiskach, nawet w skrajnie trudnych warunkach siedliskowych – płytkich glebach o niskim odczynie pH, przy dużej emisji gazów [Majtkowski i in. 1996].

Nie ma jednak badań potwierdzających użyteczność energetyczną biomasy rdestów, a tym bardziej zaleceń agrotechnicznych odnośnie uprawy energetycznej. Obydwa gatunki, a szczególnie rdest ostrokończysty, charakteryzują się dużą ekspansywnością, co w niektórych siedliskach może nabrać cech inwazyjności.

Pośród innych gatunków krzewiastych i bylinowych można wymienić trzcinnik piaskowy (*Calamagrostis epigeies* L.), rożnik przerośnięty (*Silphium perfoliatum* L.), różę bezkolcową (*Rosa pendulina* L. = *R. alpina* L.) i wydmuchrzycę groniastą (*Leymus racemosus* Lam.), które są omawiane w literaturze [Praca pod red. Jasiewicza 1987, Majtkowski i in. 1996, Praca pod red. Nalborczyka 1996, Kowalski 2000], ale zdaniem autorów mają one marginalne znaczenie energetyczne.

Wydajność energetyczna roślin jednorocznych jest z reguły niska. Energetycznie można jednak wykorzystywać produkty uboczne zasiewów krótkotrwałych, np. słomę, albo też całą biomasę roślinną. Taką szczególną formą użytkowania jednorocznych zbóż jest spalanie ziarna owsa i wykorzystanie jego energii w systemach ogrzewania domów. Z 1 ha uprawy owsa na lekkich glebach można uzyskać około 40-45 tys. MJ z ziarna i drugie tyle ze słomy. Ten system jest już w Polsce stosowany pilotażowo [www.glob-energy.pl].

Wartość opałowa suchej słomy zbożowej wynosi ok. 14-15 MJ·kg⁻¹ [Grzybek i in. 2001]. Oznacza to, że 1,5 tony słomy równoważy energetycznie 1 tonę węgla kamiennego (tab. 3). W porównaniu z innymi słoma jest „niewygodnym” surowcem energetycznym. Jest materiałem niejednorodnym, o dużej objętości i niższej wartości energetycznej. W Polsce pracuje 70 kotłowni na słomę. Niskie „nasylenie energetyczne” słomy w stosunku do innych nośników podraża koszty inwestycyjne takich ciepłowni, co jest – progresywnie – łagodzone bardzo niskimi kosztami pozyskiwania tego biopaliwa. W rozrachunku końcowym efektywność końcowa ogrzewania słomą jest o około 7% korzystniejsza od węgla, 48% od gazu i 53% od oleju [Gradziuk 1999].

Tabela 3. Porównanie wartości opałowej niektórych nośników energii (według różnych źródeł)
Table 3. Comparison of calorific value of some energy carriers (according to different sources)

| Wyszczególnienie Item | Wartość opałowa, MJ·kg ⁻¹ s.m. Calorific value, MJ·kg ⁻¹ d.m. |
|---|--|
| Węgiel kamienny – Pit-coal | 18,8-29,3 |
| Wierzba krzewiasta – <i>Salix</i> sp. | 18,6-19,9 |
| Miskant olbrzymi – <i>Miscantus giganteus</i> | 19,2 |
| Spartina preriowa – <i>Spartina pectinata</i> | 16,8 |
| Sida pensylwańska – <i>Sida hermafrodita</i> | 14,5 |
| Słoma zbożowa – Cereal straw | 14-15 |

Trzeba podkreślić, że na cele energetyczne mogą być przeznaczone wyłącznie gospodarskie nadwyżki słomy. Bezwzględny priorytet winna mieć konieczność równowagi słomą bilansu glebowej materii organicznej. Rozmiary niekorzystnych zmian w zakresie reprodukcji materii organicznej w glebie (zmniejszenie zasobów próchnicy, obniżenie zdolności sorpcyjnych) budzą niepokój o zachowanie ich zdolności produkcyjnej [Harasimowicz-Hermann i Hermann 2004].

Na zakończenie trzeba podkreślić, że wykorzystaniu zasobów lokalnych biomasy sprzyja decentralizacja struktur energetycznych [Grzybek 2003]. Aby zapoczątkować realizację tej idei, należy tworzyć regionalne i lokalne (np. gminne) zwarte koncepcje integrowanego gospodarowania energią pochodzącą z różnych źródeł. Koncepcja taka pozwala na kompleksowe ujęcie ważkich problemów gospodarczych, środowiskowych oraz społecznych i socjalnych. Powstają już lokalne rynki biomasy [Grzybek 2004]. Analizowane są pierwsze projekty zintegrowanego gospodarstwa rolnego wykorzystującego energię odnawialną, zakładające autonomię energetyczną opartą na pełnym wykorzystaniu wszystkich dostępnych źródeł przyjaznej energii [El Bassam i Jeżowski 2004].

PODSUMOWANIE

Energia biomasy przez wiele lat decydować będzie o wypełnieniu przez Polskę zobowiązań międzynarodowych, związanych ze zwiększeniem udziału OZE w ogólnym bilansie energetycznym kraju. Należy się spodziewać bardzo wyraźnego wzrostu zapotrzebowania na energię. MRiRW szacuje, że do 2010 r. 1-1,2% , a do 2020 – nawet 2,2% gruntów ornych powinno być przeznaczone pod uprawy roślin energetycznych.

Biomasę do bezpośredniego spalania, w tym także skojarzonego z wytwarzaniem ciepła i energii elektrycznej, winny zapewnić nasadzenia przede wszystkim wierzby krzewiastej użytkowanej w cyklach corocznych lub 2-3-letnich, a uzupełniająco niektóre introdukowane gatunki wieloletnie o fotosyntezie typu C₄, takie jak miskant cukrowy i spartina preriowa, być może także miskant olbrzymi i ślázowiec pensylwański. Potwierdzenie ich przydatności do produkcji energii nie oznacza, że opracowano już całe technologie wytwarzania biomasy bądź jej przetwarzania. Do rozwiązania pozostaje wiele problemów agrotechnicznych, które starano się zasygnalizować w tekście.

Wyniki wstępnych badań krajowych z innymi gatunkami nie pozwalają na formułowanie ostatecznych wniosków o ich przydatności energetycznej w warunkach Polski.

PIŚMIENNICTWO

- Borkowska H., Styk B., 1997. Ślázowiec pensylwański (*Sida hermafrodita* Rusb). Uprawa i wykorzystanie. Wyd. AR Lublin.
- El Bassam N., Jeżowski S., 2004. Wykorzystanie energii odnawialnej ze szczególnym uwzględnieniem biomasy alternatywą dla zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich. Mat. konf. Nowe aspekty hodowli i technologii uprawy buraka cukrowego oraz traw na cele energetyczne, Bydgoszcz – Zacisze, 8-9.
- Góral S., 1998. Zmienność morfologiczna i plonowanie wybranych klonów słonecznika bulwiastego – topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.). Hod. Rośl. Nasien. 2, 6-10.
- Góral S., 1999. Słonecznik bulwiasty – topinambur. Uprawa i użytkowanie. Wyd. IHAR Radzików.
- Gradziuk P., 1999. Analiza kosztów i efektywności wykorzystania słomy na cele energetyczne w gospodarstwach rolnych. Rocz. Nauk Roln. G 88, 159-165.
- Grzybek A., 2003. Kierunki zagospodarowania biomasy na cele energetyczne. Wieś Jutra 9, 10-11.
- Grzybek A., 2004. Logistyka zaopatrzenia elektrociepłowni w biomasę. Wieś Jutra 8-9, 15-17.
- Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K., 2001. Słoma energetyczne paliwo. Wyd. Wieś Jutra.
- Harasimowicz-Hermann G., Hermann J., 2004. Reprodukacja glebowej materii organicznej w uprawie roślin energetycznych. Mat. konf. Nowe aspekty hodowli i technologii uprawy buraka cukrowego oraz traw na cele energetyczne, Bydgoszcz – Zacisze, 15.
- Jeżowski S., 2001. Rośliny energetyczne – ogólna charakterystyka, uwarunkowania fizjologiczne i znaczenie w produkcji ekopaliwa. Post. Nauk Roln. 2, 18-27.
- Jeżowski S., 2003. Rośliny energetyczne – produktywność oraz aspekt ekonomiczny, środowiskowy i socjalny ich wykorzystania jako ekopaliwa. Post. Nauk Roln. 3, 61-73.
- Kalembasa D., Malinowska E., Jaremko D., Jeżowski S., 2004a. Wpływ klonu i fazy rozwojowej na zawartość siarki w biomasie trawy *Miscanthus*. Mat. konf. Nowe aspekty hodowli i technologii uprawy buraka cukrowego oraz traw na cele energetyczne, Bydgoszcz – Zacisze, 15-16.
- Kalembasa D., Malinowska E., Jaremko D., Jeżowski S., 2004b. Wpływ nawożenia NPK na strukturę plonu trawy *Miscanthus*. Mat. konf. Nowe aspekty hodowli i technologii uprawy buraka cukrowego oraz traw na cele energetyczne, Bydgoszcz – Zacisze, 16-17.
- Kościk B., Kowalczyk-Juško A., Kościk K., 2003a. Uprawa Miskanta Cukrowego i Spartiny Preriowej. Ogniwa paliwowe i biomasa lignocelulozowa szansą rozwoju wsi i miast. WSISiZ Warszawa.
- Kościk B., Kowalczyk-Juško A., Kościk K., 2003b. Badania nad uprawą wieloletnich gatunków traw z przeznaczeniem na cele energetyczne. Ogniwa paliwowe i biomasa lignocelulozowa szansą rozwoju wsi i miast. WSISiZ Warszawa.
- Kościk B., Kowalczyk-Juško A., Kościk K., 2004. Plantacje energetyczne traw wieloletnich. Wieś Jutra 3, 56-57.

- Kowalczyk-Juško A., Kościak B., 2004. Technologia uprawy i wykorzystanie na cele energetyczne wybranych gatunków traw wieloletnich. Mat. konf. Nowe aspekty hodowli i technologii uprawy buraka cukrowego oraz traw na cele energetyczne, Bydgoszcz – Zacisze, 18.
- Kowalik P., 1994. Potencjalne możliwości energetycznego wykorzystania biomasy w Polsce. Gospodarka paliwami i energią 3, 9-12.
- Kowalik P., 1997. Światowe tendencje w wykorzystaniu biomasy do produkcji ciepła, elektryczności i paliw samochodowych. Gospodarka paliwami i energią 1, 2-5.
- Kowalski R., 2000. Analiza składu chemicznego organów nadziemnych i podziemnych różnika przerośniętego *Sylphium perfoliatum* L. SGGW Warszawa (praca doktorska).
- Kozłowski R., 1999. Drewno jako surowiec energetyczny w gospodarstwie domowym. Wieś Jutra 1, 21-22.
- Majtkowski W., 1998. Przydatność wybranych gatunków traw C₄ do upraw alternatywnych w Polsce. Hod. Rośl. Nasien. 2, 41-44.
- Majtkowski W., 2003. Rośliny energetyczne – przegląd. Czysta energia 10, 33-34.
- Majtkowski W., Podyma W., Góral S., 1996. Gatunki roślin do rekultywacji terenów zdegradowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną. Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii. Wyd. SGGW Warszawa, 136-148.
- Nowak W., Sekret R., 2001. Wykorzystanie biomasy w procesie fluidalnego spalania węgla. Gospodarka paliwami i energią 8, 2-9.
- Perttu K.L., 1993. Biomass production and nutrient removal from municipal wastes using willow vegetation filters. Journal of Sustainable Forestry 1(3), 57-70.
- Pluta Z., 2001. Ekologiczne i społeczne skutki wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Ciepłownictwo, ogrzewnictwo, wentylacja 7-8, 8-12.
- Praca pod red. P. Gradziuka, 2003. Biopaliwa. Wyd. Wieś Jutra.
- Praca pod red. B. Kościaka, 2003. Rośliny energetyczne. Wyd. AR Lublin.
- Praca pod red. A. Jasiewiczza, 1987. Flora Polski. Rośliny naczyniowe. T. V, PWN Warszawa, 17-19.
- Praca pod red. E. Nalborczyka, 1996. Nowe rośliny uprawne i perspektywy ich wykorzystania. Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii. Wyd. SGGW Warszawa, 5-20.
- Roszewski R., 1996. Miskant olbrzymi – *Miscantus sinensis giganteus*. Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii. Wyd. SGGW Warszawa, 122-135.
- Stolarski M., 2003. Wszystko o wierzbie. Czysta energia nr 10: 32-33.
- Szczukowski S., Tworowski J., Kwiatkowski J., 1998. Możliwości wykorzystania biomasy *Salix* sp. pozyskiwanej z gruntów ornych jako ekologicznego paliwa oraz surowca do produkcji celulozy i płyt wiórowych. Post. Nauk Roln. 2, 53-63.
- Szczukowski S., Tworowski J., Stolarski M., 2004. Wierzba energetyczna. Plantpress Kraków.
- Szczukowski S., Tworowski J., Wiwart M., Przyborowski J., 1998. Wiklina (*Salix* ssp.). Uprawa i możliwości wykorzystania. Wyd. ART Olsztyn.
- Szeptycki A., Wójcicki Z., 2003. Postęp technologiczny i nakłady energetyczne w rolnictwie do 2020 r. Wyd. PTiR Kraków, 1-96.
- Wójcicki Z., 2003. Potencjał odnawialnych zasobów energii w rolnictwie. Wieś Jutra 2, 8-10.
- Żmuda K., 2004. Rozwój produkcji biopaliw w świetle regulacji prawnych. Wieś Jutra 8-9, 6-9. <http://www.glob-energy.pl>.

ENERGY RESOURCES OF AGRICULTURAL ORIGIN
PART II. BIOMASS AS A SOLID FUEL
(REVIEW)

Abstract. Biomass for direct combustion can be obtained from short rotation willow coppice harvested in annual or 2-3 year cutting cycles and as a supplement, from some perennial crops of C₄ photosynthesis as miscant and spartina and, on a smaller scale, also from Virginia mallow. The results of studies into other potential energy crops discussed do not seem to recommend them. The research into biomass production technologies, especially solid fuels processing, are less advanced. The reports show a potential application of selected crops to production of bioenergy usually neither with a precise technical solution nor with a financial and energy analysis of the project as a whole.

Key words: renewable energy, biomass, energy crops, solid fuels

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 10.11.2004