

Grzegorz Żurek, Danuta Martyniak
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Państwowy Instytut Badawczy,
Zakład Traw, Roślin Motylkowatych i Energetycznych, Pracownia Traw Pozapaszowych i Roślin Energetycznych,
Radzików, 05 – 870 Błonie,
e-mail: g.zurek@ihar.edu.pl

BIOENERGETYKA – MOŻLIWOŚCI I PERSPEKTYWY PRODUKCJI ENERGII Z TRAW WIELOLETNIICH W GOSPODARSTWACH ROLNICZYCH

Wstęp

Przeciwdziałanie ociepleniu klimatu ściśle związane jest z redukcją emisji głównego sprawcy ocieplenia – dwutlenku węgla. Jedną z metod ograniczenia koncentracji CO₂ w atmosferze jest pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych. Wykorzystuje się w ten sposób energię wiatru, wody, prądów i pływów morskich oraz słońca. Z tej ostatniej korzystać można zarówno bezpośrednio za pomocą ogniw fotowoltaicznych jak i pośrednio – odyskując energię słoneczną nagromadzoną podczas procesu fotosyntezy w roślinach.

Człowiek od zarania dziejów wykorzystywał energię słoneczną nagromadzoną w roślinach, bezpośrednio je konsumując lub paląc. Od czasów pierwszego ogniska niewiele się w zasadzie zmieniło. Biomasa roślin nadal jest palona, choć obecnie proces ten odbywa się w wysoko zaawansowanych urządzeniach o wysokim stopniu sprawności. Dzięki postępowi technicznemu potrafimy obecnie pozyskać energię z roślin przetwarzając je również na paliwa płynne (biodiesel, alkohol metylowy itp.), gaz (biogaz) czy substytut węgla kamiennego – tzw. biokarbon. Energię można pozyskiwać ze wszystkich roślin, zarówno ze zbóż, ziemniaków, buraków cukrowych itp. jak również roślin wieloletnich jak drzewa, trawy czy byliny dwuliścienne.

Energetyczne wykorzystanie biomasy pochodzenia roślinnego jest obecnie jedną z najbardziej realnych możliwości produkcji energii przez rolnika. Dostęp do energii wiatrowej, wodnej czy solarnej nie jest obecnie tak łatwy i szybki jak do energii zgromadzonej w biomacie. Uwzględniając wartość energetyczną np. drewna, słomy zbóż czy traw wieloletnich, na wyprodukowanie równoważnika energetycznego 10 ton węgla potrzeba od 15 do 18 ton suchej masy roślinnej. Plony tej wielkości można uzyskać z ok. 1.5 – 2.5 ha upraw roślin na cele energetyczne. Oprócz niezbędnych inwestycji, związanych z założeniem uprawy (o czym w dalszej części artykułu) producent musi również zainwestować w urządzenia do przerobu (rozdrabniacze lub rębaki, pleciarki lub brykieciarki) oraz konwersji biomasy na energię (specjalne piece). Inwestycje tego typu zwracają się jednak w ciągu kilku lat i zapewniają „indywidualne bezpieczeństwo energetyczne” całkowicie niezależne od aktualnych uwarunkowań rynkowych czy politycznych. Koszty niektórych elementów „bioenergetycznego ciągu technologicznego”, takich jak np. brykieciarki czy rębaki, można rozłożyć na grupę producentów rolnych, sołectwo itp. Niniejsze opracowanie ma zachęcić producentów do podjęcia się tego, wciąż jeszcze nowego rodzaju produkcji w oparciu o dostępne im zasoby ziemi i urządzeń.

Lokalizacja

Produkcja biomasy na cele energetyczne może być prowadzona wszędzie tam, gdzie realizowana jest typowa działalność rolnicza. Jednakże obecnie, wraz z utrzymującym się wzrostem liczebnym populacji ludzkiej, dąży się do przeznaczania gruntów uprawnych tylko na produkcję żywności. Do zagospodarowania na cele energetyczne pozostają zatem tereny, na których z różnych przyczyn nie można produkować żywności. Są to obszary gleb najgor-

Tabela 1. Powierzchnia gruntów nieprzydatnych do produkcji żywności

Kategoria	Powierzchnia [tys. ha]
nieużytki	500,0
grunty zdewastowane i wymagające rekultywacji	64,0
grunty orne, najśłabsze (klasy V – VI) *	1 700,0
użytki zielone, słabe i b. słabe (klasy V – VI)*	1 400,0
łącznie	3 664,0

(*) – produkcja żywności nieopłacalna z uwagi na naturalne deficyty wody, składników pokarmowych itp.

szej jakości, zdewastowanych, wymagających rekultywacji bądź skrajnie ubogich. Według danych GUS (2012) oraz Wocha (2007) łączna powierzchnia gruntów, które spełniają te kryteria to ok. 3664 tys. ha (tabela 1).

Szacuje się, iż przy uwzględnieniu licznych uwarunkowań ekonomicznych i produkcyjnych (potrzeby wodne roślin, rozkład pól, logistyka produktu końcowego itp.) na potrzeby tzw. bioenergetyki można w naszym kraju przeznaczyć 340 tys. ha (Pudełko i Faber, 2010). Planowanie produkcji biomasy na cele energetyczne musi być poprzedzone określeniem podstawowych parametrów stanowiska, determinujących dalszy wzrost roślin. Należy określić skład mechaniczny gleby, jej odczyn, zasobność w makro- i mikro pierwiastki oraz materię organiczną, poziom wód gruntowych, oraz jeśli istnieje uzasadnienie podejrzenie skażenia gleby - zawartość metali ciężkich (np. ołowiu, kadmu, chromu, rtęci, cynku). Pobieranie tych substancji przez rośliny, i tym samym, odkładanie ich w biomacie uniemożliwia dalsze jej wykorzystanie.

Dobór gatunków

Trawy strefy gorącej (cykl C4 fotosyntezy)

Jednym z bardzo obiecujących gatunków traw wieloletnich pod względem możliwości uprawy na cele energetyczne jest miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus* Greff et Deu.). Pomimo iż nie jest to roślina z naszej strefy klimatycznej, to wieloletnie prace prowadzone zarówno w Europie Zachodniej jak i w Polsce potwierdziły jej duże zdolności plonotwórcze i pozytywny wpływ na środowisko w warunkach klimatu umiarkowanego. Za podjęciem uprawy tego gatunku przemawia dynamiczny wzrost począwszy od posadzenia, niskie wymagania nawozowe, aktualny brak szkodników i patogenów, długi okres plonowania na względnie stałym poziomie. Szczególnie istotne jest niskie zapotrzebowanie wodne (ok. 2 – 3 tys. m³ rocznie na 1 ha uprawy), co ma szczególne znaczenie w przy bardzo ograniczonych zasobach wodnych naszego kraju. Zbiory miskanta przypadają na miesiące zimowe (luty – marzec), w okresie swobodnej dostępności takich urządzeń jak np. kombajny do kukurydzy, prasy wysokiego zgniotu oraz środki transportowe. Zebrany w tym okresie miskant ma ok. 20% wilgotności i nie wymaga dodatkowych nakładów na dosuszanie. Praktycznie nie ma potrzeby stosowania zabiegów ochrony roślin, a chemiczne zwalczanie chwastów ma sens jedynie bezpośrednio po posadzeniu. Roślina reaguje pozytywnie na nawożenie, choć dawki poniżej 100 kg N na 1 ha nie przynoszą spodziewanego efektu. Negatywną stroną uprawy tej rośliny jest wysoki koszt założenia plantacji (na same sadzonki należy wydać co najmniej od 15 do 20 tys. PLN na 1 ha). Dostępne obecnie na rynku sadzonki (gatunek ten nie wytwarza nasion) pochodzą albo z podziału starszych roślin lub z mnożenia metodą kultur *in vitro*. Te ostatnie mogą wykazywać wrażliwość na przemarzanie, dlatego w stosunku do nowych nasadzeń zaleca się ich okrywanie (np. słomą) lub obredlanie przed zimą.

Inne, przydatne do uprawy na cele bioenergetyczne, gatunki z tego rodzaju, to miskant cukrowy [*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth] oraz miskant chiński (*Miscanthus sinensis* Anderss). Obydwa doskonale zimują w Polsce, i są niezbyt wymagające w stosunku do gleby oraz zaopatrzenia w wodę. Gatunki te doskonale rozmnażają się podobnie jak opisywany wyżej miskant olbrzymi. W Polsce, przy sprzyjających warunkach pogodowych można uzyskać z nich nasiona, jednakże ich ilości oraz jakość raczej nie zapewnią materiału do podjęcia masowych zasiewów. Plony uzyskiwane z tych dwu gatunków są nieco niższe od plonów miskanta olbrzymiego, aczkolwiek trwałość plantacji jest porównywalna.

Gatunkiem najprawdopodobniej najlepiej przebadanym z punktu widzenia przydatności dla bioenergetyki, choć nieznanym powszechnie w naszym kraju, jest proso różgowe (*Panicum virgatum* L.). Roślina pochodzi z Ameryki Północnej i charakteryzuje się typem fotosyntezy C4. Stamtąd pochodzą liczne odmiany tego gatunku, z przeznaczeniem na cel paszowe oraz energetyczne. Jest to gatunek wieloletni, dorastający do 1.5 – 2.5 m. W Polsce dobrze zimuje, produkuje biomasa w ilości 9 – 15 ton s.m. z hektara oraz wytwarza żywotne nasiona. Możliwe do uzyskania w Polsce plony tego gatunku szacowane są na ok. 10 – 12 ton suchej masy z 1 ha, przez ok. 10 – 15 lat już od 2 lat po wysiewie nasion. Z kolei roczna produkcja biomasy podziemnej tego gatunku określona została na ok. 6,7 t / ha (Liebig i wsp. 2005). Z silnie rozbudowaną częścią podziemną związana jest zdolność do znacznej sekwestracji węgla w glebie (ok.1 tony C na 1 ha rocznie), co ma kolosalne znaczenie w redukcji ogólnego bilansu dwutlenku węgla. Według badań amerykańskich (Mc Laughlin i wsp. 2002) każda tona biomasy prosa różgowego wyprodukowana na potrzeby energetyczne podwyższa poziom węgla w glebie o 83 kg, zwłaszcza na gruntach początkowo ubogich w materię organiczną. Silnie rozbudowany system korzeniowy tego gatunku przyczynia się również do ograniczenia erozji gleby, zmniejszenia skali wymywania składników pokarmowych oraz podwyższenia aktywności mikrobiologicznej podłoża (Mc Laughlin i wsp. 2002). Pomimo produkcji znacznej ilości biomasy nad- i podziemnej gatunek ten nie ma zbyt wysokich wymagań nawozowych. Zawartość azotu w trawach szlaku C4 fotosyntezy jest niższa ok. 50% w stosunku do traw klimatu umiarkowanego (C3) (Elbersen i wsp. 2002; Samson i wsp. 2005). W trakcie rozwoju i dojrzewania następuje systematyczny spadek zawartości azotu w roślinach prosa różgowego, aż do poziomu poniżej 0.5% pod koniec wegetacji (Samson i wsp. 2002). W trakcie zasychania roślin następuje stopniowa translokacja substancji odżywczych, w tym azotu, do systemu korzeniowego, co zabezpiecza składniki pokarmowe na kolejny sezon wegetacyjny. Podobny mechanizm występuje również w innych scharakteryzowanych powyżej gatunkach traw cyklu C4.

Specyfiką nasion tego gatunku jest ich przydatność do wysiewu dopiero po ustąpieniu naturalnego spoczynku, tzn. po roku przechowywania w magazynie lub podobnym miejscu. Roślina reaguje pozytywnie na nawożenie mineralne i na jednym stanowisku można ją uprawiać przez co najmniej kilkanaście lat. Produkcja energii netto, (czyli różnicy pomiędzy energią włożoną w wytworzenie jednostki produktu a energią pozyskaną w wyniku przetworzenia biomasy) tego gatunku wynosi 163.8 GJ/ha przy plonie na poziomie 9 ton s.m z ha. Taka sama kalkulacja wykonana dla kukurydzy daje 89,2 GJ/ ha (przy plonie ziarna 5.7 t/ha) dla żyta 34.7 GJ/ha (plon ziarna 2.3 t/ha). Jest to zatem jedna z najbardziej efektywnych energetycznie upraw roślinnych! Najprawdopodobniej największym problemem dla rozszerzenia uprawy tego gatunku jest brak materiału siewnego na naszym rynku. Należy mieć nadzieję, że w odpowiedzi na rosnące zapotrzebowanie na tego typu produkty, uda się zainicjować import nasion, a być może również ich produkcję w naszym kraju.

Kolejnym gatunkiem z grupy traw tropikalnych szlaku C4, przydatnych do uprawy na cele energetyczne jest spartina preriowa (*Spartina pectinata* Bosc. ex Link.). Gatunek ten pochodzi z Ameryki Północnej i występuje na stanowiskach o szerokiej amplitudzie warunków zarówno klimatycznych jak i siedliskowych. Dla nas najistotniejsze jest to, że spartina w Polsce dobrze zimuje i może rosnąć w zasadzie wszędzie – od gleb okresowo podmokających, razem z turzycami i sitami aż po piaszczyste nieużytki nieprzydatne do zagospodarowania typowymi uprawami rolniczymi. Plonowanie począwszy od 3 roku po założeniu plantacji utrzymuje się na poziomie 10 – 19 ton s.m. z hektara. Mimo iż gatunek ten wytwarza w naszych warunkach nasiona, to są one praktycznie nie przydatne z uwagi na szybki spadek żywotności. Nowe plantacje można zakładać w oparciu o sadzonki produkowane metodą kultur tkankowych lub podział starych kęp. Sadzenie należy prowadzić w rozstawie rzędów ok. 2 – 3 m i 0.5 – 0.8 m w rzędzie. Gatunek ten pozytywnie reaguje na nawożenie (ok. 70 – 120 kg N/ha rocznie). Obecnie istnieją już w Polsce firmy zajmujące się produkcją i dystrybucją sadzonek tego gatunku.

Dużą zaletą gatunków takich jak miskantus, spartina preriowa czy proso różgowate jest aktualny brak w naszym kraju niszczących je chorób czy szkodników. Bez konieczności stosowania chemicznych środków ochrony roślin uprawa jest znacznie tańsza! Kolejną zaletą produkcji energii z roślin szlaku C4 fotosyntezy jest niewielka zawartość popiołu (ok. 1 – 2.5%), co jest niezmiernie istotne zwłaszcza przy spalaniu większych ilości słomy.

Trawy strefy umiarkowanej (cykl C3 fotosyntezy)

Z pozostałych gatunków traw wieloletnich, które w naszym kraju można z powodzeniem uprawiać z przeznaczeniem dla pozyskiwania energii warto wymienić móżgę trzcinową (*Phalaris arundinacea* L.), kostrzewę trzcinową (*Festuca arundinacea* Schreb.), rajgras wyniosły [*Arrhenatherum elatius* (L.)P.B. ex J.et C.Presl], stokłosę wyniosłą (*Bromus inermis* Leyss), czy obiedkowatą (*Bromus willdenowii* Kunth) oraz perz wydłużony [*Agropyron elongatum* (Host.) D.R.Devey]. Gatunki te mogą osiągać plony rzędu 10 – 15 t suchej masy z 1 ha. Plonowanie na tym poziomie może trwać przez 3 – 5 lat (przy optymalnych warunkach siedliskowych i nawożeniu). Za podjęciem uprawy tych gatunków przemawia fakt ich dostosowania do naszego klimatu oraz długich tradycji w ich uprawie. Oprócz przeznaczenia na cele energetycznego można je oczywiście wykorzystywać również tradycyjnie tzn. jako źródło paszy. Nasiona niektórych z wymienionych gatunków są dostępne na krajowym rynku i wtedy koszty założenia plantacji są względnie niskie.

Nowym, zarówno w kraju jak i w Europie, gatunkiem trawy przydatnym do uprawy na cele energetyczne jest wymieniony wyżej perz wydłużony. Mimo iż jest to gatunek zaliczany do rodzaju perz, to jednak w odróżnieniu od uciążliwego chwastu, jakim jest perz właściwy (*Agropyron repens* L.), roślina ta nie tworzy rozłogów (system korzeniowy wybitnie kępowy), a osypywanie nasion jest niewielkie. Rośliny tego gatunku wytwarzają pokaźne, zbite kępy bez rozłogów o silnym systemie korzeniowym sięgającym nawet do 3 m głębokości w poszukiwaniu wody. Wytwarza pędy generatywne, dające dorodne duże nasiona (masa tysiąca nasion ok. 9,2 g) o bardzo dobrej zdolności kiełkowania. Nie wylega w łanie, nie jest również jak na razie porażana przez choroby. Plony nasion mogą dochodzić do 260 kg z ha, a plony energii szacowany są na ok. 150 GJ z 1 ha uprawy. Gatunek ten może być uprawiany we wszystkich regionach kraju, zwłaszcza na glebach piaszczystych, ubogich i skażonych. Uważany jest za jeden z najbardziej odpornych na zasolenie podłoża. Toleruje zasolenie do 1% zawartości soli rozpuszczalnych w roztworze glebowym. W oparciu o zasiewy jednogatunkowe można produkować zieloną masę na np. kiszonkę (możliwość uzyskania kilku pokosów w roku) bądź biomasę suchą do produkcji np. pelletu bądź brykietu opałowego (Csete i wsp.

2011, Martyniak i wsp. 2011). Istnieją również informacje o możliwości zastosowania biomasy tego gatunku w przemyśle papierniczym bądź przy produkcji prefabrykatów meblowych. Z uwagi na silny rozwój systemu korzeniowego oraz tolerancję na suszę i zasolenie podłoża gatunek ten może również znaleźć zastosowanie w rekultywacji oraz stabilizacji gruntów zdewastowanych (Scheinost i wsp. 2008).

Perz wydłużony jest jednym z najbardziej obiecujących gatunków traw ze strefy umiarkowanej na cele energetyczne. Argumenty przemawiające za energetycznym wykorzystaniem tej trawy to: małe potrzeby wodne, zwłaszcza na glebach piaszczystych, suchych i ubogich (kl. od IV do VI), odporność na gleby skażone i zasolone, odporność na niskie temperatury (nie wymarza nawet po ostrych mroźnych zimach do -25°C). Koszty założenia plantacji tego gatunku są stosunkowo niewielkie, szacowane na ok. 1500 zł za 1 ha, w porównaniu np. z wysadzeniem np. miskantusa 18 000 zł lub wierzby 12 000 zł za 1ha. Zbiór plantacji perzu jest łatwy, do zrealizowania za pomocą maszyn dostępnych w gospodarstwie, tradycyjnie stosowanych w uprawie zbóż czy kukurydzy, w przeciwieństwie np. do zbioru wierzby gdzie niezbędne jest użycie bardzo kosztownych maszyn, a wykorzystanie ich jest opłacalne na plantacjach powyżej 800 ha. Bezproblemowa jest również likwidacja plantacji tego gatunku po okresie produkcyjnym, poprzez np. stalerzowanie i zaoranie tradycyjnym pługiem. Plantacja perzu nie wylega (o ile nie zostanie zbyt mocna nawieziona), co jest istotne przy naturalnym, słonecznym dosuszaniu na pniu biomasy.

Plantacje produkcyjne wymienionych wyżej gatunków traw są, w porównaniu do np. miskantusa olbrzymiego stosunkowo krótkowieczne. Optimum plonowania osiągają już w 1 roku po siewie, jednakże ich opłacalna uprawa może trwać co najwyżej 4 – 5 lat. Produkcja biomasy na cele energetyczne może opierać się również na typowych gatunkach pastewnych, o ile głównym kierunkiem przerobu jest produkcja biogazu. Popularne gatunki jak np. życica trwała (*Lolium perenne* L.), życica wielokwiatowa (*Lolium multiflorum* Lam.), życica mieszańcowa (*Lolium hybridum* Hauss.), kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.), czy kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata* L.) wysiewane najczęściej w mieszankach wielogatunkowych mogą dostarczyć znacznych ilości biomasy, zbieranej w kilku pokosach.

Agrotechnika

Normy wysiewu i wysadzania

Gatunki, które nie rozmnażają się z nasion (gatunki z rodzaju *Miscanthus*), lub wytwarzają nasiona o niskiej zdolności kiełkowania (np. *Spartina* i *Andropogon*) można rozmnażać poprzez wysadzanie sadzonek otrzymanych metodą *in vitro* lub poprzez podział starszych roślin z już istniejących plantacji. Metoda ta jest pracochłonna i wymaga dostępności materiału. Z kolei produkty techniki *in vitro* są już dostępne na naszym rynku i w zasadzie nie ma praktycznych ograniczeń w ich stosowaniu. Na zagospodarowanie 1 ha uprawy miskantusa bądź spartiny potrzeba od 10 do 20 tys. sadzonek. Wysadzanie powinno odbywać się gdy ryzyko przymrozków jest już niewielkie, tzn. w drugiej połowie kwietnia. Pole pod wysadzanie tych gatunków powinno być wolne od szybko rosnących chwastów, które w początkowym okresie wolnego wzrostu traw, mogłyby je zagłuszyć.

Gatunki wysiewane z nasion (perz wydłużony, mozga trzcinowata, kostrzewa trzcinowa) wysiewa się tradycyjnym, odpowiednio uregulowanym siewnikiem zbożowym. Ilości nasion to, odpowiednio: w zależności od gatunku od 5 do 10 kg nasion na 1 ha.

Nawożenie

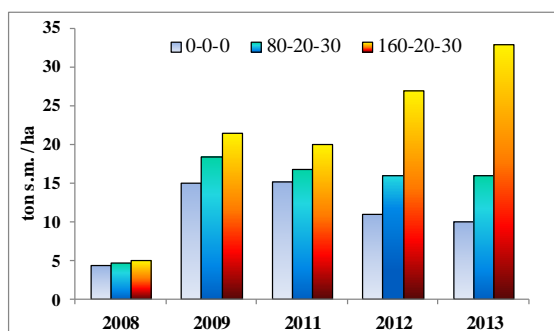
Zasobność gleby bezpośrednio warunkuje potrzeby nawozowe roślin. W odniesieniu do specyficznych upraw, jakimi są trawy energetyczne zasadniczo należy unikać zbyt obfitego

nawożenia. Większość podanych zewnętrznie składników pokarmowych (azot, potas, sód) przechodzi do biomasy i może, o ile nie przeprowadzi się zabiegów ograniczających ich zawartość (np. sezonowanie) wpływać negatywnie na jakość biomasy (tab. 2). Różnice w ilościach makroskładników zawartych w biomase mogą sięgać np. ok. 97 kg potasu, 24 kg azotu oraz ok. 19 kg magnezu na 1 ha nawożonej uprawy miskantusa olbrzymiego zebranego późną jesienią w porównaniu do zbioru wiosennego (marzec-kwiecień). Nadmiar tych substancji wpływa niekorzystnie na proces przerobu biomasy. Wiadomo, iż spalanie biomasy roślinnej, odznaczającej się znacznym udziałem siarki i chloru, a także metali alkalicznych (sodu, potasu, czy magnezu), może prowadzić do wzmożonej wysokotemperaturowej korozji chlorowej i siarczanowo-siarkowej oraz żużlowania powierzchni ogrzewalnych kotłów energetycznych. W kotłach fluidalnych istnieje zaś ryzyko aglomeracji złoża. Nadmiar azotu powoduje z kolei nadmierną emisję tlenków azotu (NO_x) do atmosfery.

Tabela 2. Zawartość makroskładników w plonie biomasy miskantusa w zależności od terminu zbioru oraz poziomu nawożenia

Termin zbioru:	Nawożenie N w kg / ha	W plonie z 1 ha w kilogramach:						Plon suchej masy (t/ha)
		N	P	K	Ca	Mg	C	
Zbiór jesienny:	0	72,9	6,0	61,4	17,2	17,2	9 105,4	26,3
	80	65,8	7,7	94,5	19,0	19,6	6 799,1	20,1
	160	104,6	8,0	141,6	32,5	32,5	11 088,9	32,4
Zbiór wiosenny:	0	47,1	1,2	17,3	4,9	7,6	5 324,3	15,2
	80	46,1	2,3	26,1	7,6	13,6	5 822,6	16,8
	160	80,7	3,1	44,8	13,6	13,7	6 999,1	20,1
NIR (P=95%)		2,61	0,21	2,55	1,63	n.i.	n.i.	5,1
Różnica pomiędzy zbiorami	0	25,8	4,8	44,1	12,3	9,6	3 781,1	11,1
	80	19,7	5,4	68,4	11,4	6,0	976,5	3,3
	160	24,0	4,8	96,8	18,9	18,8	4 089,8	12,2

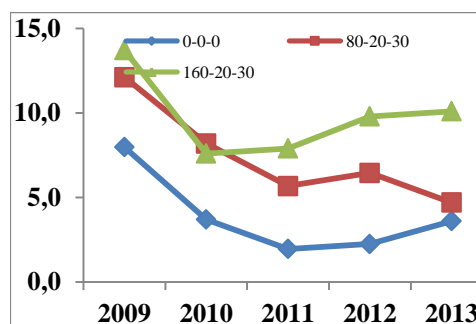
Nawożenie wspomaga wzrost i rozwój młodych roślin po posadzeniu lub wysiewie. Z obserwacji własnych autora wynika, że nienawożona plantacja miskantusa osiąga swoje optimum plonowania już po 2 latach od posadzenia, podczas gdy nawożona – po 4 latach i później (ryc. 1). W przypadku innych gatunków np. mozgi trzcinowej na-



Ryc. 1. Dynamika plonowania biomasy miskantusa olbrzymiego (rok posadzenia – 2008) w zależności od nawożenia. Poziomy nawożenia: w kg na ha N-P-K: 0-0-0; 80-20-30; 160-20-30

wożenie jest niezbędnym elementem warunkującym uzyskanie w miarę opłacalnego plonu, aczkolwiek żywotność plantacji tego gatunku gwałtownie spada już w trzecim roku od siewu (ryc. 2).

optimum plonowania już po 2 latach od posadzenia, podczas gdy nawożona – po 4 latach i później (ryc. 1). W przypadku innych gatunków np. mozgi trzcinowej na-



Ryc. 2. Dynamika plonowania biomasy mozgi trzcinowej (wartości średnie z dwu odmian: Keszthelyi i Premier) wysianej w roku 2008, w zależności od nawożenia. Poziomy nawożenia: w kg na ha N-P-K: 0-0-0; 80-20-30; 160-20-30

Zbiór

Zaletą uprawy traw wieloletnich na biomasę jest możliwość zbioru za pomocą konwencjonalnych narzędzi rolniczych. Kosiarka boczna, prasa do słomy, przyczepa oraz ciągnik zaopatrzone w ładowacz powinny wystarczyć do podjęcia plonu z pola i przetransportowania go do miejsca składowania. Jedynie w wypadku największych gatunków jak np. miskantus olbrzymi, należy wyposażyć prasę w tzw. kondycjoner, który przed sprasowaniem miążdży długi i sztywne łodygi.

Technologia przerobu

Spalanie bezpośrednie

Podstawowe parametry użytkowe wybranych gatunków traw wieloletnich przedstawiono w tabeli 3. Biomasa zebrana z pola powinna być przystosowana do dalszych etapów przerobu. Można ją zatem sprasować prasą niskiego lub wysokiego zgniotu i w tej formie spalać. Może być również przetworzona na pelet lub brykiet opałowy. W ten sposób uzyskujemy znaczną koncentrację energii w jednostce objętości surowca, który jest łatwy w transporcie, przechowywaniu oraz podawaniu do pieca (pełna automatyka).

Tabela 3. Parametry użytkowe wybranych gatunków traw do produkcji bioenergii

Gatunek	Sposób mnożenia	Szacunkowe plony [t s.m./ha]	Wartość kaloryczna [MJ/kg]	Zawartość popiołu [%]
Kostrzewa trzcinowa	nasiona	8 - 15	17,0	7,0
Mozga trzcinowata	nasiona	10 - 14	17,7	6,3
Perz wydłużony	nasiona	10 - 15	18,6	3,1
Spartina preriowa	kultury in vitro	5 - 20	16,8	1,6
Miskantus olbrzymi	podział kęp, kultury in vitro	15 - 25 (44)	18,2	2,0
Proso różgowate	nasiona	8 - 20	19,0	1,7
Palczatka Gerarda	nasiona	8 - 15	17,9	1,8

Produkcja biogazu

Technologia produkcji biogazu z wykorzystaniem biomasy traw stopniowo zdobywa coraz

Tabela 4. Zestawienie wybranych wyników dotyczących oceny przydatności gatunków traw energetycznych do zakiszenia (na podstawie prac Piłat i wsp., 2007 a,b,c, Majtkowski i Piłat 2009)

Gatunek	węglowodany rozpuszczalne w H ₂ O *	Współczynnik fermentacji *
Miskantus cukrowy	9,8	71,3
Perz wydłużony	7,2 - 10,4	69,8
Proso różgowate	4,6 - 5,3	46,0
Palczatka Gerarda	4,7 - 6,45	44,5

* - wartości dla roślin w fazie pełnej dojrzałości tzn. po fazie kwitnienia

kowych, wyniki (tab. 4).

więcej zwolenników i z pewnością w najbliższej przyszłości stanie się w naszym kraju równie popularna jak np. w Niemczech. Podstawowym procesem, zaangażowanym w produkcji biogazu jest proces fermentacji biomasy. Może on odbywać się np. w silosach do kiszenia zielonki. W przeprowadzonych badaniach porównawczych nad zdolnością wybranych gatunków traw do zakiszenia uzyskano ciekawe, i nowatorskie na krajowym rynku badań nau-

Tabela 5. Plony metanu z 1 ha uprawy wybranych gatunków roślin energetycznych

Gatunek, odmiana	Źródło danych:	
	Martyniak i Żurek 2013	Mast i wsp. 2014
życica trwała tertaploidalna	7247,0	-
stokłosa bezostna	6064,3	-
kukurydza	-	6008,0
stokłosa uniolowata	5244,9	-
sylfia (rożnik przerośnięty)	-	4301,0
perz wydłużony 'Szarvasi'	-	4156,0
perz wydłużony 'Bamar'	3447,5	-

Badania te wskazują na znaczny potencjał tych gatunków do produkcji substratu do biogazowni. Na uwagę zasługują zwłaszcza miskant cukrowy i perz wydłużony, charakteryzujące się względnie wysokimi wartościami: zawartości węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie i współczynnika fermentacji.

Obecnie, za najbardziej efektywną w produkcji biogazu uważa się uprawę kukurydzy. Jednakże uwzględnienie całości kształtu uwarunkowań decydujących o efektywnym plonowaniu tej rośliny (jakość gleby i materiału siewnego, nawożenie, ochrona chemiczna) wraz z aspektami ekologicznymi jej uprawy (najczęściej wieloletnia monokultura, nagromadzenie chorób i szkodników) pozwala z nadzieją przyrzeć się alternatywie w postaci traw wieloletnich. Według analiz Martyniak i Żurka (2013a, nie publikowane) oraz pracy Masta i wsp. (2014) trawy wieloletnie mogą z powodzeniem konkurować z kukurydzą jako potencjalne źródła biomasy dla produkcji biogazu (tab. 5).

Aspekty ekologiczne i ekonomiczne uprawy traw wieloletnich na cele energetyczne

Tabela 5. Porównanie wartości wskaźnika efektywności energetycznej (Ee) dla różnych rodzajów surowca i różnych technologii przerobu (na podstawie literatury)

Rodzaj surowca	współczynnik Ee
słoma z plantacji <i>Miscanthusa</i>	35,68
drewno wierzy energetycznej	29,99
słoma z prosa różgowego	28,97
słoma z mozgi trzcinowej	20,43
pellet z prosa różgowego	14,6
słoma z pszenicy	8,82
olej rzepakowy	3,76
biodiesel z rzepaku + słoma do spalania	2,74
biodiesel z rzepaku	1,47
brykiet z odpadów leśnych	1,24
brykiet /pellet ze słomy odpadowej	1,05

Decyzja związana z podjęciem jakiegokolwiek działalności gospodarczej musi być poprzedzona dogłębną analizą koniecznych do poniesienia nakładów, spodziewanych zysków oraz wpływu planowanych działań na otoczenie zewnętrzne. Między innymi w produkcji energii wykorzystuje się prosty do interpretacji wskaźnik efektywności energetycznej (Ee), który odzwierciedla ilość jednostek energii uzyskanych w stosunku do

energii włożonej w ich wytworzenie. Wraz ze wzrostem stopnia komplikacji procesu przerobu biomasy na energię maleje efektywność energetyczna produktu finalnego (tab. 5). Jedna jednostka energii włożona w wytworzenie słomy z plantacji traw wieloletnich np. miscantusa daje w efekcie ponad 20 jednostek wyprodukowanej. Taka sama jednostka energii włożona w wyprodukowanie biodiesla z rzepaku daje w efekcie zaledwie 1,5 jednostek energii zawartej w tym paliwie. Nie znaczy to oczywiście iż należy zaprzestać produkcji biodiesla czy oleju rzepakowego na cele energetyczne. Jest to związane z określonymi regionalnymi uwarunkowaniami i nie podlega bezwzględniej weryfikacji tylko pod kątem wartości współczynnika Ee.

Z uprawą traw wieloletnich wiąże się cały szereg efektów bardzo korzystnych dla środowiska. Unikanie corocznych zabiegów polowych takich jak orka, bronowanie itp. oprócz

oczywistych korzyści ekonomicznych, redukcji emisji CO₂, sprzyja również wykształcaniu się prawidłowej struktury gleby, ograniczeniu parowania wody, redukcji erozji powierzchniowej oraz zachwaszczenia itp. Pochyła powierzchnia pokryta wieloletnią uprawą traw, zatrzymuje erozję powierzchniową gleby w ilościach od 1100 do 1200 razy przekraczających te stwierdzone dla uprawy jednorocznej np. kukurydzy. Trawy wieloletnie, a zwłaszcza te o szlaku fotosyntezy C-4 bardzo efektywnie wykorzystują zasoby wodne. Według Jurczuka i Rydałowskiego (2010) miskant olbrzymi w warunkach uprawy w Polsce zużywał 1 kg wody na produkcję 5,1 g grama suchej masy. Ta sama ilość wody w wypadku wierzby energetycznej wystarczała na wyprodukowanie zaledwie 1,8 – 2,8 gram suchej masy.

Nie do pominięcia są również aspekty związane z bioróżnorodnością. W uprawach traw wieloletnich znacznie chętniej gniazdują ptaki. Według Semre i Slatera (2007) w plantacji miskantusa stwierdzono średnio ponad 3 ptaki na 1 ha uprawy w stosunku do co najwyżej 1 ptaka spotykanego w 1 ha uprawy pszenicy.

Podsumowanie

W powyższej pracy przedstawiono w zarysie wybrane zagadnienia związane z pozyskiwaniem energii z biomasy traw wieloletnich. Uprawa roślin na cele energetyczne jest obecnie jedynym realnym i najtańszym sposobem na zapewnienie 'bezpieczeństwa energetycznego' na poziomie indywidualnych gospodarstw rolnych. Informacja tej treści powinna po jej rozpowszechnieniu przyczynić się do wzrostu zainteresowania tą technologią. Poniesienie inwestycji na założenie plantacji, modernizację kotła grzewczego oraz termomodernizację ogrzewanych pomieszczeń umożliwi zrezygnowanie z corocznych zakupów węgla bądź miału w perspektywie kilkudziesięciu lat. Dodatkowe zainwestowanie w brykietarkę lub pleciarzkę, ułatwi składowanie biomasy a nawet umożliwi łatwą dystrybucję jej nadwyżek.

Literatura:

1. Csete S., Stranczinger S., Szalontai B., Farkas A., Pal R.W., Salamon-Albert E., Kocsis M., Tovari P., Vojtela T., Dezső J., Walcz I., Janowszky Z., Janowszky J., Borhidi A. (2011) Tall wheatgrass cultivar Szarvasi-1 (*Elymus elongatus* ssp. *ponticus* cv. Szarvasi-1) as a potential energy crop for semi-arid lands of Eastern Europe, (2011), In: M. Nayeripour, M. Kheshti (eds.) Sustainable Growth and Applications in Renewable Energy Sources, InTech, 269 – 294.
2. Elbersen H.W., Christian D.G., Yates N.E., El Bassam N., Sauerbeck G., Alexopoulou E. (2002) Switchgrass nutrient composition. W: Elbersen H.W. (red.) Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as an alternative energy crop in Europe. Initiation of a productivity network. Final Report FAIR 5-CT97-3701 „Switchgrass”, www.switchgrass.nl str.21 – 32.
3. Jurczuk S., Rydałowski M. (2010) Polowe zużycie wody na plantacjach wierzby wiciowej i miskanta olbrzymiego. W: Grzybek A. (red.) Modelowanie energetycznego wykorzystania biomasy. ITP, Falenty, Oddział w Warszawie, 92 – 101.
4. Martyniak D., Fabisiak E., Zielewicz W., Martyniak J. (2011) Biologiczno-chemiczne właściwości perzu wydłużonego [*Agropyron elongatum* (Host) Beauv.] w aspekcie możliwości jego wykorzystania w fitoenergetyce. Biul. IHAR-PIB, 260/261, 375 – 384.
5. McLaughlin S.B., de la Torre Ugarte D.G., Garten C.T., Lynd L.R., Sanderson M.A., Tolbert V.R., Wolf D.D. (2002) High-value renewable energy from prairie grasses. Environ. Sci. Technol. 36 (10): 2122 – 2129.
6. McLaughlin S.B. (1997) Forage crops as bioenergy fuels: evaluating the status and potential. Procc. of the XVIII Intern. Grassland Congress, Winnipeg & Saskatoon, Canada: 61-68.
7. Majtkowski W., Piąt J. (2009). Wykorzystanie roślin wydmuchrzycy pontyjskiej *Elymus elongatus* var. *ponticus* (Podp.) Dorn jako źródła energii odnawialnej Biul. IHAR, 253, 323 – 329.
8. Mast B., Lemmer A., Oechsner H., Reinhardt-Hanisch A., Claupein W., Graeff-Hönninger S. (2014) Methane yield potential of novel perennial biogas crops influenced by harvest date. Industrial Crops and Products, 58: 194 – 203.
9. Liebig M.A., Johnson H.A., Hanson J.D., Frank A.B. (2005) Soil carbon under switchgrass stands and cultivated cropland. Biomass and Bioenergy, 28: 347 – 354.

10. Piłat J., Majtkowski W., Majtkowska G., Żurek G., Mikołajczak J., Buko M. 2007 a. The feeding value assessment of forage from C-4 grass species in different phases of vegetation. Part I. *Andropogon gerardii* Vitman. Plant Breed. and Seed Sci.55: 43 – 52.
11. Piłat J., Majtkowski W., Majtkowska G., Żurek G., Mikołajczak J., Brucnerova M. 2007 b. The feeding value assessment of forage from C-4 grass species in different phases of vegetation. Part II. *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. Plant Breed. and Seed Sci.55: 53 – 62.
12. Piłat J., Majtkowski W., Majtkowska G., Żurek G., Mikołajczak J. 2007 c. The feeding value assessment of forage from C-4 grass species in different phases of vegetation. Part III. *Panicum virgatum* L. Plant Breed. and Seed Sci.55: 63 – 72.
13. Pudełko R., Faber A. 2010. Dobór roślin energetycznych dostosowanych do uprawy w wybranych rejonach kraju. W: Bocian P., Golec T., Rakowski J. (wyd.) Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystywania biomasy. Monografia. Instytut Energetyki, Warszawa, 50 – 68.
14. Samson R., Mani S., Boddey R., Sokhansanji S., Quesada D., Urquiaga S., Reis V., Ho Lem C. (2005) The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. Critical Reviews in Plant Science, 24: 461 – 495.
15. Scheinost P., Tilley D., Ogle D., Stannard M. (2008) Plant Fact Sheet for tall wheatgrass, *Thinopyrum ponticum* (Podp.) Z.-W. Liu & R.-C. Wang. USDA-NRS, Plant Materials Centre, Corvallis, OR, USA, http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg_thpo7.pdf
16. Semere T., Slater F.M. (2007) Ground flora, small mammal and bird species diversity in miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) and red canary-grass (*Phalaris arundinacea*) fields. Biomass and Bioenergy, 31; 20 – 29
17. Woch F. (2007) Wademekum klasyfikatora gleb. IUNG, Puławy, ss.480.