

**Bartłomiej IGLIŃSKI<sup>1</sup>, Marcin CICHOSZ<sup>1</sup>, Mateusz SKRZATEK<sup>2</sup>  
Roman BUCZKOWSKI<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Chemii  
Zakład Chemicznych Procesów Proekologicznych  
ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń

<sup>2</sup> Wydział Nauk Historycznych, Instytut Archeologii  
ul. Szosa Bydgoska 44/48, 87-100 Toruń  
e-mail: iglinski@chem.umk.pl

## Potencjał energetyczny biomasy na gruntach ugorowanych i nieużytkach w Polsce

### Energy Potential of Biomass on Uncultivated Lands and Fallows in Poland

Technical potential of energy from biomass of energy crops on uncultivated lands and fallows in Poland was calculated. Altogether the area of uncultivated lands is 134.2 thousand ha and fallows is 63.4 thousand ha. A short characteristics of energy willow *Salix viminalis* and giant miscanthus *Miscanthus giganteus* was presented. The amount of energy from energy willow is 3,083 TJ and from giant miscanthus is 3,650 TJ. Giant miscanthus as a plant of photosynthesis cycle C-4 has bigger possibilities of biomass gain, however is it invasive species plant.

**Keywords:** biomass, uncultivated land, fallows, energy crops, Poland

### Wprowadzenie

Polska jako kraj rolniczy posiada znaczny potencjał odpadowej biomasy. Biomasa można pozyskiwać również na terenach aktualnie niewykorzystywanych gospodarczo. Dość znaczną powierzchnię w Polsce zajmują grunty ugorowane i nieużytki (tab. 1) [1]. Analizując tabelę 1, należy stwierdzić, że największą powierzchnię ugorów mają województwa mazowieckie (19,3 tys. ha) i warmińsko-mazurskie (18,0 tys. ha). Z kolei najwięcej nieużytków jest w województwach wielkopolskim (10,2 tys. ha) oraz dolnośląskim (7,9 tys. ha). Łączna powierzchnia ugorów w Polsce to 134,2 tys. ha, zaś nieużytków 63,4 tys. ha.

W polskim mikście energetycznym duże znaczenie odgrywa biomasa stała, której używa się do produkcji ciepła, prądu elektrycznego bądź w kogeneracji i ciepła, i prądu elektrycznego. Z roku na rok zapotrzebowanie na biomasa wzrasta, celowe jest wykorzystanie terenów o mniejszej wydajności rolniczej, jak grunty ugorowane czy nieużytki, w kierunku plantacji roślin energetycznych.

Tabela 1. Powierzchnia ugorów i nieużytków w Polsce [1]

Table 1. Area of uncultivated lands and fallows in Poland [1]

Województwo	Powierzchnia, tys. ha	
	ugory	nieużytki
Dolnośląskie	6,5	7,9
Kujawsko-pomorskie	4,6	4,3
Lubelskie	9,7	3,2
Lubuskie	6,4	1,7
Łódzkie	11,3	4,9
Małopolskie	6,1	2,0
Mazowieckie	19,3	3,9
Opolskie	1,3	2,5
Podkarpackie	11,3	1,4
Podlaskie	3,9	2,6
Pomorskie	4,9	2,8
Śląskie	3,1	4,9
Świętokrzyskie	8,8	3,5
Warmińsko-mazurskie	18,0	4,7
Wielkopolskie	5,9	10,2
Zachodniopomorskie	13,1	2,9
<b>Polska</b>	<b>134,2</b>	<b>63,4</b>

Celem badań było obliczenie potencjału biomasy i energii z biomasy roślin energetycznych na terenach niewykorzystywanych gospodarczo, czyli na ugorach i nieużytkach. W opracowaniu przyjęto, że będą to najpopularniejsze rośliny energetyczne w Polsce, a mianowicie wierzba wiciowa *Salix viminalis* oraz miskant olbrzymi *Miscanthus giganteus*. Przedstawiono również krótką charakterystykę ww. roślin energetycznych [2]. Przeprowadzone badania mają charakter orientacyjny, pozwalają na wstępne oszacowanie dostępnej ilości biomasy w Polsce na ugorach i nieużytkach. Ziemia na terenach ugorowanych jest przeważnie lepsza niż na nieużytkach, stąd przyjęto, że możliwe jest zagospodarowanie 50% odłogów i 20% nieużytków. Kompleksowe określenie potencjału biomasy dla nieużytków i ugorów całej Polski, możliwego do energetycznego wykorzystania, jest zagadnieniem trudnym z uwagi chociażby na zróżnicowane możliwości produkcyjne roślin energetycznych dla poszczególnych rejonów czy możliwości zużycia wytworzonej energii w skali regionalnej. Autorzy planują kontynuować badania w skali województw, co pozwoli na lepsze oszacowanie dostępnej energetycznie biomasy.

## 1. Charakterystyka wierzby „energetycznej”

Wierzba energetyczna (wiciowa) *Salix viminalis*, zwana również konopianką, dorasta do 6 metrów. Pędy ma giętkie, początkowo owłosione, w późniejszych okre-

sach wegetacji nagie, przyjmują barwę od szarozielonej do oliwkowej. Liście mają długość od 10 do 25 cm i są od 8-10 razy dłuższe niż szersze. Górna strona liścia jest prawie naga, matowa o barwie zielonej, natomiast dolna jedwabista jest biało owłosiona. Kwiatostany męskie są krótkie, grube, o długości do 3,6 cm i żółtej barwie. W Polsce zarejestrowane są 3 odmiany wierzby krzewiastej: Start, Sprint i Turbo. Wszystkie charakteryzują się szybkim wzrostem i dają wysoki plon biomasy. Dodatkowo odznaczają się one dużą odpornością na choroby i tolerancją na szkodniki [3, 4].

Wierzbę z gatunku *Salix viminalis* można uprawiać na wielu rodzajach gleb, od bielicowych gleb piaszczystych do gleb organicznych, należy jednak dobrać odpowiednie klony. Glebę do nasadzeń wierzby przygotowuje się w zależności od rodzaju gleby, poziomu kultury rolnej i od przedplonu [2-4].

W pierwszym roku po nasadzeniu niezbędna jest ścinka sanitarna wierzby w celu rozkrzewienia w latach następnych. Pozyskiwanie biomasy rozpoczyna się zwykle po dwóch latach uprawy w cyklach zbiorów jednorocznych, dwuletnich lub trzyletnich. W przypadku wielu wielkoobszarowych plantacji przewiduje się zbiór w cyklu jednorocznym przez pierwsze trzy lata, po czym stopniowe przechodzenie na zbiór w cyklu dwuletnim, tak by ostatecznie prowadzić pozyskiwanie biomasy w cyklu zbioru trzyletniego. Po ścięciu pędów tuż przy powierzchni gleby na wiosnę niskie karpysy wypuszczają nowe łodygi. Uprawa wierzby na plantacji może przebiegać bez większych zakłóceń przez 20-30 lat [5].

Zbiory wierzby energetycznej prowadzi się po zakończeniu wegetacji, gdy z krzewów opadną liście. Odbywa się to od grudnia do marca, gdy na plantację może wjechać ciężki sprzęt, a wilgotność biomasy jest najniższa. Pędy ścina się ręcznie lub maszynowo na wysokości 5÷10 cm nad powierzchnią ziemi. Ścięte pędy mają wilgotność około 50%, zaś po przesuszeniu wiosną i latem w przewidywanym miejscu nawet 15% [2].

Plon suchej masy drewna z wierzby krzewiastej w trzyletnim cyklu zbioru wynosi [2]:

- *Salix viminalis* x *Salix purpurea* - 13,71 Mg s.m./(ha·rok),
- *Salix viminalis* - 18,83 Mg s.m./(ha·rok),
- *Salix viminalis* x *Salix viminalis lanceta* - 22,17 Mg s.m./(ha·rok).

Badania dowiodły, że plon wierzby na glebach słabych bądź niewykorzystanych gospodarczo jest znacząco niższy niż na glebach dobrych. Przykładowo, Szczukowski i współautorzy [6] osiągnęli plon 7,6 Mg s.m./rok, zaś Janiszewska [7] plon na poziomie 8,0 Mg s.m./rok. W obliczeniach przyjęto plon suchej masy na poziomie 8 Mg s.m. rocznie.

### 1.1. Wykorzystanie wierzby energetycznej w rekultywacji

Rekultywacja gruntów polega na nadaniu lub przywróceniu gruntom zdegradowanym albo zdewastowanym wartości użytkowych lub przyrodniczych przez właściwe ukształtowanie rzeźby terenu, poprawienie właściwości fizycznych i chemicznych, uregulowanie stosunków wodnych, odtworzenie gleb, umocnienie skarp [8].

Wierzba energetyczna jest często wykorzystywana do rekultywacji nieużytków. Jest to roślina dość ekspansywna, szybko pokrywająca teren rekultywowany. Oprócz

wiązania warstwy rekultywacyjnej i stabilizacji skarp wierzba może być stosowana w celach fitomelioracyjnych, szczególnie w miejscach występowania wysięków odcieków oraz wzdłuż dróg technologicznych. Jeśli jest prowadzona fitoekstrakcja, to popiół ze spalania biomasy wierzby może być wykorzystany jako nawóz rolniczy, gdyż zawiera cenne makro- i mikroelementy. Popiołem można nawozić również plantacje roślin energetycznych (zamknięty obieg wielu pierwiastków) [8].

Warto nadmienić, iż rekultywacja z wykorzystaniem roślin często nazywana jest fitoremediacją, która definiowana jest jako wykorzystanie roślin w procesie oczyszczania środowiska (np. usuwanie metali ciężkich, usuwanie zaolejeń) [9].

## 2. Charakterystyka miskanta olbrzymiego

Roślina, którą z powodzeniem można uprawiać z przeznaczeniem na cele energetyczne, to miskant *Miscanthus* - okazała trawa kępowa, występująca w kilkudziesięciu genotypach [2, 10]. Jako roślina o cyklu fotosyntetycznym C-4 miskant ma większe możliwości przyrostu masy, gdyż w warunkach optymalnych wykorzystanie światła jest o 40% większe niż w przypadku roślin C-3. Trawa ta nie ma dużych wymagań co do jakości gleby, ale w pierwszym roku uprawy jest mało odporna na mrozy.

Miskanta olbrzymiego *Miscanthus giganteus* rozmnaża się łatwo przez podział kęp, którego dokonuje się zanim wyrosną młode pędy. Szybki wzrost i rozwój części nadziemnych powoduje przykrycie powierzchni pola, hamując rozwój chwastów. Już w pierwszym roku uprawy z 1 ha powierzchni można uzyskać do 8 Mg suchej masy, ale dopiero w trzecim roku miskant osiąga najwyższe plony - nawet powyżej 30 Mg s.m./ha [2, 9]. Kabała i współpracownicy [10] podają, że reprezentatywny plon miskanta na glebach słabych to 10 Mg s.m. rocznie. W obliczeniach autorów przyjęto plon suchej masy właśnie na poziomie 10 Mg s.m. rocznie, gdyż ziemie ugorowane i nieużytki często są złej kondycji czy wręcz zdegradowane i wymagają rekultywacji.

Koszty pielęgnacji plantacji miskanta olbrzymiego są bardzo niskie. W pierwszym roku prowadzi się odchwaszczenie mechaniczne w rzędach i w międzyrzędach, wykorzystując do tego celu tradycyjne zestawy upraw międzyrzędowych. W kolejnych latach nie jest wymagane odchwaszczanie, wynika to z intensywnego rozwoju i wzrostu rośliny oraz zacieniania gleby, związanego z bardzo wysokim wskaźnikiem ulistnienia miskanta w łanie. W warunkach europejskich miskant olbrzymi wykazuje bardzo wysoką odporność na większość patogenów roślinnych [2, 10].

## 3. Potencjał biomasy wierzby energetycznej na ugorach i nieużytkach

W celu obliczenia energii z biomasy wierzby wiciowej z uprawianej na ugorach i nieużytkach przyjęto, że:

- wartość opałowa wierzby wynosi 19 GJ/Mg [11],
- średni plon wierzby wynosi 8 Mg/ha/rok biomasy na gruntach ugorowanych i na nieużytkach,

- zostanie zagospodarowane 50% odłogów i 20% nieużytków [1]<sup>1</sup>,
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80% (kogeneracja) [11]. Docelowo zakłada się, że będą to jednostki spalająca biomasę w kogeneracji: sprawność produkcji prądu będzie na poziomie 35%, zaś sprawność produkcji ciepła na poziomie 45%.

Wzór (1) przedstawia zasoby energetyczne w przypadku wykorzystania biomasy wierzby wiciowej uprawianej na ugorach i nieużytkach [ $PJ = 10^{15} J$ ].

$$E_{un} = W_w \cdot (0,5 \cdot P_u + 0,2 \cdot P_n) \cdot P_w \cdot S \quad (1)$$

gdzie:

$E_{un}$  - energia z biomasy pozyskanej na gruntach ugorowanych i nieużytkach, PJ,

$W_w$  - wartość opałowa wierzby, GJ/Mg,

$P_w$  - plon wierzby, Mg/ha/rok,

$P_u, P_n$  - powierzchnia gruntów ugorowanych i nieużytków, tys. ha,

$S$  - sprawność pozyskiwania energii (=0,8).

Na rysunku 1 przedstawiono ilość energii otrzymywanej z wierzby wiciowej, którą można uprawiać na odłogach i nieużytkach w Polsce (3083 TJ ( $1 TJ = 10^{12} J$ )). Największe potencjalne zasoby energii znajdują się w województwach wielkopolskim (498 TJ) i dolnośląskim (386 TJ). Biomasa wierzby jest dobrą alternatywą dla spalania węgla, szczególnie w instalacjach indywidualnych.



Rys. 1. Potencjał techniczny energii pozyskanej z wierzby energetycznej uprawianej na gruntach ugorowanych i nieużytkach w Polsce [TJ] (opracowanie własne)

Fig. 1. Technical potential of energy obtained from energy willow grown on uncultivated lands and fallows in Poland [TJ] (own data)

<sup>1</sup> Wierzba będzie wykorzystywana do rekultywacji

#### 4. Potencjał biomasy miskanta olbrzymiego na ugorach i nieużytkach

W celu oszacowania możliwej do uzyskania energii z biomasy miskanta olbrzymiego z uprawianego na ugorach i nieużytkach poczyniono następujące założenia:

- wartość opałowa miskanta wynosi 18 GJ/Mg [11],
- średni plon miskanta jako rośliny C-4 jest wyższy, przyjęto go na poziomie 10 Mg/ha/rok biomasy na gruntach ugorowanych i na nieużytkach,
- zostanie zagospodarowane 50% odłogów i 20% nieużytków [11],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80% (wzór (2)).

Wzór (2) przedstawia zasoby energetyczne w przypadku wykorzystania biomasy miskanta olbrzymiego uprawianego na ugorach i nieużytkach [PJ]

$$E_{un} = W_m \cdot (0,5 \cdot P_u + 0,2 \cdot P_n) \cdot P_m \cdot S \quad (2)$$

gdzie:

$E_{un}$  - energia z biomasy pozyskanej na gruntach ugorowanych i nieużytkach, PJ,

$W_m$  - wartość opałowa miskanta, GJ/Mg,

$P_m$  - plon miskanta, Mg/ha/rok,

$P_u, P_n$  - powierzchnia gruntów ugorowanych i nieużytków, tys. ha,

$S$  - sprawność pozyskiwania energii (=0,8).

Na rysunku 2 przedstawiono ilość energii z miskanta olbrzymiego, którego można uprawiać na odłogach i nieużytkach w Polsce (3650 TJ). Największe potencjalne zasoby energii znajdują się w województwach wielkopolskim (590 TJ) i dolnośląskim (458 TJ).



Rys. 2. Potencjał techniczny energii pozyskanej z miskanta olbrzymiego uprawianego na gruntach ugorowanych i nieużytkach w Polsce [TJ] (opracowanie własne)

Fig. 2. Technical potential of energy obtained from giant miscanthus grown on uncultivated lands and fallows in Poland [TJ] (own data)

Porównując potencjał wierzby wiciowej i miskanta olbrzymiego, należy stwierdzić, że zarówno ilość biomasy i możliwej do pozyskania energii jest większa w przypadku miskanta. Jest to roślina o cyklu fotosyntetycznym C-4, miskant ma więc większe możliwości przyrostu masy; jest to jednak gatunek obcy, dość inwazyjny. Wybierając roślinę energetyczną, należy uwzględnić lokalne warunki przyrodnicze: klasę gleby, ilość opadów, temperaturę itd.

## 5. Dyskusja

Należy stwierdzić, iż Polska dysponuje znacznym arealem gruntów możliwych do wykorzystania pod uprawę wierzby bądź miskanta z przeznaczeniem na cele energetyczne - łączna powierzchnia gruntów kształtuje się na poziomie 191,6 tys. ha. Trzeba jednak pamiętać, iż powierzchnię tę stanowią również grunty marginalne, czyli grunty V, VI klasy bonitacyjnej i należy wziąć pod uwagę, że plony na tych obszarach nie będą zbyt wysokie.

Warto zagospodarować i rekultywować ugory i nieużytki, a przy okazji produkować biomasę. Wybór rośliny, która będzie uprawiana, zależy od warunków glebowo-klimatycznych. Na terenach podmokłych, mocno zasobnych w składniki odżywcze (np. zamknięte składowiska odpadów komunalnych) z powodzeniem można uprawiać wierzbę. Z kolei na glebach jałowych przy małej ilości wody bardziej wskazany byłby miskant olbrzymi.

Miskant olbrzymi jako roślina C-4 pozwala na produkcję większej ilości biomasy, choć o niższej wartości opałowej. Oszacowano, że w Polsce możliwe jest uzyskanie 3083 TJ energii z wierzby wiciowej lub 3650 TJ energii z miskanta olbrzymiego.

Spalanie śmieci i zlej jakości węgla (niska emisja) przyczynia się w dużej mierze do powstawania smogu w Polsce. Należy jak najszybciej podjąć działania zmniejszające emisję gazów i pyłów. Jednym z rozwiązań jest zmiana kotła i paliwa, w tym przypadku wykorzystanie kotła na biomasę oraz biomasy rośliny energetycznej jako paliwa. Szczególnie na terenach wiejskich warto rozbudowywać sieć ciepłowniczą, paliwem zaś powinna być biomasa. W większych miejscowościach powinny powstawać elektrociepłownie na biomasę, w których w skojarzeniu produkuje się prąd elektryczny i ciepło. Jednak, aby energia teoretyczna pozyskiwana z plantacji wierzby lub miskanta stała się praktyczną, należy ją wykorzystywać lokalnie, gdyż transport biomasy na duże odległości generuje wysokie koszty i przez to obniża jej opłacalność. Co więcej, popiół ze spalania biomasy powinien służyć jako nawóz do nawożenia plantacji danej rośliny energetycznej.

Energetyka odnawialna to niewielkie jednostki wytwórcze zlokalizowane blisko odbiorcy, co pozwala na podniesienie lokalnego bezpieczeństwa energetycznego oraz zmniejszenie strat przesyłowych. Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych cechuje się niewielką lub zerową emisją zanieczyszczeń, co zapewnia pozytywne efekty ekologiczne.

Sektor OZE, w tym bioenergetyka, jest jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi gospodarki na świecie, także w Polsce. Szeroko zakrojone badania w ośrod-

kach naukowych skutkują wzrostem wydajności pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, jak również spadkiem cen instalacji OZE. Rozwój energetyki odnawialnej jest impulsem do dalszych badań i rozwoju nowych technologii. Oczekuje się, że wraz z ich rozwojem i dalszym wzrostem produkcji zmniejszeniu ulegną koszty inwestycyjne, co stanowi obecnie istotną barierę ich wdrażania i rozwoju.

## Wnioski

1. Polska posiada znaczny areal ugorów (134,2 tys. ha) i nieużytków (63,4 tys. ha).
2. Możliwe jest zagospodarowanie części ugorów i nieużytków w kierunku produkcji biomasy z roślin energetycznych.
3. Do obliczenia (oszacowania) potencjału biomasy roślin energetycznych wybrano najchętniej uprawiane w Polsce: wierzbę wiciową i miskanta olbrzymiego.
4. Oszacowana ilość energii z biomasy wierzby wiciowej w Polsce wynosi 3083 TJ.
5. Oszacowana ilość energii z biomasy miskanta olbrzymiego w Polsce wynosi 3650 TJ.
6. Rośliny energetyczne, a przede wszystkim wierzba wiciowa pozwalają na jednoczesną produkcję biomasy i rekultywację terenu.
7. Rozwój lokalnych elektrociepłowni na biomasę pozwoli zwiększyć bezpieczeństwo energetyczne obszarów wiejskich.

## Literatura

- [1] Główny Urząd Statystyczny, Rocznik statystyczny województw, Warszawa 2016.
- [2] Igliński B., Buczkowski R., Cichosz M., Technologie bioenergetyczne, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2009.
- [3] Dubas J.W., Grzybek A., Kotowski W., Tomczyk A., Wierzba energetyczna - uprawa i technologie przetwarzania, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomii i Administracji w Bytomiu, Bytom 2004.
- [4] Sobczyk W., Plonowanie wierzby wiciowej - w świetle badań, Polityka Energetyczna 2007, 10, 2, 547-555.
- [5] Kościk B. (red.), Rośliny energetyczne, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Lublin 2003.
- [6] Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski J., Plon biomasy wierzby produkowanej systemem eko-salix, Fragmenta Argonomica 2011, 28, 4, 104-115.
- [7] Janiszewska D.A., Potencjał energetyczny upraw wierzby na gruntach marginalnych, Zeszyty Naukowe Wydziału Nauk Ekonomicznych Politechniki Szczecińskiej 2014, 18, 47-56.
- [8] Kabała C., Karczewska A., Kozak M., Przydatność roślin energetycznych do rekultywacji i zagospodarowania gleb zdegradowanych, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu 2010, 576, 97-118.
- [9] Buczkowski R., Kondzielski I., Szymański T., Metody remediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi, Wydawnictwo Mikołaja Kopernika, Toruń 2002.
- [10] Kołodziej A.U., Nowe rośliny energetyczne: miskant olbrzymi (trawa słoniowa), Zachodniopomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego, Barzkowice 2015.
- [11] Buczkowski R., Igliński B., Cichosz M., Ojczyk G., Stańczak M., Piechota G., Biomasa w energetyce, Wydawnictwo Mikołaja Kopernika, Toruń 2012.



<sup>1</sup> Nicolaus Copernicus University in Toruń, Faculty of Chemistry  
Department of Chemical Proecological Processes  
Gagarina 7, 87-100 Toruń

<sup>2</sup> Faculty of History, Department of Archeology  
Szosa Bydgoska 44/48, 87-100 Toruń  
e-mail: iglinski@chem.umk.pl

## **Streszczenie**

Obliczono potencjał techniczny energii z biomasy roślin energetycznych na terenach ugorowanych i nieużytkach w Polsce. Łączna powierzchnia ugorów w Polsce to 134,2 tys. ha, zaś nieużytków 63,4 tys. ha. Przedstawiono krótką charakterystykę wierzby energetycznej *Salix viminalis* oraz miskanta olbrzymiego *Miscanthus giganteus*. Ilość energii z wierzby wicowej, którą można pozyskać w Polsce wynosi 3083 TJ, zaś 3650 TJ w przypadku miskanta olbrzymiego. Miskant jako roślina o cyklu fotosyntetycznym C-4 ma większe możliwości przyrostu masy; jest to jednak gatunek obcy, dość inwazyjny.

**Słowa kluczowe:** biomasa, ugory, nieużytki, rośliny energetyczne, Polska