

**Anna Jędrejek, Zuzanna Jarosz**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach*

## **POTENCJAŁ BIOMASY ROLNICZEJ NA CELE ENERGETYCZNE W WOJEWÓDZTWIE LUBELSKIM**

### *POTENTIAL OF AGRICULTURAL BIOMASS FOR ENERGY PRODUCTION PURPOSES IN LUBELSKIE PROVINCE*

**Słowa kluczowe: biomasa, słoma, siano, biogaz, potencjał energetyczny**

*Key words: biomass, straw, hay, biogas, energy potential*

*JEL codes: Q20*

**Abstrakt.** Celem artykułu jest oszacowanie potencjału energetycznego biomasy ubocznej z produkcji rolniczej (słoma, siano, nawozy naturalne) na terenie województwa lubelskiego. Wskazano także potencjał energetyczny możliwy do pozyskania z kukurydzy, jako kosubstratu w produkcji biogazu. Przeprowadzone szacunki wykazały, że potencjał energetyczny biomasy ubocznej z produkcji roślinnej kształtuje się na poziomie 26 966,6 TJ/rok. Na terenie województwa można także pozyskać 195 350,8 dam<sup>3</sup>/rok biogazu, którego energię można przekształcić w 5 586,4 TJ/rok energii cieplnej lub 1241 GWh/rok energii elektrycznej.

### **Wstęp**

Nieustannie postępujący rozwój gospodarczy przyczynia się do wzrostu zapotrzebowania na energię. Dążąc do ograniczenia zużycia energii pierwotnej zawartej w węglu, ropie i gazie, państwa Unii Europejskiej (UE) propagują wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych (OZE). Wyrazem tych dążeń jest uchwalona 23 kwietnia 2009 roku dyrektywa 2009/29/WE [Dz.U. UE L 09.140.16.2009] w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, zgodnie z którą w 2020 roku przewiduje się wzrost udziału OZE w bilansie energetycznym do 20%. Dla Polski udział ten został określony na poziomie 15%.

Cele w zakresie krajowego udziału energii z OZE w sektorze transportu, energii elektrycznej oraz ogrzewania i chłodzenia przyjęto w 2010 roku w dokumencie pt. *Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych*. Istotne znaczenie dla realizacji celów krajowej polityki energetycznej ma wykorzystanie biomasy do produkcji energii. Zdaniem Bogdana Kościka i współautorów [2005], biomasa jest najbardziej efektywnym źródłem energii odnawialnej pod względem ekonomicznym, a jej udział w strukturze wykorzystania OZE przekracza 98%.

Według Dyrektywy 2009/28/WE, biomasa oznacza ulegającą biodegradacji część produktów, odpadów lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa, leśnictwa i związanych z nimi działów przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, a także ulegającą biodegradacji część odpadów przemysłowych i miejskich.

Wykorzystanie części produkcji rolniczej na cele energetyczne ma duże znaczenie dla rolnictwa, gdyż umożliwia zwiększenie zatrudnienia w rolnictwie, zagwarantowanie stabilnych dochodów oraz wspieranie inicjatyw lokalnych przez stworzenie warunków do rozwoju przedsiębiorczości. Województwo lubelskie określane jest jako obszar peryferyjny, zarówno w ujęciu ekonomicznym, jak i przestrzennym. Wykorzystanie potencjału tkwiącego w produkcji biomasy na terenie województwa może być przyczynkiem do jego większego rozwoju.

Celem opracowania jest oszacowanie zasobów energetycznych biomasy rolniczej możliwej do pozyskania na obszarze województwa lubelskiego. Mając na uwadze podstawową funkcję rolnictwa, jaką jest zabezpieczenie potrzeb żywnościowych, skupiono się na biomase ubocznej

z produkcji roślinnej (słoma, siano) oraz zwierzęcej (odchody). Poprawa efektywności procesu technologicznego produkcji biogazu wymaga czasem uzupełnienia wsadu substratami o wyższej wartości energetycznej, np. kiszonką kukurydzy. Dlatego wskazano także potencjał energetyczny możliwy do pozyskania z kukurydzy, jako kosubstratu w produkcji biogazu.

### Material i metodyka badań

Podstawowe źródło informacji stanowiły dane statystyczne GUS pochodzące z *Państwowego spisu rolnego* z 2010 roku [GUS 2011] dla 213 gmin miejskich, wiejskich i miejsko-wiejskich województwa lubelskiego, które zaktualizowano na podstawie analizy zmian w produkcji rolniczej w latach 2010-2015. Przyjęto założenie, że zmiany w poszczególnych gminach były takie same jak w województwie. Dane obejmowały: plony i powierzchnie zasiewów gatunków zbóż, trwałych użytków zielonych, stan pogłowia zwierząt gospodarskich w podziale na gatunki i grupy użytkowe oraz powierzchnie jakości gleb według rodzajów. Plony słomy poszczególnych gatunków zbóż określono na podstawie wskaźników charakteryzujących proporcje między plonem głównym i ubocznym [Harasim 2011].

Podstawowym kierunkiem zagospodarowania słomy jest produkcja zwierzęca. Słomę zużywa się jako paszę uzupełniającą oraz ściółkę. Do oszacowania ilości słomy niezbędnej na wymienione cele wykorzystano normatywy rocznego zapotrzebowania poszczególnych gatunków zwierząt na słomę oraz liczebność pogłowia zwierząt gospodarskich. W szacunkach potencjału energetycznego uwzględniono także zużycie słomy niezbędnej do utrzymania dodatniego bilansu substancji organicznej w glebie (słoma na przyoranie). W obliczeniach wykorzystano współczynniki reprodukcji (odtworzenia) i degradacji (rozkładu) glebowej substancji organicznej. Wielkość tych współczynników zależy od uprawianej rośliny i rodzaju gleby oraz rodzaju stosowanych nawozów naturalnych i mineralnych [Harasim 2011]. Obliczenia wykonano według metodyki przedstawionej w opracowaniu Zuzanny Jarosz i współautorów [2014].

Do oszacowania nadwyżki siana z trwałych użytków zielonych zastosowano formułę:

$$N_{si} = (Pow \cdot Y) - (DJP \cdot Sk)$$

gdzie:  $N_{si}$  – nadwyżka siana (t),  $Y$  – średni plon siana w regionie (t/ha),  $Pow$  – powierzchnia TUZ (ha),  $DJP$  – liczba jednostek przeliczeniowych na sztukę i rodzaju inwentarza (przeżuwacze),  $Sk$  – ilość siana przeznaczona na DJP.

W celu określenia realnych zasobów siana na cele energetyczne należało uwzględnić ilość siana związaną z chowem przeżuwaczy. Przyjęto, że dzienne zapotrzebowanie siana na dużą jednostkę przeliczeniową (DJP) wynosi 20 kg [Winnicki i in. 2012].

Odchody zwierzęce jako surowiec energetyczny wykorzystywane są do produkcji biogazu rolniczego. Zasoby biomasy ubocznej z produkcji zwierzęcej oszacowano według formuły:

$$P_B = L \cdot W_B \cdot 365$$

gdzie:  $P_B$  – potencjał biogazu rolniczego ( $m^3/r$ ),  $L$  – liczba DJP (szt.),  $W_B$  – wskaźnik dziennej produkcji biogazu w przeliczeniu na DJP ( $m^3$  DJP/d).

Do obliczeń wykorzystano wskaźniki: bydło – 1,5, trzoda chlewna – 1,0 i drób – 3,75 [Klugmann-Radziemska 2009]. Natomiast ilość energii w oszacowanym potencjale biogazu obliczono według wzoru:

$$P_{EB} = P_B \cdot W_{ZM} \cdot 23$$

gdzie:  $P_{EB}$  – potencjał energetyczny biogazu (MJ/r),  $P_B$  – potencjał biogazu rolniczego ( $m^3/r$ ),  $W_{ZM}$  – współczynnik zawartości  $CH_4$  w biogazie (średnio 0,65), wartość energetyczna biogazu o zawartości 65% metanu – 23 MJ  $m^{-3}$ .

Doskonałym substratem uzupełniającym nawozy naturalne w produkcji biogazu jest kiszonka kukurydzy. Założono, że z 1 ha powierzchni uprawy kukurydzy wielkość produkcji biometanu wynosi 5 tys. m<sup>3</sup>. Natomiast wielkość energii obliczono, przyjmując, że z 1 ha można uzyskać około 17 MWh energii elektrycznej i około 90 GJ ciepłej [Popczyk 2008]:

$$E_c = A \cdot 90$$

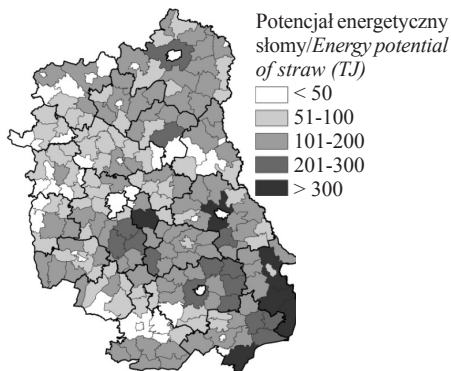
$$E_e = A \cdot 17$$

gdzie:  $E_c$  – energia cieplna w GJ,  $E_e$  – energia elektryczna w MWh,  $A$  – areal uprawy w ha.

## Wyniki badań

Biomasa jest zużywana przez gospodarstwa rolne w celach grzewczych oraz spalana przez elektroenergetykę zawodową głównie w procesie współspalania z węglem. Surowcem pochodzenia rolniczego, który z powodzeniem może być wykorzystywany na cele energetyczne, jest słoma. Zmiany w produkcji rolniczej obejmujące spadek pogłowia zwierząt gospodarskich przy jednoczesnym wzroście udziału zbóż i roślin oleistych w strukturze zasiewów przyczyniły się do powstania nadwyżek słomy, które mogą być przeznaczone do bezpośredniego spalania. W ostatnim czasie pojawiły się jednak kontrowersyjne opinie dotyczące spalania słomy. Zwolennicy podkreślają pozytywne walory środowiskowe, twierdząc, że spalanie słomy nie zwiększa emisji CO<sub>2</sub> do środowiska, ponieważ dwutlenek węgla emitowany podczas spalania biomasy został zasymilowany przez rośliny w procesie fotosyntezy [Dzikuć 2014]. Przeciwnicy zaś uważają, że słomę należy przeznaczać na przyoranie zwiększając sekwestrację węgla organicznego w glebie [Wójcicki 2015]. Należy jednak zaznaczyć, że zbyt częste przyoranie słomy może powodować zachwianie gospodarki azotowej w glebie oraz stwarza niebezpieczeństwo nasilonego występowania niektórych chorób.

Wielkość zasobów słomy zależy przede wszystkim od powierzchni zasiewów, uzyskiwanych plonów i gatunku rośliny. W 2015 roku w województwie lubelskim łączna powierzchnia zasiewów zbóż i roślin oleistych wynosiła 891,3 tys. ha, co pozwoliło na uzyskanie ponad 3019,4 tys. t słomy. Przeprowadzona analiza wykazała, że na cele ściółkowe, paszowe oraz na przyoranie należało przeznaczyć 1249,1 tys. t słomy, co stanowiło 41,4% jej produkcji. Z porównania ilości możliwej do pozyskania słomy z zapotrzebowaniem na nią, wynika, że można uzyskać ponad 1770,3 tys. t nadwyżki słomy. Uzyskana nadwyżka słomy jest większa od szacunku dla 2013 roku przedstawionego przez Piotra Gradziuka [2015]. Przyjmując, że 1 tona słomy o wilgotności 15% ma wartość opałową 13,1 GJ, można osiągnąć potencjał energetyczny na poziomie



Rysunek 1. Potencjał energetyczny słomy

Figure 1. Energy potential of straw

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

23 191,2 TJ i zastąpić 966,3 tys. t średniej jakości węgla kamiennego o wartości opałowej 24 MJ/kg. Potencjał ten jest zróżnicowany w poszczególnych gminach województwa lubelskiego (rys. 1).

Największym potencjałem energetycznym nadwyżek słomy charakteryzowały się gminy skupione w powiatach: zamojskim – 2242,8 TJ/rok, białskopodlaskim – 2125,4 TJ/rok, chełmskim – 2120,9 TJ/rok, lubelskim – 1994,3 TJ/rok, tomaszowskim – 1952,0 TJ/rok i hrubieszowskim – 1887,6 TJ/rok.

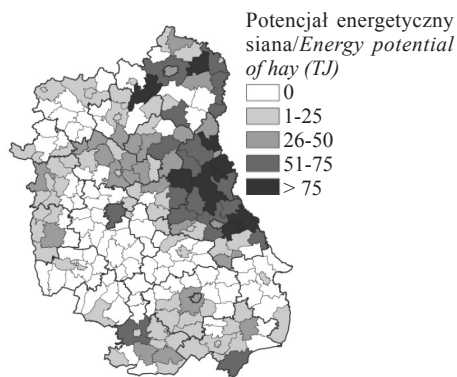
Intensyfikacja produkcji mleka wymusiła produkcję pasz dla przeżuwaczy z gruntów ornych. Trwałe użytki zielone (TUZ) straciły znaczenie w produkcji pasz, a zbiory traw nie są w pełni wykorzystane. Część tej biomasy można zatem przeznaczyć na cele energetyczne. W woje-

wództwie lubelskim trwale użytki zielone w 2015 roku zajmowały 228,5 tys. ha powierzchni. Potencjał teoretyczny siana wyniósł 1139,1 tys. t, z czego szacunkowe zapotrzebowanie na pasze objętościowe dla bydła wyniosło 857,4 tys. t, zatem oszacowana na 281,7 tys. t biomasa z TUZ bez szkody dla produkcji pasz może stanowić źródło energii odnawialnej. Przyjmując, że wartość energetyczna siana wynosi 13,4 GJ, to potencjał energetyczny biomasy z TUZ na terenie województwa lubelskiego wyniesie 3775,4 TJ i zrównoważy wydajność energetyczną 157,3 tys. t węgla kamiennego. Największy potencjał energetyczny nadwyżek siana notują gminy położone na terenie powiatów: włodawskiego – 609,1 TJ/rok, białkopodlaskiego – 609,0 TJ/rok oraz chełmskiego – 735,5 TJ/rok (rys. 2). Najmniejszy zaś potencjał stwierdzono w powiatach krańskim – 5,7 TJ/rok i lubelskim – 10,5 TJ/rok.

Jednym z celów wyznaczonych przez politykę energetyczną Polski jest rozwój biogazowni [MG 2010]. Program zakłada utworzenie do 2020 roku średnio jednej biogazowni w każdej gminie, przy założeniu posiadania odpowiednich warunków do realizacji inwestycji. Realizacja założeń ma służyć:

- poprawie bezpieczeństwa energetycznego poprzez dywersyfikację źródeł dostaw i miejsc wytwarzania nośników energii,
- wytwarzaniu energii z surowców nie konkurujących z rynkiem żywności (m. in. produkty uboczne rolnictwa, odchody zwierzęce),
- zmniejszeniu negatywnego wpływu na środowisko i ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych,
- wykorzystaniu produktów odpadowych i ubocznych z produkcji rolnej, które dzięki temu stają się towarem, co przyczynia się do wzrostu przychodów rolniczych.

Wybór lokalizacji biogazowni limitowany jest dostępnością surowców do produkcji biogazu. Surowcem możliwym do wykorzystania w biogazowniach rolniczych są odchody zwierzęce. W 2015 roku w województwie lubelskim pogo-

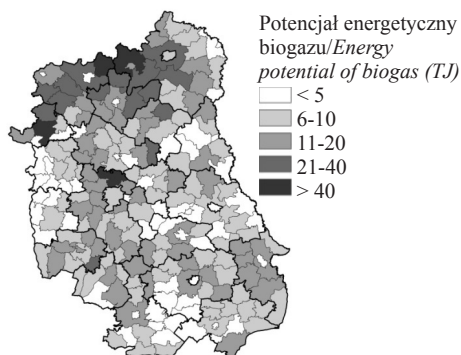


Rysunek 2. Potencjał energetyczny siana

Figure 2. Energy potential of hay

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

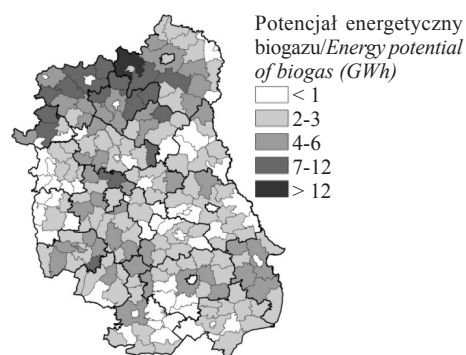


Rysunek 3. Energia cieplna możliwa do uzyskania z nawozów naturalnych

Figure 3. Thermal energy possible to gain from natural fertilizers

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

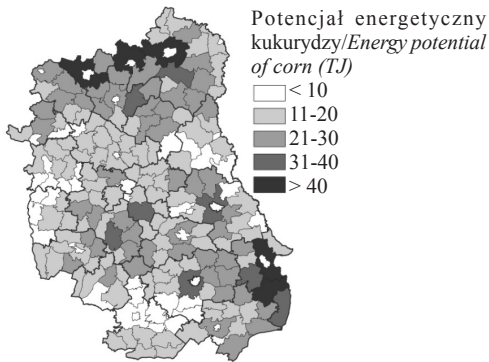


Rysunek 4. Energia elektryczna możliwa do uzyskania z nawozów naturalnych

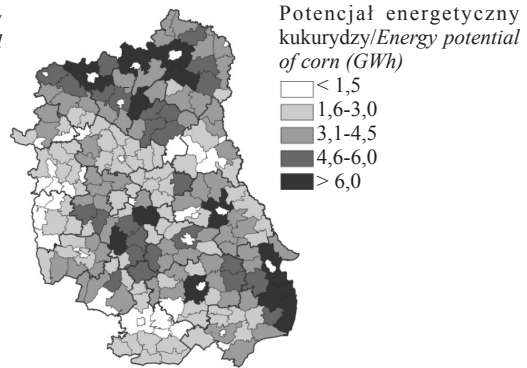
Figure 4. Electricity possible to gain from natural fertilizers

Źródło: opracowanie własne

Source: own study



Rysunek 5. Energia cieplna możliwa do uzyskania z kukurydzy  
*Figure 5. Thermal energy possible to gain from maize*  
 Źródło: opracowanie własne  
*Source: own study*



Rysunek 6. Energia elektryczna możliwa do uzyskania z kukurydzy  
*Figure 6. Electricity possible to gain from maize*  
 Źródło: opracowanie własne  
*Source: own study*

wie bydła wynosiło 362,8 tys. szt., trzody chlewnej 523,5 tys. szt. i drobiu 6 453,4 tys. szt., co pozwoliło na uzyskanie 139,8 dam<sup>3</sup> biogazu. Biogaz może być wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej i ciepłej, po uzdatnieniu może być dostarczany do sieci gazowej, a także jako paliwo do pojazdów lub w procesach technologicznych [Kupczyk i in. 2009]. Największe korzyści ekonomiczne zapewnia stosowanie biogazu do produkcji energii elektrycznej i ciepłej w układach kogeneracyjnych (CHP). Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że z oszacowanej wielkości biogazu można uzyskać 2090,6 TJ/rok energii ciepłej (rys. 3) lub 580,7 GWh/rok energii elektrycznej (rys. 4).

Największym potencjałem energetycznym z nawozów naturalnych cechowały się gminy skupione w powiatach: białkopodlaskim – 289,6 TJ/rok, lubelskim – 219,1 TJ/rok i łukowskim – 215,1 TJ/rok. Mniejszym potencjałem charakteryzowały się gminy w powiatach: radzyńskim – 161,9 TJ/rok, lubartowskim – 131,5 TJ/rok i zamojskim – 130,5 TJ/rok.

Aby zwiększyć efektywność ekonomiczną produkcji biogazu stosuje się mieszaniny kilku substratów, zwane kofermentacją. Uzupełnienie nawozów naturalnych substratami o większej zawartości suchej masy oraz wysokiej wartości energetycznej wpływa na wzrost produkcji biogazu oraz zwiększa bezpieczeństwo dostaw surowca. Najlepszym uzupełnieniem jest kiszzonka kukurydzy [Michalski 2009]. Powierzchnia uprawy kukurydzy na terenie województwa lubelskiego w 2015 roku wynosiła 38,8 tys. ha. Z powierzchni tej można uzyskać około 194 211 dam<sup>3</sup> biometanu, który może być wykorzystany do produkcji energii ciepłej – 3495,8 TJ/rok (rys. 5) lub elektrycznej – 660,3 GWh/rok (rys. 6).

Regionami o najwyższym potencjale energetycznym z kukurydzy były gminy położone na terenie powiatów: białkopodlaskiego – 402,4 TJ/rok, lubelskiego – 330,1 TJ/rok, zamojskiego – 278,6 TJ/rok i hrubieszowskiego – 243,4 TJ/rok. Najmniejszym potencjałem natomiast charakteryzowały się powiaty: opolski – 54,9 TJ/rok i świdnicki – 82,3 TJ/rok.

## Podsumowanie

Województwo lubelskie dysponuje dużym potencjałem energetycznym biomasy ubocznej z produkcji roślinnej, który kształtuje się na poziomie 26 966,6 TJ/rok. Obszar dysponuje także wystarczającym potencjałem surowcowym do produkcji biogazu rolniczego. W województwie lubelskim można uzyskać 195 350,8 dam<sup>3</sup>/rok biogazu, którego energię można przekształcić w 5586,4 TJ/rok energii ciepłej lub 1241 GWh/rok energii elektrycznej.



Przeprowadzone szacunki wskazują na możliwość rozwoju województwa w kierunku wykorzystania atutu, jakim są zasoby biomasy na cele energetyczne. Zagospodarowanie tych zasobów może przynieść społeczności gmin wymierne korzyści w postaci: zwiększenia lokalnego bezpieczeństwa energetycznego, poprawy stanu środowiska, zmniejszenia bezrobocia i aktywizacji lokalnej przedsiębiorczości, obniżenia kosztów ogrzewania i energii elektrycznej. Stwarza to szansę na poprawę sytuacji społeczno-gospodarczej i przyczynia się do zrównoważonego rozwoju. Efektywne wykorzystanie będących w dyspozycji województwa zasobów jest istotnym czynnikiem w uzyskaniu przewagi konkurencyjnej regionu.

### Literatura/Bibliography

- Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (Directive 2009/28/EC of April 23, 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources). Dz.U. UE L09.140.16.
- Dzikuć Maciej. 2014. Znaczenie wykorzystania współspalania biomasy w produkcji energii elektrycznej w Polsce (The importance of biomass co-firing in electricity production in Poland). *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu* 361: 48-56.
- Gradziuk Piotr. 2015. Gospodarcze znaczenie i możliwości wykorzystania słomy na cele energetyczne (The economic importance and possibilities of using straw for energy purposes). *Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB Puław* 45: 1-173.
- GUS. 2011. *Powszechny spis rolny 2010* (Agricultural Census 2010). Warszawa, <http://stat.gov.pl/spisy-powszechno-powszechny-spis-rolny-2010>.
- Harasim Adam. 2011. *Gospodarowanie słomą* (Straw management). Puławy: IUNG-PIB.
- Jarosz Zuzanna, Antoni Faber, Magdalena Borzęcka-Walker, Rafał Pudelko. 2014. Szacowanie i regionalizacja potencjału biomasy ubocznej z produkcji zbóż (Estimating and regionalisation of biomass potential from cereal production). *Roczniki Naukowe SERIA XVI* (3): 99-103.
- Klugmann-Radziemska Ewa. 2009. *Odnawialne źródła energii – przykłady obliczeniowe* (Renewable energy sources – computational examples). Gdańsk: Wyd. Polityki Gdańskiej.
- Kościk Bogdan, Aleksandra Głowacka, Alina Kowalczyk-Juško, Teresa Wylupek. 2005. Szacowanie potencjału biomasy na cele energetyczne do bezpośredniego spalania – problemy metodologiczne (Estimation of biomass potential to direct burn for energy purposes – methodology problems). *Roczniki Naukowe SERIA VII* (7): 160-165.
- Kupczyk Adam, Agata Prządka, Izabela Różnicka. 2009. Wybrane problemy produkcji i wykorzystania biogazu, biogaz w krajach Unii Europejskiej i w Polsce (Selected problems of production and use of biogas, biogas in the European Union and Poland). *Energetyka* 8: 552-556.
- Michalski Tadeusz. 2009. Biogazownia w każdej gminie – czy wystarczy surowca (Biogas plant in each municipality – is there enough raw material). *Wież Jutra* 3 (128): 12-14.
- MG (Ministerstwo Gospodarki). 2010. *Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010-2020* (Directions for the development of agricultural biogas plants in Poland in 2010-2020). Warszawa: Ministerstwo Gospodarki.
- Popczyk Jan. 2008. Rola biomasy i polskiego rolnictwa w realizacji Pakietu energetycznego (The role of biomass and Polish agriculture in the implementation of the Energy Package). *Czysta Energia* 2: 18-20.
- Winnicki Stanisław, J. Lech Jugowar, Lech Nawrocki. 2012. Analiza możliwości organizacji bazy paszowej na glebach o niskiej bonitacji dla stada krów o wysokiej wydajności (An analysis of the possibility of fodder base management on low grade soils for high capacity milking cows). *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 1 (37): 239-248.
- Wójcicki Zdzisław. 2015. Znaczenie biomasy w energetyce i gospodarce żywnościowej (The importance of biomass in energy sector and food industry). *Problemy Inżynierii Rolniczej* 1 (87): 5-15.

### Summary

The purpose of this paper was to estimate biomass and by-products from plant production (straw, hay, natural fertilizer) in Lubelskie province, as well as demonstrate energy potential possible to obtain from maize as a co-substrate for biogas production. The estimates and related assumptions show that this region has a high energy potential amounting to 26 966.6 TJ/year, which can be gain from biomass and by-products from plant production. The area also possesses significant sources of potential for agricultural biogas production and can provide 195 350.8 dam<sup>3</sup>/year biogas, which may be converted into thermal energy – 5586.4 TJ/year or electricity – 1241 GWh/year.

Adres do korespondencji  
mgr Anna Jędrejek (orcid.org/0000-0001-8541-4410)  
dr Zuzanna Jarosz (orcid.org/0000-0002-3428-5804)  
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach  
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy  
tel. (81) 478 68 99  
e-mail: ajedrejek@iung.pulawy.pl