

Waldemar Gostomczyk

Politechnika Koszalińska

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SŁOMY JAKO LOKALNEGO PALIWA

ABILITY TO USE STRAW AS LOKAL FUEL

Słowa kluczowe: biomasa, słoma, odnawialne źródła energii

Key words: biomass, straw, renewable energy

JEL codes: Q42

Abstrakt. Celem opracowania jest oszacowanie nadwyżek słomy, które mogą być wykorzystane w celach energetycznych, zwłaszcza w gospodarstwach rolnych gdzie jest ona produkowana. Polska charakteryzuje się znacznymi zasobami energetycznymi słomy, zwłaszcza na obszarach o wysokim udziale zbóż w strukturze zasiewów i wysokim udziale gospodarstw bezinwentarzowych. Na podstawie danych GUS pochodzących z powszechnego spisu rolnego i roczników statystycznych rolnictwa oszacowano potencjał energetyczny na poziomie powiatów. Wykonane obliczenia pozwoliły stwierdzić, że praktycznie w każdym gospodarstwie rolnym można zastąpić stosowany dotychczas węgiel kamienny słomą energetyczną, uzyskując równocześnie wymierne korzyści ekonomiczne.

Wstęp

Jednym z priorytetowych celów Unii Europejskiej (UE) jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Cel ten można osiągnąć zastępując wysokoemisyjne paliwa konwencjonalne źródłami odnawialnymi. Funkcjonowanie nowoczesnego gospodarstwa rolnego jest ściśle związane z koniecznością pokrycia rosnącego zapotrzebowania na energię [Ginałski 2015]. Obecnie główne trendy wpływające na kształt polityki energetycznej to: nacisk na redukcję emisji gazów cieplarnianych i odejście od technologii wytwórczych opartych na węglu, rosnąca społeczna świadomość środowiskowa, rozwój technologii produkcji energii ze źródeł odnawialnych, rosnąca popularność i efektywność kosztowa paliw alternatywnych [ME 2017]. Celem ich szerszego wykorzystania jest maksymalizowanie korzyści dla lokalnej gospodarki oraz podniesienie bezpieczeństwa energetycznego przez zmniejszenie uzależnienia od importu nośników energii i rozproszenie źródeł i miejsc wytwarzania energii. W Polsce rolnictwo zużywa około 6% energii finalnej przy średniej światowej i 3% w UE. Zużycie to wykazuje stałą tendencję wzrostową [Wiśniewski 2016]. W Polsce energetyka odnawialna bazuje na zasobach biomasy leśnej i rolniczej, pochodzącej zarówno z plantacji dedykowanych, jak i wszelkich odpadów i produktów ubocznych rolnictwa. Dzięki wykorzystaniu tych źródeł i lokalnej produkcji energii, rolnik z płatnika za energię i taniego dostawcy biomasy, może przekształcić się w prosumenta. Jednym z istotnych źródeł biomasy wykorzystywanej w energetyce lokalnej może być słoma, której główną zaletą jest występowanie w znacznych ilościach, zwłaszcza na terenach, na których występuje wysoki udział zbóż, rzepaku, kukurydzy w strukturze zasiewów oraz wysoki udział gospodarstw bezinwentarzowych. Biomasa jest obecnie najtańszym źródłem energii. Produktywność z 1 ha innych źródeł jest wyższa, ale koszt wytworzenia 1 GJ biomasy to tylko 25 zł (tab. 1).

Celem pracy jest oszacowanie potencjału energetycznego słomy pochodzącej z upraw zbożowych i rzepaku w powiatach województwa zachodniopomorskiego. Na jego podstawie określono możliwości wykorzystania słomy w lokalnych kotłowniach, w gospodarstwach rolnych, w lokalnej energetyce oraz korzyści ekonomiczne jej energetycznego przetwarzania.

Tabela 1. Produktyność różnych form generacji energii z hektara ziemi rolnej
 Table 1. Productivity of different forms of energy generation per hectare of agricultural land

Forma generacji/ <i>Forms of generation</i>	Gęstość energii/ <i>Energy density</i> [GJ/ha]	Cena nośnika energii/ <i>Price of energy</i> <i>carrier</i> [PLN/GJ]	Produktyność/ <i>Productivity</i> [PLN/ha]
Ciepło z kolektorów słonecznych/ <i>Heat from the solar collectors</i>	36 000	30	1 080 000
Energia elektryczna z systemu fotowoltaicznego/ <i>Electricity from a photovoltaic system</i>	3 600	139	500 400
Energia elektryczna z farmy wiatrowej/ <i>Electricity from a winter farms</i>	700	139	97 300
Biomasa/ <i>Biomass</i>	190	25	4 750

Źródło: opracowanie na podstawie [Wiśniewski 2016]

Source: own study based on [Wiśniewski 2016]

Material i metodyka badań

W opracowaniu wykorzystano dane statystyczne GUS dla 18 powiatów województwa zachodniopomorskiego pochodzące ze spisu powszechnego z 2010 roku. Analizowane dane zawierały wielkości i strukturę zasiewów i zbioru zbóż, rzepaku i rzepiku oraz obsadę zwierząt. Produkcję słomy obliczono następująco [Jasiulewicz 2010]:

$$P = \sum A \cdot Y \cdot w_{zs}(t)$$

gdzie: P – produkcja słomy ze zbóż podstawowych oraz rzepaku i rzepiku, A – powierzchnia uprawy danego gatunku rośliny (ha), Y – plon ziarna danego gatunku rośliny (t/ha), w_{zs} – stosunek plonu słomy do plonu ziarna.

Przy oszacowaniu słomy, która może być przeznaczona na cele energetyczne, zmniejszono zasoby słomy o jej zużycie w rolnictwie. W szacunku tym uwzględniono słomę na pokrycie popytu w hodowli zwierząt, a także na podtrzymanie stabilnej zasobności glebowej materii organicznej. Nadwyżkę słomy możliwą do spożytkowania w celach energetycznych obliczono w następujący sposób [Kołodziej, Matyka 2012]:

$$N = P - (Z_s + Z_p + Z_n)$$

gdzie: N – nadwyżka do alternatywnego (energetycznego) wykorzystania, P – produkcja słomy z zbóż podstawowych oraz rzepaku i rzepiku, Z_s – zapotrzebowanie słomy na ściółkę, Z_p – zapotrzebowanie słomy na paszę, Z_n – zapotrzebowanie słomy na przyoranie.

Popyt na słomę stosowaną w produkcji zwierzęcej oszacowano w oparciu o stan pogłowia zwierząt oraz rocznych standardów przyjętych dla określonych typów i zespołów użytkowych na podstawie wzoru [Kołodziej, Matyka 2012]:

$$Z_s = \sum_{i=1}^n q_i s_i \quad \text{i} \quad Z_p = \sum_{i=1}^n q_i p_i$$

gdzie: Z_s – zapotrzebowanie słomy na ściółkę, Z_p – zapotrzebowanie słomy na paszę, q_i – pogłowia i -tego gatunku, s_i – normatyw zapotrzebowania słomy na ściółkę i -tego gatunku, p_i – normatyw zapotrzebowania słomy na paszę i -tego gatunku.

Potencjał energetyczny słomy obliczono następująco:

$$E_{st} = N \cdot 13 \cdot 80\% / 3600 \text{ [GWh/rok]}$$

gdzie: E_{st} – potencjał techniczny nadwyżek słomy, N – masa nadwyżek słomy [t], 80% – sprawność urządzeń do spalania biomasy, 13 GJ/t – wartość energetyczna słomy o wilgotności 18-22%.

Wyniki tych obliczeń dla poszczególnych powiatów i całego województwa zachodniopomorskiego zawarto w tabeli 3.

Wyniki badań

W Polsce zużycie energii w gospodarstwach domowych kształtuje się następująco [Adamski 2014]: ogrzewanie – 72%, ciepła woda – 15%, przygotowanie posiłków – 7%, wyposażenie elektryczne – 4%, oświetlenie – 2%. W dominującym w zużyciu energii ogrzewaniu pomieszczeń paliwa stałe są wykorzystywane przez 49,2% gospodarstw domowych. Dwa najważniejsze i najpowszechniej stosowane paliwa stałe to węgiel kamienny i drewno opałowe [GUS 2017]. Z danych przedstawionych w tabeli 2 wynika, że drewno opałowe i pozostała biomasa są najtańszymi nośnikami energii.

Gospodarstwa domowe w mieście i na wsi różnią się formą zabudowy, wielkością i średnią liczbą zamieszkałych osób. Wpływa to na zużycie energii i jej formy. Typowe gospodarstwo domowe na wsi to gospodarstwo zamieszkałe w domu jednorodzinnym ogrzewanym paliwami stałymi. Do tej grupy należało w 2015 roku 24,7% wszystkich krajowych gospodarstw domowych, w odniesieniu do terenów wiejskich było to 75,9% gospodarstw. Średnia powierzchnia użytkowa domu wyniosła 108,3 m² (w mieście 50,5 m²), a średnia liczba osób w gospodarstwie domowym wyniosła 3,4 (w mieście 2,3). Różnice parametrów strukturalnych przekładały się na zużycie energii. Na wsi zdecydowanie przeważają paliwa stałe, które były wykorzystywane w 90,7% gospodarstw. Wyraźne różnice występowały w sposobie zaopatrzenia w ciepłą wodę bieżącą. Na wsi tylko 2,3% gospodarstw pozyskiwało ją z sieci, a 92,5% ogrzewało ją lokalnie w mieszkaniach.

Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych wynosiło w Polsce od 90-120 kWh/m²/rok dla budynków nowych do ponad 240 kWh/m²/rok dla budynków powstałych przed 1985 rokiem. Średnie zużycie wynosi około 170 kWh/m²/rok [Godlewska 2011].

W Polsce w ciągu roku wytwarza się 25-30 mln t słomy [Kwaśniewski 2008], co jest równoważne z 12,5-15,0 mln t węgla. Jednak nie jest możliwe całkowite wykorzystanie potencjału energetycznego tego surowca, ponieważ jego część używa się w innych celach, np. do wyściełania obór, chlewni, jako komponent nawozów organicznych oraz pasz lub jako dodatek do materiałów budowlanych i izolacyjnych. Z badań Zuzanny Jarosz i współautorów [Jarosz i in. 2014] wynika, że całkowity potencjał techniczny słomy z upraw zbożowych, umożliwiający zaspokojenie potrzeb energetycznych wynosi 12 mln t. W rzeczywistości na cele energetyczne możliwe jest zużycie ok. 8-10 mln t słomy. Daje to szansę obniżenia wykorzystania węgla o około 4-5 mln t, przez co również zmniejszenia emisji dwutlenku węgla.

Największą nadwyżką słomy, tj. 79 991,5 t w roku 2010 w województwie zachodniopomorskim (N) charakteryzował się powiat gryfiński. Umożliwiało to wytworzenie 231,1 GWh energii w skali roku. Jedynym powiatem, w którym popyt na słomę był wyższy niż produkcja, był powiat drawski, co sprawiło, że nie było możliwości jej energetycznego wykorzystania.

Tabela 2. Średnie zużycie rodzajów i nośników energii i ich ceny w gospodarstwach domowych
Table 2. Mean consumption of energy types and carriers and their prices in households

Rodzaj/Type	Ilość/Quantity		Wartość/ Value [PLN]		Cena/Price	
Ciepło sieciowe/Network heat	x	30,5 GJ	1607 PLN	x	52,3 PLN/GJ	
Ciepła woda/Hot water	x	38,0 GJ	793 PLN	x	20,2 PLN/m ³	
Węgiel kamienny/Coal	2,8 t	73,8 GJ	2032	732,0 PLN/t	28,2 PLN/GJ	
Drewno opałowe/Fire wood	7,0 m ³	49,0 GJ	737	116,4 PLN/m ³	16,6 PLN/GJ	
Pozostała biomasa (w tym słoma)/ Remaining biomass (including straw)	8,4 m ³	59,1 GJ	509	55,5 PLN/m ³	7,9 PLN/GJ	

Źródło: opracowanie na podstawie [GUS 2017]

Source: study based on [GUS 2017]

Tabela 3. Produkcja i potencjał energetyczny słomy w powiatach woj. zachodniopomorskiego
 Table 3. Production and the energy potential of straw in the districts of Zachodniopomorskie province

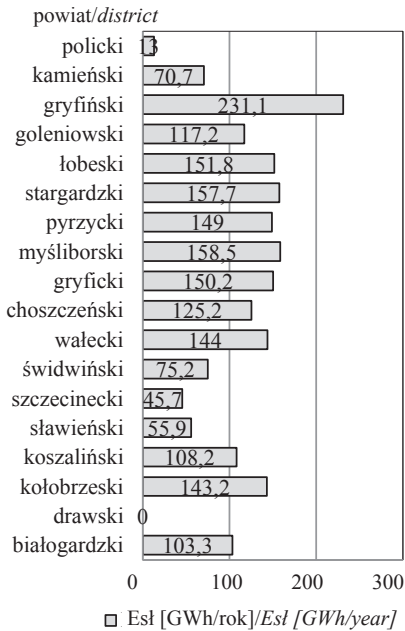
Powiat/District	Produkcja słomy ze zbóż podstawowych oraz rzepaku i rzepiku/ Production of straw from basic cereals and rape [t]	Nadwyżka słomy w powiatach woj. zachodniopomorskiego /surplus straw in the districts of West Pomeranian Province [t]	Oszacowany potencjał słomy na cele energetyczne Est [GWh/rok]/ Estimated straw potential for energy purposes Est [GWh/year]	Liczba domów możliwych do ogrzania wynikająca z potencjału słomy/ Number of possible warm homes resulting from the straw potential
Białogardzki	66 680,9	35 754,3	103,3	5 609
Drawski	63 895,1	0	0	0
Kołobrzeski	92 034,4	49 572,5	143,2	7 776
Koszaliński	98 862,7	37 444,4	108,2	5 875
Sławieński	99 472,4	19 359,9	55,9	3 035
Szczecinecki	85 953,8	15 826,7	45,7	2 481
Świdwiński	88 371,6	26 027,7	75,2	4 083
Wałecki	83 891,4	49 846,2	144,0	7 932
Choszczeński	121 324,1	43 349,2	125,2	6 798
Gryficki	109 427,1	51 988,6	150,2	8 156
Myśliborski	114 129,7	54 859,3	158,5	8 606
Pyrzycki	116 848,1	51 577,4	149,0	8 090
Stargardzki	170 262,8	54 585,1	157,7	8 563
Łobeski	886 110,4	52 547,0	151,8	8 242
Goleniowski	87 611,3	40 564,4	117,2	6 364
Gryfiński	200 073,9	79 991,5	231,1	12 548
Kamieński	79 938,5	24 466,9	70,7	3 839
Policki	16 660,6	4 484,3	13,0	706
Województwo/Province zachodniopomorskie	1 784 049,0	692 245,4	1 999,8	108 703

Źródło: opracowanie własne na podstawie [WUS 2010]

Source: own study based on [WUS 2010]

Z danych na rysunku 1 wynika, że oszacowany potencjał słomy na cele energetyczne na terenie województwa zachodniopomorskiego w roku 2010 wynosił 1999,8 GWh. Spośród wszystkich wymienionych powiatów największym potencjałem odznacza się powiat gryfiński, którego potencjał wynosił 231 GWh/rok. Zaraz po nim znajdował się powiat myśliborski (158,5 GWh), a trzecie miejsce w zestawieniu zajął powiat stargardzki z wynikiem 157,7 GWh/rok. Powiatem o zerowym potencjale był powiat drawski. Słomę na cele energetyczne przeznaczano tylko w tych gospodarstwach, w których bilans substancji organicznej był na zadowalającym poziomie [Kocira i in. 2016].

Przy średnim zapotrzebowaniu 170 kWh/m²/rok i średniej powierzchni użytkowej domu na wsi, roczne zapotrzebowanie na energię do ogrzania domu wynosi 18411 kWh (170 x 108,3), to jest 66,7 GJ. Przyjmując, że 1 tona słomy o wilgotności 18-22% ma wartość energetyczną 13 GJ, to dla ogrzania domu należy przeznaczyć 4,875 t słomy. W 2010 roku produkcja słomy ze zbóż podstawowych oraz rzepaku i rzepiku w województwie zachodniopomorskim wynosiła 1 784 t. a liczba gospodarstw rolnych 29 062 [WUS 2014]. Średnio gospodarstwo rolne wyprodukowało 61,4 t słomy. Oznacza to, że słoma wykorzystywana do ogrzania domu stanowiła 7,9% wyprodukowanego surowca energetycznego. Z dokonanych obliczeń wynika, że oszacowany



Rysunek 1. Potencjał energetyczny słomy w powiatach województwa zachodniopomorskiego w 2010 roku

Figure 1. The energy potential of straw in the districts of Zachodniopomorskie province in 2010

Źródło: opracowanie własne na podstawie [WUS 2016]

Source: own study based on [WUS 2016]

mieszkań i podgrzewanie ciepłej wody użytkowej dla celów bytowych. Ceny kotłów najnowszej generacji przystosowane do spalania słomy wahają się od 10 do 12 tys. zł. Koszt kotła na węgiel to około 4 tys. zł. Porównując oszczędności wynikające z wykorzystania słomy jako paliwa i wyższe koszty kotłów na słomę, inwestycje w ich zakup zwrócą się po 4-5,5 latach. Wysokie ceny nowoczesnych kotłów są prawdopodobną przyczyną niskiego stopnia wykorzystywania słomy do ogrzewania domów w gospodarstwach rolnych. W niedalekiej perspektywie atrakcyjność wykorzystywania słomy jako lokalnego paliwa, może zwiększyć stosowanie kotłów pracujących w systemie kogeneracyjnym, w technologii ORC (*Organic Rang Cykle*), wytwarzające równocześnie ciepło i energię elektryczną wykorzystywaną w lokalnej sieci. Równoległą technologią wykorzystania słomy, szczególnie w gospodarstwach obszarowo większych (a takich w województwie zachodniopomorskim jest na tle kraju najwięcej) powinna być produkcja brykietów ze słomy dla ich dalszej odsprzedaży. Ich cena na lokalnym rynku wynosi około 400 zł/t, co w porównaniu do kosztów produkcji czyni tą działalność bardzo opłacalną.

Podsumowanie

Gospodarstwa rolne w województwie zachodniopomorskim mają ogromny potencjał do zabezpieczenia potrzeb energetycznych regionu. Specyfika województwa, to największe w Polsce gospodarstwa rolne i wysokie zbiory słomy, co powinno skłaniać do rezygnacji zakupów i przywożenia ze Śląska węgla kamiennego i zastępowanie go lokalnym, miejscowym surowcem. Wysoki potencjał

potencjał słomy na cele energetyczne, wynoszący 1999,8 GWh, pozwoliłby ogrzać 108 703 domów. Praktycznie we wszystkich domach rolników, których w województwie zachodniopomorskim było 29 062, można by stosować paliwo wytworzone we własnym gospodarstwie rolnym. Jako podstawę obliczeń przyjęto wyniki Powszechnego Spisu Rolnego z 2010 roku, ponieważ było to jedyne źródło danych na poziomie powiatów. Od tego czasu w województwie zachodniopomorskim zmniejszyła się powierzchnia zasiewów zbóż podstawowych i rzepaku, zwiększyły się plony zbóż oraz nastąpiły zmiany w pogłowie zwierząt. Zmiany te jednak nie miały decydującego znaczenia na możliwości wykorzystania słomy jako lokalnego paliwa, ze względu na znaczą jej nadwyżkę w stosunku do potrzeb.

Roczne koszty ogrzewania domu wynoszą od 300 do 400 zł w przypadku stosowania słomy własnej i 600-700 zł przy wykorzystaniu słomy zakupionej z dostawą do domu. Wykorzystując równoważny energetycznie węgiel kamienny, koszt ogrzania domu wyniosłby 1750-1875 zł (cena węgla na Pomorzu z racji kosztów transportu ze Śląska wynosi 700-750 zł/t). Pozostała nadwyżka słomy energetycznej może być wykorzystana w lokalnych kotłowniach zabezpieczających w ciepło osiedla mieszkalne, szkoły, przedszkola, żłobki, instytucje publiczne funkcjonujące na obszarach wiejskich. Dla efektywnego wykorzystania słomy niezbędne jest zakup kotła dedykowanego dla tego rodzaju paliwa. Dla większych oszczędności zaleca się kotły dwufunkcyjne zapewniające ogrzewanie

słomy energetycznej w województwie zachodniopomorskim wynika z trzech zasadniczych przyczyn: w strukturze zasiewów zbożowe oraz rzepak i rzepik stanowiły łącznie 81,9% [Sprawozdanie... 2013], wysokie plony zbóż (w latach 2013-2014 wynosiły odpowiednio od 44,5 do 50,2 dt/ha) [WUS 2016] oraz około 50-procentowy udział gospodarstw bezinwentarowych. Nie wszyscy mieszkańcy wsi uświadamiają sobie wartość energetyczną słomy, czego widocznym przejawem jest zaleganie na polu, nieraz przez kilka lat sprasowanych beli słomy. Znacznie mniejsze koszty produkcji ciepła można uzyskać, stosując surowiec wytworzony i pozyskany jak najbliżej miejsca jego przetworzenia. Wykorzystanie słomy stwarza możliwości obniżki kosztów ogrzewania domów, a także uzyskiwania dodatkowych dochodów ze sprzedaży surowców energetycznych (słomy, brykietów). Działania takie doskonale wpisują się w politykę zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska przez redukcję ditlenku węgla i innych gazów cieplarnianych oraz tworzenia lokalnych obszarów zrównoważenia energetycznego lub autonomicznych regionów energetycznych.

Literatura

- Adamski Mariusz. 2014. *Poradnik oszczędzania energii w gospodarstwie domowym*. Suwałki: Wydawnictwo FOTON.
- Ginalski Zdzisław. 2015. *Efektywne gospodarowanie energią w gospodarstwach rolnych*. Brwinów: CDR w Brwinowie.
- Godlewska Joanna. 2011. *Poradnik dobrych praktyk gospodarowania energią w gospodarstwie rolnym*. Białystok: WSE.
- GUS. 2017. *Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2015 r.* Warszawa: GUS.
- Jasiulewicz Michał. 2010. *Potencjał biomasy w Polsce*. Koszalin: Wydawnictwo Uczelniane.
- Jarosz Zuzanna, Antoni Faber, Magdalena Borzęcka-Walker, Rafał Pudełko. 2014. „Szacowanie i regionalizacja potencjału biomasy ubocznej z produkcji zbóż”. *Roczniki Naukowe SERIA XVI* (3): 99-103.
- Kocira Anna, Sławomir Kocira, Danuta Leszczyńska. 2016. Wykorzystanie słomy jako źródła energii a bilans substancji organicznej w gospodarstwach rodzinnych. [W] *Problemy gospodarowania energią i środowiskiem w rolnictwie, leśnictwie i przemyśle*, red. Arkadiusza Gendka, 108. Warszawa: SGGW.
- Kołodziej Barbara, Mariusz Matyka (red.). 2012. *Odnawialne źródła energii, Rolnicze surowce energetyczne*. Poznań PWRiL.
- Kwaśniewski Dariusz. 2008. „Ocena produkcji i potencjalnych możliwości wykorzystania słomy do celów grzewczych na przykładzie powiatu żywieckiego”. *Inżynieria Rolnicza* 6 (104): 113-119.
- ME. 2017. *Innowacje dla energetyki, kierunki rozwoju innowacji energetycznych*. Warszawa: Ministerstwo Energii.
- Sprawozdanie z tematu badawczego nr 4.1.8. *Ocena regionalnego zróżnicowania zmian w organizacji i intensywności polskiego rolnictwa*. Kierownik tematu Mariusz Matyka, okres realizacji lata 2010-2012. Puławy: IUNG.
- Wiśniewski Grzegorz. 2016. *Gospodarstwo rolne jako producent i konsument energii*. Poznań: Instytut Energii Odnawialnej.
- WUS. 2010. *Rocznik statystyczny województwa zachodniopomorskiego*. Szczecin: Wojewódzki Urząd Statystyczny.
- WUS. 2014. *Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2013 r. w województwie zachodniopomorskim*. Szczecin: Wojewódzki Urząd Statystyczny.
- WUS. 2016. *Rolnictwo w województwie zachodniopomorskim w 2015 r.* Szczecin: Wojewódzki Urząd Statystyczny.

Summary

Poland is characterized by significant energy resources of straw especially in areas with high cereal stocks in the sown structure and high share of non-stock farms. The purpose of the study is to estimate the surplus straw that can be used for energy purposes, especially in agricultural holdings where it is produced. Based on GUS data from the General Agricultural Census and the Statistical Yearbook of Agriculture, energy potential was calculated at the district level. The calculations made it possible to conclude that practically every farm can replace the previously used coal with energy straw, while achieving measurable economic benefits.

Adres do korespondencji
dr Waldemar Gostomczyk
Politechnika Koszalińska, Wydział Nauk Ekonomicznych
ul. Kwiatkowskiego 6E, 75-343 Koszalin
e-mail: waldemar.gostomczyk@tu.koszalin.pl