

METODA SZACUNKU POTENCJALNYCH EFEKTÓW EKOLOGICZNYCH POZYSKANIA ENERGII BIOMASY SŁOMY

Grażyna Gawrońska, Krzysztof Gawroński

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę szacunku potencjalnych efektów ekologicznych, rozumianych jako zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego wynikających z zastosowania biomasy słomy jako paliwa alternatywnego dla węgla kamiennego. Wyliczono efekty ekologiczne wyrażone ilością niewyemitowanego do powietrza dwutlenku węgla oraz poziomem (ilością) zmniejszenia się emisji tlenków azotu i dwutlenku siarki. Badania miały charakter przestrzenny i obejmowały obszar Polski w ujęciu województw. Bazę badawczą stanowiły materiały źródłowe GUS, przedstawione w pracy badania miały charakter metodyczny. Autorzy zaprezentowali własny algorytm obrazujący poszczególne etapy zaproponowanej metody. W części aplikacyjnej zweryfikowano jej wyniki. Przedstawiony w pracy szacunek efektów ekologicznych pozyskania energii biomasy słomy wykazał, że nastąpi potencjalne istotne zmniejszenie w Polsce emisji do powietrza tlenków azotu i dwutlenku siarki. Ponadto nie zostanie wyemitowany dwutlenek węgla. Zaproponowana metoda stanowi pierwszy etap prowadzonych w tym zakresie badań. Kolejnym etapem będzie oszacowanie potencjalnego zapotrzebowania na urządzenia do spalania biomasy słomy oraz przedstawienie efektów ekonomicznych zastąpienia węgla kamiennego tym nośnikiem energii.

Słowa kluczowe: metoda szacunku efektów ekologicznych, biomasa słomy, zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego.

WSTĘP, CEL PRACY I HIPOTEZA BADAWCZA

W ostatnich dziesiątkach lat rozwój przemysłu i ciepłownictwa opierał się na energii otrzymywanej ze spalania wysokokalorycznych paliw konwencjonalnych (węgiel kamienny, węgiel brunatny, pochodne ropy naftowej, gaz ziemny). Koszty pozyskiwania

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Grażyna Gawrońska, Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, prof. dr hab. inż. Krzysztof Gawroński, Katedra Gospodarki Przestrzennej i Architektury Krajobrazu, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, al. Mickiewicza 24-28, 30-059 Kraków, e-mail: g.gawronska@ur.krakow.pl, krzysztof.gawronski@ur.krakow.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2016

tych surowców, a także konieczność ochrony środowiska zmuszają do poszukiwania i wdrażania efektywnych sposobów wykorzystania różnego rodzaju niekonwencjonalnych średniokalorycznych materiałów energetycznych. Systemy grzewcze są jednym z największych zagrożeń dla środowiska przyrodniczego. Konwersja energii chemicznej na energię cieplną w kotłach oparta na procesie spalania powoduje emisję do atmosfery produktów spalania, z których najważniejsze to: CO₂, SO₂, NO_x i pyły. Emisja tych związków zależy od wielu czynników, w tym: rodzaju paliwa, sprawności urządzenia, jakości procesu spalania, wychwytywania pyłów ze spalin. Poprawa procesu spalania paliw kopalnych ogranicza emisję szkodliwych substancji, lecz nie eliminuje emisji CO₂, który powstaje zawsze przy spalaniu węgla [Lorenz 2005].

Polityka energetyczna Polski jako jednego z krajów unijnych zmierza do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, zwłaszcza CO₂. Jedno z rozwiązań, które preferowane jest w krajach Unii Europejskiej, to zastępowanie węgla biomasą. Biomasa jest bardzo atrakcyjnym, odnawialnym źródłem energii spełniającym wymagania ochrony środowiska [Pultowicz 2009]. Szacuje się, że zasoby dyspozycyjne biomasy w Polsce to prawie 30 mln ton rocznie, co równoważne jest około 16–19 mln ton węgla kamiennego. Na cele rolnicze zużywa się około 20 mln ton, zatem pozostałe 10 mln ton można wykorzystać na cele energetyczne [Niedziółka i Zuchniarz 2006, Strzelczyk i Wawszczak 2008, Mólka i Łapczyńska-Kordon 2011].

Jednym z rodzajów biomasy jest słoma, która charakteryzuje się niską zawartością azotu, a także niską zawartością siarki. Ma to ogromne znaczenie, ponieważ obecność związków siarki w spalinach powoduje szybką korozję elementów stalowych kotła, kanałów spalinowych itp. W czasie spalania słomy emisja związków siarki w gazach spalinowych jest 5–8-krotnie mniejsza niż przy spalaniu węgla kamiennego średniej jakości [Wichowski 1994]. Ponadto przy spalaniu biomasy, w tym oczywiście słomy przyjmuje się emisję CO₂ równą zero, ponieważ w procesie odnawiania tego paliwa w drodze fotosyntezy pochłanianie CO₂ jest równe emisji podczas spalania [Lipski i in. 2006, Romanowska-Słomka i in. 2009].

W Polsce roczna produkcja słomy wynosi około 25 mln ton [Gradziuk 2006]. Gospodarowanie słomą opierało się przede wszystkim na wykorzystaniu jej jako materiału ściółkowego, jednak od blisko 40 lat obserwuje się spadek jej zużycia na ściółkę, na co ma z pewnością wpływ spadek pogłowia zwierząt gospodarskich (spadki produkcji bydła o ok. 30%). Zastosowanie słomy jako nawozu dla gleby przyczynia się do powstania próchnicy będącej formą przemiany biologicznej. Słomę wykorzystuje się również m.in. w przemyśle do produkcji materiałów izolacyjnych dla budownictwa lub w rolnictwie w celu zabezpieczenia kopców z ziemniakami. W ostatnich latach nadwyżki słomy są wypalane, co przyczynia się do degradacji środowiska naturalnego [Denisiuk 2008].

Słoma nie jest paliwem poznanym tak dobrze jak węgiel kamienny, ropa naftowa czy gaz ziemny. Może jednak mieć duże znaczenie jako nośnik energii pierwotnej na obszarach wiejskich [Gradziuk 1999, Dreszer i in. 2003, Oniszk-Popławska i in. 2011], gdzie rolnicy uprawiają dużo zbóż i gdzie występuje nadmiar słomy w stosunku do możliwości jej użycia w inny sposób. Słoma może być wykorzystywana nie tylko jako paliwo do ogrzewania mieszkań lub budynków inwentarskich w gospodarstwach rolnych, lecz również w kotłowniach komunalnych [Gradziuk i in. 2001, Grzybek i in. 2001,

Gradziuk 2003, 2006, Grzybek 2006]. Popiół, który powstaje ze spalania słomy, może być używany jako nawóz mineralny, ponieważ zawiera znaczną ilość tlenków wapnia i potasu [Wołoszyn i in. 2005].

Słoma wykorzystywana na cele energetyczne musi spełniać pewne wymagania pozwalające na zmniejszenie uciążliwości związanych z jej spalaniem w procesie produkcji energii cieplnej. Ocena jakości słomy dokonywana jest w oparciu o trzy kryteria, tj. wilgotność, stopień zwiędnięcia i wartość opałową. Wysoka wilgotność słomy powodować może problemy z jej magazynowaniem, transportem i zadawaniem do kotła. Wpływa ona bezpośrednio na zmniejszenie wydajności kotła. Maksymalna dopuszczalna zawartość wilgoci w praktyce zawiera się w granicach 18–22%. Stopień zwiędnięcia słomy wskazuje, jak długo pozostawała ona w polu po żniwach i czy była poddawana w tym czasie opadom atmosferycznym. Im większy jest stopień zwiędnięcia słomy, tym większe prawdopodobieństwo, że uległa zmniejszeniu zawartość metali alkalicznych i związków chloru, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia korozyjności i zażużania elementów kotła w procesie spalania. Charakterystyczną cechą takiej słomy jest kolor szary w odróżnieniu do słomy świeżej, która ma kolor żółty. Słoma żółta zbierana jest po żniwach, a słoma szara dosyć długo pozostaje w polu i poddawana jest działaniu zmiennych warunków atmosferycznych, a następnie zostaje wysuszona [Wichowski 1994]. Wartość opałowa słomy jest wprost proporcjonalna do zawartości wilgoci i stopnia zwiędnięcia. Jej wartości opałowe są wyraźnie zróżnicowane dla obu rodzajów słomy. Słoma żółta: rzeczywista wartość opałowa $14,4 \text{ GJ} \cdot \text{Mg}^{-1}$, teoretyczna wartość opałowa $18,2 \text{ GJ} \cdot \text{Mg}^{-1}$; słoma szara: rzeczywista wartość opałowa $15 \text{ GJ} \cdot \text{Mg}^{-1}$, teoretyczna wartość opałowa $18,7 \text{ GJ} \cdot \text{Mg}^{-1}$ [Gawrońska 2000, Janowicz 2006].

Stosowanie słomy jako paliwa ma też pewne wady, ponieważ słoma cechuje się małą gęstością, trudno ją transportować i podawać do kotła, jest materiałem niejednorodnym, zajmującym dużo miejsca w stosunku do zawartej w niej energii [Kubica 2003, Lipski i in. 2006]. Około 70% palnych cząstek słomy, tzw. części lotnych zawartych jest w gazach emitowanych w procesie spalania. Ma to wpływ na konstrukcję kotłów do spalania słomy, a szczególnie komory spalania – chodzi o to, aby zachodziło mieszanie w odpowiednich proporcjach gazów spalinowych z doprowadzonym powietrzem. Z roku na rok rośnie zapotrzebowanie na produkcję słomy ze względu na fakt, iż jest tanim i dobrze służącym środowisku paliwem ekologicznym. Coraz więcej firm oferuje różne rodzaje kotłów o udoskonalonych konstrukcjach i łatwiejszej obsłudze [Lipski i in. 2006].

W czasie madryckiego szczytu Rady Europejskiej w 1994 r. przyjęto zobowiązania w zakresie udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie paliwowo-energetycznym. Polska zobowiązała się, aby w 2020 r. energia odnawialna stanowiła 15% ogólnego zużycia energii [Gradziuk i in. 2001].

Celem niniejszego opracowania jest szacunek potencjalnych efektów ekologicznych, rozumianych jako zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, wynikających z zastosowania biomasy słomy jako paliwa alternatywnego dla węgla kamiennego.

Hipoteza badawcza brzmi następująco: wykorzystanie słomy jako paliwa alternatywnego dla węgla kamiennego w istotny sposób wpłynie na poprawę jakości powietrza atmosferycznego.

MATERIAŁ I METODA

Niniejsze opracowanie ma charakter metodyczny. Zaprezentowana metoda dotyczy określenia potencjalnych efektów ekologicznych, które można by uzyskać w związku z zastosowaniem słomy jako paliwa alternatywnego dla węgla kamiennego. Metoda szacowania potencjalnych efektów ekologicznych pozyskania biomasy słomy na cele grzewcze składa się z kilku etapów. Na ryc. 1 przedstawiono algorytm szacowania efektów ekologicznych pozyskania energii biomasy słomy.

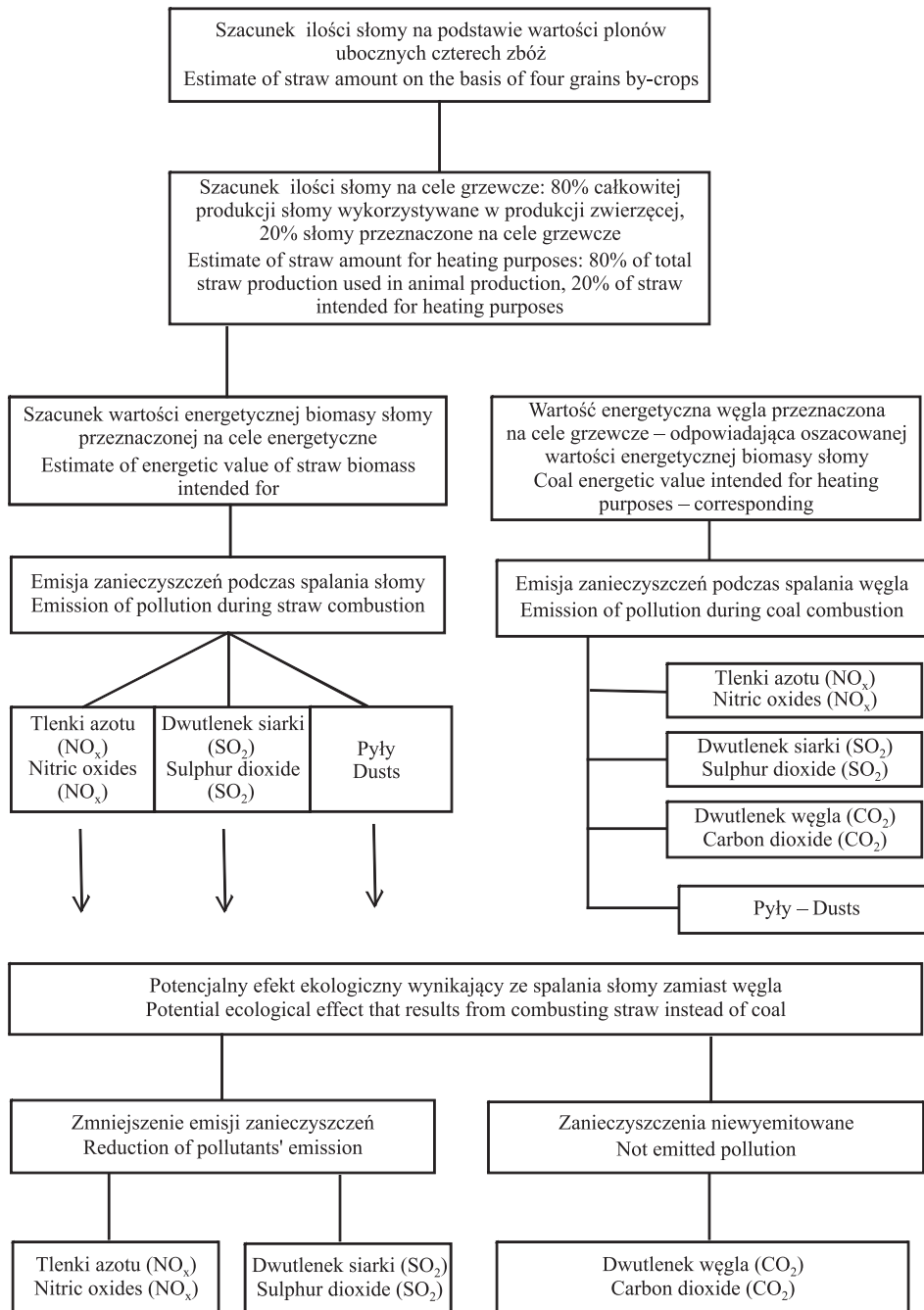
W pierwszym etapie oszacowana została ilość słomy ogółem, którą można by pozyskać na badanym terenie w oparciu o dane opracowane przez Krzysiaka [1965] dotyczące wartości plonów głównych i ubocznych dla kilku zbóż. Plony uboczne dla czterech zbóż pozyskane z 1 ha są następujące:

- pszenica jara – 35 q słomy,
- pszenica ozima – 40 q słomy,
- żyto jare – 25 q słomy,
- żyto ozime – 40 q słomy,
- jęczmień jary – 25 q słomy,
- jęczmień ozimy – 20 q słomy,
- owies – 30 q słomy.

Przyjęto średni plon uboczny dla czterech zbóż równy 31 q z ha.

Następnie oszacowano ilość słomy, którą można by przeznaczyć na cele grzewcze na podstawie założenia, że około 80% całkowitej produkcji słomy wykorzystane zostanie w produkcji zwierzęcej i innej (np. na paszę, ściółkę, jako izolacja budowlana), a 20% może zostać przeznaczone na paliwo energetyczne [Wach i Szajner 1994]. Kolejnym krokiem było obliczenie wartości energetycznej słomy przeznaczonej na cele grzewcze. Założono, że do ogrzewania wykorzystana zostanie słoma szara, której wartość opałowa wynosi $15 \text{ GJ} \cdot \text{Mg}^{-1}$ [Gawrońska 2000]. Dalej przedstawiono bilans zanieczyszczeń emitowanych do powietrza atmosferycznego pochodzących ze spalania słomy. W tym celu posłużono się obliczoną wartością energetyczną słomy wyrażoną w $\text{GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$. Następnie posługując się wskaźnikami emisji w kg, przypadającymi na 1 GJ wyprodukowanej energii cieplnej pochodzącej ze spalania słomy [Wichowski 1994], obliczono wielkości emitowanych zanieczyszczeń do powietrza podczas jej spalania. Kolejno założono, że do ogrzewania wykorzystany zostanie węgiel kamienny, którego wartość energetyczna odpowiadać będzie oszacowanej wartości energetycznej biomasy słomy. Przyjmując powyższe założenie oraz wykorzystując wskaźniki emisji wyrażone w kg przypadające na 1 GJ wyprodukowanej energii cieplnej pochodzącej ze spalania węgla kamiennego [Wichowski 1994], obliczono wielkości emitowanych zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego podczas jego spalania.

W ostatnim etapie przedstawionej metody dokonano szacunku potencjalnych efektów ekologicznych, które wyrażone są zmniejszeniem emisji do powietrza tlenków azotu i dwutlenku siarki, a także niewyemitowaniem dwutlenku węgla, co było wynikiem zastosowania do ogrzewania słomy jako paliwa alternatywnego dla węgla kamiennego. Weryfikację zaproponowanej metody wykonano dla obszaru Polski w ujęciu 16 województw dla 2014 roku.



Ryc. 1. Schemat metody szacowania efektów ekologicznych pozyskania energii biomasy słomy
Fig. 1. Scheme of the method of assessment of ecological effects of obtaining energy from the straw biomass

WYNIKI BADAŃ, DYSKUSJA

W tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń potencjalnych efektów ekologicznych pozyskania biomasy słomy na cele energetyczne dla poszczególnych województw Polski w 2014 roku, w oparciu o zaprezentowaną w pracy metodę, jak również sposób obliczenia potencjalnego efektu ekologicznego wyrażonego zmniejszeniem emisji tlenków azotu i dwutlenku siarki oraz niewyemitowaniem dwutlenku węgla w wyniku zastosowania słomy zamiast węgla o takiej samej wartości energetycznej.

W pierwszej kolejności wyszacowano potencjalne zasoby słomy możliwe do pozyskania z łącznej powierzchni zasiewów upraw czterech podstawowych zbóż (pszenicy ozimej i jarej, żyta ozimego i jarego, jęczmienia ozimego i jarego oraz owsa). Jak wynika z powyższego zestawienia, w 2014 roku w Polsce można było pozyskać $232\,033\,667\text{ q}\cdot\text{rok}^{-1}$ słomy ogółem. Zdecydowanie najwięcej w województwie wielkopolskim: $34\,021\,849\text{ q}\cdot\text{rok}^{-1}$, najmniej natomiast w województwie lubuskim, czyli $6\,204\,712\text{ q}\cdot\text{rok}^{-1}$, a także w województwie śląskim – $6\,459\,811\text{ q}\cdot\text{rok}^{-1}$.

Następnie oszacowana została potencjalna ilość słomy, którą można przeznaczyć na cele grzewcze. Ogółem w Polsce ilość ta wynosi $46\,406\,733,4\text{ q}\cdot\text{rok}^{-1}$. Największe potencjalne zasoby słomy do ogrzewania występują w województwie wielkopolskim i wynoszą $6\,804\,369,8\text{ q}\cdot\text{rok}^{-1}$, najmniej w województwie lubuskim i śląskim, odpowiednio $1\,240\,942,4\text{ q}\cdot\text{rok}^{-1}$ i $1\,291\,962,2\text{ q}\cdot\text{rok}^{-1}$. Kolejno określono potencjalną wartość energetyczną słomy przeznaczonej na cele grzewcze, która wynosi ogółem $69\,610\,100,1\text{ GJ}\cdot\text{rok}^{-1}$, z czego największą wartość osiągnęła w województwie wielkopolskim ($10\,206\,554,7\text{ GJ}\cdot\text{rok}^{-1}$), a najmniejszą w województwach lubuskim ($1\,861\,413,6\text{ GJ}\cdot\text{rok}^{-1}$) i śląskim ($1\,937\,943,3\text{ GJ}\cdot\text{rok}^{-1}$).

W tabeli 1 zaprezentowano również potencjalne wielkości emisji tlenków azotu, dwutlenku siarki i pyłów powstałych w wyniku spalania słomy. Łączna emisja tlenków azotu w Polsce wynosi $11\,137,6\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$, z czego największa występuje w województwie wielkopolskim ($1\,633,0\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$), najmniejsza natomiast w województwach lubuskim ($297,8\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$) i śląskim ($310,1\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$). Z kolei emisja dwutlenku siarki na skutek spalania słomy ogółem w Polsce wynosi $4872,7\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$, największa jest w województwie wielkopolskim ($714,5\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$), a najmniejsza w województwie lubuskim ($130,3\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$) oraz w województwie śląskim ($135,7\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$). Ponadto wyemitowane zostaną pyły w łącznej ilości $13\,922,0\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$, w tym najwięcej w województwie wielkopolskim ($2041,3\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$), najmniejsze emisje pyłów kształtują się w województwach lubuskim ($372,3\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$) i śląskim ($387,6\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$). Przy spalaniu słomy nie zostanie potencjalnie wyemitowany dwutlenek węgla, ogółem w Polsce w ilości $6\,937\,813,0\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$, najwięcej w województwie wielkopolskim ($990\,291,0\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$), najmniej zaś w województwie lubuskim ($180\,629,3\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$) i w województwie śląskim ($192\,013,4\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$).

W tabeli 1 zamieszczono także wielkości emisji do powietrza tlenków azotu, dwutlenku siarki, dwutlenku węgla i pyłów powstałych na skutek spalania węgla kamiennego.

Łączna emisja tlenków azotu w Polsce potencjalnie osiąga wartość $24\,363,5\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$, z czego największą w województwie wielkopolskim ($3572,3\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$), a najmniejszą w województwach lubuskim ($651,5\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$) i śląskim ($678,3\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$). Emisja dwutlenku siarki powstałego przy spalaniu węgla wynosi potencjalnie w Polsce ogółem $52207,6\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$,

Tabela 1. Szacunek potencjalnych efektów ekologicznych pozyskania energii biomasy słomy w Polsce (2014)
 Table 1. Estimate of potential ecological effects of obtaining straw biomass energy in Poland (2014)

Lp. – Lo.	Województwa Provinces	Powierzchnia podstawowych zbóż, ha Area of basic grains, ha	Słoma ogółem, q · rok ⁻¹ Straw in total, q · year ⁻¹	Słoma do ogrzewania, q · rok ⁻¹ Straw for heating, q · year ⁻¹	Wartość energetyczna słomy do ogrzewania GJ · rok ⁻¹ Energetic value of straw for heating GJ · year ⁻¹	Zanieczyszczenia emitowane do powietrza atmosferycznego podczas spalania t · rok ⁻¹ Pollutants emitted to atmospheric air during combustion t · year ⁻¹							Potencjalny efekt ekologiczny – zmniejszenie emisji szkodliwych substancji do powietrza atmosferycznego t · rok ⁻¹ Potential ecological effect – reduction of dangerous substances emissions to atmospheric air t · year ⁻¹			Zwiększenie emisji pyłów do powietrza atmosferycznego t · rok ⁻¹ Increase of dusts emission to atmospheric air t · year ⁻¹
						Słomy Straw				Węgla Coal			Zanieczyszczenia których emisja uległa zmniejszeniu t · rok ⁻¹ Pollutants with decreased emission t · year ⁻¹	Zanieczyszczenia niewyemitowane t · rok ⁻¹ Not emitted pollutants t · year ⁻¹		
						NO _x	SO ₂	Pyły	NO _x	SO ₂	CO ₂	Pyły	NO _x	SO ₂	CO ₂	
1	Dolnośląskie	521690	16172390	3234478	4851717	776,3	339,6	970,3	1698,1	3638,8	486274,7	242,6	921,8	3299,2	486274,7	727,8
2	Kujawsko-pomorskie	615460	19079260	3815852	5723778	915,8	400,7	1144,8	2003,3	4292,8	570883,3	286,2	1087,5	3892,2	570883,3	858,6
3	Lubelskie	790784	24514304	4902860,8	7354291,2	1176,7	514,8	1470,9	2574,0	5515,7	730975,4	367,7	1397,3	5000,9	730975,4	1103,1
4	Lubuskie	200152	6204712	1240942,4	1861413,6	297,8	130,3	372,3	651,5	1396,1	180629,3	93,1	353,7	1265,8	180629,3	279,2
5	Łódzkie	582260	18050060	3610012	5415018	866,4	379,1	1083,0	1895,3	4061,3	551947,6	270,8	1028,9	3682,2	551947,6	812,3
6	Małopolskie	217366	6738346	1347669,2	2021503,8	323,4	141,5	404,3	707,5	1516,1	197559,0	101,1	384,1	1374,6	197559,0	303,2
7	Mazowieckie	879616	27268096	5453619,2	8180428,8	1308,9	572,6	1636,1	2863,2	6135,3	807699,4	409,0	1554,3	5562,7	807699,4	1227,1
8	Opolskie	311541	9657771	1931554,2	2897331,3	463,6	202,8	579,5	1014,1	2173,0	315749,9	144,9	550,5	1970,2	315749,9	434,6
9	Podkarpackie	240413	7452803	1490560,6	2235840,9	357,7	156,5	447,2	782,5	1676,9	209726,2	111,8	424,8	1520,4	209726,2	335,4
10	Podlaskie	447187	13862797	2772559,4	4158839,1	665,4	291,1	831,8	1455,6	3119,1	401151,8	207,9	790,2	2828,0	401151,8	623,8
11	Pomorskie	387331	12007261	2401452,2	3602178,3	576,3	252,2	720,4	1260,8	2701,6	367217,0	180,1	684,4	2449,5	367217,0	540,3
12	Śląskie	208381	6459811	1291962,2	1937943,3	310,1	135,7	387,6	678,3	1453,5	192013,4	96,9	368,2	1317,8	192013,4	290,7
13	Świętokrzyskie	245930	7623830	1524766	2287149	365,9	160,1	457,4	800,5	1715,4	230834,4	114,4	434,6	1555,3	230834,4	343,1
14	Warmińsko-Mazurskie	375555	11642205	2328441	3492661,5	558,8	244,5	698,5	1222,4	2619,5	354967,1	174,6	663,6	2375,0	354967,1	523,9
15	Wielkopolskie	1097479	34021849	6804369,8	10206554,7	1633,0	714,5	2041,3	3572,3	7654,9	990291,0	510,3	1939,2	6940,5	990291,0	1531,0
16	Zachodniopomorskie	363812	11278172	2255634,4	3383451,6	541,4	236,8	676,7	1184,2	2537,6	349893,9	169,2	642,9	2300,7	349893,9	507,5
	Polska	7484957	232033667	46406733,4	69610100,1	11137,6	4872,7	13922,0	24363,5	52207,6	6937813,0	3480,5	13225,9	47334,9	6937813,0	10441,5

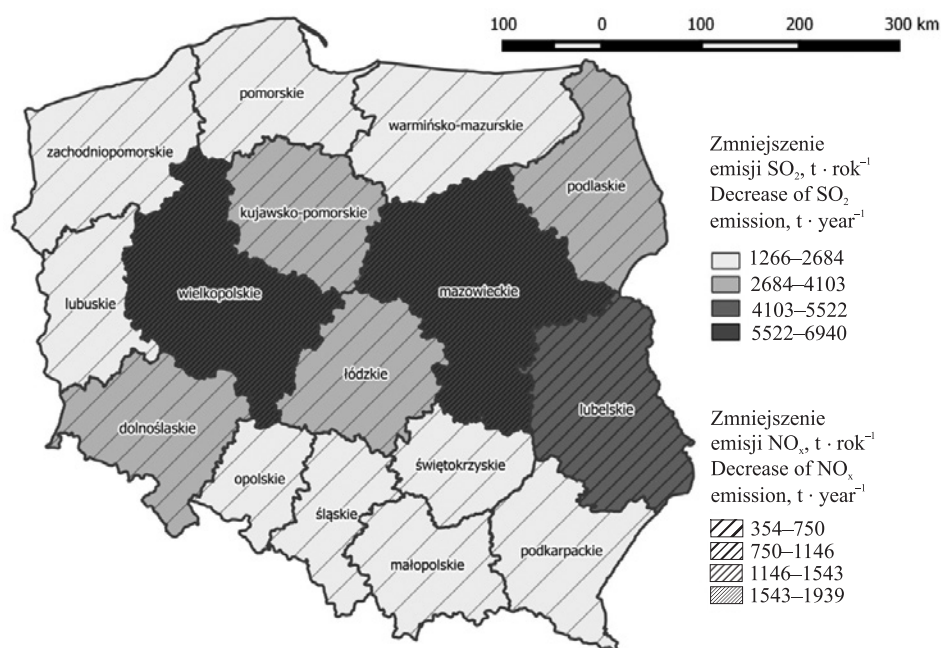
Opracowanie autorów na podstawie danych GUS 2014
 Authors' study on the base of GUS data 2014

w tym największa występuje w województwie wielkopolskim ($7654,9 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$), zaś najmniejsza w województwie lubuskim ($1396,1 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$) i w województwie śląskim ($1453,5 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$).

Przy spalaniu węgla wyemitowany zostanie dwutlenek węgla – potencjalnie w Polsce ogółem $6\,937\,813,0 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$, w tym w największej ilości w województwie wielkopolskim ($990\,291,0 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$), a w najmniejszej w województwach lubuskim ($180\,629,3 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$) i śląskim ($192\,013,4 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$). Pyły łącznie w Polsce wyemitowane zostaną w ilości $3480,5 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$, w tym najwięcej w województwie wielkopolskim ($510,3 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$), a najmniej w województwie lubuskim ($93,1 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$) i w województwie śląskim ($96,9 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$).

Końcowym wynikiem prezentowanych obliczeń jest określenie potencjalnego efektu ekologicznego wyrażonego zmniejszeniem ilości emisji tlenków azotu i dwutlenku siarki, a także niewyemitowaniem dwutlenku węgla w wyniku zastosowania słomy zamiast węgla o takiej samej wartości energetycznej. Jak wynika z zaprezentowanych obliczeń, istnieje potencjalna możliwość zmniejszenia w Polsce emisji tlenków azotu na poziomie $13\,225,9 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$, w tym w największej ilości w województwie wielkopolskim ($1939,2 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$), a w najmniejszej w województwie lubuskim ($353,7 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$) i w województwie śląskim ($368,2 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$). Zmniejszeniu ulegnie również emisja dwutlenku siarki, potencjalnie łącznie w Polsce o $47\,334,9 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$, w największej ilości w województwie wielkopolskim ($6940,5 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$, a w najmniejszej w województwie lubuskim ($1265,8 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$ oraz w województwie śląskim ($1317,8 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$).

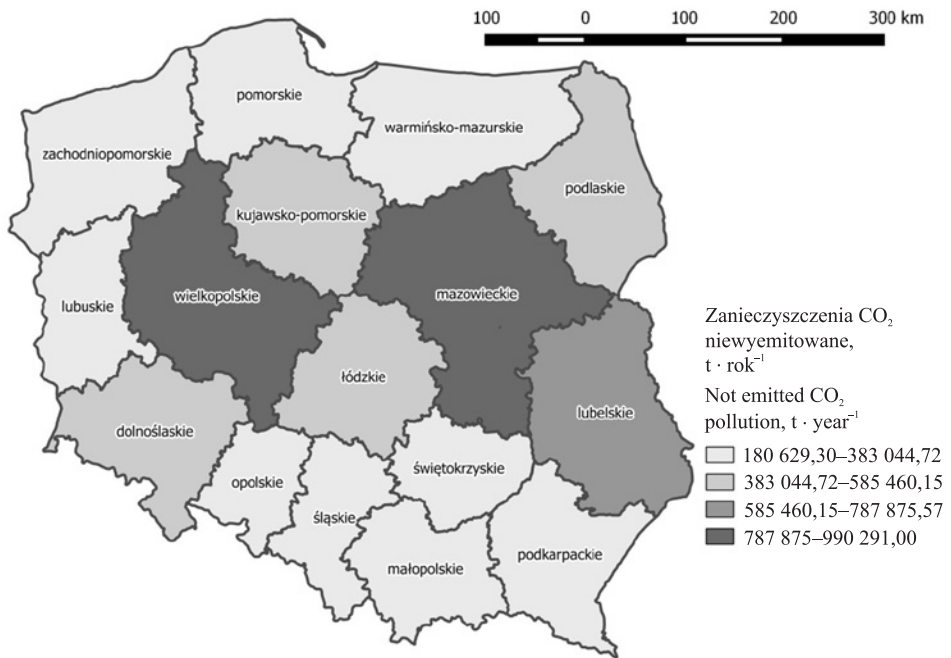
Ryc. 2 przedstawia zmniejszenie emisji tlenków azotu i dwutlenku siarki w ujęciu przestrzennym w formie dwóch nałożonych na siebie kartogramów.



Ryc. 2. Potencjalny efekt ekologiczny – zmniejszenie emisji NO_x i SO_2 w ujęciu przestrzennym, $\text{t} \cdot \text{rok}^{-1}$

Fig. 2. Potential ecological effect – decrease of NO_x and SO_2 emissions in spatial terms, $\text{t} \cdot \text{year}^{-1}$

Nie zostanie też potencjalnie wyemitowany dwutlenek węgla, ogółem w Polsce w ilości $6\,937\,813,0 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$, w największej ilości w województwie wielkopolskim ($990\,291,0 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$), zaś w najmniejszej w województwie lubuskim ($180\,629,3 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$) i w województwie śląskim ($192\,013,4 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$). Przestrzenny rozkład niewyemitowanego dwutlenku węgla w ujęciu województw na obszarze Polski przedstawia ryc. 3. Porównując obydwie paliwa w aspekcie emisji pyłów do powietrza, należy stwierdzić, że ich emisja ulegnie zwiększeniu, potencjalnie łącznie w Polsce o $10\,441,5 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$, w tym największe wartości osiągnie w województwie wielkopolskim ($1531,0 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$), a najmniejsze w województwie lubuskim ($279,2 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$) i w województwie śląskim ($290,7 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$).



Ryc. 3. Potencjalny efekt ekologiczny – nie wyemitowane zanieczyszczenie CO₂ w ujęciu przestrzennym, t · rok⁻¹

Fig. 3. Potential ecological effect-not emitted CO₂ pollution in spatial terms, t · rok⁻¹

WNIOSKI

W niniejszej pracy przedstawiono szacunek potencjalnych efektów ekologicznych pozyskania energii biomasy słomy w oparciu o własną metodę autorów. Zaprezentowana metoda szacunku potencjalnych efektów ekologicznych pozyskania biomasy słomy na cele grzewcze rozumiana jest jako zmniejszenie emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego poprzez zastosowanie słomy jako paliwa alternatywnego dla węgla kamiennego. Weryfikację zaproponowanej metody wykonano dla obszaru Polski w ujęciu 16 województw dla 2014 roku. Analiza uzyskanych wyników badań pozwala na sformułowanie następujących wniosków.

W wyniku zastosowania przedstawionej metody badań emisja tlenków azotu i dwutlenku siarki w Polsce może potencjalnie zostać znacznie obniżona. W przypadku tlenków azotu emisja może ulec zmniejszeniu o 13 225,9 t w ciągu roku, a dwutlenku siarki o 47 334,9 t w ciągu roku, natomiast emisję dwutlenku węgla można potencjalnie w Polsce zredukować o 6 937 813,0 ton w ciągu roku.

Zauważa się wyraźny spadek tlenków azotu i dwutlenku siarki w województwie wielkopolskim, lubelskim, mazowieckim oraz w zachodnich i środkowo-zachodnich województwach Polski, z wyjątkiem województwa lubuskiego. Jest to korzystne zjawisko ze względu na transgraniczne oddziaływanie zanieczyszczeń w kierunku zachodnim (Niemcy).

W wyniku zastosowania metody przedstawionej w pracy nie zostanie wyemitowany dwutlenek węgla, w tym w największej ilości w województwach: wielkopolskim, lubelskim, mazowieckim oraz w zachodnich i środkowo zachodnich województwach Polski.

Zastosowana metoda wykazała, że obszar Polski jest istotnie zróżnicowany w aspekcie uzyskiwanych efektów ekologicznych związanych z możliwością zastąpienia energii węgla kamiennego energią biomasy słomy.

Uzyskane efekty ekologiczne są szczególnie istotne dla analizowanego obszaru ze względu na zobowiązania przyjęte przez Polskę podczas madryckiego szczytu Rady Europejskiej w 1994 r. dotyczące udziału energii odnawialnej w ogólnym zużyciu energii – w 2020 r. udział energii odnawialnej ma stanowić 15% ogólnego zużycia energii w Polsce. Ponadto posiedzenie Rady Unii Europejskiej, które odbyło się w 2014 r. podjęło porozumienie wprowadzające ograniczenie emisji dwutlenku węgla w krajach Unii Europejskiej o co najmniej 40% do 2030 roku oraz przewiduje, że udział energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii w Unii Europejskiej ma wynieść do 2030 r. co najmniej 27%.

Na zakończenie Autorzy wyrażają opinię, że zaproponowana metoda i weryfikacja jej w ujęciu przestrzennym kraju stanowi pierwszy etap prowadzonych w tym zakresie badań. Kolejnym etapem będzie, w oparciu o przeprowadzoną analizę przestrzenną, oszacowanie potencjalnego zapotrzebowania na urządzenia do spalania biomasy słomy oraz wykazanie efektów ekonomicznych zastąpienia węgla kamiennego tym nośnikiem energii.

PIŚMIENNICTWO

- Denisiuk, W. (2008). Słoma – potencjał masy i energii. *Inżyn. Roln.*, 2(100), 23–30.
- Dreszer, K., Michałek, R., Roszkowski, A. (2003). Energia odnawialna, możliwości jej pozyskania, wykorzystania w rolnictwie. Wyd. PTiR – KTR PAN, Lublin – Kraków – Warszawa, 256–260.
- Gawrońska, G. (2000). Efekty ekonomiczne i ekologiczne pozyskiwania energii biomasy słomy w północno-wschodnim regionie Polski. [W:] *Energia odnawialna w ochronie środowiska*. Red. R. Ney. *Studia Rozpr. Monogr.*, 74. Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków, 63–69.
- Gradziuk, P. (1999). Analiza kosztów i efektywności wykorzystania słomy na cele energetyczne w gospodarstwach rolnych. *Rocz. Nauk Roln., Seria G*, 88(1), 159–165.
- Gradziuk, P. (red.) (2003). *Biopaliwa*. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa, 114–120.
- Gradziuk, P. (2006). Ekonomiczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele energetyczne w lokalnych systemach grzewczych. *Acta Agrophys.*, 8(3), 591–601.

- Gradziuk, P., Grzybek, A., Kowalczyk, K. (2001). Słoma energetyczne paliwo. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa, 66–70.
- Grzybek, A. (2006). Wykorzystanie biomasy w energetyce systemowej. *Wieś Jutra*, 8/9 (97/98), 5–7.
- Janowicz, L. (2006). Wykorzystanie słomy do celów grzewczych. Europejskie Centrum Energii Odnawialnej – Centralne Laboratorium Naftowe, Warszawa.
- Krzysiak, A. (1965). Organizacja gospodarstw rolniczych. Wskaźniki i liczby. PWRiL, Warszawa.
- Kubica, K. (2003). Spalanie biomasy i jej współspalanie z węglem – techniki, korzyści i bariery. *Biuletyn Ekologiczny*. Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze.
- Lorenz, U. (2005). Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczania. *Mat. Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Symp. i Konf. 64*. Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków, 97–112.
- Lipski, R., Orliński, S., Tokarski, M. (2006). Energetyczne wykorzystanie biomasy na przykładzie kotłowni opalanej słomą we Fromborku. *Prywatna Wyższa Szkoła Ochrony Środowiska w Radomiu. MOTROL*. 8A, 202–209.
- Mółka, J., Łapczyńska-Kordon, B. (2011). Właściwości energetyczne wybranych gatunków biomasy. *Inżyn. Roln.*, 6(131), 141–147.
- Niedziółka, I., Zuchniarz, A. (2006). Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego. *MOTROL* 8A, 232-237.
- Oniszk-Popławska, A., Curkowski, A., Wiśniewski, G., Dziamski, P. (2011). Energia w gospodarstwie rolnym. Instytut na Rzecz Ekorozwoju – Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa.
- Pułtowicz, A. (2009). Przesłanki rozwoju rynku odnawialnych źródeł energii w Polsce w świetle idei zrównoważonego rozwoju. *Probl. Ekorozw.*, 4(1), 109–115.
- Rocznik statystyczny województw (2015). GUS, Warszawa.
- Strzelczyk, F., Wawszczak, A. (2008). Efektywność biomasy jako paliwa energetycznego. *Rynek Energii*, 5, 51–57.
- Romanowska-Słomka, I., Mirosławski, J., Tomaszewski, W. (2009). Biomasy – charakterystyka – ochrona środowiska – zagrożenia dla zdrowia pracowników. *Zesz. Nauk. Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach*, 1(5), 105–114.
- Wach, E., Szajner, A. (1994). Nowoczesne kotły do spalania biomasy. Analiza ekonomiczna zastosowań. *Semin. Kraj. „Wykorzystanie energii odnawialnej w rolnictwie”*, Warszawa, 23–35.
- Wichowski, R. (1994). Wykorzystanie słomy jako źródła energii odnawialnej w rolnictwie na przykładzie Danii. *Semin. Kraj. „Wykorzystanie energii odnawialnej w rolnictwie”*, Warszawa, 31–34.
- Wołoszyn, W., Furtak, T. (2005). Prognoza oddziaływania na środowisko. Projektu programu rozwoju alternatywnych źródeł energii dla województwa lubelskiego. Lublin, <http://www.oze.bpp.lublin.pl/dokumenty/program/prognoza.pdf>.

THE METHOD OF ASSESSMENT OF POTENTIAL ECOLOGICAL EFFECTS OF OBTAINING ENERGY FROM THE STRAW BIOMASS

Abstract. The method of potential ecological effects assessment understood as decreasing of atmospheric air pollution that results from usage of straw biomass as the alternative fuel to coal was presented in the paper. Ecological effects expressed by the amount of carbon dioxide not emitted into the air and also the level (quantity) of decrease in nitric oxide and sulphur dioxide emission were calculated. The research had spatial character and covered Poland's area in terms of provinces. Central Statistical Office of Poland (in Polish: GUS) source materials accounted for research base and the surveys presented in the paper were the methodical character. The authors presented their own scheme (algorithm) illustrating

particular stages of the proposed method. In the application part, their results were validated. Presented in the paper assessment of ecological effects of gaining straw biomass energy revealed that potential significant decrease of sulphur oxides and sulphur dioxide emission into the air will take place in Poland. Moreover, carbon dioxide will not be emitted.

The suggested method constitutes the first stage of surveys performed in that research range. Evaluation of potential demand for appliances to burn straw biomass as well as presentation of economical effects of replacing coal with this medium of energy will be the next stage of work.

Keywords: method of assessment of ecological effects, straw biomass, atmospheric air pollutions.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 8.03.2016.

Do cytowań – For citation: Gawrońska, G., Gawroński, K. (2016). Metoda szacunku potencjalnych efektów ekologicznych pozyskania energii biomasy słomy. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 15(1), 69–79.