

## SZACUNEK POTENCJALNYCH EFEKTÓW EKOLOGICZNYCH ENERGII BIOMASY DREWNA WIERZBY ENERGETYCZNEJ W GMINIE SKAŁA W UJĘCIU PRZESTRZENNYM

### ESTIMATION OF THE POTENTIAL ENVIRONMENT EFFECTS OF BIOMASS ENERGETIC WILLOW WOOD IN THE SKAŁA MUNICIPALITY IN THE SPATIAL TERMS

Grażyna Gawrońska, Krzysztof Gawroński, Tomasz Salata  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono metodykę szacunku efektów ekologicznych rozumianych jako zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego wynikających z zastosowania wierzby energetycznej jako paliwa alternatywnego dla węgla kamiennego w gminie Skąła w województwie małopolskim. Bazę badawczą stanowiła szczegółowa inwentaryzacja terenowa odłogów występujących na badanym obszarze. W konkluzji Autorzy wykazali efekty ekologiczne wyrażone niewyemitowaniem do powietrza takich zanieczyszczeń jak dwutlenek węgla i dwutlenek siarki oraz istotnym zmniejszeniem emisji tlenków azotu. Uzyskane efekty ekologiczne są szczególnie istotne dla analizowanej gminy ze względu na to, że bezpośrednio sąsiaduje z Ojcowskim Parkiem Narodowym.

**Abstract.** The paper presents the methodology of estimation of ecological effects. The ecological effects are understood as the reduction in air pollution achieved by using energetic willow wood instead of coal. The study was conducted in Skąła municipality in Malopolskie Voivodeship. The research base used in the study was a detailed inventory of fallow lands occurring in the study area. The authors showed ecological effects calculated as the amount of carbon dioxide and sulfur dioxide which are not emitted into the air. Moreover, a significant reduction in nitrogen oxide emissions was recognized as

---

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Grażyna Gawrońska, Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, prof. dr hab. inż. Krzysztof Gawroński, dr inż. Tomasz Salata, 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](mailto:g.gawronska@ur.krakow.pl), [krzysztof.gawronski@ur.krakow.pl](mailto:krzysztof.gawronski@ur.krakow.pl), [tomasz.salata@ur.krakow.pl](mailto:tomasz.salata@ur.krakow.pl).

additional ecological effects. The discovered ecological effects are very important for the analyzed municipalities, due to the neighborhood of Ojcowski National Park.

**Słowa kluczowe:** energia biomasy drewna, efekty ekologiczne.

**Key words:** wood biomass for energy, ecological effects.

## WSTĘP, CEL PRACY I HIPOTEZA BADAWCZA

Polityka leśna Unii Europejskiej zobligowała Polskę do zwiększenia lesistości kraju kosztem zmniejszenia areálu gruntów rolnych ze względu na nierentowność tego działu gospodarki narodowej. Od 1 stycznia 2002 obowiązuje w Polsce ustawa o przeznaczeniu gruntów rolnych do zalesienia [Ustawa... 2001], która reguluje te kwestie. Wyłączenie z produkcji rolnej gruntów o najsłabszej ich przydatności na te cele i zalesienie ich lub wykorzystanie pod zalesienie odłogów może przynieść zarówno korzyści ekonomiczne, jak i środowiskowe.

Lasy to drzewostany związane nierozdzielnie z krajobrazem Polski. Stanowią one ważny czynnik równowagi środowiska przyrodniczego, spełniają bowiem trzy podstawowe rodzaje funkcji – funkcje ekologiczne, produkcyjne i społeczne. Funkcje ekologiczne obejmują zapewnienie obiegu wody w przyrodzie, a także ochronę gleb przed erozją i stepowaniem. Funkcje produkcyjne polegają na odnawialności drewna oraz jego użytkowaniu [Dreszer i in. 2003], funkcje zaś społeczne obejmują kształtowanie korzystnych warunków zdrowotnych i rekreacyjnych dla społeczeństwa. Pewne specyficzne drzewostany stanowią także cenne źródło energii jako substytut węgla kamiennego.

Stopień zanieczyszczenia elementów środowiska przyrodniczego w Polsce, w tym powietrza atmosferycznego wynika przede wszystkim z wykorzystania węgla, jako głównego źródła energii pierwotnej. Węgiel jest najczęściej występującym paliwem kopalnym na świecie, największe są też jego zasoby. Jego udział w wytwarzaniu energii elektrycznej wynosi ok. 40%. Technologie spalania węgla są doskonałe, co wraz z poprawą jego jakości oraz powszechnie stosowanymi metodami oczyszczania spalin powoduje, że negatywne skutki spalania węgla są coraz mniej uciążliwe dla środowiska przyrodniczego [Lorenz 2005]. Jednakże w celach grzewczych stosowane są różnego rodzaju piece, często o małej sprawności, bez urządzeń odpylających, co przyczynia się do zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego.

Obecnie obserwuje się wzrost zainteresowania energetycznym wykorzystaniem drewna, który wynika z faktu, że głównym źródłem energii powinny być zasoby odnawialne [Kowalczyk-Juśko 2010]. Drewno jako jeden z rodzajów biomasy należy do alternatywnych źródeł energii. Nie zawiera w swym składzie siarki, a zatem w wyniku spalania nie są emitowane jej związki, w odróżnieniu od paliw kopalnych, w tym węgla kamiennego, w wyniku spalania których emitowane są do atmosfery głównie: dwutlenek siarki, dwutlenek węgla, tlenki azotu i pyły. Podczas spalania drewna emitowane są tlenki azotu i pyły. Spalanie drewna jako produktu naturalnego nie zakłóca bilansu dwutlenku węgla w atmosferze, ponieważ zostanie on zasymilowany przez następne pokolenia drzew [Świągół i Guzenda 1994]. Można także przyjąć założenie, że ilość emisji dwutlenku węgla podczas spalania drewna jest równa ilości pochłanianej w procesie fotosyntezy

[Dreszer i in. 2003, Wichowski 1994]. Drewno zawiera małą ilość części niepalnych, co pozwala stwierdzić, że jest paliwem ekologicznie czystszy niż węgiel. Często jednak spala się drewno i odpady drzewne w sposób nieprawidłowy w urządzeniach nieprzystosowanych do tego rodzaju paliwa. Prowadzi to wówczas do wzrostu emisji zanieczyszczeń do środowiska [Ladomersky i in. 1993]. Duża zawartość części lotnych, związków aromatycznych i fenolowych powoduje, że stosunkowo trudne jest zupełne dopalenie drewna. Warunkiem korzystnego spalania drewna jest właściwa konstrukcja paleniska i właściwa organizacja procesu spalania [Guzenda i Świgoń 1997]. Spalanie odpadów drzewnych zyskuje na znaczeniu. Obserwowany jest wzrost znaczenia drewna pozyskanego z plantacji wierzby energetycznej (wierzba wiciowa). Duży wpływ na plon wierzby wiciowej mają korzystne warunki siedliskowe, tzn. odpowiednie gleby i odpowiedni poziom wód gruntowych. Największe plony, do 30 t z ha w ciągu roku, można uzyskać na glebach murszowatych, z poziomem wody gruntowej 0,5–1 m poniżej powierzchni terenu, a najniższe, tj. 6–8 t z ha w ciągu roku, na glebach mineralnych brunatnych, z poziomem wody gruntowej ponad 2 m poniżej powierzchni terenu [Jurczak i in. 2010]. Pozyskiwanie energii z odnawialnych zasobów drzewnych jest istotne z punktu widzenia zalesiania części gruntów marginalnych wyłączonych z produkcji roślinnej bądź odłogów. Zagospodarowanie odłogów na cele energetyczne, a także szacunek efektów ekologicznych uzyskanych z biomasy drewna stanowi przedmiot rozważań niniejszego opracowania.

Celem pracy jest szacunek potencjalnych efektów ekologicznych, rozumianych jako zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, wynikających z zastosowania wierzby energetycznej jako paliwa alternatywnego dla węgla kamiennego na przykładzie gminy Skała w województwie małopolskim.

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

Autorzy zastrzegają, że w pracy poddano analizie jedynie potencjalne możliwości wykorzystania wierzby energetycznej jako paliwa alternatywnego na gruntach odłogowanych, bez uwzględnienia takich aspektów tej problematyki jak: opinie i decyzje w tym względzie właścicieli nieruchomości, koszty przygotowania gruntów, ich uprawy oraz koszty zastosowania w budynkach instalacji grzewczych z prawidłową konstrukcją paleniska, w których paliwem będzie wierzba energetyczna.

## **MATERIAŁ I METODA**

Bazę badawczą stanowiła gmina Skała, położona w północno-zachodniej części województwa małopolskiego. Zajmuje ona powierzchnię 74,3 km<sup>2</sup> i zamieszkuje ją 9395 osób. Strukturę administracyjną tworzy 17 sołectw oraz 2 przysiółki. Wybór gminy Skała jako obszaru badań był celowy i wynikał z potrzeby analizy efektów ekologicznych na terenach bezpośrednio sąsiadujących z Ojcowskim Parkiem Narodowym. Zajmuje on bowiem ponad 1223 ha, co stanowi ponad 16% powierzchni gminy.

Podstawowym materiałem źródłowym wykorzystanym w niniejszym opracowaniu była informacja z 2013 roku dotycząca powierzchni gruntów odłogowanych zlokalizo-

wanych w poszczególnych sołectwach badanej gminy. Należy tu nadmienić, że informacje na temat lokalizacji i powierzchni odłogów są bardzo trudne do uzyskania, bowiem gminy nie przeprowadzają inwentaryzacji tego rodzaju gruntów. Na potrzeby niniejszej pracy przeprowadzono zatem szczegółową inwentaryzację gruntów odłogowanych w poszczególnych miejscowościach gminy Skąpa. Zgodnie z pojęciami stosowanymi w badaniach statystycznych pod pojęciem „odłogu” autorzy rozumieją powierzchnię gruntów ornych niedającą plonów, która co najmniej przez dwa lata nie była uprawiana, a także grunty orne, które decyzją właściwego organu zostały przeznaczone pod zalesienie, ale nie zostały zalesione. Zatem tego rodzaju grunty stanowiły podstawę inwentaryzacji terenowej.

Przedstawione opracowanie ma charakter metodyczny. Prezentowana metoda dotyczy określenia potencjalnych efektów ekologicznych, które można uzyskać w związku z zastosowaniem drewna wierzby energetycznej jako paliwa alternatywnego dla węgla kamiennego. Aby zrealizować cel opracowania, przyjęto założenie, że powierzchnie odłogów w poszczególnych miejscowościach gminy Skąpa przeznaczone będą w całości do zalesienia wierzwą energetyczną. Oczywiście dysponując konkretnymi powierzchniami zalesień wierzwą energetyczną można dokładnie określić takie efekty. Autorzy nie dysponowali szczegółowymi danymi z tego zakresu, dlatego przyjęli powyższe założenie.

Metoda szacowania potencjalnych efektów ekologicznych składa się z kilku etapów. W pierwszym etapie oszacowano ilość suchej masy drewna wierzby energetycznej w oparciu o założenie, że zalesiona zostanie powierzchnia odłogów w całości oraz że z 1 ha plantacji wierzby energetycznej można uzyskać średnio 15 ton suchej masy drewna [Jurczak i in. 2010]. Następnie obliczono wartość energetyczną suchej masy drewna [Gawrońska 2000]. Kolejno przedstawiono bilans zanieczyszczeń emitowanych do powietrza atmosferycznego pochodzących ze spalania drewna wierzby energetycznej i węgla kamiennego. Założono, że drewno wierzby energetycznej zostanie w całości zużyte do ogrzewania. Posługując się wskaźnikami emisji w kg, przypadającymi na 1 GJ wyprodukowanej energii cieplnej pochodzącej ze spalania drewna wierzby energetycznej [Wichowski 1994] obliczono wielkości emitowanych zanieczyszczeń do powietrza podczas jej spalania. Następnie założono, że do ogrzewania zużyte zostanie węgiel kamienny, którego wartość energetyczna odpowiadać będzie oszacowanej wartości energetycznej masy drewna wierzby energetycznej. Przyjmując takie założenie i posługując się wskaźnikami emisji w kg przypadającymi na 1 GJ wyprodukowanej energii cieplnej pochodzącej ze spalania węgla kamiennego [Wichowski 1994], obliczono wielkości zanieczyszczeń emitowanych do powietrza podczas spalania węgla.

Ostatnim etapem stosowania prezentowanej metody był szacunek efektów ekologicznych, który wyrażony został jako zmniejszenie emisji do powietrza tlenków azotu oraz niewyemitowanie do powietrza dwutlenku węgla i dwutlenku siarki w wyniku zastosowania do ogrzewania drewna wierzby energetycznej jako paliwa alternatywnego dla węgla kamiennego.

## WYNIKI BADAŃ, DYSKUSJA

W nawiązaniu do zaprezentowanej metody w tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń efektów ekologicznych w gminie Skała według poszczególnych jej miejscowości.

Powierzchnia odłogów w gminie Skała wynosi łącznie 963,74 ha, w tym najwyższa występuje w miejscowości Cianowice – 189,39 ha, oraz we wsi Skała – 158,72 ha. Najniższą powierzchnię odłogów obserwuje się w miejscowościach: Zamłynie – 14,63 ha, i Barbarka – 15,91 ha. Kolejnym elementem przedstawionym w tabeli 1 jest ilość suchej masy drewna wierzby energetycznej. Sumaryczna wielkość suchej masy drewna wierzby energetycznej wynosi w gminie Skała  $14456,10 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$ , z czego największą wartość obserwuje się w miejscowości Cianowice –  $2840,85 \text{ ton} \cdot \text{rok}^{-1}$ , a najmniejszą w miejscowości Zamłynie – 219,45 ha. Następnie oszacowano wartość energetyczną suchej masy drewna wierzby energetycznej. Łączna wartość energetyczna suchej masy drewna wierzby energetycznej wynosi w gminie Skała  $280448,34 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$ , z czego największa występuje w miejscowości Cianowice –  $55112,49 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$ , a najmniejsza w miejscowości Zamłynie –  $4257,33 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Oczywiście jest, że zarówno wielkość suchej masy drewna wierzby energetycznej, jak i wartość energetyczna suchej masy drewna są wprost proporcjonalne do powierzchni zalesianych odłogów.

W tabeli 1 zaprezentowano w kolejności emisje tlenków azotu i pyłów powstałych w wyniku spalania drewna, które kształtują się następująco: wyemitowane zostaną tlenki azotu łącznie w ilości  $44,87 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$  oraz pyły łącznie w ilości  $56,09 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Największe wartości w zakresie emitowanych zanieczyszczeń występują w miejscowości Cianowice, a najmniejsze w miejscowości Zamłynie.

Następnie zamieszczono wielkości emisji do powietrza tlenków azotu, dwutlenku węgla, dwutlenku siarki oraz pyłów powstających w wyniku spalania węgla. Wyemitowane zostaną tlenki azotu łącznie w ilości  $98,16 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$ , dwutlenek węgla łącznie w ilości  $28044,83 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$ , dwutlenek siarki łącznie w ilości  $210,34 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$  oraz pyły łącznie w ilości  $14,02 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Największe wartości w zakresie emitowanych zanieczyszczeń występują w miejscowości Cianowice, a najmniejsze w miejscowości Zamłynie.

Potencjalny efekt ekologiczny, jaki uzyskano w wyniku przeprowadzonych szacunków, wyrażony został w prezentowanej metodzie jako zmniejszenie emisji szkodliwych substancji do powietrza. Otóż w wyniku zastosowania do ogrzewania drewna wierzby energetycznej, jako paliwa alternatywnego dla węgla kamiennego zmniejszeniu ulegnie emisja tlenków azotu o  $53,29 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Ponadto nie zostaną wyemitowane: dwutlenek węgla w ilości  $28044,83 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$  oraz dwutlenek siarki w ilości  $210,34 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$ .

Na ryc. 1 przedstawiono przestrzenne rozmieszczenie potencjalnego efektu ekologicznego związanego z wykorzystaniem wierzby energetycznej jako paliwa alternatywnego dla węgla w poszczególnych miejscowościach gminy Skała. Z analizy wynika, że największy spadek emisji tlenków azotu, a także wyeliminowanie zanieczyszczeń powietrza dwutlenkiem węgla oraz dwutlenkiem siarki (tabela 1) wystąpiło w środkowo-zachodniej części gminy, w tym w miejscowości gminnej. Analiza tej problematyki w ujęciu przestrzennym wykazała, że największy efekt ekologiczny występuje w tej części gminy, która zlokalizowana jest najbliżej miasta Krakowa. Wynika to bez wątpienia z dużej powierzchni gruntów odłogowanych położonych w tej części gminy. Zapewne dobre połączenia komunikacyjne z Krakowem oraz oddziaływanie jego rynku pracy ma wpływ na mniejsze zain-

Tabela 1. Szacunek potencjalnych efektów ekologicznych w gminie Skała w roku 2013  
 Table 1. Estimation of the potential environmental effects in the Skała municipality in 2013

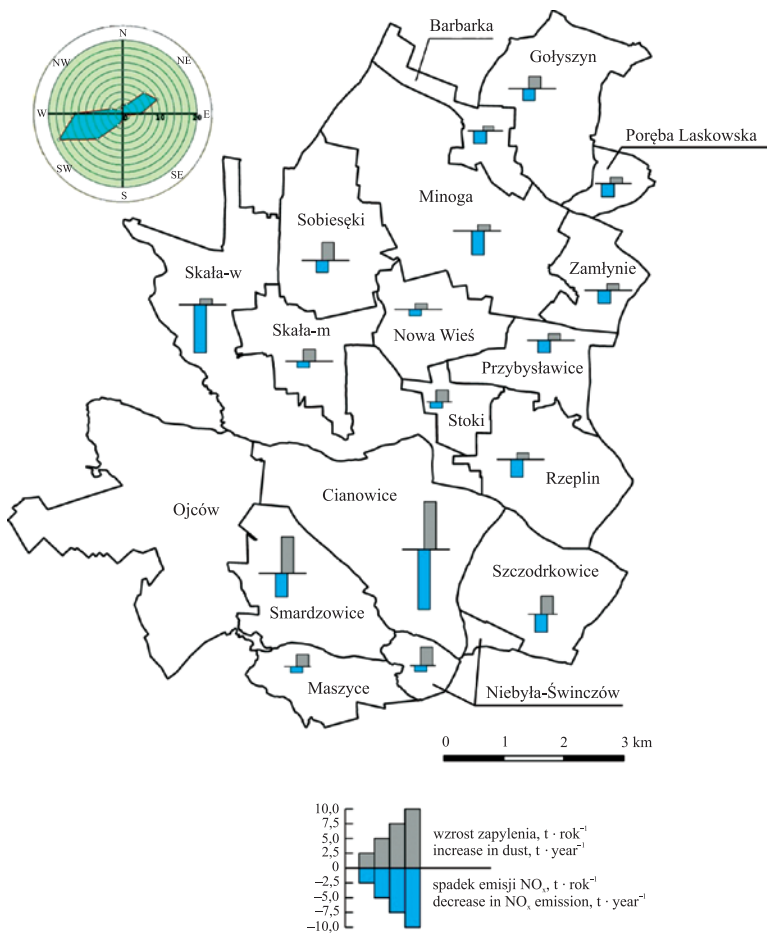
Zwiększenie emisji pyłów do powietrza atmosferycznego, t · rok <sup>-1</sup> Increased dust emissions into the air, t · year <sup>-1</sup>		Pyły	0,69	8,27	2,20
Efekt ekologiczny – zmniejszenie szkodliwych emisji do powietrza atmosferycznego t · rok <sup>-1</sup> Environment effects – reducing dirtiness emissions into the air t · year <sup>-1</sup>	Zanieczyszczenia niewyemitowane t · rok <sup>-1</sup> Dirtiness have not been issued t · year <sup>-1</sup>	SO <sub>2</sub>	3,47	41,33	10,98
		CO <sub>2</sub>	462,98	5511,25	1463,73
	Zanieczyszczenia, których emisja uległa zmniejszenie t · rok <sup>-1</sup> Dirtiness where emissions decreased t · year <sup>-1</sup>	NOx	0,88	10,47	2,78
Emisja zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego podczas procesu spalania t · rok <sup>-1</sup> Emissions to air during the combustion process t · year <sup>-1</sup>	węgla carbon	Pyły	0,23	2,76	0,73
		SO <sub>2</sub>	3,47	41,33	10,98
		CO <sub>2</sub>	462,98	5511,25	1463,73
		NOx	1,62	19,29	5,12
	drewna wood	Pyły	0,93	11,02	2,93
		NOx	0,74	8,82	2,34
Wartość energetyczna suchej masy drewna wierzby energetycznej, GJ · rok <sup>-1</sup> The energy value of dry matter of the wood willow energy, GJ · year <sup>-1</sup>			4629,80	55112,49	14637,30
Sucha masa drewna wierzby energetycznej, t · rok <sup>-1</sup> The dry matter of the wood willow energy, t · year <sup>-1</sup>			238,65	2840,85	754,50
Powierzchnia odlogów w 2013 r., ha The area of fallow land in 2013, ha			15,91	189,39	50,30
Nazwa miejscowości Name of the village			Barbarka	Cianowice	Gołyszyn
Lp. – No			1	2	3

4	Maszyce	29,32	439,80	8532,12	1,37	1,71	2,99	853,21	6,40	0,43	1,62	853,21	6,40	1,28
5	Minoga	89,07	1336,05	25919,37	4,15	5,18	9,07	2591,94	19,44	1,30	4,92	2591,94	19,44	3,89
6	Niebyła- -Świtezów	27,81	417,15	8092,71	1,29	1,62	2,83	809,27	6,07	0,40	1,54	809,27	6,07	1,21
7	Nowa Wieś	23,93	358,95	6963,63	1,11	1,39	2,44	696,36	5,22	0,35	1,32	696,36	5,22	1,04
8	Poręba Laskowska	17,30	259,50	5034,30	0,81	1,01	1,76	503,43	3,78	0,25	0,96	503,43	3,78	0,76
9	Przybyławice	39,99	599,85	11637,09	1,86	2,33	4,07	1163,71	8,73	0,58	2,21	1163,71	8,73	1,75
10	Rzeplin	55,27	829,05	16083,57	2,57	3,22	5,63	1608,36	12,06	0,80	3,06	1608,36	12,06	2,41
11	Skąta – miasto	34,73	520,95	10106,43	1,62	2,02	3,54	1010,64	7,58	0,51	1,92	1010,64	7,58	1,52
12	Skąta – wieś	158,72	2380,80	46187,52	7,39	9,24	16,17	4618,75	34,64	2,31	8,78	4618,75	34,64	6,93
13	Smardzowice	78,06	1170,90	22715,46	3,63	4,54	7,95	2271,55	17,04	1,14	4,32	2271,55	17,04	3,41
14	Sobiesęki	47,34	710,10	13775,94	2,20	2,76	4,82	1377,59	10,33	0,69	2,62	1377,59	10,33	2,07
15	Stoki	21,43	321,45	6236,13	1,00	1,25	2,18	623,61	4,68	0,31	1,18	623,61	4,68	0,94
16	Szozdorkowice	70,54	1058,10	20527,14	3,28	4,11	7,18	2052,71	15,40	1,03	3,90	2052,71	15,40	3,08
17	Zamłynie	14,63	219,45	4257,33	0,68	0,85	1,49	425,73	3,19	0,21	0,81	425,73	3,19	0,64
	RAZEM	963,74	14456,10	280448,34	44,87	56,09	98,16	28044,83	210,34	14,02	53,29	28044,83	210,34	42,07

Opracowanie autorskie na podstawie badań własnych  
 Scientific description of the authors based on their own research

interesowanie się ludności rolnictwem tego rejonu gminy, co z kolei może implikować dużą powierzchnię gruntów rolniczo niewykorzystywanych (odłogów).

Analizę potencjalnych efektów ekologicznych przeprowadzono także w nawiązaniu do wiatrów dominujących w ciągu roku (ryc. 1). Jak wynika z tej analizy, dominujące wiatry z kierunku zachodniego i południowo-zachodniego powodują, że znaczny ładunek zanieczyszczeń dwutlenku siarki oraz dwutlenku węgla w ogóle nie wystąpi i nie będzie przemieszczany w kierunku Ojcowskiego Parku Narodowego, a ponadto ładunek zanieczyszczeń tlenków azotu zostanie znacznie zredukowany. Należy także zaznaczyć, że w procesie spalania drewna w porównaniu ze spalaniem węgla występuje zwiększenie emisji pyłów, co także przedstawiono w tabeli 1 oraz w ujęciu przestrzennym na rycinie 1.



Ryc. 1. Przestrzenne rozmieszczenie potencjalnego efektu ekologicznego w gminie Skąła  
Fig. 1. Potential environmental of spatial distribution effect in the Skąła municipality



## WNIOSKI

W niniejszej pracy przedstawiono metodę szacunku potencjalnych efektów ekologicznych rozumianych jako zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w wyniku zastosowania wierzby energetycznej jako paliwa alternatywnego dla węgla kamiennego na przykładzie gminy Skała w województwie małopolskim. Wybór gminy Skała jako obszaru badań był celowy, bowiem 16% powierzchni gminy leży na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego, a ponadto gmina ta zlokalizowana jest blisko Krakowa.

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie kilku konkluzji związanych z wykorzystaniem biomasy drewna jako źródła energii.

Po pierwsze zastosowanie tej metody w gminie Skała pozwoli potencjalnie wyeliminować emisję dwutlenku węgla na poziomie 28 044,33 ton w ciągu roku oraz emisję dwutlenku siarki na poziomie 210,34 ton w ciągu roku. Ponadto znacznie obniżona zostanie emisja tlenków azotu. Należy jednak zauważyć, że w wyniku zastąpienia spalania węgla spalaniem drewna nastąpi zwiększenie emisji pyłów.

Po drugie analiza przestrzennego rozmieszczenia potencjalnego efektu ekologicznego na obszarze gminy Skała wykazała, że największy efekt ekologiczny występuje w środkowo-zachodniej części gminy, w tym w miejscowości gminnej. Ponadto analiza efektu ekologicznego na tle dominujących wiatrów (róża wiatrów) wykazała, że znaczny ładunek związków siarki i węgla nie zostanie w ogóle wyemitowany, a tym samym nie będzie potencjalnie skierowany na obszar Ojcowskiego Parku Narodowego. Obniży się także zanieczyszczenie powietrza związkami azotu na terenie badanej gminy.

Podsumowując, można stwierdzić, że w warunkach występowania dużej powierzchni gruntów odłogowanych w Polsce jednym ze sposobów ich wykorzystania jest zalesienie drzewostanami o charakterze ekologicznym. Warunkiem jednak tego sposobu wykorzystania gruntów jest konieczność dokładnej ich inwentaryzacji przez administrację gminną. Bowiem bez szczegółowej informacji o strukturze i przestrzennym rozmieszczeniu tych gruntów nie są możliwe propozycje ich zagospodarowania i wykorzystania, w tym także do produkcji biomasy drewna jako źródła energii.

## PIŚMIENNICTWO

- Dreszer K., Michałek R., Roszkowski A., 2003. Energia odnawialna, możliwości jej pozyskania, wykorzystania w rolnictwie. Wyd. PTiR – KTR PAN Lublin – Kraków –Warszawa.
- Gawrońska G., 2000. Efekty ekonomiczne i ekologiczne pozyskiwania biomasy drewna opałowego 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, 55–56.
- Guzenda R., Świągół J., 1997. Techniczne i ekologiczne aspekty energetycznego wykorzystania odpadów drzewnych. *Gospod. Paliw. Energ.* 1, 10–13.
- Jurczak S., Chrzanowski S., Jaszczyński J., 2010. Modelowanie energetycznego wykorzystania biomasy. Opracowanie w ramach projektu PL 0073 realizowanego ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego EOG i środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego RP.
- Kowalczyk-Juśko A. 2010. Metodyka szacowania regionalnych zasobów biomasy na cele energetyczne. *Zesz. Nauk. SGGW, Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej* 85, 103–116.

- Ladomersky J., Dzurenda L., Pajtik J., Longauer J., 1993 Spal'ovanie drevneho odpadu z ekologickeho a energetickeho h'ladiska. Vedecke a pedagogicke aktuality 6, TU Zvolen, s. 25–32.
- Lorenz U., 2005. Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczania. Mat. Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Symp. i Konf. 64. Wyd. Instytut GSMiE PAN Kraków, 97–112.
- Świgoń J., Guzenda R., 1994. Drewno i odpady drzewne jako składnik krajowego bilansu paliwowego. Semin. Krajowe „Wykorzystanie energii odnawialnej w rolnictwie”. Warszawa, 12–16.
- Ustawa z dnia 8 czerwca 2001 r. o przeznaczeniu gruntów rolnych do zalesienia. Dz. U. Nr 73, poz. 764 z późn. zm.
- Wichowski R. 1994. Wykorzystanie słomy jako źródła energii odnawialnej w rolnictwie na przykładzie Danii. Semin. Kraj. „Wykorzystanie energii odnawialnej w rolnictwie”. Warszawa, 31–34.

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.08.2014*