

## ANALIZA ZRÓŻNICOWANIA POTENCJAŁU ENERGETYCZNEGO BIOMASY Z WYKORZYSTANIEM TEORII ZBIORÓW ROZMYTYCH

Małgorzata Trojanowska

**Streszczenie.** W artykule przeanalizowano zróżnicowanie na obszarze województwa małopolskiego potencjału energetycznego biomasy pochodzącej z surowców energetycznych pierwotnych. W tym celu sklasyfikowano 19 powiatów wchodzących w skład województwa według ich podobieństwa pod względem ilości energii możliwej do uzyskania ze spalania słomy i drewna. Dla potrzeb klasyfikacji wykorzystano elementy teorii zbiorów rozmytych, ponieważ zebrane dane o potencjale energetycznym biomasy nie pozwalały na jednoznaczne przyporządkowanie powiatów do określonych klas.

**Słowa kluczowe:** energia odnawialna, biomasa, zbiory rozmyte

### WSTĘP

Zrównoważony rozwój kraju to taki rozwój, w którym traktuje się równoprawnie zaspokajanie bieżących potrzeb społecznych oraz potrzeb przyszłych pokoleń. W odniesieniu do zaopatrzenia gmin, powiatów i województw w paliwa i energię oznacza to między innymi wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w pokryciu tego zapotrzebowania. Uzyskanie w roku 2010, zgodnie z *Załoženiami polityki energetycznej Polski do roku 2020* przyjętymi przez Sejm RP w 2000 r., 7,5-procentowego udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie energii pierwotnej oznacza konieczność zrealizowania w ciągu najbliższych lat szeregu inwestycji z zakresu odnawialnych źródeł energii.

Spośród wszystkich rodzajów źródeł energii odnawialnej w Polsce, największy potencjał możliwy do szybkiego wykorzystania występuje w biomasie, a w szczególności w biomasie surowców energetycznych pierwotnych, tj. w słomie, drewnie i roślinach energetycznych. Aby na obszarze gminy, powiatu czy województwa zaplanować instalacje służące do pozyskiwania nośników energii z biomasy, trzeba wcześniej określić jej potencjał energetyczny, zwłaszcza że zasoby biomasy są przestrzennie zróżnicowane, a koncentracja surowca jest jednym z elementów gwarantujących systematyczną jego dostawę do odbiorcy w dłuższym okresie.

Celem pracy było przeanalizowanie zasobów energetycznych biomasy pochodzącej z surowców energetycznych pierwotnych i ich rozmieszczenia w województwie małopolskim, przy czym zróżnicowanie tych zasobów zbadano poprzez wyznaczenie klasyfikacji powiatów według ich podobieństwa pod względem możliwego do uzyskania na terenach poszczególnych powiatów potencjału energetycznego biomasy. Zebrane dane o potencjale energetycznym biomasy były z przyczyn obiektywnych mało precyzyjne, wydawało się więc, że nie pozwolą na jednoznaczne przydzielenie każdego z powiatów do określonej klasy. W miejsce klasycznych metod klasyfikacji wykorzystano do grupowania elementy teorii zbiorów rozmytych, tworząc klasyfikację rozmytą.

## METODY

Dogodnym narzędziem pozwalającym opisać niepewność i niedokładność danych wejściowych jest teoria zbiorów rozmytych, której twórcą jest L. A. Zadeh. Pojęcie zbioru należy do tzw. pojęć pierwotnych. Klasycznie przez zbiór rozumiemy kolekcję obiektów o pewnych własnościach wyróżniających je spośród innych obiektów. Naturalne wydaje się, że obiekty mogą należeć lub nie należeć do zbioru. Funkcja charakterystyczna zbioru przyjmuje wartość 1 dla obiektów należących do zbioru i wartość 0 w przeciwnym przypadku. W wielu sytuacjach założenie, że obiekty mogą należeć bądź nie należeć do zbioru, jest zbyt restrykcyjne.

W przeciwieństwie do zbiorów klasycznych zbiory rozmyte dopuszczają częściową przynależność obiektów. Podobnie jak zbiory mogą być opisane za pomocą funkcji charakterystycznych, tak zbiory rozmyte opisuje się za pomocą tzw. funkcji przynależności, które przyjmują wartości z przedziału  $[0,1]$ . Zbiór rozmyty można zatem traktować jako uogólnienie zbioru w zwykłym sensie, a funkcję przynależności zbioru rozmytego jako uogólnienie funkcji charakterystycznej zbioru.

Wartości funkcji przynależności interpretuje się jako [Dubois i Prade 1997]: stopnie podobieństwa, stopnie preferencji względnie stopnie niepewności. Bezpośrednie zmierzenie funkcji przynależności nie jest możliwe, dlatego wyznacza się ją pośrednio przez pomiar odległości, częstości lub kosztu. Funkcję przynależności określa się przez pomiar odległości, gdy funkcję tę interpretujemy jako stopień podobieństwa. Przykładem wyznaczania tego typu funkcji przynależności jest klasyfikacja rozmyta.

Zagadnienie klasyfikacji rozmytej można sformułować następująco [Jajuga 1984]. Dany jest zbiór  $\Omega$  liczący  $n$  obiektów:  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , które są opisane przez wartości  $m$  zmiennych:  $X_1, X_2, \dots, X_m$ . Na zbiorze  $\Omega$  należy tak określić rodzinę klas rozmytych  $S_1, S_2, \dots, S_k$  ( $1 < k < n$ ), aby spełnione były warunki:

$$0 \leq f_{sj}(P_i) \leq 1 \quad (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, k) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^k f_{sj}(P_i) = 1 \quad (i = 1, \dots, n) \quad (2)$$

gdzie:  $f_{sj}(P_i)$  oznacza stopień przynależności obiektu  $P_i$  do klasy  $S_j$ .

W klasyfikacji rozmytej obiekt należy do różnych klas z różnymi stopniami przynależności. Obiekty, dla których stopnie przynależności do tej samej klasy są duże, są bardzo podobne, natomiast obiekty, dla których stopnie przynależności do różnych klas są duże, są mało podobne.

W literaturze przedmiotu zaproponowano kilka metod tworzenia klasyfikacji rozmytej [Jajuga 1984]. W pracy zastosowano metodę iteracyjną, wykorzystującą pojęcie rozmytego środka ciężkości, a do obliczeń wykorzystano algorytm przedstawiony w książce Piegata [1999], po jego wcześniejszym oprogramowaniu. Niezbędne obliczenia można też bez większych trudności wykonać, wykorzystując arkusz kalkulacyjny.

Zastosowana metoda znajduje środki klastrów, minimalizując kryterium sumy ważonych, kwadratowych odległości euklidesowych obiektów od tych środków. Uzyskane rozwiązanie jest zwykle optymalne w sensie lokalnym i uzależnione od parametrów inicjalizujących. Dlatego należy powtarzać klasteryzację dla różnych wartości początkowych stopni przynależności obiektów do poszczególnych klas. Jeżeli dobierze się właściwą liczbę klastrów, a dane posiadają dobrą strukturę klasteryzacyjną, to metoda generuje zwykle podobne klaster.

## **WYNIKI**

Słoma jako surowiec energetyczny może mieć duże znaczenie szczególnie na tych terenach wiejskich, gdzie uprawia się dużo zbóż. W województwie małopolskim produkuje się rocznie ok. 1 mln t słomy zbożowej, z których na cele energetyczne może być przeznaczonych według jednych autorów ok. 50% [Dreszer i in. 2003], a według innych 25% [Stelmachowski 2001]. W pracy do obliczeń przyjęto drugi wariant, co daje rocznie ok. 3,8 PJ energii możliwej do uzyskania ze spalania słomy w województwie małopolskim.

Drewno w rozumieniu surowca energetycznego obejmuje odpady drzewne z produkcji leśnej i przemysłu drzewnego oraz zrębki z szybko rosnących i wieloletnich drzew uprawianych jako tzw. lasy energetyczne. Do produkcji energii może być wykorzystane także drewno odpadowe z sadów i zieleni miejskiej. W województwie małopolskim łączne zasoby drewna opałowego pochodzącego z lasów, zadrzewień, sadów i przemysłu drzewnego oraz uzyskanych trocin można oszacować odpowiednio na 556 dam<sup>3</sup> i 185 dam<sup>3</sup> trocin (1 dam<sup>3</sup> = 1000 m<sup>3</sup>) i otrzymać z ich spalania 4,4 PJ energii w roku [Wiekierak 2003]. Gdyby do tego obsadzić połowę gruntów odłogowanych lub ugorowanych np. wierzba energetyczną, to dodatkowo można by zwiększyć w roku produkcję energii pochodzącej ze spalania drewna o ok. 8,8 PJ.

Za rośliny energetyczne w naszej strefie klimatycznej uważa się rośliny oleiste, z których wyłacza się olej roślinny i rośliny o dużej zawartości cukru i skrobi, wykorzystywane do produkcji etanolu. Podstawową rośliną oleistą tradycyjnie uprawianą w Polsce jest rzepak. Województwo małopolskie nie jest regionem o znaczącej produkcji rzepaku w skali kraju. W ostatnich latach produkuje się tutaj ok. 6 tys. t nasion rzepaku i rzepiku rocznie (0,6% produkcji krajowej) o potencjale energetycznym rzędu 90 GJ.

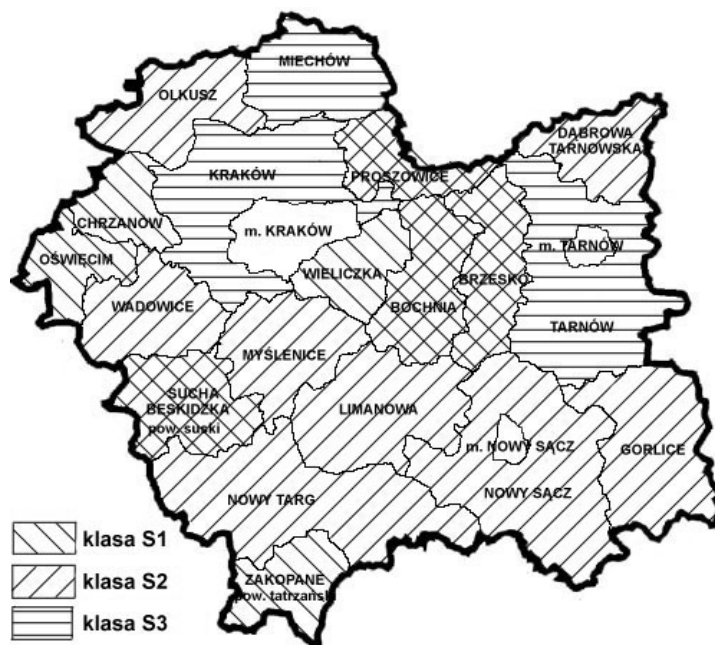
Tabela.1. Stopnie przynależności obiektów do klas rozmytych\*

Table 1. Grades of membership of objects to fuzzy clusters\*

Powiat Administrative district	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Bocheński	0,659	0,323	0,018
Brzeski	0,398	0,579	0,023
Chrzanowski	0,928	0,065	0,007
Dąbrowski	0,252	0,692	0,056
Gorlicki	0,187	0,787	0,026
Krakowski	0,021	0,033	0,946
Limanowski	0,056	0,932	0,012
Miechowski	0,130	0,280	0,590
Myślenicki	0,135	0,857	0,008
Nowosądecki	0,224	0,602	0,174
Nowotarski	0,193	0,731	0,076
Olkuski	0,039	0,955	0,006
Oświęcimski	0,944	0,050	0,006
Proszowicki	0,340	0,588	0,072
Suski	0,374	0,606	0,020
Tarnowski	0,005	0,009	0,986
Tatrzański	0,788	0,184	0,278
Wadowicki	0,138	0,840	0,022
Wielicki	0,970	0,028	0,002

\*za istotny stopień przynależności do klasy przyjęto wartość co najmniej 0,3

\*the essential grade of membership to the cluster is a magnitude at least 0.3



Rys. 1. Zróżnicowanie potencjału energetycznego biomasy na obszarze województwa małopolskiego  
Fig. 1. Diversification of energetic potential of biomass in Malopolska voivodship areas

W celu bardziej szczegółowego rozpoznania zasobów energetycznych biomasy w województwie małopolskim dokonano analizy ich rozmieszczenia na terenie województwa. W tym celu dla każdego z powiatów województwa małopolskiego (za wyjątkiem miast Kraków, Nowy Sącz i Tarnów) wyznaczono możliwy do uzyskania potencjał energetyczny występujący w słomie i drewnie, przy czym przy obliczaniu potencjału energetycznego drewna wydzielono potencjał występujący w wierzbie energetycznej w przypadku przeznaczenia połowy odłogów na jej plantacje.

W pracy mamy do czynienia ze zbiorem  $\Omega$  składającym się z  $n = 19$  obiektów (powiaty województwa małopolskiego  $P_1, P_2, \dots, P_{19}$ ), które są opisane przez wartości  $m = 3$  zmiennych ( $X_1$  – potencjał energetyczny słomy,  $X_2$  – potencjał energetyczny drewna z lasów i sadów,  $X_3$  – potencjał energetyczny drewna z plantacji energetycznych). Właściwą liczbę klas rozmytych ustalono metodą prób i błędów, wykonując obliczenia dla 2, 3 i 4 klas. Przeprowadzone obliczenia pozwoliły uznać klasyfikację 3-klasową za najlepszą, a jej wyniki zestawiono w tabeli 1 i zobrazowano na rysunku 1.

Do klasy  $S_3$  należą powiaty: krakowski, miechowski i tarnowski. Bardzo wysokie stopnie przynależności do tej klasy mają powiaty przy największych w województwie aglomeracjach miejskich, tj. krakowski i tarnowski. Klasę  $S_2$  stanowi większość powiatów województwa małopolskiego, a za jej reprezentantów, tj. powiaty posiadające stopnie przynależności powyżej 0,9, można uznać powiat limanowski i olkuski. Jedną piątą powiatów ma znaczące stopnie przynależności do dwóch klas.

## POSUMOWANIE

W klasach  $S_1, S_2$ , i  $S_3$  są skupione powiaty odpowiednio o małych, średnich i dużych zasobach energetycznych biomasy zawartej w słomie i drewnie, przy czym odniesieniem są tutaj przeciętne roczne ich zasoby w powiecie na obszarach południowej Polski. Szczególnie korzystne warunki budowy instalacji do pozyskiwania nośników energii z biomasy, zwłaszcza ze spalania słomy i wierzby energetycznej, występują na terenie powiatu tarnowskiego, krakowskiego i miechowskiego. Potencjał energetyczny możliwy do uzyskania z analizowanych źródeł jest tam dwukrotnie wyższy niż przeciętnie w województwie.

Z kolei władze samorządowe na terenach powiatów chrzanowskiego, oświęcimskiego, tatrzańskiego i wielickiego powinny szukać raczej innych lokalnych źródeł energii. Również mieszkańcy powiatów bocheńskiego, brzeskiego, proszowickiego i suskiego winni planować instalacje do spalania słomy i drewna z dużą ostrożnością, gdyż powiatów tych nie można jednoznacznie zakwalifikować ani do klasy o małych, ani o średnich zasobach energetycznych biomasy. Trudności z zakwalifikowaniem niektórych powiatów do określonych klas potwierdziły zasadność utworzenia klasyfikacji rozmytej.

Z problemami braku ostrości granic między poszczególnymi klasami obiektów można spotkać się dosyć często, rozwiązując problemy z zakresu inżynierii rolniczej. Wskazane jest wówczas utworzenie klasyfikacji rozmytej, której dodatkową zaletą jest możliwość uzyskania szerszych informacji o poszczególnych klasach, dzięki analizie zróżnicowania stopni przynależności obiektów do poszczególnych klas.

**PIŚMIENNICTWO**

- Dreszer K., Michałek R., Roszkowski A., 2003. Energia odnawialna – możliwości jej pozyskania i wykorzystania w rolnictwie. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej Kraków–Lublin–Warszawa.
- Dubois D., Prade H., 1997. The three semantics of fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems* 90, 141–150.
- Jajuga K., 1984. Zbiory rozmyte w zagadnieniu klasyfikacji. *Przegląd statystyczny*, 3–4, 237–250.
- Piegat A., 1999. Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akad. Oficyna Wyd. EXIT Warszawa.
- Stelmachowski S., 2001. Ocena zasobów energetycznych wsi polskiej. *Ekopartner* 10.
- Wiekierak R., 2003. Możliwości wykorzystania alternatywnych źródeł energii w województwie małopolskim. Praca magisterska AR Kraków.

**DIVERSITY ANALYSIS OF ENERGETIC POTENTIAL OF BIOMASS WITH THE APPLICATION OF THE FUZZY SETS THEORY**

**Abstract.** In this paper a diversification of energetic potential of biomass in the areas of Malopolska voivodship was analysed. For this purpose, 19 administrative districts of Malopolska voivodship were classified out according to the similarity in respect of energy amount from the combustion of straw and wood. To this classification elements of the fuzzy sets theory were applied, because collected data about energetic potential of biomass didn't let assigne univocally the administrative districts to specified clusters.

**Key words:** renewable energy, biomass, fuzzy sets

*Małgorzata Trojanowska, Zakład Energetyki Rolniczej, Akademia Rolnicza w Krakowie, ul. Balicka 104, 30-149 Kraków, e-mail:trojanowska@ar.krakow.pl*