

*Tomasz Szul  
Katedra Energetyki Rolniczej  
Akademia Rolnicza w Krakowie*

## **WYBÓR KONCEPCJI ROZWOJU ENERGETYCZNEGO GMINY W WOJEWÓDZTWIE MAŁOPOLSKIM**

### **Streszczenie**

Przedstawiono założenia do planu zaopatrzenia w ciepło dla trzech gmin wiejskich województwa małopolskiego, dla których określono bieżące zużycie energii finalnej oraz związane z nim zanieczyszczenie powietrza. Dla potrzeb planu w analizowanych gminach sformułowano kilka koncepcji rozwoju energetycznego. Przy wyborze konkretnego scenariusza rozwoju wykorzystano metody podejmowania decyzji w warunkach niepewności, które pozwoliły wyłonić scenariusz, który jest najbardziej optymalny w danych warunkach.

**Słowa kluczowe:** gmina, planowanie energetyczne, emisja równoważna, reguły wyboru

### **Wstęp**

Jednym z kryteriów stawianych przed sobą samorządy gminne przy sporządzaniu planu zaopatrzenia w ciepło na swoim obszarze, jest racjonalizacja zużycia energii oraz osiągnięcie jak największego efektu ekologicznego. Władze gminne sporządzając taki plan, zobowiązane są do przedstawienia swoich przyszłych potrzeb energetycznych i określenia ich wpływu na środowisko. Przy sporządzaniu planów zaleca się [Duńsko-polski projekt „Planowanie energetyczne w Polsce...1988] formułowanie kilku scenariuszy rozwoju gmin charakteryzujących różny zakres przewidywanych działań. Dlatego gminy formułują różne scenariusze rozwoju i w ramach nich różne warianty charakteryzujące zakres działań w zależności od warunków, jakie mogą nastąpić. Gminy, pomimo braku pewności co do warunków, jakie zaistnieją w przyszłości, muszą wybrać jeden ze scenariuszy, aby obrać kierunek zgodny z założonymi w planie celami.

Istnieje wiele metod wspomagających podejmowanie decyzji w warunkach niepewności, ale większość z nich oparta jest na zaawansowanych metodach matematycznych, wymagających specjalistycznych umiejętności. Są jednak metody proste, a nie mniej efektywne, które w zależności od nastawienia do ryzyka pozwalają wybrać dany scenariusz. Wyróżniamy następujące reguły wyboru strategii w warunkach niepewności, gdy nasza decyzja może przynieść różne rezultaty, a my nie jesteśmy w stanie określić, z jakim prawdo-

podobieństwem one wystąpią, można korzystać z reguł wyboru strategii Hurwicz, Laplace'a, Savage'a Walda [Ignasiak 2001; Trzaskalik 2003].

Celem pracy było sprawdzenie przydatności metod podejmowania decyzji w warunkach niepewności przy wyborze koncepcji rozwoju energetycznego dla potrzeb planu zaopatrzenia w ciepło w trzech gminach wiejskich województwa małopolskiego.

### **Założenia badawcze**

Badania zostały przeprowadzone dla trzech typowych dla Małopolski gmin wiejskich różniących się działalnością gospodarczą: Koniusza – gmina rolnicza, która charakteryzuje się dużą liczbą gospodarstw prowadzących uprawy pod osłonami, Lanckorona – gmina rolniczo-turystyczna, Kocmyrzów-Luborzyca – gmina podmiejska.

Dla każdej z gmin wyznaczono aktualną i prognozowaną wielkość zużycia energii finalnej oraz określono poziom zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery. Wielkości emisji poszczególnych zanieczyszczeń obliczono metodą wskaźnikową, uwzględniając wielkości wskaźników emisji zgodnie z Ustawą o Ochronie i Kształtowaniu Środowiska [Ustawa...1980], a także zaleceniami Ministerstwa Środowiska dotyczącymi sposobu szacowania wielkości zanieczyszczeń [Ministerstwo...2003]. Aby móc porównywać uciążliwość emisji różnych gazów, wprowadzono dodatkowy wskaźnik, tzw. emisję równoważną Er. Emisja równoważna jest to emisja dwu lub więcej rodzajów zanieczyszczeń z jednego źródła emisji, przeliczonych na dwutlenek siarki [Butcher, Pierce 1995].

Dla analizowanych gmin sformułowano scenariusze rozwoju. Gminy budując scenariusze opierają się na założeniach ogólnych, zawartych w dokumentach rządowych: *Polityka Klimatyczna Polski*, *Polityka Ekologiczna Państwa na lata 2003-2006 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2007-2010*. Założeniami szczegółowymi przy sporządzaniu scenariuszy są dane zawarte w dokumentach gminnych: *Strategia Rozwoju Gminy*, *Plan Zagospodarowania Przestrzennego*, a także *Studium Uwarunkowań i Rozwoju Gminy*. Sformułowano cztery scenariusze rozwoju dla gmin „bazowy” oraz „termomodernizacja”, „gaz” i „biomasa” (rys. 1–3). Nazwy scenariuszy wywodzą się od głównych działań, na jakie gminy chcą położyć nacisk przy tworzeniu planu.

**Scenariusz „bazowy”.** W scenariuszu przyjęto, że zużycie energii i struktura zużywanych paliw w obiektach istniejących w poszczególnych sektorach zostanie niezmienną (zostanie taka jak w roku odniesienia). Zużycie energii i struktura zużycia nośników energetycznych na poszczególne cele w obiektach nowo powstałych będzie taka jak w obiektach wybudowanych w latach 2000–2004, a mianowicie:

- ogrzewanie - 60% gaz, 30% węgiel, 10 % biomasa,

- cwu - 85% gaz, 14% energia elektryczna, 1% węgiel-zasobnik,
- posiłki - 85% gaz, 15% energia elektryczna.

Kolejne scenariusze zawierają po 3 warianty, obrazujące różną wielkość przeprowadzonych działań racjonalizujących zużycie energii w zależności od warunków, jakie mogą wystąpić.

**Scenariusz „termomodernizacja”.** Przyjmuje się, że budynki mieszkalne powstałe przed rokiem 1990 będą poddane termomodernizacji w następujących ilościach: wariant A: 10%; wariant B: 15%; wariant C: 20%. Jedna piąta z pośród istniejących kotłów grzewczych (węglowych) w budynkach mieszkalnych zostanie wymieniona na inne o następującej strukturze: 40% gaz, 40% węgiel, 20% biomasa. Przy konstruowaniu kolejnych scenariuszy przyjęto założenie, iż tempo termomodernizacji obiektów będzie utrzymywać się na dotychczasowym poziomie i wyniesie ok. 2% rocznie. Działania modernizacyjne będą opierały się na konwersji kotłów węglowych. Zakłada się, że wymianie będą w pierwszej kolejności podlegały kotły, których okres eksploatacji przekracza 20 lat. Zakres działań opracowano na podstawie inwentaryzacji źródeł ciepła w gminach wiejskich [Trojanowska, Szul 2003].

**Scenariusz „gaz”.** Jedna piąta kotłów węglowych zostanie wymieniona na nowoczesne o następującej strukturze: wariant A: 40% na gaz, 40% węgiel, 20% biomasa; wariant B: 50% na gaz, 30% węgiel, 20% biomasa; wariant C: 60% na gaz 20% węgiel, 20% biomasa.

**Scenariusz „biomasa”.** Jedna piąta kotłów węglowych zostanie wymieniona na nowoczesne o następującej strukturze: wariant A: 30% biomasa, 40% gaz, 30% węgiel; wariant B: 35% biomasa, 40% gaz, 25% węgiel; wariant C: 40% biomasa, 40% gaz, 20% węgiel.

Zużycie energii w budynkach nowo powstałych dla wszystkich scenariuszy jest takie samo, jak w scenariuszu „bazowym”. Scenariusze rozwoju nie obejmują modernizacji sektora użyteczności publicznej, ponieważ te działania są zawarte w innych dokumentach tj. w Wieloletnich Planach Inwestycyjnych sporządzonych przez gminy. Zużycie energii w budynkach nowo powstałych, dla wszystkich scenariuszy jest takie samo, jak w scenariuszu „bazowym”. Horyzontem czasowym, jaki obejmują scenariusze jest 2010 r. Za rok odniesienia przyjęto 2006 r.

### **Analiza wyników**

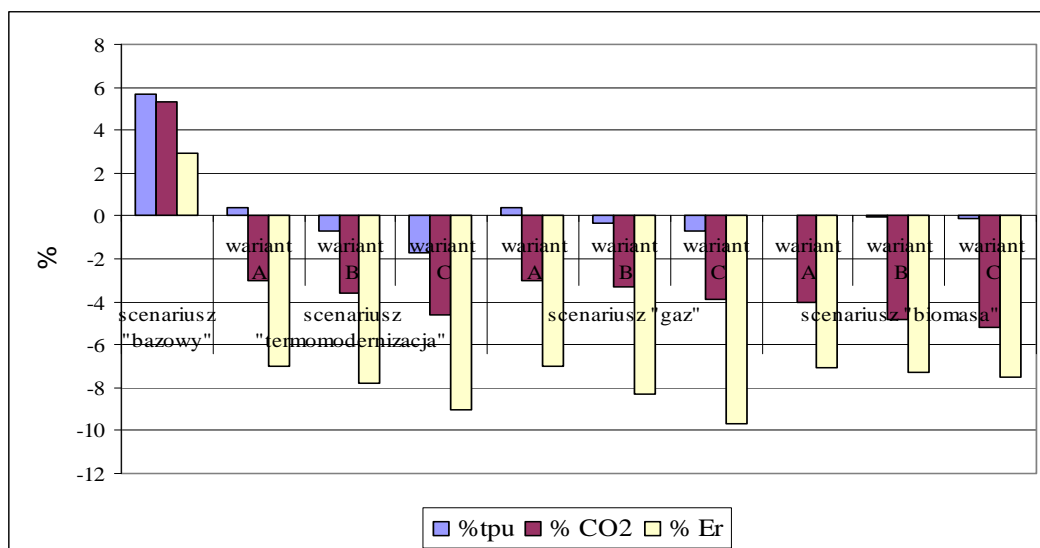
Obliczenia oparte na modelu końcowego zużycia end-use [Szul 2005] pozwoliły na obliczenie całkowitego zużycia energii finalnej [Robakiewicz 1999] w gminach. Wielkość zużycia energii i poziom zanieczyszczenia powietrza w analizowanych gminach dla 2006 r. zestawiono w tabeli 1, natomiast procentową zmianę zużycia energii i poziomu zanieczyszczeń dla poszczególnych scenariuszy rozwoju w stosunku do roku odniesienia zestawiono na

rysunekach 1-3. Analizując zużycie energii w gminach dla scenariusza bazowego można stwierdzić, iż w najbliższych latach największy przyrost w granicach 8-9% nastąpi w gminach Kocmyrzów-Luborzyca i Lanckorona. W gminie Koniusza zużycie energii może wzrosnąć o ok. 6%. Zanieczyszczenie powietrza w przypadku, gdy nie będą podejmowane działania racjonalizacyjne może wzrosnąć w porównaniu z 2006 r. o ok. 3-5%. Największe ograniczenie zanieczyszczenia powietrza można uzyskać w wyniku zastosowania scenariuszy „termomodernizacja” oraz „gaz”. Redukcja zanieczyszczenia może wynieść w zależności od wariantu między 5-9% w stosunku do roku odniesienia. Scenariusz „biomasa” przyniesie mniejsze (5-7%) korzyści w ograniczeniu emisji zanieczyszczeń, jednakże jest najlepszy ze względu na obniżenie wielkości emisji CO<sub>2</sub> na terenie gmin od 2% w gminie Kocmyrzów-Luborzyca do ok. 5% w gminach Koniusza i Lanckorona.

Tabela 1. Zużycie energii finalnej i wielkość emisji zanieczyszczeń powietrza w 2006 r.  
Table 1. Final energy consumption and air pollution emitted in 2006

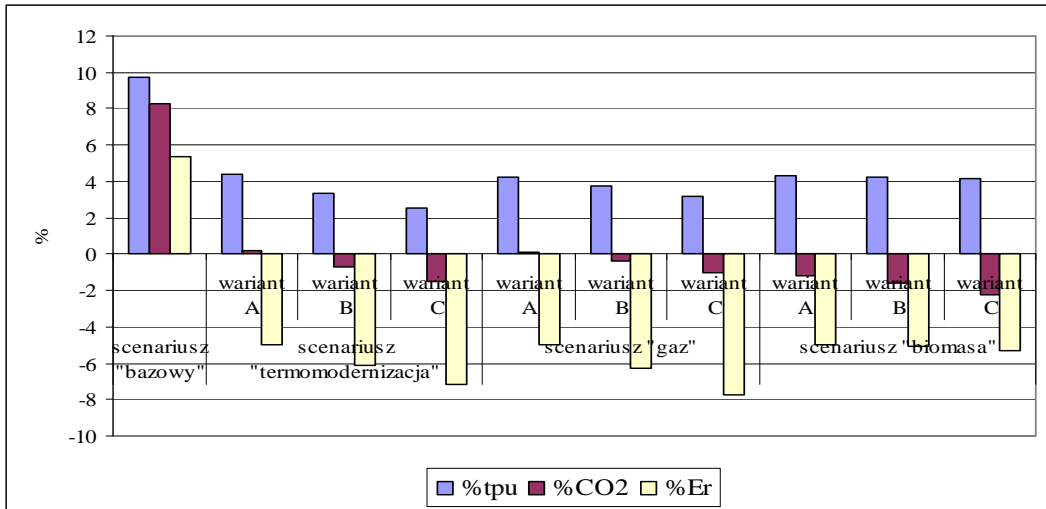
Wyszczególnienie	Koniusza	Lanckorona	Kocmyrzów-Luborzyca
(tys. tpu)	13, 20	7,99	14,91
CO <sub>2</sub> (tys. Mg/a)	22,4	13,4	24,7
Er (Mg/a)	811,4	525,8	803,0

Źródło: obliczenia własne



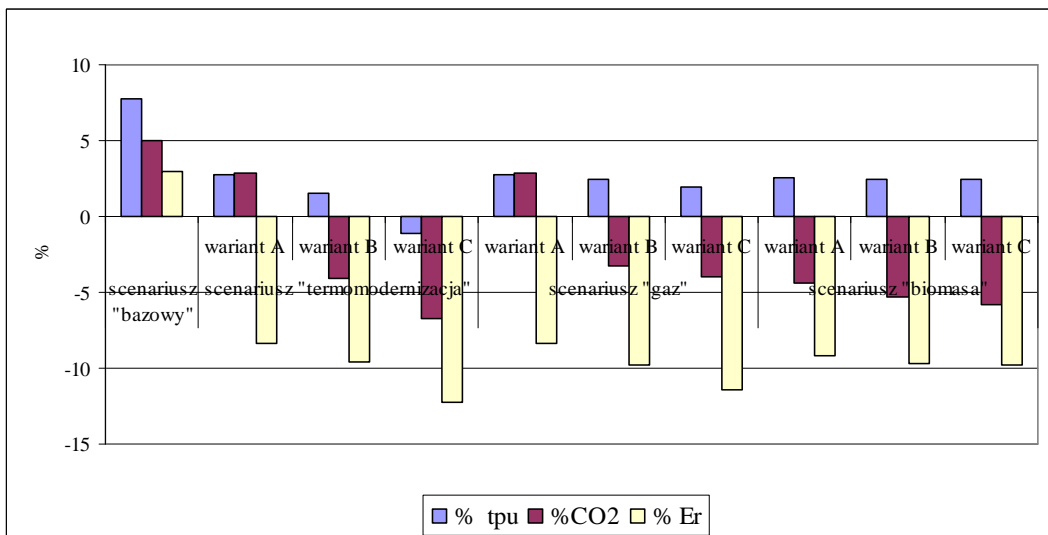
Rys. 1. Procentowa zmiana zużycia energii finalnej, emisji równoważnej oraz emisji CO<sub>2</sub> w porównaniu z rokiem odniesienia w gminie Koniusza. Źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Percentage changes of final energy consumption, equivalent emission and CO<sub>2</sub> emission as compared to reference year in Koniusza commune



Rys. 2. Procentowa zmiana zużycia energii finalnej, emisji równoważnej oraz emisji dwutlenku węgla w porównaniu z rokiem odniesienia w gminie Kocmyrzów-Luborzyca. Źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Percentage changes of final energy consumption, equivalent emission and CO<sub>2</sub> emission as compared to year of reference in Kocmyrzów-Luborzyca commune



Rys. 3. Procentowa zmiana zużycia energii finalnej oraz emisji dwutlenku węgla i emisji równoważnej w porównaniu z rokiem odniesienia w gminie Lanckorona. Źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Percentage changes of final energy consumption, equivalent emission and CO<sub>2</sub> emission as compared to year of reference in Lanckorona commune

## Wybór scenariusza rozwoju dla analizowanych gmin

Przy wyborze scenariusza rozwoju założono trzy warianty podejścia władz gminy – jako decydenta. Sformułowano następujące pytanie: na który scenariusz powinna się zdecydować gmina, jeśli:

- a - jest bardzo ostrożna i chce zagwarantować pewien minimalny poziom ograniczenia emisji,
- b - chce zminimalizować względną stratę wynikającą z podjęcia „nieoptymalnej” decyzji,
- c - chce zdecydować się na dany scenariusz i realizować go w perspektywie dalszej niż zakłada to przyjęty horyzont czasowy scenariusza.

Do tak postawionych pytań zastosowano następujące reguły wyboru [Ignasiak 2001; Trzaskalik 2003]: ad. a. – regułę Walda oraz regułę Hurwicza, zakładając współczynnik ostrożności  $\gamma = 0,75$ , ad. b. – regułę Savage’a, ad. c. – regułę Laplace’a. W wyniku zastosowania reguł wyboru w warunkach niepewności dla poszczególnych scenariuszy uzyskano następujące odpowiedzi (tab. 2).

Tabela 2. Porównanie wyników uzyskanych przy zastosowaniu różnych reguł decyzyjnych

Table 2. Comparison of the results obtained by using different decision making rules

Wyszczególnienie	scenariusz „termomodernizacja”				scenariusz „gaz”				scenariusz „biomasa”			
	reguła Walda	reguła Hurwicza	reguła Savage’a	reguła Laplace’a	reguła Walda	reguła Hurwicza	reguła Savage’a	reguła Laplace’a	reguła Walda	reguła Hurwicza	reguła Savage’a	reguła Laplace’a
Koniusza												
Kocmyrzów-Luborzyca												
Lanckorona												

Źródło: opracowanie własne

Rozwiązanie zadania dotyczącego wyboru najlepszego ze scenariuszy przy wykorzystaniu różnych reguł decyzyjnych, wskazuje na to, że w gminach Koniusza i Kocmyrzów-Luborzyca, najczęściej rekomendowanymi decyzjami są scenariusze „gaz” (wg reguły Savage’a, Laplace’a i Hurwicza) oraz „biomasa” – wybrany wg kryterium reguły Walda. Scenariusz „biomasa”, rekomendowany jest również dla gminy Lanckorona przy założeniu jej ostrożnych rokowań co do przyszłości. Scenariusz „termomodernizacja” nie jest w ogóle rekomendowany w gminach Koniusza i Kocmyrzów-Luborzyca, pomimo, że daje on relatywnie najlepsze wyniki w przypadku gdyby został wdrożony do realizacji.

W gminie Lanckorona „termomodernizacja” jest wskazywana jako najlepszy scenariusz w dwóch przypadkach, gdyby gmina planowała wdrożyć ten scenariusz do realizacji, przez dłuższy okres, w związku z tym istnieje większa niepewność co do przyszłości. Jednocześnie w przypadku, gdyby wdrożony scenariusz okazał się niewłaściwy – zgodnie z regułą minimalnego żalu (Savage’a), przyniesie on najmniejszą stratę. To samo, gdyby został wprowadzony w Lanckoronie scenariusz „gaz”.

### Podsumowanie

Samorządy lokalne, sporządzając plan zaopatrzenia w energię, nie dysponują wiedzą, jak zareagują poszczególni mieszkańcy. Wykorzystanie metod podejmowania decyzji w warunkach niepewności przy wyborze koncepcji rozwoju energetycznego gmin, umożliwiło zarekomendowanie gminom najlepszych scenariuszy rozwoju, co pozwoliło w zależności od ich nastawienia do ryzyka obrać najlepszy kierunek rozwoju, zgodny z założonymi w planie celami. Oczywiście zachowanie właścicieli, którzy podejmują decyzje w sprawie wyboru rodzaju i sposobu przeprowadzanych działań racjonalizujących zużycie energii jest autonomicznie, jednak, przez wprowadzanie różnego rodzaju zachęt, gminy mogłyby oddziaływać na ich działania w tym zakresie.

Tworząc założenia do planu zaopatrzenia w energię na swoim obszarze gminy mają rekomendowane po dwa scenariusze. Koniusza i Kocmyrzów-Luborzyca - scenariusz „biomasa” i „gaz”, natomiast Lanckorona - scenariusz „termomodernizacja” i „biomasa”. Scenariusz „biomasa” jest najbezpieczniejszy i zarazem najtańszy do realizacji z uwagi na to, że do jego realizacji można wykorzystać potencjał energetyczny gminy. Jednakże scenariusz ten ma pewne ograniczenia związane z wielkością zasobów energii odnawialnej, jaką można uzyskać z terenu gminy. Szczególnie korzystny jest on dla gminy Lanckorona, która ma bardzo duży potencjał energii biomasy na swoim terenie i dla tego powinien być przyjęty do realizacji jako główny.

Gmina Koniusza, która w swych planach zakłada umiarkowany rozwój, realizację planu zaopatrzenia w energię powinna rozłożyć na dwa etapy - w początkowych latach powinna skupić się na wdrożeniu scenariusza „biomasa”, co pozwoli na zagospodarowanie potencjału biomasy na jej terenie, wpłynie to również pozytywnie na obniżenie emisji dwutlenku węgla w gminie (rys. 3). W kolejnym etapie Planu musi naciskać na zwiększenie wykorzystania gazu ziemnego jako podstawowego nośnika energetycznego w gospodarstwach domowych.

Gmina Kocmyrzów-Luborzyca, z uwagi na to, że w dłuższej perspektywie planuje dość dynamiczny rozwój budownictwa jednorodzinnego na swoim terenie, przy wyborze scenariusza powinna od początku skupić się na koncepcji „gaz”, ponieważ jest on w tym przypadku najbezpieczniejszy – został wskazany przez trzy z czterech reguł wyboru.

## **Bibliografia**

Butcher T., Pierce B. 1995. Kraków Clean Fossil Fuels and Energy Efficiency Program. Office of Fossil Energy. United States Department of Energy. Washington, D.C. 20585

Duńsko-polski projekt: Planowanie energetyczne w Polsce na szczeblu gminy – pomoc dla osób podejmujących decyzje. 1988. UCBEiOŚ Politechnika Warszawska, COWI, KAPE S.A., Warszawa

Ministerstwo Środowiska. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. 2003. Wskazówki dla wojewódzkich inwentaryzacji emisji na potrzeby ocen bieżących i programów ochrony powietrza. Warszawa

Ignasiak E. 2001. Badania operacyjne. PWE, Warszawa

Robakiewicz M. 1999. Użytkowanie energii i oszczędności energii w budynkach. Narodowa Agencja Poszanowania Energii, Warszawa, ss. 1–20

Szul T. 2005. Wpływ wybranych działań racjonalizujących zużycie energii na poziom emisji zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego w gminach wiejskich. Praca doktorska. Wydział Agrotechnologii, AR Kraków

Trojanowska M., Szul T. 2003. Techniczna i gospodarcza analiza oraz prognozowanie nakładów energetycznych na ogrzewanie budynków mieszkalnych na terenach wiejskich. Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria 2(2): 69-75

Trzaskalik T. 2003. Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem. PWE, Warszawa

Ustawa o Ochronie i Kształtowaniu Środowiska z dnia 31 stycznia 1980 r. Dz.U. z 1994 r. nr 49 poz. 196 oraz Dz.U. nr 133 poz. 885 z 1997 r.

*Recenzent: Zdzisław Wójcicki*