

*Agata Mesjasz-Lech**

ZASTOSOWANIE METODY DEA DO BADANIA EFEKTYWNOŚCI DZIAŁAŃ W ZAKRESIE OCHRONY POWIETRZA – UJĘCIE REGIONALNE

1. WPROWADZENIE

Rozwój środowiskowy jest elementem rozwoju jednostki gospodarczej, która powinna podjąć wszelkie starania w kierunku zmniejszenia negatywnego oddziaływania swojej działalności na środowisko przyrodnicze. Rozwój ten zakłada zatem taki sposób jej funkcjonowania, aby nie przekroczyć oraz nie naruszyć wydajności ekosystemu, a możliwe jest to dzięki redukcji stopnia zanieczyszczania środowiska, ograniczaniu zużycia zasobów naturalnych oraz minimalizowaniu śladu ekologicznego (Chow, Chen 2012: 522).

Podstawowym dokumentem programowym w zakresie zrównoważonego rozwoju jest Agenda 21. W Polsce wdrażane są również programy ochrony środowiska na poziomie poszczególnych województw¹, które mają na celu nie tylko ocenę jakości powietrza, ale przede wszystkim opracowania i przyjęcia naprawczych przedsięwzięć w tym zakresie. Podmioty coraz częściej koncentrują swoją uwagę na działaniach z zakresu ochrony środowiska, szczególnie ochronę powietrza, wód, gleby oraz ochronę przed hałasem i odpadami. Ekologizacja funkcjonowania podmiotów gospodarczych jest skutkiem głównie świadomego i nieprzymuszonego wyboru zachowań sprzyjających środowisku przyrodniczemu (Nitkiewicz 2013: 8). W zależności od profilu działalności będą one wdrażały działania prośrodowiskowe ukierunkowane na poszczególne elementy środowiska przyrodniczego z różnym natężeniem. Z punktu widzenia szkodliwości i szybkości rozprzestrzeniania się, zanieczyszczenie powietrza stanowi podstawową przyczynę globalnych zagrożeń środowiska. Do głównych źródeł zanieczyszczeń powietrza zalicza się: postępujące uprzemysłowienie, wzrost liczby ludności, przemysł paliwowo-

* Politechnika Częstochowska, Wydział Zarządzania, Katedra Ekonometrii i Statystyki.

¹ GIOS, http://powietrze.gios.gov.pl/gios/site/content/air_protection_programs.

energetyczny, transport. Badania wykazały, że zanieczyszczenia powietrza w dawkach znacznie przewyższających przyjęte normy są niebezpieczne nie tylko dla zdrowia, ale i życia ludzi (Gilbraith, Powers 2013: 459).

Celem artykułu jest analiza efektywności przedsięwzięć z zakresu ochrony powietrza jako elementu oceny działań zmierzających do zrównoważonego rozwoju kraju w aspekcie ładu środowiskowego. Do oszacowania efektywności zastosowano metodę *Data Envelopment Analysis* (DEA).

2. ZNACZENIE OCHRONY POWIETRZA W ŁADZIE ŚRODOWISKOWYM ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

Ewolucja koncepcji zrównoważonego rozwoju podyktowana jest przede wszystkim dążeniem do efektywnego wykorzystania zasobów naturalnych, które ze względu na wzrost gospodarczy stają się powoli zasobem deficytowym. Fundamentem zrównoważonego rozwoju jest ład zintegrowany. Zakłada on spójne i jednocześnie tworzenie porządków: społecznego, ekonomicznego, środowiskowego oraz instytucjonalno-politycznego. Skuteczność działań zmierzających do zrównoważonego rozwoju w zakresie poszczególnych ładów może zostać oceniona na podstawie odpowiadających im grup wskaźników. W Tablicy 1 przedstawiono wskaźniki zrównoważonego rozwoju dla ładu środowiskowego.

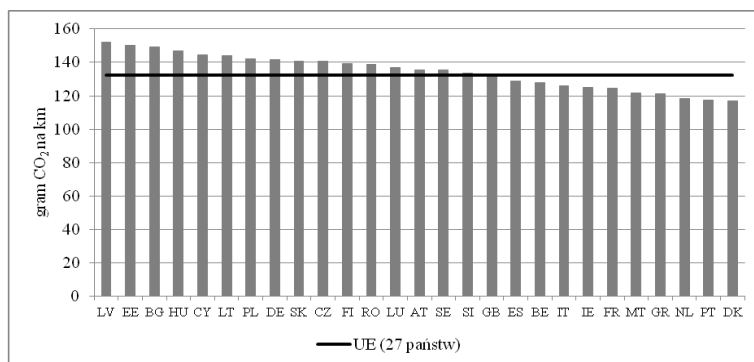
Tablica 1. Wskaźniki zrównoważonego rozwoju dla ładu środowiskowego

Obszar tematyczny	Wskaźniki zrównoważonego rozwoju dla ładu środowiskowego
Zmiany klimatu	– emisja gazów cieplarnianych (w ekwiwalencie CO₂) do roku bazowego protokołu z Kioto, – emisja gazów cieplarnianych według sektorów, – emisja gazów cieplarnianych na jednostkę zużytej energii,
Energia	– energia ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto, – biopaliwa w zużyciu paliw w transporcie, – samowystarczalność energetyczna, – nakłady na środki trwałe w zakresie niekonwencjonalnych źródeł energii,
Ochrona powietrza	– stopień redukcji zanieczyszczeń gazowych (bez CO₂) w urządzeniach oczyszczających zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza, – stopień redukcji zanieczyszczeń pyłowych w urządzeniach oczyszczających zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza, – emisja zanieczyszczeń powietrza przez środki transportu, – średnia emisja CO₂ na kilometr z nowych samochodów,
Ekosystemy morskie	– wielkość floty rybackiej,

Obszar tematyczny	Wskaźniki zrównoważonego rozwoju dla ładu środowiskowego
Zasoby słodkiej wody	– wodochłonność przemysłu – zużycie wody na potrzeby gospodarki narodowej i ludności, – ludność korzystająca z oczyszczalni ścieków,
Użytkowanie gruntów	– powierzchnia zabudowana i zurbanizowana, – grunty zdewastowane i zdegradowane, – lesistość,
Bioróżnorodność	– powierzchnia obszarów chronionych – uszkodzenia drzewostanów,
Gospodarka odpadami	– odpady niemineralne wytworzone na 1 mieszkańca, – odpady komunalne wytworzone na 1 mieszkańca, – odpady komunalne unieszkodliwiane poprzez składowanie na 1 mieszkańca, – recykling odpadów opakowaniowych.

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Witkowski 2010: 112).

Obszary tematyczne w odniesieniu do wskaźników ładu środowiskowego odpowiadają ochronie poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego. Z zanieczyszczeniami powietrza związane są w zasadzie dwie grupy wskaźników dotyczące zmian klimatycznych i ochrony powietrza. Na Rysunkach: 1–4 przedstawiono wielkości związane z poziomem emisji zanieczyszczenia powietrza w wybranych państwach Europy. Średnia emisja CO₂ na km z nowych samochodów osobowych w wybranych państwach Europy w 2012 roku pokazana została na Rysunku 1.



Rysunek 1. Średnia emisja CO₂ na km z nowych samochodów osobowych w wybranych państwach Europy² w 2012 r.

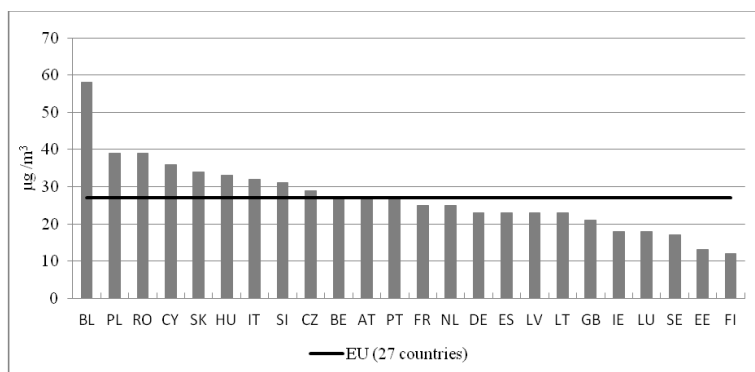
Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych Eurostat.

Największym poziomem emisji dwutlenku węgla na km z nowych samochodów w badanym roku charakteryzują się kraje Europy Środkowo-Wschodniej. W państwach tych średnia emisja dwutlenku węgla przekracza

² Dla państw przyjęto oznaczenia zgodne z dwuliterowym kodem standardu ISO 3166-2.

tę średnią obserwowaną dla Unii Europejskiej. Niską emisję CO₂ wykazują natomiast państwa o niższym natężeniu ruchu, spowodowanym przede wszystkim korzystaniem z alternatywnych środków transportu, np. rowerów. Według badań Komisji Europejskiej (*Miasta rowerowe miastami przyszłości* 2000) w wielu głównych miastach Holandii, Danii, Włoch, Hiszpanii i Wielkiej Brytanii coraz popularniejszym środkiem transportu stają się rowery, co bez wątpienia przekłada się na poziom emisji CO₂ na km z nowych samochodów osobowych w tych państwach. W latach 2007-2012 we wszystkich badanych państwach zaobserwowano średnioroczny spadek przeciętnej emisji CO₂ na km z nowych samochodów, przy czym spadek ten był największy w Szwecji, Grecji, Danii i Holandii. W większości analizowanych państw przeciętny spadek średniej emisji CO₂ na km z nowych samochodów był niższy niż w Unii Europejskiej. Najmniejszym średnim spadkiem analizowanej zmiennej charakteryzowały się państwa Europy Środkowo-Wschodniej, w szczególności Węgry, Polska, Słowacja, Czechy, Rumunia i Bułgaria.

Na Rysunku 2 przedstawiono stopień narażenia ludności miejskiej na emisję pyłowych zanieczyszczeń powietrza w wybranych państwach Europy w 2011 roku.



Rysunek 2. Stopień narażenia ludności miejskiej na emisję pyłowych zanieczyszczeń powietrza w wybranych państwach Europy³ w 2011 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych Eurostat.

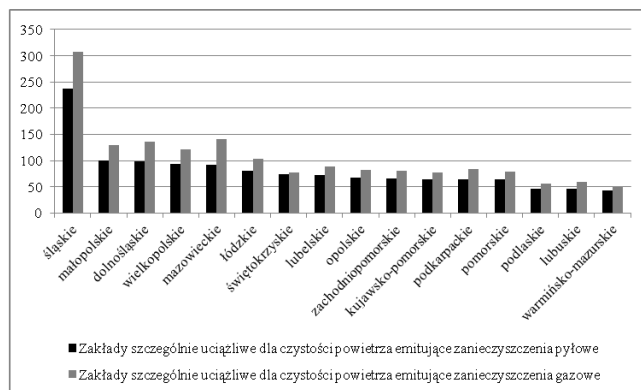
Emisją pyłowych zanieczyszczeń powietrza najbardziej zagrożona jest ludność miejska Belgii, w której stopień narażenia jest o 48% wyższy niż w Polsce i Rumunii, zajmujących *ex aequo* drugie miejsce pod względem analizowanej zmiennej. Wyższy stopień narażenia ludności miejskiej na emisję pyłowych zanieczyszczeń powietrza wynika z wysokiego natężenia ruchu drogowego, gęstej zabudowy wielkomiejskiej, uprzemysłowienia miast, położenia miast i niekorzystnych warunków meteorologicznych. W przypadku

³ Dla państw przyjęto oznaczenia zgodne z dwuliterowym kodem standardu ISO 3166-2.

większości analizowanych państw wystąpił średni roczny spadek stopnia narażenia ludności miejskiej na emisję pyłowych zanieczyszczeń powietrza w analizowanym okresie. Jedynie w Belgii, Francji, Hiszpanii i Polsce obserwuje się przeciętny coroczny wzrost stopnia narażenia ludności miejskiej na emisję pyłowych zanieczyszczeń powietrza. Państwa te powinny zatem zwrócić szczególną uwagę na działania pozwalające na redukcję poziomu emisji zanieczyszczeń pyłowych w miastach, np. poprzez ograniczanie ruchu drogowego w centrach miast, zastosowanie alternatywnych środków transportu, programu ograniczania emisji zanieczyszczeń z zakładów przemysłowych, ograniczanie uzyskiwania energii z wysokoemisyjnych źródeł.

Zanieczyszczenia powietrza są zatem problemem wielu państw Europy. Dwutlenek węgla jest podstawowym zagrożeniem klimatycznym (Anomohanran 2012: 666), a redukcja jego emisji stanowi podstawę działań zmierzających do ochrony klimatu (Eisenack, Edenhofer, Kalkuhl 2012: 159; Björnberg 2013: 287). Wdrażanie działań im zapobiegających staje się zatem koniecznością, a ocena ich skuteczności i efektywności jest ważnym narzędziem wspomagającym kontrolę w tym zakresie.

Polska należy do państw charakteryzujących się dużym negatywnym oddziaływaniem na powietrze atmosferyczne i klimat. W Polsce funkcjonuje nadal wiele zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza. Na Rysunku 3 przedstawiono liczbę zakładów szczególnie uciążliwych emitujących zanieczyszczenia powietrza w poszczególnych województwach Polski w 2012 roku.

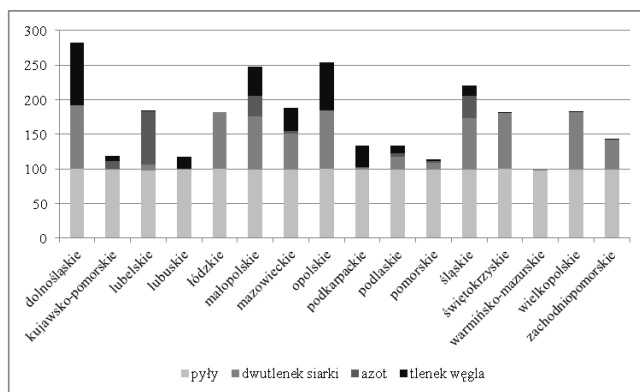


Rysunek 3. Liczba zakładów szczególnie uciążliwych emitujących zanieczyszczenia powietrza w województwach Polski w 2012 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (*Ochrona środowiska* 2013).

Analizując dane przedstawione na Rysunku 3 można stwierdzić, że województwa: śląskie, mazowieckie, małopolskie, dolnośląskie i wielkopolskie charakteryzuje największa liczba zakładów emitujących

zanieczyszczenia gazowe i pyłowe. Najwięcej zakładów uciążliwych dla czystości powietrza jest na terenie województwa śląskiego, gdzie ich liczba stanowi aż 18,6% wszystkich zakładów tego typu w Polsce. Ze względu jednak na wagę problemu czystości powietrza, zakłady te inwestują w urządzenia do redukcji emisji zanieczyszczeń. W latach 2006–2012 dla większości województw obserwuje się średnioroczny wzrost udziału zakładów wyposażonych w urządzenia do redukcji zanieczyszczeń powietrza w ogólnej liczbie zakładów uciążliwych dla czystości powietrza. W przypadku urządzeń do redukcji zanieczyszczeń pyłowych, średnioroczny spadek odsetka zakładów je posiadających z ogółu zakładów emitujących zanieczyszczenia pyłowe wystąpił w województwach: lubuskim (2,43%), dolnośląskim (1,44%), lubelskim (1,22%), pomorskim (1,16%), warmińsko-mazurskim (0,96%), zachodniopomorskim (0,82%), łódzkim (0,43%) i małopolskim (0,2%). Udział zakładów posiadających urządzenia do redukcji zanieczyszczeń gazowych w zakładach emitujących zanieczyszczenia gazowe, w latach 2006–2012 malał średniorocznie w województwach: świętokrzyskim (7,77%), małopolskim (5,58%), warmińsko-mazurskim (6,47%), zachodniopomorskim (2,12%) i wielkopolskim (0,54%). Można zatem postawić tezę, że coraz więcej zakładów zanieczyszczających powietrze dąży do ograniczania emisji zanieczyszczeń pyłowych i gazowych dzięki stosowaniu urządzeń do ich redukcji. Należy przy tym nadmienić, że województwami, które ponoszą największe nakłady na ochronę powietrza i klimatu w nakładach na środki trwałe służące ochronie środowiska są: świętokrzyskie, podlaskie, zachodniopomorskie, warmińsko-mazurskie i śląskie. Podejmowanie licznych działań mających na celu ograniczenie negatywnego wpływu, szczególnie procesów gospodarczych na środowisko przyrodnicze w zakresie ochrony powietrza i klimatu, skutkuje redukcją gazowych i pyłowych zanieczyszczeń powietrza.



Rysunek 4. Odsetek zanieczyszczeń powietrza zatrzymanych i zneutralizowanych w urządzeniach oczyszczających w zanieczyszczeniach ogółem w województwach Polski w 2012 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (*Ochrona środowiska* 2013).

Na Rysunku 4 przedstawiono odsetek zanieczyszczeń zatrzymanych i zneutralizowanych w urządzeniach oczyszczających w zanieczyszczeniach ogółem w województwach Polski w roku 2012. Największą skutecznością we wszystkich województwach wykazują się zatem urządzenia do redukcji pyłów. Odsetek pyłów zatrzymanych i zneutralizowanych w urządzeniach oczyszczających w zanieczyszczeniach ogółem we wszystkich województwach w 2012 roku przekroczył 99% – wyjątek stanowią jedynie województwa lubelskie i warmińsko-mazurskie z odsetkami równymi odpowiednio 98,4 i 99,7. W wysokim stopniu zatrzymany i zneutralizowany został również dwutlenek siarki w województwach: dolnośląskim, opolskim, łódzkim, wielkopolskim i świętokrzyskim (ponad 80%), dwutlenek węgla w województwie dolnośląskim (90,4%) oraz azot w województwie lubelskim (76,6%).

Polityka ochrony środowiska w przedsiębiorstwach oraz na szczeblu regionalnym powinna nadal być ukierunkowywana na ochronę powietrza i klimatu. W Polsce przybywa zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza (w 2012 roku było ich o 1,32% więcej niż w 2006) i choć przybywa również zakładów wyposażonych w urządzenia do redukcji zanieczyszczeń, to problem ochrony powietrza i klimatu jest nadal aktualny, szczególnie w kontekście zrównoważonego rozwoju.

3. OCENA EFEKTYWNOŚCI DZIAŁAŃ Z ZAKRESU OCHRONY POWIETRZA W POLSCE Z ZASTOSOWANIEM DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Ocena efektywności jednostki nie jest prosta w przypadku rozpatrywania jej jako stosunku kilku korzyści do kilku nakładów (Inuiguchi, Mizoshita 2012: 189]. *Data Envelopment Analysis* (DEA) jest nieparametryczną metodą pomiaru efektywności dla sytuacji wielowymiarowych, charakteryzujących się wieloma wejściami i wyjściami (Liu, Lu, Lu, Lin 2013: 3; Song, Wu 2011: 249), która umożliwia znalezienie najlepszej kombinacji posiadanych zasobów w ramach danej technologii (Anokhin, Wincent, Autio 2011: 44). DEA jest metodą znajdującą zastosowanie głównie do badania efektywności obiektów, w przypadku, gdy zastosowanie klasycznej analizy ekonomicznej nie jest możliwe ze względu na brak odpowiednich danych (Färe, Grosskopf 2013: 28). DEA może być zastosowana jako metoda pozwalająca na klasyfikację analizowanych jednostek do dwóch grup: obiektów efektywnych i obiektów nieefektywnych (Bougnol, Dulá 2013: 786). Jest ona analizą efektywności technicznej ukierunkowaną na nakłady oraz efekty/wyniki (Suchecka 2009: 123) i może stać się narzędziem do identyfikacji

najlepszych praktyk bądź sukcesu (Premachandra, Chen, Watson 2011: 621). Niestety, duża liczba korzyści i nakładów w stosunku do liczby obiektów może spowodować, że liczba obiektów efektywnych również będzie duża. Najczęściej przyjmuje się, że liczba korzyści i nakładów powinna być co najmniej dwa lub trzy razy mniejsza od liczby obiektów (Cook, Tone, Zhu 2014: 3). Zasada ta nie jest imperatywem, nie ma ona bowiem żadnego statystycznego uzasadnienia.

Prośrodowiskowe działania ukierunkowane na ochronę powietrza są nierozzerwalnie związane z zasadami zrównoważonego rozwoju. Próba kwantyfikacji efektywności w ujęciu województw wynika z rozpatrywania zrównoważonego rozwoju ze względu na dotyczące go rozwiązania i programy głównie w ujęciu regionalnym (Nitkiewicz 2008: 7). Analizie poddano zmienne, charakteryzujące rezultaty i nakłady województw, związane z działaniami zmierzającymi do ochrony powietrza w roku 2012. W celu oceny efektywności działań z zakresu ochrony powietrza w poszczególnych województwach wyróżniono dwa zbiory zmiennych:

1. zmienne charakteryzujące rezultaty DEA,
2. zmienne charakteryzujące nakłady DEA.

Do pierwszego zbioru zmiennych zaliczono:

- stopień redukcji pyłów w urządzeniach oczyszczających (X_1),
- stopień redukcji dwutlenku siarki w urządzeniach oczyszczających (X_2),
- stopień redukcji tlenków azotu w urządzeniach oczyszczających (X_3),
- stopień redukcji tlenku węgla w urządzeniach oczyszczających (X_4).

Po stronie nakładów znalazły się z kolei:

- liczba zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza posiadających urządzenia do redukcji zanieczyszczeń pyłowych (X_5),
- liczba zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza posiadających urządzenia do redukcji zanieczyszczeń gazowych (X_6),
- nakłady na środki trwałe służące ochronie powietrza i klimatu (X_7).

Rezultaty związane są zatem ze skutecznością działania urządzeń oczyszczających. Stopień redukcji zanieczyszczeń określa, jaki procent całkowitej ilości danego zanieczyszczenia wprowadzonego do urządzenia został przez to urządzenie zatrzymany. Wskaźnik ten wyraża zatem stosunek ilości zatrzymanego do ilości wyemitowanego zanieczyszczenia. Skuteczność w zakresie redukcji zanieczyszczeń w urządzeniach do ochrony powietrza odniesiono do podstawowych rodzajów zanieczyszczeń powietrza. Zbiór nakładów tworzą zmienne dotyczące wyposażenia zakładów uciążliwych dla czystości powietrza w urządzenia oczyszczające zanieczyszczenia pyłowe i gazowe, wyrażone procentowym udziałem tych zakładów w liczbie zakładów szczególnie uciążliwych dla środowisk emitujących zanieczyszczenia pyłowe i gazowe oraz nakładów finansowych na działania związane z ochroną powietrza jako procent nakładów na ochronę środowiska ogółem. Zanieczyszczenia pyłowe obejmują: pyły ze spalania paliw, cementowo-wapiennicze i materiałów

ogniotrwałych, krzemowe, nawozów sztucznych, węglowo-grafitowe, sadzy i pozostałe. Do zanieczyszczeń gazowych zaliczono z kolei: dwutlenek siarki, tlenki azotu (wyrażone w dwutlenku azotu), tlenek węgla, dwutlenek węgla, węglowodory i inne. Przy zdefiniowanych zbiorach nakładów i rezultatów określono efektywność poszczególnych województw w zakresie działań ukierunkowanych na ochronę powietrza. Efektywność województwa określona została przez optymalny mnożnik poziomu nakładów przy wykorzystaniu modelu CCR.⁴ Wyniki dla założonych zmiennych przedstawiono w Tablicy 2. Ze względu na możliwości interpretacyjne podano jedynie optymalną wartość mnożnika poziomu nakładów.

Tablica 2. Wyniki CCR zorientowanej na nakłady dla roku 2012

Województwo	Efektywność w %
Dolnośląskie (W_1)	100,00
Kujawsko-Pomorskie (W_2)	63,94
Lubelskie (W_3)	100,00
Lubuskie (W_4)	100,00
Łódzkie (W_5)	99,33
Małopolskie (W_6)	100,00
Mazowieckie (W_7)	100,00
Opolskie (W_8)	100,00
Podkarpackie (W_9)	64,78
Podlaskie (W_{10})	74,33
Pomorskie (W_{11})	69,59
Śląskie (W_{12})	99,08
Świętokrzyskie (W_{13})	100,00
Warmińsko-mazurskie (W_{14})	99,06
Wielkopolskie (W_{15})	88,01
Zachodniopomorskie (W_{16})	80,04

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (*Ochrona środowiska* 2013).

Wskaźnik efektywności mniejszy od 100% oznacza, że optymalne nakłady technologii wspólnej niezbędne do uzyskania rezultatów na poziomie odpowiadającym tym uzyskanym przez badany obiekt, są nie większe od nakładów rzeczywiście przez ten obiekt poniesionych. Można zatem stwierdzić, że badany obiekt osiągnął dane rezultaty przy wykorzystaniu większej ilości nakładów niż to było potrzebne, a zatem nie jest on w pełni efektywny. W przypadku, gdy wskaźnik efektywności przyjmuje wartość równą 100%, optymalne nakłady niezbędne do uzyskania efektów, jakie wystąpiły w badanym obiekcie, są takie same jak rzeczywiste nakłady tego obiektu, co oznacza, że badany obiekt jest w pełni efektywny. Można zatem powiedzieć, że optymalne nakłady są to nakłady obiektu w pełni efektywnego.

⁴ Więcej na temat modelu CCR: zob.: Guzik 2009; Kucharski 2011; Nieszporska 2007).

Na podstawie wyników przedstawionych w Tablicy 2 stwierdzić można, że:

1. W roku 2012 siedem województw w Polsce było w pełni efektywnych, a w szczególności województwa: dolnośląskie, lubelskie, lubuskie, małopolskie, mazowieckie, opolskie, świętokrzyskie.
2. Wśród województw nieefektywnych wymienia się z kolei: kujawsko-pomorskie, łódzkie, podkarpackie, podlaskie, pomorskie, śląskie, warmińsko-mazurskie, wielkopolskie, zachodniopomorskie, przy czym najmniej efektywne są województwa: kujawsko-pomorskie, podkarpackie, pomorskie, których efektywność wynosi poniżej 70% tej, jaką mogłyby one uzyskać konstruując swoją „*technologię*” w zakresie ochrony powietrza na wzór technologii województw najlepszych.

Trudno doszukać się reguły w wartościach wskaźnika efektywności przyjmowanych przez poszczególne województwa. Wśród województw nieefektywnych znalazły się województwa skrajnie różne pod względem poziomu emisji zanieczyszczeń pyłowych i gazowych: śląskie z emisją zanieczyszczeń pyłowych i gazowych na poziomie odpowiednio 20,16 i 18,87% ilości zanieczyszczeń ogółem i podlaskie z poziomami odpowiednio 1,75 i 0,68%, przy czym wskaźnik efektywności dla województwa podlaskiego jest dużo niższy niż dla województwa śląskiego. Mimo znacznie niższego poziomu emisji zanieczyszczeń w województwie podlaskim przeznaczają one na ochronę powietrza aż o 34,94% środków przewidzianych na ochronę środowiska ogółem więcej niż województwo śląskie.

W Tablicy 3 przedstawiono technologie optymalne minimalizujące nakłady w województwach nieefektywnych w roku 2012.

Tablica 3. Technologia optymalna (wartość optymalna, jako procent wartości empirycznej) dla województw nieefektywnych

Województwa nie w pełni efektywne		W ₂	W ₅	W ₉	W ₁₀	W ₁₁	W ₁₂	W ₁₄	W ₁₅	W ₁₆
Zmienna		[w %]								
Rezultaty	X ₁	100	100	100	100	100	106,9	100	100	100
	X ₂	158,2	100	1003,7	229	100	100	3896,4	100	133,5
	X ₃	100	1 272 441	100	100	100	100	6 674,2	3 269,3	292,3
	X ₄	215,8	5 931 043	100	354,6	680,6	303,4	4 599 925	3 898,8	5 825,1
Nakłady	X ₅	63,9	85,2	64,8	74,3	69,6	99,1	90,9	88	80
	X ₆	53,1	99,3	47,5	74,3	60,9	99,1	99,1	88	80
	X ₇	59,6	99,3	50,4	40	53,1	57,6	99,1	88	42,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (*Ochrona środowiska* 2013).

Województwa uczestniczące w optymalnej technologii wspólnej, zorientowanej na województwa nieefektywne, mogą wspólnie uzyskać ich rezultaty znacznie mniejszym nakładem, przy czym:

- w technologii optymalnej województwa kujawsko-pomorskiego stopień redukcji dwutlenku siarki oraz stopień redukcji tlenku węgla w urządzeniach oczyszczających jest odpowiednio o 58,2 i 115,8% wyższy od faktycznego,
- w technologii optymalnej województw: łódzkiego, warmińsko-mazurskiego, wielkopolskiego i zachodniopomorskiego obserwuje się bardzo duże różnice pomiędzy rezultatami w technologii optymalnej i faktycznej,
- w technologii optymalnej województwa podkarpackiego stopień redukcji dwutlenku siarki w urządzeniach oczyszczających jest ponad 1 000-krotnie wyższy od faktycznego,
- skalkulowane nakłady optymalne dla większości województw nieefektywnych: kujawsko-pomorskiego, łódzkiego, podkarpackiego, pomorskiego, warmińsko-mazurskiego i wielkopolskiego charakteryzują się podobnym odsetkiem poszczególnych nakładów empirycznych, choć wielkości te różnią się znacznie między województwami,
- o nieefektywności województw: podlaskiego, śląskiego i zachodniopomorskiego decyduje przede wszystkim niski poziom nakładów na środki trwale służące ochronie powietrza i klimatu.

Analiza DEA pozwala również na określenie tzw. *formuły benchmarkingowej*, rozumianej w przypadku województwa nieefektywnego jako jego technologia optymalna. W Tablicy 4 podano liczbę powiązań województw w pełni efektywnych z województwami nieefektywnymi. Liczba powiązań dla danego województwa określa jednocześnie liczbę województw, dla których jest ono wzorcem.

Tablica 4. Liczba powiązań województw wzorcowych z województwami nie w pełni efektywnymi

Województwo	Liczba powiązań	Województwo	Liczba powiązań
Dolnośląskie	4	Podkarpackie	-
Kujawsko-Pomorskie	-	Podlaskie	-
Lubelskie	6	Pomorskie	-
Lubuskie	7	Śląskie	-
Łódzkie	-	Świętokrzyskie	2
Małopolskie	4	Warmińsko-mazurskie	-
Mazowieckie	2	Wielkopolskie	-
Opolskie	7	Zachodniopomorskie	-

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (*Ochrona środowiska* 2013).

Na podstawie danych zawartych w Tablicy 4 można stwierdzić, że wszystkie województwa w pełni efektywne są wzorcami dla innych województw. Województwami, na których powinny wzorować się województwa nie w pełni efektywne to przede wszystkim: lubuskie, opolskie i lubelskie. Żadne województwo nie występuje w formułach benchmarkingowych dla wszystkich dziewięciu nieefektywnych województw.

Na podstawie technologii optymalnej oceniono nadwyżki nakładów i niedobory rezultatów w stosunku do wielkości optymalnych województw nieefektywnych, a wyniki przedstawiono w Tablicy 5. Luz nakładów dla technologii dopuszczalnej oraz dla technologii optymalnej jest konsekwencją nieoptymalności w sensie Pareto.

Tablica 5. Luzy i wielkość nadwyżki nakładów dla województw nieefektywnych w roku 2005

Wyszczególnienie	Kujawsko-Pomorskie			Łódzkie			Podkarpackie		
	X_5	X_6	X_7	X_5	X_6	X_7	X_5	X_6	X_7
Luz nakładu	0,0041	2,10	0,85	10,57	0,00	0,00	-0,0007	4,38	2,64
Wielkość nadwyżki	26,62	9,03	7,94	11,07	0,09	0,10	26,21	13,29	9,11
Nadwyżka jako procent nakładów optymalnych [%]	56,41	88,53	67,81	17,38	0,67	0,69	54,37	110,66	98,49
Nadwyżka jako procent nakładów empirycznych [%]	36,07	46,96	40,41	14,81	0,67	0,69	35,22	52,53	49,62
Wyszczególnienie	Podlaskie			Pomorskie			Śląskie		
	X_5	X_6	X_7	X_5	X_6	X_7	X_5	X_6	X_7
Luz nakładu	0,0039	0,0013	12,54	0,01	1,66	3,13	-0,0036	-0,01	11,21
Wielkość nadwyżki	18,34	3,21	21,90	20,28	7,43	8,90	0,65	0,15	11,46
Nadwyżka jako procent nakładów optymalnych [%]	34,55	34,55	150,31	43,72	64,27	88,38	0,92	0,90	73,60
Nadwyżka jako procent nakładów empirycznych [%]	25,68	25,68	60,05	30,42	39,13	46,92	0,91	0,89	42,40
Wyszczególnienie	Warmińsko-Mazurskie			Wielkopolskie			Zachodniopomorskie		
	X_5	X_6	X_7	X_5	X_6	X_7	X_5	X_6	X_7
Luz nakładu	5,89	-0,01	0,0025	-0,0031	-0,0085	-0,0015	-0,0024	0,0045	13,15
Wielkość nadwyżki	6,57	0,07	0,28	8,21	1,76	2,08	13,78	2,25	20,19
Nadwyżka jako procent nakładów optymalnych [%]	9,96	0,87	0,96	13,62	13,55	13,61	24,93	25,00	133,71
Nadwyżka jako procent nakładów empirycznych [%]	9,06	0,86	0,95	11,99	11,93	11,98	19,96	20,00	57,21

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (*Ochrona środowiska* 2013).

W 2012 roku w większości województw obserwuje się dość duże różnice w nadwyżce poszczególnych nakładów, rozumianej jako różnica między nakładami empirycznymi a optymalnymi.

W przypadku każdego nakładu nadwyżka ta jako procent nakładów optymalnych oraz empirycznych jest duża szczególnie w przypadku województw: kujawsko-pomorskiego, podkarpackiego, podlaskiego, pomorskiego i zachodniopomorskiego.

Dla większości województw największy udział nadwyżki w nakładach empirycznych obserwuje się dla nakładów na środki trwałe służące ochronie powietrza i klimatu, a w szczególności w województwie podlaskim np. nakłady te należy obniżyć o 60,5%.

4. ZAKOŃCZENIE

Województwa w Polsce w różnym stopniu realizują zadania z zakresu ochrony powietrza. Ze względu na wyjątkową szkodliwość zanieczyszczeń powietrza dla ludzi i środowiska przyrodniczego wszelkiego rodzaju podmioty są zobligowane do podejmowania przedsięwzięć zmierzających w kierunku zmniejszenia poziomu emisji szkodliwych substancji do powietrza. Największym poziomem emisji charakteryzują się województwa uprzemysłowione: śląskie, wielkopolskie, mazowieckie, dolnośląskie, małopolskie, kujawsko-pomorskie. W województwach tych zlokalizowanych jest również najwięcej zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza.

Analizując wielkość nakładów na środki trwałe służące ochronie powietrza i klimatu, województwa te przeznaczają niewielki w porównaniu z pozostałymi odsetek nakładów przeznaczonych na ochronę środowiska w ogóle. Stąd też w grupie województw w pełni efektywnych znalazły się województwa: dolnośląskie, lubelskie, lubuskie, małopolskie, mazowieckie, opolskie, świętokrzyskie. Wśród nich tylko trzy województwa charakteryzują się dużą szkodliwością dla środowiska przyrodniczego z punktu widzenia wyróżnionych cech. Można zatem stwierdzić, że województwa: dolnośląskie, małopolskie i mazowieckie w sposób efektywny przekładają nakłady na efekty w zakresie działań mających na celu ochronę powietrza. Żadne z tych województw nie znalazło się w grupie województw o najwyższej liczbie powiązań województw wzorcowych z województwami nie w pełni efektywnymi.

W przypadku województw nie w pełni efektywnych z kolei występuje dość duże zróżnicowanie nadwyżki poszczególnych nakładów rozumianej jako różnica między nakładami empirycznymi a optymalnymi, przy czym największe nadwyżki obserwuje się dla województw: kujawsko-pomorskiego, podkarpackiego, podlaskiego, pomorskiego i zachodniopomorskiego. Największy udział nadwyżki w nakładach empirycznych cechuje nakłady na środki trwałe służące ochronie powietrza i klimatu.

Ze względu na uciążliwość podmiotów gospodarczych i gospodarstw domowych na środowisko przyrodnicze, a w szczególności na stan powietrza atmosferycznego w województwach, nadal występuje potrzeba podejmowania

działań prośrodowiskowych mających na celu zminimalizowanie negatywnych skutków działalności biznesowej i bytowania ludzi na atmosferę.

Analiza efektywności wykazała, że nakłady takie jak wyposażenie zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza w urządzenia do redukcji zanieczyszczeń pyłowych i gazowych oraz finansowanie innych środków trwałych służących ochronie powietrza i klimatu, nie są w pełni efektywnie wykorzystywane w celu redukcji zanieczyszczeń powietrza w większości województw. Należy zatem wdrażać kolejne rozwiązania prośrodowiskowe w tym zakresie, pamiętając o efektywnym przełożeniu się nakładów w korzyści.

BIBLIOGRAFIA

- Anokhin S., Wincent J., Autio E. (2011), *Operationalizing opportunities in entrepreneurship research: use of data envelopment analysis*, „Small Business Economics”, nr 37.
- Anomohanran O. (2012), *Determination of greenhouse gas emission resulting from gas flaring activities in Nigeria*, „Energy Policy”, nr 45.
- Björnberg K.E. (2013), *Rational climate mitigation goals*, „Energy Policy”, nr 56.
- Bougnol M. L., Dulá J. H. (2013), *A mathematical model to optimize decisions to impact multi-attribute rankings*, „Scientometrics”, nr 95.
- Chow W. S., Chen Y. (2012), *Corporate Sustainable Development: Testing a New Scale Based on the Mainland Chinese Context*, „Journal of Business Ethics”, nr 105.
- Cook W. D., Tone K., Zhu J. (2014), *Data envelopment analysis: Prior to choosing a model*, „Omega”, nr 44.
- Eisenack K., Edenhofer O., Kalkuhl M. (2012), *Resource rents: The effects of energy taxes and quantity instruments for climate protection*, „Energy Policy”, nr 48.
- Eurostat – baza danych, ec.europa.eu/eurostat, (dostęp dn. 15.05.2014).
- Färe R., Grosskopf S. (2013), *DEA, directional distance functions and positive, affine data transformation*, „Omega”, nr 41.
- Gilbraith N., Powers S. E. (2013), *Residential demand response reduces air pollutant emissions on peak electricity demand days in New York City*, „Energy Policy”, nr 59.
- Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, http://powietrze.gios.gov.pl/gios/site/content/air_protection_programs, Warszawa, (dostęp dn. 5.12.2014).
- Główny Urząd Statystyczny (2013), *Ochrona Środowiska 2013*, Warszawa.
- Główny Urząd Statystyczny, Urząd Statystyczny w Katowicach (2011), *Wskaźniki zrównoważonego rozwoju Polski*, Katowice.
- Guzik B. (2009), *Podstawowe modele DEA w badaniu efektywności gospodarczej i społecznej*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań.
- Inuiguchi M., Mizoshita F. (2012), *Qualitative and quantitative data envelopment analysis with interval data*, „Annals of Operations Research”, nr 195.
- Komisja Europejska, Dyrekcja Generalna ds. Ochrony Środowiska (2000), *Miasta rowerowe miastami przyszłości*, Biuro oficjalnych publikacji wspólnot europejskich.
- Kucharski A. (2011), *Metoda DEA w ocenie efektywności gospodarczej*, Łódź.
- Liu J. S., Lu L. Y. Y., Lu W.-M., Lin B. J. Y. (2013), *Data envelopment analysis 1978–2010: Acitation-based literature survey*, „Omega”, nr 41.

- Nieszporska S. (2007), *Teoretyczne podstawy Data Envelopment Analysis*, (w:) Zawada M. (red.), *Zastosowanie metod ilościowych w badaniach ekonomiczno-społecznych*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- Nitkiewicz T., *Institutional perspective of sustainability evaluation in Poland (2008)*, (w:) Nitkiewicz T., Lescroart R. (red.), *Energy and environment in knowledge based economy*, Haute Ecole "Blaise Pascal", Arlon.
- Nitkiewicz, T. (2013), *Ekologiczna ocean cyklu życia produktu w procesach decyzyjnych przedsiębiorstw produkcyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa
- Premachandra I. M., Chen Y., Watson J. (2011), *DEA as a tool for predicting corporate failure and success: A case of bankruptcy assessment*, „The International Journal of Management Science Omega”, nr 39.
- Song M., Wu J., Wang Y. (2011), *An extended aggregated ratio analysis in DEA*, „Journal of Systems Science and Systems Engineering”, nr 20 (2).
- Suchecka J. (2009), *Metody oceny efektywności technicznej szpitali*, (w:) Holly R., Suchecka J. (red.), *Szpital publiczny w polskim systemie ochrony zdrowia. Zarządzanie i gospodarka finansowa*, Uniwersytet Medyczny w Łodzi i Krajowy Instytut Ubezpieczeń, Łódź-Warszawa.

ABSTRAKT

W artykule dokonano analizy efektywności przedsięwzięć z zakresu ochrony powietrza jako elementu oceny działań zmierzających do zrównoważonego rozwoju kraju w aspekcie ładu środowiskowego. Ład środowiskowy obejmuje obszary związane z wykorzystaniem zasobów środowiska przyrodniczego oraz działaniami mającymi na celu redukcję negatywnego wpływu działalności gospodarczej na środowisko przyrodnicze. Na podstawie wskaźników ładu środowiskowego zrównoważonego rozwoju dotyczących ochrony powietrza porównano województwa w Polsce. W tym celu zastosowano metodę DEA, a za zbiór zmiennych przyjęto następujące mierniki:

1. Charakteryzujące rezultaty DEA:
 - stopień redukcji pyłów w urządzeniach oczyszczających,
 - stopień redukcji dwutlenku siarki w urządzeniach oczyszczających,
 - stopień redukcji tlenków azotu w urządzeniach oczyszczających,
 - stopień redukcji tlenku węgla w urządzeniach oczyszczających.
2. Charakteryzujące nakłady DEA:
 - liczba zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza posiadających urządzenia do redukcji zanieczyszczeń pyłowych,
 - liczba zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza posiadających urządzenia do redukcji zanieczyszczeń gazowych,
 - nakłady na środki trwałe służące ochronie powietrza i klimatu.

Analizie poddano dane z roku 2012.

APPLICATION OF DEA METHOD IN ANALYSE OF THE EFFECTIVENESS OF AIR POLLUTION PREVENTION ACTIVITIES – A REGIONAL LEVEL STUDY

ABSTRACT

The article analyses the effectiveness of air quality protection undertakings seen as an element in the assessment of activities aiming at a sustainable development of a country in terms of environmental governance. Environmental governance pertains to the use of natural

recourses and the actions reducing the environmental impact of economic activities. Polish provinces are compared on the basis of environmental governance indexes of sustainable development connected with air protection. The analysis uses the DEA method and the following measures serve as variables:

1. determining DEA results:
 - particulates retained and neutralized in cleaning devices,
 - sulphur dioxide retained and neutralized in cleaning devices,
 - nitrogen oxides retained and neutralized in cleaning devices,
 - carbon oxide retained and neutralized in cleaning devices,
2. determining DEA input:
 - plants of significant nuisance to air quality with particulate pollutant reduction systems,
 - plants of significant nuisance to air quality with gaseous pollutant reduction systems,
 - outlays on fixed assets for protection of air and climate.

The year 2012 is the subject of the analysis.