

Barbara Fura

Uniwersytet Rzeszowski
e-mail: bfura@ur.edu.pl

**ZASTOSOWANIE METODY DEA
DO OCENY EFEKTYWNOŚCI DZIAŁAŃ
NA RZECZ OCHRONY POWIETRZA I KLIMATU¹**

**APPLICATION OF DEA METHOD
IN THE ASSESSMENT OF EFFICIENCY
OF AIR AND CLIMATE PROTECTION ACTIVITIES**

DOI: 10.15611/pn.2017.483.05

JEL Classification: O44, Q53, C61

Streszczenie: Jakość powietrza atmosferycznego jest jednym z wyznaczników jakości życia współczesnego człowieka. Artykuł prezentuje wyniki badań w zakresie oceny efektywności działań na rzecz ochrony powietrza i klimatu w ujęciu województw w Polsce. Ocenę efektywności działań przeprowadzono przy użyciu metody DEA z zastosowaniem modelu NR-CCR zorientowanego na nakłady. Źródłem danych do analizy były wtórne dane statystyczne za rok 2015, dostępne w statystyce publicznej. Głównym rezultatem badań jest klasyfikacja województw i ich podział na obiekty efektywne i nieefektywne pod względem działań w zakresie ochrony powietrza i klimatu oraz ranking województw nieefektywnych. Oprócz wyznaczenia średniej efektywności przekształcenia nakładów w efekty zastosowanie modelu NR-CCR pozwoliło na określenie efektywności cząstkowych poszczególnych nakładów. Dzięki temu możliwe było wskazanie źródeł nieefektywności działań mogących utrudniać poprawę stanu jakości powietrza i klimatu w Polsce.

Słowa kluczowe: efektywność, model NR-CCR, ochrona powietrza i klimatu, województwa.

Summary: Air quality is one of the determinants of quality of life of a contemporary human. This article presents research results on an efficiency evaluation of Polish provinces' activities regarding air and climate protection. The efficiency evaluation of activities was carried out with the application of DEA method – NR-CCR input-oriented model. For the empirical analysis, secondary data for 2015 available in the official statistics were used. The main result of the research was a classification of provinces into efficient and inefficient objects as well as the ranking of inefficient provinces with their benchmarks suggestion. Apart from defining the average efficiency of transforming inputs into outputs in provinces the application of NR-CCR model also allowed for calculating the partial efficiency of the defined inputs. As

¹ Artykuł przygotowano w ramach realizacji projektu badawczego o numerze 2016/23/D/HS4/03007 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki (NCN).

a result, it was possible to identify inefficiency sources of air protection activities undertaken in provinces, which could hinder the improvement of air and climate quality.

Keywords: efficiency, NR-CCR model, air and climate protection, provinces.

1. Wstęp

Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego nasiliło się wraz z rewolucją przemysłową w XIX w. i pozostaje palącym problemem również w pierwszych dekadach XXI w. [Juda-Rezler, Manczarski 2010, s. 97]. Ma ono swój negatywny wpływ nie tylko na gospodarkę, ale przede wszystkim na zdrowie ludzi. Z ustaleń Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) wynika, że każdego roku na skutek zanieczyszczenia powietrza umiera przedwcześnie 7 mln ludzi. Niestety Polska pod względem zanieczyszczenia powietrza znajduje się na liście światowych „liderów”, a wśród państw Unii Europejskiej na jednym z niechlubnych pierwszych miejsc [Działania... 2015].

Ochrona powietrza stanowi istotny element europejskiej polityki ochrony środowiska. Znajduje to potwierdzenie m.in. w zapisach Dyrektywy CAFE (*Clean Air For Europe*), która w szczególności nakłada obowiązek opracowania planów ochrony powietrza dla obszarów, w których stężenie zanieczyszczeń w powietrzu przekracza wartości normatywne. W Polsce z dniem 1 stycznia 2008 r. samorzady przejęły od wojewodów obowiązki w zakresie przygotowania i uchwalenia programów ochrony powietrza. Jednak, pomimo opracowania i przyjęcia programów ochrony powietrza przez poszczególne organy samorządów województw, w dalszym ciągu utrzymuje się na obszarze kraju wysoki poziom niektórych zanieczyszczeń w powietrzu [Ochrona powietrza... 2014].

Znaczący wpływ na stan czystości powietrza na danym obszarze mają zakłady przemysłowe, w szczególności ciepłownie i elektrownie, ale i transport drogowy czy niska emisja. Jej źródłem jest spalanie niskiej jakości węgla w lokalnych kotłowniach oraz indywidualnych gospodarstwach domowych, stanowiąc problem w szczególności w zimowych miesiącach [Kłojzy-Kaczmarczyk, Mazurek 2009, s. 277]. Jakość powietrza jest również w dużym stopniu determinowana poprzez wpływ zanieczyszczeń z innych obszarów i regionów. Jego stan nie jest więc kwestią lokalną, ale ma znacznie szerszy kontekst.

Celem artykułu jest ocena efektywności przedsięwzięć z zakresu ochrony powietrza i klimatu w ujęciu województw Polski. Analizę empiryczną przeprowadzono w oparciu o dane statystyczne za rok 2015, gromadzone i publikowane przez Główny Urząd Statystyczny. W celu oceny efektywności działań posłużono się metodą analizy obwiedni danych (Data Envelopment Analysis, DEA).

2. DEA w badaniach efektywności środowiskowej

Z punktu widzenia badań ekonomicznych ważna jest odpowiedź na pytanie, jak określić proporcję pomiędzy sukcesem gospodarczym a poziomem zanieczyszczeń gwarantującą pożądany poziom zrównoważenia na świecie. Powszechnie uważa się, że DEA jest jedną z metod pozwalających skutecznie badać poziom trwałości i zrównoważenia różnorodnych obiektów i układów. Od wielu lat jest ona stosowana w opracowaniach naukowych do modelowania efektywności działań na rzecz ochrony środowiska w odniesieniu do przedsiębiorstw, branż, regionów czy krajów.

Wysiłki naukowców są ukierunkowane na opracowywanie rozwiązań mających określić kierunki w doskonaleniu efektywności operacyjnej i środowiskowej. Ogólnie DEA służy do oceny wyników jednostek decyzyjnych (*decision making units*, DMUs) zaangażowanych w dany proces wytwórczy [Ruitz, Sirvent 2016, s. 1]. DEA nie jest metodą idealną, ma swoje zalety i wady. Jest metodą przybliżoną, pozwala na oszacowanie efektywności, a nie jej precyzyjne zmierzenie. Dostarcza informacji na temat efektywności względnej, tj. efektywności obiektu na tle innych obiektów. Z tego względu każda zmiana układu odniesienia ma wpływ na ocenę efektywności danego obiektu. Jako metoda przybliżona może służyć jako element wspomagający opracowywanie i monitorowanie polityk gospodarczych czy wspierający rozwiązywanie obszernych, nawet globalnych problemów, takich jak np. globalne ocieplenie czy zmiany klimatyczne na świecie [Sueyoshi i in. 2017]. Metoda DEA jest stosowana wówczas, gdy nie jest znana funkcja produkcji wiążąca wejścia i wyjścia (nakłady i rezultaty) lub gdy jej określenie jest bardzo trudne czy wręcz niemożliwe. Na tę zaletę metody DEA zwracają uwagę podczas badań nad efektywnością energetyczną Mardani i in. [2017].

Zastosowania DEA w badaniach nad różnorodnymi obszarami efektywności środowiskowej są bardzo liczne. Większość prowadzonych badań dotyczy gospodarek wschodzących. Przykładowo za pomocą DEA Wu i in. [2016] badali środowiskową i energetyczną efektywność transportu pasażerskiego i transportu ładunków w trzydziestu chińskich prowincjach. Autorzy ci wykazali, że transport pasażerski cechuje wyższa efektywność w porównaniu z transportem ładunków. Wykazali również wyższą efektywność transportu wschodnich Chin niż Chin centralnych i zachodnich. Zastosowanie DEA pozwoliło im opracować rekomendacje dla władz lokalnych w zakresie redystrybucji zasobów energii, kapitału i zasobów ludzkich mające prowadzić do poprawy efektywności systemu transportowego w chińskich prowincjach. Inne badania zaowocowały opracowaniem rekomendacji dla władz centralnych tego kraju, w których zaznaczono, że Chiny poprzez większą troskę o środowisko naturalne mogą wnieść wyraźny wkład w rozwój gospodarek i społeczeństw innych krajów, a poprzez to poprawić swój wizerunek na świecie.

Oprócz klasycznej analizy DEA w badaniach stosuje się szeroko jej modyfikacje czy nowo generowane modele. Pewną odmianę metody DEA zastosowali Chen i in. [2017], którzy analizowali efektywność inwestycji w obszarze zrównoważonego

rozwoju w sytuacji występowania niepożądanych rezultatów. W swoich badaniach wykazali, że większość rozwijających się i rozwiniętych regionów Chin ma ogromny potencjał do doskonalenia w zakresie rozwoju zrównoważonego, w szczególności w obszarze inwestycji w zasoby ludzkie. Model nieradialnej DEA posłużył do oceny efektów systemu ochrony środowiska w 20 tajwańskich gminach, prowadząc do opracowania przez autorów badań wielu rekomendacji dla tamtejszych władz lokalnych [Huang i in. 2014].

Nieradialne modele DEA oferują szersze możliwości analityczne w porównaniu z modelami radialnymi. Jedną z nich jest możliwość tworzenia rankingów nie tylko ze względu na ogólny, syntetyczny wskaźnik efektywności, ale także ze względu na wskaźniki efektywności poszczególnych nakładów (rezultatów), czyli tzw. efektywności cząstkowe [Chodakowska 2013, s. 24]. Duże walory aplikacyjne nieradialnej DEA były przesłanką do jej zastosowania w niniejszym opracowaniu. Prezentowane wyniki badań własnych stanowią kontynuację badań zainicjowanych przez Mesjasz-Lech [2011], która ocenę efektywności działań na rzecz ochrony powietrza w województwach oparła na klasycznym, radialnym modelu CCR.

3. Metoda badań

Podstawą metody DEA jest współczynnik produktywności Debreu-Farrella wyrażony jako stosunek pojedynczego rezultatu (efektu) do pojedynczego nakładu, który w DEA został uogólniony na przypadek wielowymiarowy, czyli przypadek wielu rezultatów (efektów) i wielu nakładów. Przedmiotem analizy w metodzie DEA jest określenie poziomu efektywności, z jaką podmiot podejmujący decyzję (DMU) przetwarza posiadane nakłady w rezultaty (efekty) [Zamojska 2009, s. 52].

W celu oceny efektywności działań z zakresu ochrony powietrza w województwach Polski wyróżniono dwie grupy cech: nakłady (*inputs*) i rezultaty (*outputs*). W metodzie DEA zaleca się, aby dane wejściowe odznaczały się m.in. jednolitym kierunkiem preferencji nakładów/rezultatów oraz jednorodnym lub prawie jednorodnym charakterem obiektów. Pierwszy warunek oznacza, że wzrost wielkości uznanych za rezultaty jest oceniany pozytywnie, jeżeli chodzi o cel działania badanych obiektów. Nakładami powinny być zaś takie wielkości, których wzrost, przy określonym poziomie rezultatów, jest oceniany negatywnie [Ziębicki 2014, s. 87-88]. Z kolei warunek jednorodności dopuszcza porównywanie obiektów w obrębie względnie jednorodnej grupy. Jeżeli zaś chodzi o liczbę zmiennych, to przyjmuje się, że w DEA łączna liczba nakładów i rezultatów powinna być około trzykrotnie mniejsza niż liczba porównywanych obiektów.

Pamiętając o powyższych ograniczeniach, do zbioru nakładów zaliczono [por. Mesjasz-Lech 2014, s. 112]:

- I_1 – nakłady na środki trwałe służące ochronie powietrza i klimatu w cenach bieżących [w tys. zł],

- I_2 – udział zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza posiadających urządzenia do redukcji zanieczyszczeń pyłowych w ogólnej liczbie zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza [%],
- I_3 – udział zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza posiadających urządzenia do redukcji zanieczyszczeń gazowych w ogólnej liczbie zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza [%].

Po stronie rezultatów znalazły się z kolei:

- O_1 – stopień redukcji pyłów w urządzeniach oczyszczających [% zanieczyszczeń wytworzonych],
- O_2 – stopień redukcji dwutlenku siarki w urządzeniach oczyszczających [% zanieczyszczeń wytworzonych].

Do oszacowania efektywności województw zastosowano zorientowany na nakłady nieradialny model DEA (NR-CCR) zaproponowany przez Dysona i Thanassoulisa [1992]. Jego założenia teoretyczne oraz sam model są szeroko opisane zarówno w polskiej, jak i zagranicznej literaturze przedmiotu [np. Guzik 2007; Ziębicki 2014; Sueyoshi, Goto 2012]. Z tego względu w niniejszym opracowaniu zrezygnowano ze szczegółowej prezentacji modelu.

3.1. Charakterystyka nakładów i rezultatów

Statystyka opisowa wytypowanych cech pełniących rolę nakładów i rezultatów (tabela 1) poprzedziła względną ocenę efektywności województw.

Tabela 1. Wartości statystyk opisowych

Statystyki opisowe	I_1	I_2	I_3	O_1	O_2
Maksimum	784783,90	0,83	0,23	99,90	95,70
Minimum	11888,80	0,46	0,04	98,10	0,60
Średnia	266217,18	0,66	0,13	99,35	46,47
Odchylenie standardowe	229915,64	0,09	0,06	0,54	37,02
Współczynnik zmienności	86,36%	13,10%	44,59%	0,54%	79,67%

Źródło: obliczenia własne na podstawie [*Ochrona środowiska 2016*, GUS, Warszawa 2016].

Jako pierwsza cechę rozważono wysokość nakładów na środki trwałe służące ochronie powietrza i klimatu w województwach (w tys. zł). Najwyższy poziom nakładów zanotowano w województwie mazowieckim i kolejno w województwie śląskim. Wartość nakładów oscylującą wokół średniej zaobserwowano w województwach wielkopolskim i pomorskim. W 2015 r. najniższe nakłady poczyniono w województwach podkarpackim, podlaskim i warmińsko-mazurskim, co uplasowało je odpowiednio na pozycjach 14., 15. i 16. Województwa te są uznawane za względnie czyste pod względem jakości powietrza, aczkolwiek relacja nakładów (I_1) wynosząca 66:1 w województwie „najlepszym” i „najgorszym” może, nawet

po uwzględnieniu stopnia uprzemysłowienia i zurbanizowania województw, budzić pewne wątpliwości co do sposobu redystrybucji środków. Na znaczące dysproporcje w tym zakresie wskazał również współczynnik zmienności, który przyjął w przypadku zmiennej I_1 wartość ponad 86%.

Najlepszym wyposażeniem w urządzenia przeciwpyłowe cechowały się zakłady szczególnie uciążliwe dla czystości powietrza w województwach świętokrzyskim, warmińsko-mazurskim i kujawsko-pomorskim. Urządzeniami tymi w najmniejszym stopniu dysponowały zakłady z województw dolnośląskiego, mazowieckiego i lubuskiego. Stopień wyposażenia zakładów w województwie lubuskim stanowił ok. 45% stopnia wyposażenia zakładów z województwa świętokrzyskiego. Większym zróżnicowaniem (44,59%) w województwach cechował się stopień wyposażenia zakładów w urządzenia przeciwgazowe. W województwie podkarpackim był on najwyższy i wyniósł ponad 23%, a w województwie lubuskim najniższy, osiągając niewiele ponad 4%. Powyżej średniej uplasowały się m.in. województwa: dolnośląskie, małopolskie i mazowieckie, zajmując odpowiednio 2., 3. i 4. pozycję. Poniżej średniej uplasowały się m.in. województwa: wielkopolskie, łódzkie i lubelskie, zajmując odpowiednio pozycje 8., 9. i 10.

Znikomą zmienność (0,54%) zaobserwowano w przypadku stopnia redukcji pyłów w urządzeniach oczyszczających, który to stanowił pierwszy z analizowanych rezultatów (O_1). Niskie zróżnicowanie tej zmiennej mogło być spowodowane również względnie niskim zróżnicowaniem w obrębie wyposażenia zakładów szczególnie uciążliwych w urządzenia przeciwpyłowe w województwach. Dużo bardziej zróżnicowany w obrębie województw był stopień redukcji dwutlenku siarki (SO_2). Był on najwyższy w województwie dolnośląskim (95,7%). Kolejne lokaty pod tym względem zajęły województwa opolskie (85,4%) i łódzkie (85,0%). Najniższe poziomy redukcji SO_2 odnotowano w województwie podkarpackim (0,9%), kujawsko-pomorskim (0,7%) i lubuskim (0,6%). Poziomy te w wymienionych województwach były zaskakująco niskie zarówno w porównaniu do średniej (46,47%), jak i w porównaniu do województw najlepszych.

3.2. Efektywność obiektów, efektywności cząstkowe, wzorce benchmarkingowe

W pełni efektywne, ze względu na wszystkie nakłady, okazały się województwa dolnośląskie, lubuskie, łódzkie, opolskie, podlaskie, świętokrzyskie i warmińsko-mazurskie. Pozostałe dziewięć województw sklasyfikowano do grupy nieefektywnych (tabela 2).

Średnia efektywność województw w obrębie nakładów na środki trwałe służących ochronie powietrza i klimatu wyniosła 68,5%. Wysoką efektywność odnotowano w przypadku wyposażenia zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza w urządzenia do redukcji zanieczyszczeń pyłowych (95,1%), niższą w przypadku wyposażenia zakładów w urządzenia do redukcji zanieczyszczeń gazowych (71,9%). Wysoka wartość przeciętnej efektywności nakładu I_2 wynikała z peł-

Tabela 2. Średnia efektywność województw, efektywności cząstkowe

i	DMU	Efektywności cząstkowe			Średnia efektywność	Min	Max	VC
		θ_{i1}	θ_{i2}	θ_{i3}				
1	Dolnośląskie	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%
2	Kujawsko-pomorskie	17,6%	100,0%	39,6%	52,4%	17,6%	100,0%	66,5%
3	Lubelskie	61,0%	77,2%	49,5%	62,6%	49,5%	77,2%	18,2%
4	Lubuskie	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%
5	Łódzkie	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%
6	Małopolskie	41,7%	86,4%	46,7%	58,3%	41,7%	86,4%	34,3%
7	Mazowieckie	21,5%	98,9%	42,0%	54,1%	21,5%	98,9%	60,5%
8	Opolskie	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%
9	Podkarpackie	33,6%	100,0%	28,8%	54,2%	28,8%	100,0%	60,0%
10	Podlaskie	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%
11	Pomorskie	37,3%	73,9%	30,8%	47,3%	30,8%	73,9%	40,0%
12	Śląskie	26,6%	85,4%	54,1%	55,4%	26,6%	85,4%	43,4%
13	Świętokrzyskie	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%
14	Warmińsko-mazurskie	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%
15	Wielkopolskie	65,6%	100,0%	63,1%	76,3%	63,1%	100,0%	22,1%
16	Zachodniopomorskie	95,2%	100,0%	95,0%	96,7%	95,0%	100,0%	2,4%
Średnia		68,5%	95,1%	71,9%	–			

θ_{i1} – efektywność obiektu ze względu na wysokość nakładów na środki trwałe, θ_{i2} – efektywność obiektu ze względu na wyposażenie zakładów w urządzenia do redukcji zanieczyszczeń pyłowych, θ_{i3} – efektywność obiektu ze względu na wyposażenie zakładów w urządzenia do redukcji zanieczyszczeń gazowych, Min – minimum, Max – maksimum, VC – współczynnik zmienności, i – numer obiektu (województwa).

Źródło: obliczenia własne z zastosowaniem programu *Efficiency Measurement System* (EMS).

nej efektywności (100%) w zakresie tego nakładu dotyczącej województw: zachodniopomorskiego, wielkopolskiego, podkarpackiego oraz kujawsko-pomorskiego.

Wśród województw nieefektywnych najwyższą średnią efektywność nakładów odnotowano w województwie zachodniopomorskim (96,7%), następnie w województwie wielkopolskim (76,3%) oraz w województwie lubelskim (62,6%). Najniższą średnią efektywność (47,3%) zaobserwowano w województwie pomorskim. Średnia efektywność pozostałych nieefektywnych województw oscylowała wokół 50%.

Wybrane w pełni efektywne województwa były wzorcami benchmarkingowymi dla województw nieefektywnych (tabela 3).

Tabela 3. Wzorce benchmarkingowe

i	DMU	Benchmarki	i	DMU	Benchmarki
1	Dolnośląskie	0	9	Podkarpackie	4 (0,17) 14 (0,83)
2	Kujawsko-pomorskie	4 (0,10) 14 (0,91)	10	Podlaskie	0
3	Lubelskie	4 (0,95) 13 (0,04)	11	Pomorskie	4 (0,82) 13 (0,18)
4	Lubuskie	9	12	Śląskie	4 (0,11) 8 (0,89)
5	Łódzkie	0	13	Świętokrzyskie	4
6	Małopolskie	4 (0,13) 8 (0,87)	14	Warmińsko-mazurskie	2
7	Mazowieckie	4 (0,35) 8 (0,66)	15	Wielkopolskie	4 (0,01) 8 (0,72) 13 (0,27)
8	Opolskie	5	16	Zachodniopomorskie	4 (0,17) 8 (0,56) 13 (0,26)

Źródło: obliczenia własne z zastosowaniem programu *Efficiency Measurement System* (EMS).

Najczęstszym wzorcem benchmarkingowym było województwo lubuskie (9-razy), a następnie opolskie (5-razy), świętokrzyskie (4-razy) i warmińsko-mazurskie (2-razy). Województwa dolnośląskie, łódzkie i podlaskie, pomimo że były w pełni efektywne, ani razu nie pełniły roli wzorca.

3.3. Zharmonizowanie nakładów, rozrzutność nakładów w obiektach nieefektywnych

Nieradialna DEA pozwala na przeprowadzenie analizy dysproporcji w zakresie nakładów. Jeżeli wszystkie nakłady w danym obiekcie cechują się tą samą efektywnością, wówczas nie ma dysproporcji między nimi i są one zharmonizowane. Jeżeli natomiast choć jedna para nakładów ma różne cząstkowe wskaźniki efektywności, to nakłady nie są już w pełni zharmonizowane. Wskaźnik zharmonizowania wyraża się wzorem: $Z_i = 1 - R_i$, gdzie R_i to odchylenie standardowe wskaźników cząstkowych, i – numer obiektu. Wartości wskaźnika Z_i należą do przedziału $(0,1]$, gdzie 1 oznacza całkowite zharmonizowanie nakładów [Guzik 2009].

W sytuacji, w której cząstkowa efektywność danego nakładu jest mniejsza od 1, mamy do czynienia z rozrzutnością nakładu. Mniejszy od 1 współczynnik efektywności oznacza, że inne obiekty (DMUs) uporałyby się z zadaniami danego obiektu mniejszym nakładem (kosztem). Stopień rozrzutności nakładu wyraża się wzorem $\beta_{in} = 1 - \theta_{in}$, gdzie i – numer obiektu, θ_{in} – efektywność cząstkowa i -tego obiektu dla n -tego nakładu [Guzik 2009].

Obliczone wartości wskaźnika zharmonizowania nakładów w województwach nieefektywnych ujęto w tabeli 4.

Najwyższy wskaźnik zharmonizowania nakładów zaobserwowano w województwie zachodniopomorskim (0,98), a najniższy w województwie kujawsko-pomorskim (0,59), przy średniej na poziomie 76,8%.

Tabela 4. Wskaźniki zharmonizowania (Z_i) i rozrzutności (β_m , $n = 1,2,3$) nakładów

i	DMU	Z_i	β_{i1} [%]	β_{i2} [%]	β_{i3} [%]	i	DMU	Z_i	β_{i1} [%]	β_{i2} [%]	β_{i3} [%]
1	Zachodniopomorskie	0,98	4,8	0,0	5,0	6	Mazowieckie	0,61	66,4	0,0	71,2
2	Wielkopolskie	0,83	34,4	0,0	36,9	7	Kujawsko-pomorskie	0,59	78,5	1,2	58,0
3	Lubelskie	0,92	39,0	22,8	50,5	8	Śląskie	0,71	82,4	0,0	60,4
4	Podkarpackie	0,67	58,3	13,6	53,3	9	Pomorskie	0,82	62,7	26,1	69,2
5	Małopolskie	0,78	73,4	14,6	45,9	–	–	–	–	–	–

Źródło: obliczenia własne z zastosowaniem programu *Efficiency Measurement System* (EMS).

Nieefektywność działań w zakresie ochrony powietrza może być spowodowana nieodpowiednim wykorzystaniem nakładów. W celu zbadania występowania tego problemu posłużono się wskaźnikiem rozrzutności nakładów β_m (tabela 4).

Rozrzutność poszczególnych nakładów była najwyższa w przypadku nakładu I_1 (55,5%), w przypadku nakładu I_2 wyniosła 8,7%, a dla nakładu I_3 – 50%. Nakłady na środki trwale służące ochronie powietrza i klimatu były przeciętnie o 55,5% za wysokie. Najwyższą rozrzutność nakładów na środki trwale zaobserwowano w województwach śląskim (82,4%), kujawsko-pomorskim (78,5%) i małopolskim (73,4%), a najniższą w województwie zachodniopomorskim (4,8%).

Obecne rezultaty w zakresie redukcji zanieczyszczeń gazowych w zakładach szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza są właściwe dla o połowę mniejszego wyposażenia zakładów w urządzenia do redukcji zanieczyszczeń pyłowych i o ok. 9% mniejszego wyposażenia zakładów w urządzenia do redukcji zanieczyszczeń gazowych. W przypadku zanieczyszczeń gazowych dotyczy to głównie zakładów z województw: mazowieckiego, pomorskiego i śląskiego. Natomiast w przypadku zanieczyszczeń gazowych sytuacja ta dotyczyła zakładów z województw pomorskiego i lubelskiego. Otrzymane rezultaty można by osiągnąć, używając o 55% mniej nakładów na środki trwale służące ochronie powietrza i klimatu. Skala rozrzutności nakładów dotyczyła przede wszystkim województw mazowieckiego i śląskiego.

4. Zakończenie

Czystość powietrza atmosferycznego jest kluczowym elementem wpływającym na jakość życia człowieka. Stwierdzenie to przestało być bagatelizowane zarówno na poziomie województw, jak i kraju. Świadczą o tym różnorodne działania na rzecz ochrony środowiska podejmowane na poziomie lokalnym, regionalnym czy krajowym. Ich efektywność jest jednak znacząco zróżnicowana. Spośród 16 województw 7 przekształcało w sposób efektywny nakłady w rezultaty. Były wśród nich zarówno

województwa wysoko uprzemysłowione, jak dolnośląskie, ale i nisko uprzemysłowione, jak województwo warmińsko-mazurskie.

Przeprowadzona analiza empiryczna wykazała konieczność dalszych usprawnień pod kątem poprawy efektywności działań ochronnych wiążących się z ograniczeniem rozrzutności i zwiększenia stopnia zharmonizowania nakładów. Ograniczenie rozrzutności w największym stopniu dotyczyło nakładów na środki trwałe w województwach: śląskim, kujawsko-pomorskim i małopolskim. Z kolei potrzeba poprawy stopnia zharmonizowania nakładów była najsilniejsza w województwie kujawsko-pomorskim.

Literatura

- Chen L., Wang Y., Lai F., Feng F., 2017, *An investment analysis for China's sustainable development based on inverse data envelopment analysis*, Journal of Cleaner Production, no. 142, s. 1638-1649.
- Chodakowska E., 2013, *Alternatywna metoda oceny produktywności przedsiębiorstw*, Przegląd Organizacji, nr 11, s. 21-27.
- Działania samorządów na rzecz ochrony powietrza i ograniczenia emisji zanieczyszczeń*, WFOŚiGW w Katowicach, Katowice 2014, <http://silesiametropolia.eu/project/zdjeciaDodatkowe/GZM%20folder.pdf> (dostęp: 16.10.2017).
- Guzik B., 2007, *O pewnej możliwości uwzględnienia substytucji nakładów w modelach DEA*, „Badania Operacyjne i Decyzje”, nr 3-4, s. 71-92.
- Guzik B., 2009, *Podstawowe modele DEA w badaniu efektywności gospodarczej i społecznej*, Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań 2009.
- Huang C., Chiu Y., Fang W., Shen N., 2014, *Assessing the performance of Taiwan's environmental protection system with a non-radial network DEA approach*, „Energy Policy”, no. 74, s. 547-556.
- Juda-Rezler K., Manczarski P., 2010, *Zagrożenia związane z zanieczyszczeniem powietrza atmosferycznego i gospodarką odpadami komunalnymi*, „Nauka”, nr 4, s. 97-106.
- Kłojzy-Kaczmarczyk B., Mazurek J., 2009, *Zadania samorządów lokalnych w procesie likwidacji niskiej emisji*, „Polityka Energetyczna”, t. 12, nr 2/2, s. 277-284.
- Mardani A., Zavadskas E.K., Streimikiene D., Jusoh A., Khoshnoudi M., 2017, *A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews”, no. 70, s. 1298-1322.
- Mesjasz-Lech A., 2014, *Zastosowanie metody DEA do badania efektywności działań w zakresie ochrony powietrza – ujęcie regionalne*, Universitatis Lodziensis. Folia Oeconomica, nr 6(308), s. 105-120.
- Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami*, Najwyższa Izba Kontroli, Warszawa 2014, <https://www.nik.gov.pl/plik/id,7764,vp,9732.pdf> (dostęp: 15.04.2017).
- Ochrona środowiska 2016*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2016.
- Ruiz J.L., Sirvent I., 2016, *Common benchmarking and ranking of units with DEA*, „Omega”, no. 60, s. 1-9.
- Sueyoshi T., Goto M., 2012, *DEA environmental assessment of coal fired power plants: Methodological comparison between radial and non-radial models*, „Energy Economics”, no. 34, s. 1854-1863.
- Sueyoshi T., Yuan Y., Goto M., 2017, *A literature study for DEA applied to energy and environment*, „Energy Economics”, vol. 62, no. 62, s. 104-124.
- Thanassoulis E., Dyson R.G., 1992, *Estimating preferred target input-output levels using Data Envelopment Analysis*, „European Journal of Operational Research”, no. 56, s. 80-97.

- Wu J., Qingyuan Z., Chu J., Liu H., Liang L., 2016, *Measuring energy and environmental efficiency of transportation systems in China based on a parallel DEA approach*, „Transportation Research” Part D, no. 48, s. 460-472.
- Zamojska A., 2009, *Zastosowanie metody DEA w klasyfikacji funduszy inwestycyjnych*, „Przegląd Statystyczny”, nr 3-4, s. 51-66.
- Ziębicki B., 2014, *Efektywność organizacyjna podmiotów sektora publicznego*, Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków.