

## Zastosowanie metod z grupy Electre III do szacowania względnej wielkości oddziaływania obiektów przemysłowych na środowisko

Izabela Laskowicz<sup>1</sup>



**Applications of the Electre III methods in estimating the environmental impact of post-industrial objects.**  
Prz. Geol., 63: 247–255.

*A b s t r a c t.* Revitalization of post-industrial objects is an important aspect of spatial management and minimization of negative environmental effects. One of the first decision making processes aimed at taking effective revitalization activity is to identify objects that require the most urgent actions. The analysis was performed with the example of the Chrzanow district, one of the most industrialized regions of the Małopolska Province. Twenty-eight objects have been inventoried and their environmental impact has been estimated based on previously distinguished six criteria. This is one of the types of decision making problem, which is called ranking actions from the best to the worst. The multi-criteria analysis of the Electre III method was implemented for this purpose. Decision-maker preferences were modeled by the thresholds (of preference, indifference and veto) and weights of criterion. In the final stage of the analysis, the modified Electre III-H method was implemented. The created hierarchy rank is consistent with the result achieved using an alternative method on the same group of objects.

**Keywords:** post-industrial sites, decision support, Chrzanów district, Electre III methods

Koniec ubiegłego stulecia w Polsce był okresem dynamicznych zmian gospodarczych i ustrojowych, w wyniku których nastąpiła restrukturyzacja przemysłu. Przyczyniła się ona do likwidacji wielu zakładów przemysłowych. W niektórych przypadkach obiekty te zostały opuszczone bez przeprowadzenia koniecznych prac zabezpieczających i rekultywacyjnych, nie nadano im także nowych funkcji. Większość z nich, a szczególnie te, w których do niedawna trwała produkcja, negatywnie oddziałują na środowisko. Nie prowadzi się jednak systematycznych badań geochemicznych, które mogłyby określić skalę tego oddziaływania. Szacuje się, że powierzchnia niezagospodarowanych terenów przemysłowych wynosi w Polsce ponad 5 tys. ha, w większych miastach często przekracza 100 ha (Domański, 2000). W województwie małopolskim w 2004 r. zinwentaryzowano ponad 4 tys. takich obiektów. Zarówno ich liczba, jak i powierzchnia w znacznym stopniu są zależne od przyjętych definicji i sposobów kwalifikacji, nie zmienia to faktu, że w miastach mamy wiele obiektów przemysłowych, które mogą oddziaływać negatywnie na środowisko i powinny zostać poddane rekultywacji.

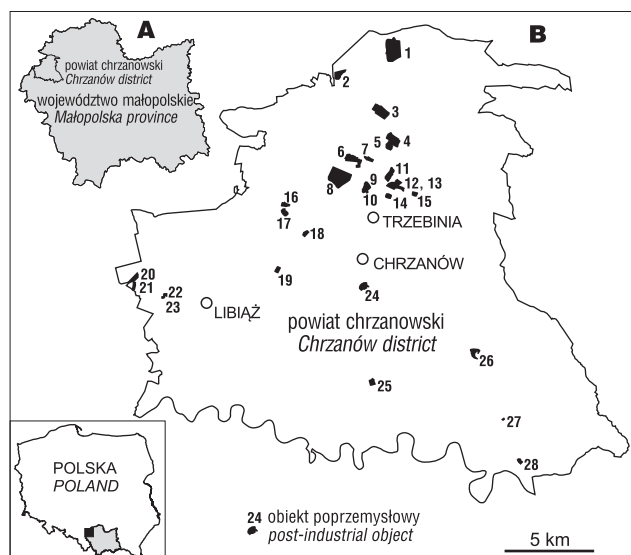
Przyjęcie przez Polskę zasad zrównoważonego rozwoju, konieczność właściwego zarządzania ładem przestrzennym oraz zapewnienia bezpieczeństwa i zdrowia ludzi, wymaga rewitalizacji takich obiektów. Proces ten jest także wymuszany naturalnymi zmianami urbanistycznymi, szczególnie na terenach większych miast, gdzie obszary niegdyś przemysłowe stają się atrakcyjne dla inwestorów zainteresowanych zmianą ich funkcji na mieszkaniową lub rekreacyjną. Są to z jednej strony tereny silnie przekształcone antropogenicznie, często zdewastowane, z drugiej zaś posiadające duży potencjał użytkowy, związane z ich dostępnością komunikacyjną, istnieniem infrastruktury, nieperyferyjnym usytuowaniem – nierzadko w obecnych centrach miast (Domański, 2000; Kasztelewicz, 2010; Wołkowicz & Fajfer, 2011). Do takich regionów kraju należy Górnośląskie Zagłębie Węglowe (GZW), w któ-

rym bogactwo zasobów naturalnych przyczyniło się do rozwoju przemysłu, ale w konsekwencji do silnej degradacji środowiska.

Pierwszym etapem przeprowadzenia prac rewitalizacyjnych jest inwentaryzacja zdegradowanych terenów, a kolejnym – ocena skali ich oddziaływania na środowisko (Gorgoń, 2007). Konieczne jest zatem opracowanie „specyficznej” oceny środowiskowej, w której porównuje się oddziaływanie zinwentaryzowanych obiektów na wybrane elementy środowiska, w efekcie zostają one uszeregowane, dając możliwość wyboru zadań priorytetowych z punktu widzenia ograniczenia zagrożeń środowiska. Może to stanowić wsparcie dla decydenta, podejmującego decyzję o kolejności rewitalizacji. Tak sformułowane zadanie leży w spektrum zagadnień teorii podejmowania decyzji, w której proces decyzyjny sprowadza się do matematycznych algorytmów optymalizujących decyzje. Problem powstaje wówczas, kiedy zamierzamy dokonać zmian i istnieją alternatywne sposoby ich przeprowadzenia. W omawianym przypadku sprowadzał się on do wskazania obiektów przemysłowych, które najbardziej zagrażają środowisku naturalnemu, czyli stworzenia listy hierarchicznej, odzwierciedlającej względną wielkość ich oddziaływania na środowisko. Postawiony problem w sensie metodycznym należy do problemów podejmowania decyzji w środowisku wielokryterialnym, a dokładnie do jednego z jej typów – porządkowania ocenianych elementów w zbiorze  $A$  (Roy, 1990; Kwiatkowska, 2001). Jako obszar badań został wybrany powiat chrzanowski w województwie małopolskim, gdzie przez kilka wieków intensywnie rozwijał się przemysł wydobywczy, a obecnie znajduje się duża liczba obiektów przemysłowych (ryc. 1).

Celem przeprowadzonych badań było oszacowanie względnej siły oddziaływania obiektów przemysłowych na środowisko, przez stworzenie listy hierarchicznej, na której badane obiekty zostały uszeregowane od najbardziej do najmniej zagrażających środowisku. Opracowano kry-

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; izabela.laskowicz@pgi.gov.pl.



Ryc. 1. A – położenie obszaru badań, B – obiekty poprzemysłowe na terenie powiatu chrzanowskiego

Fig. 1. A – location of study area, B – location of post-industrial objects in the Chrzanów district

teria oceny i obliczono pozycję każdego obiektu na liście hierarchicznej, wykorzystując do tego jedną z metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji – Electre III. Istotnym założeniem pracy było:

- wykorzystanie na etapie konstruowania kryteriów dostępnych danych archiwalnych i publikowanych, bez konieczności wykonywania badań geochemicznych,
- opracowanie kryteriów o charakterze mierzalnym,
- możliwie dokładne modelowanie preferencji decydenta (przypisanie wartości liczbowych tym preferencjom).

### OBSZAR I OBIEKTY BADAŃ

Powiat chrzanowski znajduje się we wschodniej części GZW, w sąsiedztwie bloku małopolskiego. Wielokrotnie zaangażowany tektonicznie ma obecnie charakter górotworu zrębowego z licznymi wychodniami kruszonośnych osadów triasu. Na powierzchni odsłaniają się także jurajskie wapienie i dolomity oraz skały wylewne powstałe podczas ruchów górotwórczych. Pod młodszymi utworami, miejscami na powierzchni, występują karbońskie pokłady węgla (Unrug & Dembowski, 1971; Gradziński, 1972). Płytko zalegające kopaliny zaczęto wydobywać już w XIII w. Pierwotnie kruszce eksploatowano w celu pozyskania ołowiu i srebra, z czasem zaczęto również odzyskiwać z nich cynk (Grzechnik, 1978). W XVII w. zainteresowano się w tym rejonie węglem kamiennym jako surowcem przemysłowym, natomiast jego wykorzystanie na skalę masową rozpoczęło się w XIX w. Obok górnictwa rozwijało się hutnictwo, a następnie energetyka. Z czasem powstawały miasta i rozwijał się przemysł budowlany, którego zapleczem surowcowym były złoża wapieni i dolomitów (np.: Płaza, Żelatowa). Koniec XX w. przyniósł restrukturyzację przemysłu wydobywczego, spowodowaną zmianami na rynkach surowcowych, spadkiem opłacalności wydobywania, a także wyczerpywaniem się zasobów niektórych złóż.

Prowadzona od wieków intensywna eksploatacja surowców oraz towarzyszący jej przemysł były i są przyczyną znacznego przekształcenia środowiska naturalnego w tym regionie. Dotyczy to zarówno fizycznej zmiany

powierzchni terenu (wyrobiska, hałdy), jak i zanieczyszczenia powierzchni ziemi (gleb i wód) oraz zmiany warunków hydrogeologicznych. Liczne w tym rejonie wodonośne piętra użytkowe są zagrożone w wyniku silnego drenowania poziomów wodonośnych oraz możliwości przedostania się do wód podziemnych substancji szkodliwych, których źródłem jest działalność przemysłowa. Na przeważającej części powiatu poziomy wodonośne są słabo izolowane lub zupełnie pozbawione warstwy izolującej (Kaziuk & Lewandowski, 1978). Głównym źródłem zanieczyszczenia powierzchni ziemi jest emisja szkodliwych gazów do atmosfery, składowanie odpadów i zrzuty ścieków pochodzących z zakładów wydobywania oraz przeróbki rud cynku i ołowiu, a także węgla kamiennego. W glebach powiatu chrzanowskiego obserwuje się występowanie anomalii kadmu, ołowiu, cynku, arsenu, kobaltu, chromu, rtęci, wapnia i glinu, a w wodach powierzchniowych wzbogacenie w kobalt, miedź, potas, lit, mangan, magnez, sód, fosfor, rubid, krzemionkę i stront (Pasiczna, 2008a, b).

### INWENTARYZACJA TERENÓW POPRZEMYSŁOWYCH

W ramach dużego projektu pod nazwą ROPSIM (*Registration of Polluted Sites in Małopolska Voivodeship*), realizowanego w województwie małopolskim w latach 2001–2003, zinwentaryzowano obiekty poprzemysłowe zaliczone do miejsc potencjalnie skażonych. Na terenie powiatu chrzanowskiego zarejestrowano wówczas 178 takich miejsc. Natomiast, w ramach terenowych prac przeprowadzonych w 2008 r., dokonano kompleksowej weryfikacji terenowej obszarów poprzemysłowych (Radwanek-Bąk & Laskowicz, 2012). W efekcie zinwentaryzowano 28 obiektów poprzemysłowych (ryc. 1) (Laskowicz, 2013).

Lista ta jest znacznie ograniczona w porównaniu ze sporządzoną w ramach projektu ROPSIM (ryc. 1, tab.1). Wynika to z faktu, że uwzględniono na niej jedynie obiekty poprzemysłowe, które są jednoznaczne do identyfikacji terenowej, czyli takie, które są widoczne i można określić jaką funkcję pełniły w przeszłości. Wyodrębniano je w taki sposób, żeby w granicach każdego z nich znajdował się teren, który w przeszłości pełnił jednorodną funkcję.

Obiekty reprezentują trzy zasadnicze grupy: hałdy i stawy osadowe, wyrobiska, obiekty poprodukcyjne.

**Grupa hałdy i stawy osadowe** obejmuje 7 obiektów. Dla dwóch z nich (staw osadowy ZG Trzebinia, składowisko ZSO Górka) były prowadzone badania geochemiczne odcieków migrujących w podłoże. Informacje o oddziaływaniu pozostałych obiektów pochodzą z publikowanych wyników badań regionalnych. Wszystkie zinwentaryzowane obiekty, poza hałdami z eksploatacji kopalni skalnych, są źródłem podwyższonych zawartości pierwiastków, przede wszystkim metali ciężkich, w glebach i wodach podziemnych. Przykładem może być rejon hałdy kopalni tlenkowych rud cynku i ołowiu Matylda. Wody wypływające z hałdy i wpadające do Kanału Matylda są wzbogacone między innymi w glin, bor, lit, nikiel, uran i cynk. W osadach dennych cieków w rejonie hałdy stwierdza się podwyższone zawartości arsenu i kadmu. Gleby rejonu kopalni wykazują skażenie takimi pierwiastkami jak: srebro, arsen, kadm, ołów, i cynk (Pasiczna, 2008a). Ponadto zagrożeniem dla gleb i wód są metale ciężkie znajdujące się w popiołach pochodzących z elektrowni Siersza (La-

**Tab. 1.** Obiekty poprzemysłowe w powiecie chrzanowskim  
**Table 1.** Post-industrial objects in Chrzanów district

Nr na mapie No. on the map	Grupa Group	Nazwa obiektu/terenu poprzemysłowego Name of post-industrial area
1	hałdy i stawy osadowe <i>dumps and sedimentation ponds</i>	staw osadowy Elektrownia Siersza <i>Siersza power plant sedimentation pond</i>
2	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	Szyb Lech <i>Lech shaft</i>
3	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	KWK Siersza <i>Siersza colliery</i>
4	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	ZSO Górka <i>Górka refractory material factory</i>
5	hałdy i stawy osadowe <i>dumps and sedimentation ponds</i>	ZSO Górka <i>Górka refractory material factory</i>
6	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	ZG Trzebieńka <i>Trzebieńka mine</i>
7	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	ZG Trzebieńka – szyb Andrzej <i>Trzebieńka mine – Andrzej shaft</i>
8	hałdy i stawy osadowe <i>dumps and sedimentation ponds</i>	osadnik ZG Trzebieńka <i>Trzebieńka mine – sedimentation pond</i>
9	wyrobiska <i>excavation</i>	wyrobisko po eksploatacji glin <i>post-exploitation clay excavation</i>
10	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	cegielnia <i>brick production plant</i>
11	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	ZM Trzebieńka II <i>Trzebieńka II metallurgical factory</i>
12	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	ZM Trzebieńka I <i>Trzebieńka I metallurgical factory</i>
13	hałdy i stawy osadowe <i>post-industrial objects</i>	hałda ZM Trzebieńka I <i>Trzebieńka I metallurgical factory dump</i>
14	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	ciepłownia <i>heating plant</i>
15	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	zakłady tłuszczowe <i>fat factory</i>
16	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	kopalnia Matylda <i>Matylda mine</i>
17	hałdy i stawy osadowe <i>dumps and sedimentation ponds</i>	hałda kopalni Matylda <i>Matylda mine dump</i>
18	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	teren PKP <i>Polish State Railways area</i>
19	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	magazyn paliw <i>fuel store</i>
20	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	ZG Janina II <i>Janina II mine</i>
21	hałdy i stawy osadowe <i>post-industrial objects</i>	staw osadowy ZG Janina II <i>Janina II mine – sedimentation pond</i>
22	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	szklarnie <i>greenhouses</i>
23	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	spółdzielnia produkcji rolnej <i>agriculture production site</i>
24	hałdy i stawy osadowe <i>dumps and sedimentation ponds</i>	hałda kamieniołomu wapieni Plaza <i>Plaza limestone stone-pit dump</i>
25	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	baza transportowa <i>transportation base</i>
26	wyrobiska <i>excavation</i>	kamieniołom melafirów Regulice <i>Regulice melaphyres stone-pit</i>
27	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>	wytwórnia mas bitumicznych <i>asphalt plant</i>
28	wyrobiska <i>excavation</i>	kamieniołom wapieni Mirów <i>Mirów limestone stone-pit</i>

bus, 1999). Żaden z analizowanych obiektów do składowania nie posiada sztucznej izolacji podłoża, nie ma również przesłanek geologicznych wskazujących, że w ich podłożu występuje naturalna, ciągła warstwa izolująca.

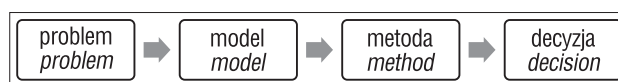
**Grupa wyrobiska** obejmuje nieeksploatowane obszary w obrębie złóż obecnie nieeksploatowanych. Wyrobisko po eksploatacji glin w Trzebieńce, zostało częściowo wypełnione odpadami komunalnymi i budowlanymi, a częściowo napełnia się wodą opadową. Kamieniołomy w Mirowie i Regulicach po zakończeniu eksploatacji nie zostały przygotowane do dalszego użytkowania, a w ich wyrobiskach są zgromadzone niewielkie ilości odpadów wydobywczych.

Obiekty poprodukcyjne to najliczniejsza grupa 18 obiektów poprzemysłowych na terenie powiatu chrzanowskiego. W wielu przypadkach stwierdzono w nich odpady pochodzące z produkcji np. materiałów ogniotrwałych, rolnej, przetwórstwa kopalin, lub rozbiórki hal produkcyjnych i budynków administracyjnych. Wśród omawianych obiektów, odpadów niebezpiecznych należy się spodziewać na terenie ZM Trzebieńka, ZSO Górka, ZG Trzebieńka, w zakładach obsługi transportu oraz produkcji rolnej. Część z nich znajduje się w stanie daleko posuniętej dewastacji (hale produkcyjne ZSO Górka, ZM Trzebieńka, cegielnia), część natomiast jest względnie uporządkowana (kopalnia Matylda, ciepłownia, szyb Lech). Gleby na terenie ZM Trzebieńka wykazują wysoką koncentrację glinu, miedzi, kadmu, ołowiu, kobaltu, chromu, niklu i cynku pochodzenia antropogenicznego (Szuwarzyński & Kryza, 1995; Pasieczna, 2008a; Kot, 2011). W rejonie poprzemysłowym KWK Siersza zanotowano podwyższone zawartości arsenu, które prawdopodobnie są związane z domieszką siarkosoli arsenu występujących w węglu (Paulo & Strzelecka-Smakowska, 2000). Anomalie kadmu, cynku i ołowiu stwierdzono w rejonie szybów ZG Trzebieńka (Pasieczna, 2008b). Na terenie obiektów związanych z obsługą transportu i magazynowaniem paliw (baza transportowa, magazyn paliw, tereny PKP, wytwórnia mas bitumicznych) należy spodziewać się zanieczyszczenia metalami ciężkimi oraz węglowodorami alifatycznymi i aromatycznymi (Malina, 2007). Z obszarami intensywnej produkcji rolnej (szklarnie, spółdzielnie produkcji rolnej) jest związane duże prawdopodobieństwo nagromadzenia pestycydów i herbicydów, spowodowane niewłaściwym ich przechowywaniem oraz intensywnym nawożeniem (Bujanowicz-Haraś, 2007).

## ANALIZA WIELOKRYTERIALNA

Hierarchizację obiektów poprzemysłowych na obszarze powiatu chrzanowskiego potraktowano jako problem decyzyjny i do jego rozwiązania zastosowano schemat decyzyjny obejmujący cztery elementy: problem, model, metodę i decyzję (ryc. 2).

Badanie problemu i jego rozwiązywanie odbywa się przez skonstruowanie odpowiedniego modelu. Podejmując próbę stworzenia takiego schematu, można sporządzić gruntowny opis wszystkich jego składowych i zachodzących pomiędzy nimi zależności, najczęściej jednak dokonuje się



**Ryc. 2.** Schemat decyzyjny: Roy, 1990, uzupełniony  
**Fig. 2.** A decision tree; source: Roy, 1990, improved

**Tab. 2.** Kryteria oceny  
**Table 2.** Evaluation criteria

Kryterium <i>Criterion</i>	Źródło danych <i>Source of data</i>	Opis <i>Specification</i>
Degradacja środowiska <i>Environmental degradation</i> (g1)	wizja lokalna, mapy geochemiczne w skali 1 : 25 000 (Kot, 2011; Pasiczna, 2008a, b, 2011), wiedza ekspercka <i>local inspection, topographic maps 1:25 000, expert knowledge</i>	w analizie uwzględniono jedynie możliwość wystąpienia degradacji chemicznej; zdegradowanie zostało opisane werbalnie, dla wyrażenia opinii wynikającej z wiedzy eksperckiej i dostępnych danych <i>in the analysis involves only the possibility of chemical degradation; degradation was described verbally, to express an opinion resulting from the expert knowledge and available geochemical data</i>
Wielkość <i>Area</i> (g2)	mapy topograficzne w skali 1 : 10 000, zdjęcia lotnicze <i>topographic maps 1 : 10 000, orthophotomaps</i>	wielkości emitera, mierzona jako powierzchnia obszaru poprzemysłowego <i>the emitter size, measured as the post-industrial area</i>
Konflikt krajobrazowy <i>Landscape conflict</i> (g3)	mapy topograficzne w skali 1 : 10 000 <i>topographic maps 1 : 10 000</i>	w strefie buforowej wokół obiektów poprzemysłowych o szerokości 200 m obliczono powierzchnię zajmowaną przez obiekty przemysłowe i wyrażono ją jako udział procentowy w buforze <i>area of industrial object expressed as a percentage of the 200-m wide buffer zone of post-industrial object</i>
Wody podziemne <i>Groundwaters</i> (g4)	mapy hydrogeologiczne, pierwszego poziomu wodonośnego (Razowska-Jaworek i in., 2007; Pacholewski i in., 2007; Zembal, Wagner, 2007) <i>hydrogeological maps of the first water horizon</i>	wrażliwość wód podziemnych na rozchodzenie się zanieczyszczeń mierzona jako czas wymiany wody w profilu strefy aeracji; średnią wartość czasu dla pojedynczego obiektu obliczono jako średnią ważoną czasów występujących w granicach obiektu <i>groundwater vulnerability to the propagation of pollutants measured as the time of water exchange in the unsaturated zone; the average time for the object is calculated as a weighted average of those times occurring within the object</i>
Wody powierzchniowe <i>Surface waters</i> (g5)	mapy topograficzne w skali 1 : 10 000 <i>topographic maps 1 : 10 000</i>	odległość analizowanego obiektu od najbliższej położonego cieków wodnego w obrębie zlewni <i>distance between the object and the nearest watercourse within the catchment area</i>
Człowiek <i>Human</i> (g6)	mapy topograficzne w skali 1 : 10 000 <i>topographic maps 1 : 10 000</i>	liczba mieszkańców zamieszkująca strefę buforową o szerokości 200 m wokół analizowanego terenu <i>the number of residents living in the 200-m buffer zone around the object</i>

klasyfikowania i wartościowania jedynie wybranych składników. W ten sposób utworzono model, który obejmuje kryteria oceny badanych obiektów poprzemysłowych oraz system do modelowania preferencji decydenta. Budowanie tych dwóch elementów, a szczególnie modelowanie preferencji decydenta, jest uzależnione od przyjętej metodyki wielokryterialnej analizy wspomaganego decyzji.

Wybór kryteriów determinuje wynik analizy, dlatego powinny one w sposób reprezentatywny charakteryzować badane obiekty (Borys, 1999). Z tego powodu muszą one być nośnikami cech ogólnych, które można przypisać każdemu rozpatrywanemu obiektowi, a nie unikatowych dla wybranej grupy obiektów (Nowak, 2004). Kryteria powinny być proste w konstrukcji i łatwe w interpretacji. Do oceny obiektów poprzemysłowych skonstruowano sześć kryteriów (tab. 2) (Radwanek-Bąk & Laskowicz 2012).

Szerszego omówienia wymaga kryterium degradacji środowiska. Zaledwie dwa obiekty z 28 zinventaryzowanych posiadają wyniki badań geochemicznych, pozwalających na ocenę ich oddziaływania na środowisko. W celu oceny stopnia degradacji chemicznej pozostałych obiektów wykorzystano wiedzę ekspercką, dane zawarte na mapach geochemicznych oraz wyniki badań wód i gruntów w badanym rejonie opublikowane między innymi w pracach Ciszewskiego (1994), Szuwarzyńskiego & Kryzy (1995), Belloka (1996), Czopa i in. (2002) oraz Kota (2011). Na podstawie tych informacji utworzono kryterium eksperckie obejmujące czterostopniową skalę charakterystyki opisowej stopnia degradacji, według której klasyfikowano obiekty (tab. 3).

Czterem stopniom degradacji od b1 do b4, odzwierciedlających narastanie degradacji środowiska, przypisano wartości liczbowe z przedziału 0–20 tak, że b1 przyjmuje wartość 0, a b4 wartość 20. Przypisanie wartości liczbowych stopniom b2 i b3 wymagało zastosowania procedury

matematycznej pozwalającej uwzględnić, że dynamika narastania degradacji środowiska wyrażona czterema stopniami ma charakter zależności liniowej (Roy, 1990). Do ustalenia odległości na osi liczbowej, pomiędzy poszczególnymi stopniami degradacji od b1 do b4, zastosowano metodę porównywania parami, polegającą na wskazaniu, którą parę porównywanych elementów (od b1 do b4) dzieli największa odległość. Z porównywanych elementów utworzono ciąg malejący – elementy, które dzieli największa odległość (w tym przypadku b1 i b4) są ustawione na pierwszym miejscu, a po nich następują kolejne o zmniejszającej się odległości.

$$b4 - b1 > b4 - b2 > b3 - b1 > b4 - b3 > b3 - b2 > b2 - b1$$

Podstawiając za b1 wartość 0, a za b4 wartość 20, otrzymano poniższy ciąg nierówności:

$$20 > 20 - b2 > b3 > 20 - b3 > b3 - b2 > b2$$

W celu znalezienia wartości b2, b3 rozwiązano układ trzech nierówności:

$$20 - b2 > b3; 20 - b3 > b3 - b2; b3 > 20 - b3$$

Spośród możliwych rozwiązań układu nierówności przyjęto wartości: b2 = 3, b3 = 11. Niska wartość b2 odzwierciedla niewielki stopień degradacji środowiska przez obiekty, którym przypisano ten stopień. Do nich należą głównie hałdy odpadów wydobywczych po eksploatacji skał węglanowych.

Przyjmując, że w analizowanej grupie obiektów są takie, w których nie stwierdza się obecności szkodliwych substancji lub odpadów, należy również założyć, że nie zagrażają one wodom podziemnym, powierzchniowym oraz zdrowiu fizycznemu człowieka. W konsekwencji jeżeli obiektowi zostaje przypisana wartość b1 (brak zanieczyszczeń o charakterze substancji chemicznych obcych dla środowiska) kryteria g4, g5, g6, określające wrażliwość wód podziemnych, powierzchniowych i zdrowia człowie-

**Tab. 3.** Kryterium – degradacja środowiska  
**Table 3.** A criterion of environmental degradation

Stopień degradacji Degree of degradation	Opis Specification
b1 – brak degradacji chemicznej <i>no chemical degradation</i>	występuje jedynie degradacja fizyczna wynikająca z przekształcenia fizycznego powierzchni ziemi i/lub pozostawienia niezabezpieczonych obiektów budowlanych <i>there is only physical degradation resulting from the physical transformation of the earth surface and/or due to leaving unprotected buildings</i>
b2 – degradacja chemiczna niska <i>low chemical degradation</i>	stwierdza się nagromadzenie odpadów o małej szkodliwości dla zdrowia człowieka takich jak hałdy odpadów wydobywczych pochodzących z eksploatacji kopalni skalnych, obszary na których nie występują odpady, ale występuje lub jest podejrzenie wystąpienia zanieczyszczenia gleb na skutek wcześniejszej działalności gospodarczej <i>accumulation of waste with low hazard to human health, such as mining dumps resulting from mineral exploitation, areas without waste, but there is or is suspected pollution of soil due to the previous economic activity</i>
b3 – degradacja chemiczna średnia <i>medium chemical degradation</i>	zgromadzone są małe ilości (do 2 ha lub 5 m <sup>3</sup> ) odpadów zawierających szkodliwe dla zdrowia człowieka substancje lub pierwiastki, są to przede wszystkim obiekty poprodukcyjne, w których w małych ilościach nagromadzone są odpady zawierające substancje ropopochodne, metale ciężkie, środki ochrony roślin lub pestycydy <i>accumulation of small amounts (up to 2 hectares or 5 m<sup>3</sup>) of waste containing substances or elements harmful to human health; they are mainly post-production objects, small quantities of waste containing petroleum substances, heavy metals and pesticides</i>
b4 – degradacja chemiczna wysoka <i>high chemical degradation</i>	występują w dużych ilościach (powyżej 2 ha lub 5 m <sup>3</sup> ) odpady zawierające szkodliwe dla zdrowia człowieka substancje lub pierwiastki, dotyczy to głównie hałd odpadów wydobywczych i składowisk odpadów w tym niebezpiecznych <i>there are waste containing substances harmful to human health or large amounts of elements (more than 2 hectares or 5 m<sup>3</sup>); this concerns mainly mining dumps and hazardous landfills</i>

ka, nie powinny być brane pod uwagę w dalszej ocenie obiektu. Istnieje zatem wartość minimalna kryterium g1 równa b2, która kwalifikuje obiekt do analizy wielokryterialnej z użyciem wszystkich sześciu kryteriów. Ze względu na wartość kryterium g1 z dalszej analizy wyłączone 3 obiekty (pozycje: 10, 14, 15 tab. 1) i dalszą procedurę prowadzono dla 25 obiektów.

Metodyka modelowania preferencji decydenta (przyznanie wartości liczbowych analizowanym preferencjom decydenta) zależy od przyjętej metody analizy wielokryterialnej. Do uszeregowania obiektów przemysłowych na liście hierarchicznej zastosowano metodę z grupy metod Electre III, która pozwala na modelowanie preferencji decydenta w szerokim zakresie (poprzez progi preferencji, równoważności i weta) oraz wykazuje dużą korelację wyników z innymi zaawansowanymi matematycznie metodami wspomaganie decyzji, np. metoda AHP i punktu idealnego (Książek, 2011). Pozwala ona uwzględnić trzy ważne cechy danych: nieprecyzyjność, niepewność i nieoznaczoność (Takeda, 2001). Dzięki temu jest stosowana do wspomaganie decyzji w zagadnieniach środowiskowych, gdzie zwykle dane są niskiej jakości, np. nieprecyzyjne (Roy i in., 1992; Niepokólczycka & Treichel, 2000). Rodzina metod wspomaganie decyzji Electre III opiera się na relacji przewyższenia. W celu jej zbudowania analizowany jest stopień przewyższenia dwóch porównywanych parami elementów  $a$  i  $b$  ze zbioru  $A$  i sprawdzeniu, czy założona hipoteza, że  $a$  przewyższa  $b$ , jest prawdziwa (Roy, 1990). Metodyka wymaga rozróżnienia dwóch typów kryteriów: prawdziwego i pseudokryterium (Roy, 1990; Tam i in., 2003). Kryterium prawdziwe jest funkcją kryterialną, która dla każdego dwóch elementów ( $a, b$ ) zbioru  $A$  pozwala stwierdzić, że  $a$  i  $b$  są równoważne, jeśli  $g(a) = g(b)$ , lub  $a$  jest preferowane nad  $b$ , jeśli  $g(a) > g(b)$ . Pseudokryterium jest funkcją kryterialną, która wyróżnia między porównywanymi elementami  $a$  i  $b$  cztery stany: równoważności, słabej i silnej preferencji oraz nieporównywalności. Do modelowania takich sytuacji, w których decydent nie ma pewności, czy różnica pomiędzy porów-

nywanymi elementami jest dostatecznie duża, żeby jednoznacznie stwierdzić przewagę jednego elementu nad drugim wykorzystuje się progi równoważności i preferencji. Jest to jeden z elementów modelowania preferencji decydenta. Wartość oceny, od której decydent jest przekonany, że jeden obiekt przewyższa drugi, jest nazywana progiem preferencji. Próg równoważności to wartość oceny, do której mimo różnicy w ocenie  $a$  i  $b$  decydent nie może stwierdzić, że  $a$  jest lepszy od  $b$ , gdyż różnica między nimi jest zbyt mała.

Ze względu na duży rozrzut wartości ocen rzeczywistych dla badanych obiektów wielkość progów równoważności i preferencji obliczono, korzystając z funkcji liniowej w postaci (Skallka i in., 1992):

$$p_i[g_i(a)] = \alpha_p + \beta_p g_i(a)$$

$$q_i[g_i(a)] = \alpha_q + \beta_q g_i(a)$$

gdzie:

$\alpha$  – współczynnik proporcjonalności,

$\beta$  – wartość stała progów.

Wartości progów rosną liniowo wraz ze wzrostem wartości oceny (tab. 4). Próg weta jest arbitralnie ustaloną wartością progową dla poszczególnych kryteriów. Powyżej tej wartości nie można uznać, że  $a$  przewyższa  $b$ , nawet jeśli  $a$  zostanie uznane za zdecydowanie lepsze od  $b$  pod względem wszystkich innych kryteriów.

Kryterium g1 uznano za kryterium prawdziwe. Dla takiego kryterium nie jest rozważana słaba i silna preferencja, nie ma zatem potrzeby stosowania progów równoważności i preferencji (tab. 4).

Drugim elementem modelowania preferencji decydenta jest przypisanie wag kryteriów. Wagi różnicują kryteria ze względu na niejednakowe znaczenie kryteriów w końcowej ocenie obiektów. Wartości wag obliczono z zastosowaniem metody porównywania parami (Szwabowski & Deszcz, 2001). W tym celu skonstruowano macierz kwa-

**Tab. 4.** Wartości progów równoważności, preferencji, weta  
**Table 4.** Indifference, preference and veto thresholds values

Kryterium Criterion	Typ kryterium Type of criterion	Zakres danych do analizy Range of data	Próg równoważności Indifference thresholds		Próg preferencji Preference thresholds		Próg weta Veto thresholds
			$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	
g1	prawdziwe true	0–20	–	–	–	–	20
g2	pseudokryterium pseudocriterion	1,1–93,3	1	0,02	1	0,05	100
g3	pseudokryterium pseudocriterion	0–50,63	1	0,01	1	0,05	60
g4	pseudokryterium pseudocriterion	0–358,42	1	0,05	1	0,1	360
g5	pseudokryterium pseudocriterion	0–2105	1	0,05	1	0,1	2000
g6	pseudokryterium pseudocriterion	0–94	1	0,01	1	0,1	100

**Tab. 5.** Wagi kryteriów  
**Table 5.** Criteria weights

$g_i \backslash g_j$	g1	g2	g3	g4	g5	g6	Waga Weight
g1	0,5	1	1	1	1	1	5,5
g2	0	0,5	0,5	0	0	0	1
g3	0	0,5	0,5	0	0	0	1
g4	0	1	1	0,5	1	0	3,5
g5	0	1	1	0	0,5	0	2,5
g6	0	1	1	1	1	0,5	4,5

dratową o wymiarach  $n \times n$ , gdzie  $n$  to liczba kryteriów. Elementom macierzy przypisano wartość 1 – gdy  $g_i$  jest ważniejsze od  $g_j$ , oraz 0 – gdy  $g_i$  jest mniej ważne niż  $g_j$ . Kryteriom równoważnym przypisano wartość 0,5. Suma elementów macierzy wzdłuż wiersza jest wagą  $i$ -tego kryterium (tab. 5).

Najwyższą wagę otrzymało kryterium degradacja środowiska (g1). Jest ono nośnikiem informacji o wielkości i charakterze ładunku dostarczanego do różnych komponentów środowiska i zdaniem eksperta ma najistotniejszy ze wszystkich kryteriów wpływ na końcową ocenę obiektu.

Przygotowanie danych do analizy obejmuje przekształcenie kryteriów o charakterze destymulanty do postaci stymulanty. W omawianym przypadku wykorzystano metodę przekształcenia różnicowego:

$$g_j(a)^S = \max[g_j(a)] - g_j(a)^D$$

gdzie:

$g_j(a)^S$  – wartość zmiennej w postaci stymulanty,

$g_j(a)^D$  – wartość zmiennej w postaci destymulanty.

Do postaci stymulant przekształcono kryteria g3, g4, g5. Wartości rzeczywiste ocen obiektów w poszczególnych kryteriach zamieszczono w tabeli 6.

Analizę wielokryterialną przeprowadzono w kilku etapach, zgodnie z metodyką szczegółowo opisaną w wielu publikacjach, m.in. Roy, 1990; Niepokólczycka & Treichel, 2000; Takeda, 2001.

W pierwszym etapie są obliczane cząstkowe wskaźniki zgodności  $c(a,b)$  w obrębie każdego kryterium. Przyjmują one wartości z przedziału  $[0, 1]$ . Wskaźnik przyjmuje war-

tość 1, gdy różnica pomiędzy wartościami  $a$  i  $b$  jest mniejsza od progu równoważności. Jeśli jest większa od progu preferencji, wtedy wartość wskaźnika równa się 0. Jeżeli ta różnica ma wartość pomiędzy wartościami progów, wówczas wartość wskaźnika rośnie liniowo. Następnie jest obliczany współczynnik zgodności  $C(a,b)$  uwzględniający wszystkie kryteria.

Współczynnik niezgodności  $d(a,b)$ , obliczany w kolejnym etapie, również przyjmuje wartości z przedziału  $[0,1]$ . Im wartość współczynnika jest bliższa 1 tym istnieje większa niezgodność z tezą, że  $a$  przewyższa  $b$ . Jeżeli różnica pomiędzy ocenami  $a$  i  $b$  jest mniejsza od progu preferencji, współczynnik przyjmuje wartość 0, jeśli większa od progu weta – przyjmuje wartość 1.

Na podstawie współczynników zgodności i niezgodności oblicza się współczynnik wiarygodności  $S(a,b)$  hipotezy, że  $a$  przewyższa  $b$ . Jeżeli wartość współczynnika zgodności jest większa od poszczególnych współczynników niezgodności, to współczynnik wiarygodności przyjmuje wartość współczynnika zgodności. W przeciwnym przypadku – współczynnik wiarygodności otrzymuje mniejszą wartość.

Ranking końcowy sporządzono metodą Electre III-H-NFS. Metoda NFS wywodzi się z niedawno zaproponowanej modyfikacji metody Electre III, o nazwie *Electre III-H with Net Flow Score method* (Soniran Shofade, 2011). W metodzie tej współczynniki wiarygodności przekształca się w taki sposób, że wszystkie współczynniki wiarygodności większe od 0,5 przyjmują wartość 1, a mniejsze lub równe 0,5 – wartość 0. W celu uzyskania rankingu końcowego są sumowane wartości przekształconych w powyższy sposób współczynników wiarygodności w wierszach i kolumnach,

**Tab. 6.** Tablica ocen rzeczywistych dla obiektów przemysłowych oraz ranking uzyskany metodą Electre III-H-NFS  
**Table 6.** Performance table for the post-industrial objects and their ranking obtained by Electre III-H-NFS method

Obiekt Object	Wartości ocen Evaluations						Electre III-H-NFS			
	g1	g2	g3	g4	g5	g6	Suma $a_{ij}$ Sum $a_{ij}$	Suma $a_{ji}$ Sum $a_{ji}$	NFS ( $a_i$ )	Pozycja na liście Ranking
1	20	91,1	8,7	10,7	82	0	22	3	19	2
2	3	18,0	0	26,9	1767	29	8	20	-12	12
3	3	41,6	11,2	39,2	1502	20	6	23	-17	16
4	11	35,4	15,8	134,8	1383	71	18	14	4	5
5	20	10,4	19,5	129,2	1043	41	22	5	17	3
6	11	30,8	0	269,2	1	27	16	13	3	6
7	3	8,0	6,2	286,5	2105	59	7	21	-14	14
8	20	93,3	1,2	24,7	10	0	22	3	19	2
9	3	17,4	12,1	50,5	1	14	7	21	-14	14
11	11	18,4	29,1	359,4	902	36	2	16	-14	14
12	11	22,8	28,7	27,7	330	39	18	14	4	5
13	20	6,4	50,6	39,1	573	6	8	5	3	6
16	11	7,9	5,7	223,5	236	10	18	4	14	4
17	20	10,1	4,4	51,4	36	16	24	4	20	1
18	3	7,1	6,8	210,8	169,1	84	7	10	-3	11
19	11	6,4	6,1	13,0	314	0	15	17	-2	10
20	11	13,7	23,0	20,8	50	0	16	15	1	8
21	20	5,6	37,2	1,8	40	0	22	5	17	3
22	11	1,4	9,1	2,5	50	2	16	14	2	7
23	11	2,3	8,8	5,0	75	2	16	14	2	7
24	3	14,1	23,7	32,0	2105	27	2	24	-22	17
25	11	8,6	3,9	5,0	606	11	14	14	0	9
26	3	14,0	0	13,1	346	7	8	21	-13	13
27	11	1,1	0	0,9	25	2	16	14	2	7
28	3	4,7	0	4,4	640	5	6	22	-16	15

a następnie od sumy w wierszach odejmowana jest suma w kolumnach.

$$NFS(a_i) = \sum_{j=1}^m a_{ij} - \sum_{j=1}^m a_{ji} \text{ gdzie } i = (1, \dots, m) \text{ i } a_i \in A$$

gdzie:

$\sum_{j=1}^m a_{ij}$  – suma wierszy macierzy współczynnika wiarygodności  $S(a,b)$ ,

$\sum_{j=1}^m a_{ji}$  – suma kolumn macierzy współczynnika wiarygodności  $S(a,b)$ .

Uzyskanie rankingu końcowego metodą Electre III-H-NFS znacznie upraszcza końcową procedurę analizy (tab. 6). Tradycyjna metoda Electre III wymaga skomplikowanych obliczeń, praktycznie niewykonalnych bez dostępu do specjalistycznego oprogramowania, szczególnie w przypadku licznego zbioru  $A$ .

## WYNIKI BADAŃ

Efektom końcowym jest lista hierarchiczna, na której obiekty przemysłowe są uszeregowane od najbardziej do najmniej zagrażających środowisku (tab. 7). Decydent na podstawie listy może wskazać obiekty, które w pierw-

szej kolejności powinny być rekultywowane. Łącznie 25 analizowanych obiektów zajęło 17 różnych pozycji na liście, w tym część obiektów ma równorzędne pozycje.

Pierwsze miejsce na liście otrzymał obiekt nr 17 – znajdująca się w Chrzanowie hałda kopalni Matylda. Jest to niezabezpieczona i niezrekultywowana hałda, która, mimo że od ponad 30 lat nie jest eksploatowana, nie ulega samorekultywacji. Na kolejnych miejscach listy znalazły się osadniki kopalni Trzebionka oraz odpadów elektrowni Siersza. Na ostatnich miejscach listy są biurowe zabudowania zakładów metalurgicznych w Trzebini, kamieniołom Mirów oraz hałda kamieniołomu Płaza. Cztery pozycje na liście (pozycje 2, 3, 5, 6) są zajmowane przez dwa obiekty, a dwie pozycje (7, 14) aż przez trzy obiekty. Przeprowadzona analiza wskazuje, że ich oddziaływanie na środowisko jest równoważne.

## DYSKUSJA WYNIKÓW

W pierwszej trójce najniebezpieczniejszych obiektów znalazły się dwa największe (stawy osadowe Elektrowni Siersza i ZG Trzebionka) zinwentaryzowane na obszarze powiatu chrzanowskiego (tab. 7). Obiekty, które otrzymały najwyższą wartość w najistotniejszym w analizie kryterium g1 – degradacja środowiska, zajęły pierwsze miejsca na liście hierarchicznej. Wyjątkiem jest obiekt nr 13, który znalazł się na pozycji 6, a na liście poprzedzają go obiekty,

**Tab. 7.** Ranking końcowy  
**Table 7.** Final ranking

Pozycja na liście <i>Ranking</i>	Nr na mapie <i>Number on the map</i>	Nazwa obiektu/terenu przemysłowego <i>Name of post-industrial area</i>	Grupa <i>Group</i>
1	17	hałda kopalni Matylda <i>Matylda mine dump</i>	hałdy i stawy osadowe <i>dumps and sedimentation ponds</i>
2	1	staw osadowy Elektrownia Siersza <i>Siersza power plant sedimentation pond</i>	hałdy i stawy osadowe <i>dumps and sedimentation ponds</i>
2	8	staw osadowy ZG Trzebieńka <i>Trzebieńka mine – sedimentation pond</i>	hałdy i stawy osadowe <i>dumps and sedimentation ponds</i>
3	5	ZSO Górka <i>Górka refractory material factory</i>	hałdy i stawy osadowe <i>dumps and sedimentation ponds</i>
3	21	osadniki ZG Janina II <i>Janina II mine sedimentation pond</i>	hałdy i stawy osadowe <i>dumps and sedimentation ponds</i>
4	16	kopalnia Matylda <i>Matylda mine</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
5	4	ZSO Górka <i>Górka refractory material factory</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
5	12	ZM Trzebieńka I <i>Trzebieńka I metallurgical factory</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
6	6	ZG Trzebieńka <i>Trzebieńka mine</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
6	13	hałda ZM Trzebieńka I <i>Trzebieńka I metallurgical factory dump</i>	hałdy i stawy osadowe <i>dumps and sedimentation ponds</i>
7	22	szklarnie <i>greenhouses</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
7	23	spółdzielnia produkcji rolnej <i>agriculture production site</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
7	27	wytwórnia mas bitumicznych <i>asphalt plant</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
8	20	ZG Janina II <i>Janina II mine</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
9	25	baza transportowa <i>transportation base</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
10	19	magazyn paliw <i>fuel store</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
11	18	teren PKP <i>Polish State Railways area</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
12	2	Szyb Lech <i>Lech shaft</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
13	26	kamieniołom melafirów Regulice <i>Regulice melaphyres stone-pit</i>	wyrobiska <i>excavation</i>
14	7	ZG Trzebieńka – szyb Andrzej <i>Trzebieńka mine Andrzej shaft</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
14	9	wyrobisko po eksploatacji glin <i>post-exploitation clay excavation</i>	wyrobiska <i>excavation</i>
14	11	ZM Trzebieńka II <i>Trzebieńka II metallurgical factory</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
15	28	kamieniołom wapieni Mirów <i>Mirów limestone stone-pit</i>	wyrobiska <i>excavation</i>
16	3	KWK Siersza <i>Siersza colliery</i>	obiekty poprodukcyjne <i>post-industrial objects</i>
17	24	hałda kamieniołomu wapieni Płaza <i>Płaza limestone stone-pit dump</i>	hałdy i stawy osadowe <i>dumps and sedimentation ponds</i>

mające przypisane niższe wartości ocen w kryterium g1. Obiekty, które zajęły równoważną pozycję na liście, porównywalnie oddziałują na środowisko. Wyniki analizy przeprowadzonej metodą Electre III-H-NFS są zbliżone do wyników analizy przeprowadzonej na prawie identycznym zbiorze danych metodą wskaźnika syntetycznego (Radwanek-Bąk & Laskowicz, 2012). Porównując je, należy stwierdzić, że są obiekty (1, 4, 6, 8, 12), które zajmują początkowe miejsca na listach uzyskanych metodą Electre III-H-NFS i wskaźnika syntetycznego oraz obiekty (11, 28, 24), które w jednej i drugiej metodzie znajdują się na końcowych miejscach listy.

## WNIOSKI

Metodami z grupy Electre III możliwe jest sporządzenie listy hierarchicznej z inventaryzowanych obiektów przemysłowych, dla których dane o ich oddziaływaniu na środowisko i zdrowie ludzi mają zróżnicowany charakter i dokładność. Pozwalają one uwzględnić w analizie kryteria prawdziwe, które mają absolutną zdolność dyskryminacyjną, czyli pozwalają na dokonanie jednoznacznej klasyfikacji (kryterium g1), i pseudokryteria o zniuansowanej zdolności dyskryminacyjnej, w których oceny są niepewne bądź nieprecyzyjne i konieczne jest zastosowanie progów preferencji oraz równoważności. Dzięki temu istnieje



możliwość wykorzystania danych niepewnych i o małej dokładności, które są często spotykane w ocenach środowiskowych.

Kryterium g1, opisujące degradację środowiska, ujawniło, że w zinventaryzowanej grupie są obiekty nie kwalifikujące się do oceny, w której bierze się pod uwagę sześć opracowanych kryteriów: degradacja środowiska, wielkość, konflikt krajobrazowy, wody podziemne, wody powierzchniowe, człowiek. Wyniki badań wykazują także, że dominujące kryterium g1 – degradacja środowiska, któremu przypisano najwyższą wagę, nie determinuje wyniku analizy wielokryterialnej. Obiekty (1, 5, 8, 13, 17, 21), mające najwyższe oceny w najistotniejszym kryterium g1, w wyniku przeprowadzonej analizy wielokryterialnej nie znalazły się tylko na najwyższych pozycjach listy hierarchicznej. W konstrukcji tego kryterium pomocne okazały się wyniki geochemicznych badań regionalnych.

Jak wynika z przeprowadzonej analizy, obiekty przemysłowe stanowią realne zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzi. Można przypuszczać, że z powodów ekonomicznych nie wykonano dotychczas kompleksowych badań ich oddziaływania na środowisko. Utworzenie listy hierarchicznej, z zastosowaniem wielokryterialnej analizy wspomaganie decyzji, szeregującej obiekty przemysłowe od najbardziej do najmniej zagrażających, powinno być etapem wstępnym do wytypowania grupy obiektów najbardziej niebezpiecznych, w celu przeprowadzenia badań geochemicznych.

Autorka dziękuje Recenzentom za cenne uwagi i komentarze oraz Redaktorowi Naczelnemu za znaczącą poprawę redakcyjną tekstu. Praca była wykonana i finansowana w ramach badań statutowych PIG-PIB (temat nr 61.3709.0703.00.0).

## LITERATURA

BELLOK A. 1996 – Wpływ górnictwa cynkowo-olowiowego na zanieczyszczenia metalami i siarką wód powierzchniowych i osadów wodnych na obszarze Trzebinia–Chrzanów. *Prz. Geol.*, 44 (1): 70–74.

BORYS T. (red.) 1999 – Wskaźniki ekorozwoju. *Ekonomia i Środowisko*. Białystok.

BUJANOWICZ-HARAŚ B. 2007 – Wybrane problemy ekologiczne na obszarach wiejskich w kontekście rozwoju zrównoważonego. *Ochr. Środ. Zas. Nat.*, 33: 162–167.

CISZEWSKI D. 1994 – Rozprzestrzenienie metali ciężkich w osadach dennych rzeki Chechło. *Prz. Geol.*, 42 (2): 116–121.

CZOP M., MOTYKA J. & SZUWARZYŃSKI M. 2002 – Zagrożenia jakości wód podziemnych w zbiorniku GZWP 452 (Chrzanów) odciekami ze składowiska odpadów Górka w Trzebini. *Gosp. Sur. Min.*, 18 (2): 105–115.

DOMAŃSKI B. 2000 – Restrukturyzacja terenów przemysłowych w miastach [W:] Ziobrowski Z., Ptaszycka-Jackowska D., Rębowska A. & Geissler A. (red.), *Rewitalizacja, rehabilitacja i restrukturyzacja – odnowa miast*. Inst. Gosp. Przestrz. i Komun. Oddz. w Krakowie: 107–142.

GORGON J. 2007 – Śląska przestrzeń symboliczna – znaczenie oraz możliwości ochrony i przekształceń krajobrazów post-industrialnych. [W:] Myga-Piątek U. (red.), *Krajobrazy przemysłowe i poeksploatacyjne*. Pr. Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG 6.

GRADZIŃSKI R. 1972 – Przewodnik geologiczny po okolicach Krakowa. *Wyd. Geol.* Warszawa.

GRZECHNIK Z. 1978 – Historia dotychczasowych poszukiwań i eksploatacji. [W:] Pawłowska J. (red.), *Poszukiwanie rud cynku i ołowiu na obszarze śląsko-krakowskim*. *Pr. Inst. Geol.*, 83: 23–42.

KASZTELEWICZ Z. 2010 – Rekultywacja terenów pogórnich w polskich kopalniach odkrywkowych. *Agencja Wyd.-Poligr. Art-Tekst*, Kraków.

KAZIUK H. & LEWANDOWSKI J. 1978 – Mapa Geologiczna Polski, A – mapa utworów powierzchniowych, ark. Kraków. *Wyd. Geol.* Warszawa.

KOT A. 2011 – Wskaźniki geochemiczne do oceny zanieczyszczeń metalami ciężkimi środowiska gruntowego terenu przemysłowego Zakładów Metalurgicznych „Trzebinia”. *Materiały VI Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych AGH*, Kraków: 603–612.

KSIĄŻEK M. 2011 – Analiza porównawcza wybranych metod wielokryterialnych ocen przedsięwzięć inwestycyjnych. *Bud. i Inż. Środ.* 2: 555–561.

KWIATKOWSKA A. 2001 – System wspomaganie decyzji dla inżynierów środowiska. *Of. Wyd. Politech.* Warszawa, Warszawa, s. 99.

LABUS K. 1999 – Stopień zanieczyszczenia i identyfikacja ognisk zanieczyszczeń kadmem, ołowiem i cynkiem wód powierzchniowych i podziemnych zlewni Białej Przemysłu. *Pr. Geol. Kom. Nauk. Geol. PAN*, 146, s. 105.

LASKOWICZ I. 2013 – Geologiczno-środowiskowe uwarunkowania metod wspomaganie decyzji w zakresie rewitalizacji terenów przemysłowych. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.-PIB*.

MALINA G. 2007 – Likwidacja zagrożeń środowiska gruntowo-wodnego na terenach zanieczyszczonych. *Monografie 132*. *Wyd. Politech. Częstochowskiej*, s. 242.

NIEPOKÓLCZYCKA A. & TREICHEL W. 2000 – Metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji w sporządzaniu ocen oddziaływania na środowisko. *Probl. Ocen Środ.*, 3 (10): 49–59.

NOWAK E. 2004 – Metody klasyfikacji w badaniach geograficznych (analiza porównawcza). *Akad. Świętokrz. im. J. Kochanowskiego*. Kielce–Poznań, s. 167.

PACHOLEWSKI A., BRODZIŃSKI I., & WANTUCH A. 2007 – Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski 1 : 50 000, pierwszy poziom wodonośny, wrażliwość na zanieczyszczenia i jakość wód, ark. Chrzanów. *Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.

PASIECZNA A. (red.), LIS J., SZUWARZYŃSKI M., DUSZA-DOBEK A. & WITKOWSKA A. 2008a – Szczegółowa mapa geochemiczna Górnego Śląska 1 : 25 000, ark. Chrzanów M-34-63-D-b. *Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.

PASIECZNA A. (red.), LIS J., GŁOGOWSKA M., DUSZA-DOBEK A. & WITKOWSKA A. 2008b – Szczegółowa mapa geochemiczna Górnego Śląska 1 : 25 000, ark. Myślachowice M-34-63-B-d. *Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.

PASIECZNA A. (red.) & SZUWARZYŃSKI M. 2011 – Szczegółowa mapa geochemiczna Górnego Śląska 1 : 25 000, ark. Libiąż M-34-63-D-a. *Państw. Inst. Geol.-PIB*, Warszawa.

PAULO A. & STRZELECKA-SMAKOWSKA B. 2000 – Arsen pod koniec XX wieku. *Prz. Geol.*, 48 (10): 875–882.

RADWANEK-BAK B. & LASKOWICZ I. 2012 – Zastosowanie analizy wielokryterialnej w rozwiązywaniu problemów związanych z antropogenicznymi zagrożeniami środowiska na terenach poeksploatacyjnych i przemysłowych. *Górn. i Geol.*, 7 (2): 229–248.

RAZOWSKA-JAWOREK L., CUDAK J. & BRODZIŃSKI I. 2007 – Baza danych GIS Mapy Hydrogeologicznej Polski 1 : 50 000, pierwszy poziom wodonośny, wrażliwość na zanieczyszczenia i jakość wód, ark. Jaworzno (944). *Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.

ROY B., 1990 – Wielokryterialne wspomaganie decyzji. *Wyd. Nauk.-Tech.* Warszawa, s. 281.

ROY B., SŁOWIŃSKI R. & TREICHEL W. 1992 – Multicriteria programming of water supply systems for rural areas. *Water Resour. Bull.* 28: 13–31.

SKALLKA J. M., BOUYSSOU D. & VALLÉE D. 1992 – ELECTRE III et IV. Aspects méthodologiques et guide d'utilisation, Document du LAMSADE No. 25, Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision, Université de Paris Dauphine.

SONIRAN SHOFADE O.J. 2011 – Considering hierarchical structure of criteria in ELECTRE decision aiding methods. *Universitat Rovira i Virgili*, <http://deim.urv.cat/~itaka/itaka2/PDF/acabats/ThesisJoseph-ELECTRE-H.pdf>.

SZUWARZYŃSKI M. & KRYZA A. 1995 – Ocena wpływu zakładów przemysłowych – ZG Trzebinia, ZM Trzebinia, Rafineria Nafty w Trzebini, ZSO Górka i in. na rozmieszczenie metali ciężkich w glebach i wodach obszaru Trzebinia–Chrzanów [W:] *Badania stanu skażenia gleb, wody i osadów wodnych na obszarze Trzebinia–Chrzanów*. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.-PIB*, Warszawa: 5–17.

SZWABOWSKI J. & DESZCZ J. 2001 – Metody wielokryterialnej analizy porównawczej. *Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań w budownictwie*. *Wyd. Polit. Śl.* Gliwice, s. 127.

TAKEDA E. 2001 – A method for multiple pseudo-criteria decision problems. *Computers & Operations Research*, 28: 1427–1439.

TAM C.M., TONG T.K.L. & LAU C.T. 2003 – ELECTRE III in evaluating performance of construction plants: case study on concrete vibrators. *Construction Innovation*, 3: 45–61.

UNRUG R. & DEMBOWSKI Z. 1971 – Rozwój diastroficzno-sedymen-tacyjny basenu morawsko-śląskiego. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 41: 119–168.

WÓLKOWICZ S. & FAJFER J. 2011 – Problematyka terenów zdegradowanych: uwarunkowania prawne i możliwości rekultywacji. [W:] *Kołodziej J. (red.), Rewitalizacja dziedzictwa przemysłowego*. *Materiały konferencyjne*. Wyższa Szkoła Gospodarki w Bydgoszczy: 27–35.

Praca wpłynęła do redakcji 14.01.2014 r.  
Akceptowano do druku 4.02.2015 r.