

# OCENA EKOLOGICZNYCH SKUTKÓW FUNKCJONOWANIA SYSTEMU GOSPODARKI ODPADAMI W BIELSKU-BIAŁEJ I AGLOMERACJI BESKIDZKIEJ

## 1. Metodyka opracowania

Rozwiązanie problemów związanych z planowaniem i wyborem technicznej struktury systemu gospodarki odpadami jest wieloetapowym procesem polegającym na zidentyfikowaniu różnic i elementów wspólnych wariantowych rozwiązań kompleksowego systemu oraz wyborze rozwiązania najbardziej korzystnego oraz ocenie rezultatów działania. Na podstawie charakterystyk odpadów zaprojektować można system techniczny o mniej lub bardziej złożonej strukturze, który zapewnić musi bezpieczne dla środowiska postępowanie z wszystkimi rodzajami odpadów, powstającymi w regionie. System ten musi być ekonomicznie uzasadniony, społecznie akceptowany oraz technologicznie dopracowany w taki sposób, aby w jak największym stopniu zredukować strumień odpadów. Różne rozwiązania systemu regionalnego mogą więc być poddane ocenie, poprzez zespół kryteriów i miar oceniających jego funkcjonowanie. Podstawowym problemem w projektowaniu takich złożonych systemów o wielopoziomowej strukturze staje się formułowanie celów i funkcji, a za tym kryteriów oceny niezbędnych w rachunkach bilansowych i optymalizacyjnych prowadzonych w różnych aspektach oceniających:

- ekologicznych
- technicznych,
- ekonomicznych,
- społecznych.

Znalezienie kryteriów mierzących, ich wartości i miar jest najtrudniejszym zadaniem całej analizy. Dodatkowym utrudnieniem jest fakt, że kryteria zazwyczaj mają różne jednostki i powinny spełniać różne, często sprzeczne ze sobą cele. Dlatego też wybór systemu optymalnego w regionie jest zazwyczaj zadaniem kompromisowym, nie całkowicie spełniającym wyznaczone wszystkie cele i zadania.

Na podstawie analizy posiadanych danych oraz wymogów prawnych, dla potrzeb niniejszej oceny możliwe jest zidentyfikowanie scenariuszy / wariantów gospodarki odpadami na terenie objętym planowanym oddziaływaniem Instalacji Termicznego Przekształcania Odpadów dla Aglomeracji Beskidzkiej oraz opracowano kryteria oceniające, wskazujące na realizację poszczególnych celów.

Do oceny wykorzystano metodykę<sup>1</sup> analizy i wyboru systemu gospodarki odpadami który w aspekcie oddziaływania na środowisko będzie systemem najkorzystniejszym dla regionu, w którym funkcjonuje. Do oceny działania poszczególnych scenariuszy wykorzystano kryteria głównie ekologiczne, uzupełniając o element kosztów, który dla mieszkańców zawsze stanowi kryterium najistotniejsze. W uzasadnieniu uwzględnienia w głównej mierze czynnika ekologicznego omawianych systemów należy zaznaczyć, że w ich projektowaniu i analizie jest

---

<sup>1</sup> Generowicz A., Wartościowanie ocen ekologicznych systemów i technologii w gospodarce odpadami i ich wykorzystanie w analizie decyzyjnej, monografia habilitacyjna, wydawnictwo PK, ISSN 0860 – 097X, 2013

najtrudniejszy i budzący najwięcej kontrowersji. Wpływa zarówno na czynnik ekonomiczny (wzrastające koszty przetwarzania odpadów oraz zabezpieczenia środowiska przed wpływem instalacji), jak i na czynnik społeczny (obawy mieszkańców przed wpływem na środowisko oraz zdrowie i życie). W zaproponowanej metodzie wyróżnić więc można następujące etapy:

- opracowanie wariantów systemu gospodarki odpadami dla wybranego regionu
- bilans ilościowy i jakościowy poszczególnych strumieni odpadów powstających w regionie oraz metody ich zagospodarowania w opracowanych wariantach,
- obliczenie i ocena emisji od poszczególnych wariantów systemu,
- oszacowanie kosztów,
- analiza decyzyjna i wybór systemu, który w jak najmniejszym stopniu będzie wpływał na środowisko.

Do określenia skutków ekologicznych funkcjonowania systemów gospodarki odpadami w regionie wykorzystano Integrated Waste Model (IWM - 2), opracowany dla określania obciążenia środowiska oraz oszacowania ekonomicznych kosztów systemu gospodarki odpadami w wyniku funkcjonowania systemu gospodarki odpadami. Model oparty jest o analizę LCA (analizę cyklu życia) i wykorzystuje jej pierwszy etap: LCI (Life Cycle Inventory), czyli ustalenie zbiorów wejść i wyjść z analizowanego systemu gospodarki odpadami (analiza bilansowa systemu – inwentaryzacja danych). Zakres tego modelu umożliwia więc bilans środowiska (Life Cycle Inventory) dla funkcjonującego systemu gospodarki odpadami na podstawie zdefiniowanych procesów jednostkowych takich jak: zbieranie odpadów od wytwórców indywidualnych i z infrastruktury, odzysk i recykling odpadów, procesy biologicznego przekształcania, termiczne przekształcanie odpadów wraz z odzyskiem energii lub bez oraz składowanie odpadów. Model w swych założeniach oparty jest o normy zarządzania środowiskiem: ISO 14000. Transparentność modelu pozwala na śledzenie zmian na każdym etapie obliczeń w zakresie zarówno bilansowania strumienia odpadów, jak i emisji nie tylko z całego systemu ale także z poszczególnych procesów jednostkowych. Jednostką funkcjonalną tego modelu jest kompleksowy system gospodarki odpadami komunalnymi w określonym regionie geograficznym i w określonym czasie. Zastosowany program IWM -2 pozwoli na obliczenie całkowitej emisji z procesów technologicznych w poszczególnych wariantach systemu oraz zbilansowanie strumieni poszczególnych frakcji odpadów, na podstawie danych regionu i charakterystyk odpadów. Otrzymany wynik w postaci emisji od systemu będzie stanowił zdefiniowany problem decyzyjny.

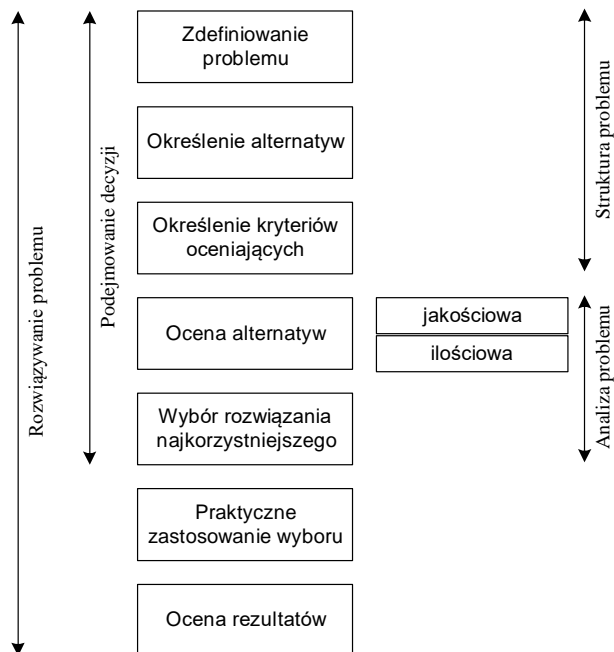
Do wyboru najkorzystniejszego w aspekcie oddziaływania na środowisko systemu gospodarki odpadami wykorzystano również analizę wielokryterialną. Do analizy przyjęto scenariusze gospodarki odpadami opisane i zbilansowane szczegółowo w programie IWM - 2. Ponieważ zadaniem decyzyjnym był wybór wariantu, w jak najmniejszym stopniu oddziałującego na środowisko naturalne, dlatego też kryteriami oceniającymi są wartości emisji do środowiska naturalnego, zapisane w grupach:

- ostateczny strumień odpadów powstających w wyniku funkcjonowania poszczególnych rozwiązań wariantowych
- emisje do powietrza
- emisje do wody, w wyniku funkcjonowania poszczególnych wariantów systemu
- koszty funkcjonowania systemu

Wyróżnienie grup kryteriów, pozwala na nadawanie wag poszczególnym grupom kryteriów lub pojedynczym kryteriom. Do analizy wielokryterialnej wykorzystano metodę sum

ważonych. Metoda ta stosowana do rozwiązywania dyskretnych problemów decyzyjnych. Jest jedną z metod analizy decyzyjnej wykorzystujących pełną informację o hierarchii ważności kryteriów i oparta jest na koncepcji pomiaru odległości oceniających strategii od pewnej założonej strategii utopijnej. Metoda oparta jest o teorię użyteczności i polega na określeniu każdej ocenianej strategii względem wszystkich przyjętych i znormalizowanych kryteriów oceniających. Zaproponowany model rozwiązania problemu decyzyjnego prezentuje rysunek 1.

Rysunek 1 Model rozwiązywania problemów decyzyjnych



## 2. Opracowanie wyników analizy dla obszaru Aglomeracji Beskidzkiej

Celem niniejszego opracowania jest wybór najkorzystniejszego w aspekcie ekologiczno-ekonomicznym rozwiązania systemu gospodarki odpadami w regionie...

Wśród najistotniejszych założeń do obliczeń wyszczególnić należy:

- jednostka osadnicza przyjęta do obliczeń – 597 tys. mieszkańców (zgodnie z danymi wynikającymi z deklaracji w sprawie opłat za gospodarowanie odpadami), średni wskaźnik nagromadzenia odpadów 365 kg/ M rocznie; przy morfologii odpadów: papier – 25 %, szkło 14 %, metal – 3 %, tworzywa sztuczne – 20 %, odpady organiczne – 19 %, odpady pozostałe - 15 %. Dodatkowo założono strumień odpadów komercyjnych w ilości 10 tys. ton rocznie, w tym: papieru – 30% szkła – 30%, metalu – 10% i tworzyw sztucznych 30%. Sumarycznie dało to strumień ok. 230 tys. ton rocznie do przetworzenia.
- Założono trzy scenariusze funkcjonowania systemu gospodarki odpadami, wszystkie oparte i segregację frakcji użytkowych i ich przetworzenie w procesach odzysku, z uzupełnieniem o instalację termicznego przekształcania. Scenariusze różnicowane są między sobą sposobem postępowania po procesie odzysku frakcji użytkowej.
- W pierwszym z nich (S1) wysegregowana frakcja użytkowa stanowiła 140 ton rocznie oraz część odzyskanej frakcji odpadów biodegradowalnych (ok. 30 tys. ton) została

poddana procesowi kompostowania. Ilość odpadów do ostatecznego składowania wynosi 52% masy wejściowej odpadów.

- Drugi (S2) analizowany scenariusz zakłada pozostanie na poziomie segregacji i sortowania, jaki jest obecnie, z dodatkową możliwością budowy na analizowanym obszarze instalacji termicznego przekształcania. Do instalacji mogą zostać skierowane wszystkie odpady, które pozostaną po procesach przetwarzania. Ilość odpadów kierowanych do składowania wynosi 8%; czyli jest to jedyny z trzech scenariuszy, który spełnia wymagania redukcji składowania odpadów 2035 roku.
- Trzeci analizowany scenariusz (S3) zakłada pozostanie na poziomie segregacji i sortowania, jaki jest obecnie, z dodatkową możliwością produkcji paliw z odpadów i wywożeniem ich poza obszar regionu do cementowni, celem termicznego przekształcania. Ilość odpadów do produkcji RDF (ok. 60 tys. ton rocznie) to frakcje pozostałe po procesach odzysku i recyklingu i wysokoenergetyczne, dające gwarancję przyjęcia ich przez cementownię bądź inną instalację termicznego przekształcania odpadów. Do tej produkcji nie będą kierowane odpady po procesach segregacji i kompostowania, gdyż charakteryzują się one zbyt niskimi właściwościami energetycznymi. Zaproponowane rozwiązanie pozwala na składowanie ostateczne ilości odpadów ok. 45 % masy.
- Koszty na potrzeby niniejszej analizy obliczone były na podstawie faktycznych danych dotyczących kosztów gospodarowania odpadami w gminach Aglomeracji Beskidzkiej oraz ustalonych wskaźników różnicujących dla analizowanych opcji.
- Na podstawie przyjętych założeń program wygenerował opisane wcześniej scenariusze gospodarki odpadami przedstawiając je w postaci diagramów obrazujących funkcjonowanie poszczególnych systemów i przepływy strumieni poszczególnych odpadów oraz wygenerował emisje poszczególnych scenariuszy. Będą one stanowiły punkt wyjścia do macierzy decyzyjnej i wskazania scenariusza najkorzystniejszego dla analizowanego regionu.

Wynikiem otrzymywanym z programu IWM – 2 są emisje do środowiska naturalnego w wyniku funkcjonowania poszczególnych scenariuszy. Emisje przedstawiane są na poszczególnych etapach funkcjonowania systemu (w wyniku funkcjonowania każdej instalacji) oraz dla każdego komponentu środowiska oddzielnie: emisja odpadów stałych, emisje do powietrza i emisje do wody; dodatkowo w rozbiciu na poszczególne związki chemiczne. Problem decyzyjny jest sformułowany w momencie, gdy ustalone są kryteria oceniające i określone są ich wartości wyrażone w postaci skończonego zbioru liczb (wartości mierzalnych), będących wynikiem oceny poszczególnych wariantów systemu gospodarki odpadami w tej samej jednostce osadniczej, względem wybranych kryteriów. Sumaryczne emisje otrzymane w wyniku funkcjonowania poszczególnych scenariuszy gospodarki odpadami zestawione w tabeli mogą stanowić macierz decyzyjną. W kolumnach tabeli 1 przedstawione są wartości emisji do środowiska obliczone od poszczególnych wariantów, zestawione w trzech grupach oddziaływania na poszczególne elementy środowiska naturalnego.

Tabela 1 Macierz decyzyjna prezentująca wartości emisji do środowiska od poszczególnych scenariuszy gospodarki odpadami w Aglomeracji Beskidzkiej wraz z kosztami i czynnikiem regionalności rozwiązania

	Units	S1 wersja „0”	S2 Wersja „0” + spalarnia	S3 Wersja „0” + wywóz do cementowni
Non-hazardous	tonnes	119 377	16 379	102 626
Hazardous	tonnes	0	3 843	0
Recycling-credits	tonnes	-135 505	-113 617	-136 481
Particulates	g	-31 705 403	-25 147 627	-31 064 097
CO	g	-108 482 622	-131 095 958	-121 750 491
CO2	g	-31 166 896 877	106 870 429 584	-33 697 257 375
CH4	g	4 739 735 291	496 067 094	3 690 390 093
NOx	g	-172 070 274	-75 282 580	-171 532 711
GWP	g	68 669 564 227	117 431 425 744	44 105 828 634
N2O	g	974 258	463 184	983 529
SOx	g	-131 609 661	-92 522 911	-128 954 712
HCl	g	171 521	-53 585	255 843
HF	g	552 739	398 833	543 291
H2S	g	2 482 354	268 392	1 942 401
TotalHC	g	24 260 762	2 769 488	18 938 148
ChlorinatedHC	g	424 565	48 467	331 420
Dioxins/Furans	g	0	0	0
Ammonia	g	2 657 263	1 229 317	2 660 630
Arsenic	g	-1 357 168	-1 357 098	-1 357 168
Cadmium	g	-460	-146	-534
Chromium	g	211	870	248
Copper	g	1 095	4 124	1 304
Lead	g	1 056 952	1 067 798	1 060 993
Manganese	g	173	173	303
Mercury	g	135	4 093	177
Nickel	g	-5 582	-4 267	-5 230
Zinc	g	-239	6 226	-166
BOD	g	62 363 825	22 134 109	57 311 671
COD	g	-1 367 674 688	-692 186 568	-1 372 727 532
SuspendedSolids	g	-63 193 376	-109 657 340	-63 043 406
TOC	g	89 470 763	44 691 108	89 575 899
AOX	g	-14 337 671	-7 185 799	-14 343 087
ChlorinatedHC	g	18 690	3 179	16 488
Dioxins/Furans	g	0	0	0
Phenols	g	-12 008	-15 636	-12 993

Aluminium	g	-5 576 345	-9 090 239	-6 326 767
Ammonium	g	437 912	-132 177	389 694
Arsenic	g	-12 694	-19 162	-14 241
Barium	g	-492 653	-879 043	-555 052
Cadmium	g	-1 225	-1 896	-1 293
Chloride	g	279 403 558	41 775 227	285 689 957
Chromium	g	-66 796	-97 734	-74 577
Copper	g	-3 201	-32 594	-6 913
Cyanide	g	-40 756 655	-20 378 557	-40 756 631
Fluoride	g	5 204	-549	4 202
Iron	g	2 308 115	-192 106	2 666 456
Lead	g	-35 450	-52 739	-38 721
Mercury	g	74	35	74
Nickel	g	-28 879	-46 555	-32 896
Nitrate	g	25 261 711	12 609 132	25 276 383
Phosphate	g	273 023	-243 335	227 364
Sulphate	g	218 729 516	84 529 989	220 234 489
Sulphide	g	1 168	-916	1 181
Zinc	g	-46 598	-92 641	-55 959
koszty	zł	199 331 632	186 967 632	218 801 036
koszty na mieszkańca	zł/Mk/ rok	333,78	313,08	366,38
koszty na mieszkańca	zł/Mk/mc	27,82	26,09	30,53
perspektywiczność rozwiązania	Skala 0/1	0	1	0,5

Tak sformułowana macierz stała się sformułowanym problemem decyzyjnym do rozwiązania którego wykorzystano metodę programowania kompromisowego. Wyniki i ostateczne uporządkowanie poszczególnych regionalnych rozwiązań systemu gospodarki odpadami zostało przedstawione w tabeli 2, szeregując je od najbardziej do najmniej korzystnego. Uszeregowanie uzależnione jest dodatkowo od przyjętych wag poszczególnych grup kryteriów lub poszczególnych kryteriów. W tabeli 2 w kolumnie pierwszej przedstawione są wagi kryteriów proponowane są autorkę opracowania. W większości przypadków wagi te nadawane były grupom kryteriów, opisanych w tabeli 1. I tak w pierwszym wierszu tabeli 2 wszystkim kryteriom nadano wagę 1, w drugim zaś pierwsza grupa kryteriów (odpady powstałe w wyniku funkcjonowania scenariuszy) otrzymały wagę 2, podczas gdy pozostałe dwie grupy – otrzymały wagę 1. Daje to dodatkową możliwość oceny wrażliwości rozwiązania, uzależniając je od priorytetów lokalnych lub regionalnych.

Tabela 2 Uszeregowanie wariantów postępowania z odpadami w obszarze Aglomeracji Beskidzkiej

Waga kryteriów	Uszeregowanie wariantów		
	$\alpha = 1$	$\alpha = 2$	$\alpha = \text{niesk}$
1:1:1:1:1	S2→S3→S1	S2→S3→S1	S3→S2→S1
2:1:1:1:1	S2→S3→S1	S2→S3→S1	brak rozwiązania
1:2:1:1:1	S2→S3→S1	S3→S2→S1	brak rozwiązania
1:1:2:1:1	S2→S3→S1	S2→S3→S1	brak rozwiązania
1:1:1:2:1	S2→S1→S3	S2→S1→S3	S2→S3
1:1:1:1:2	S2→S3→S1	S2→S3→S1	brak rozwiązania
5:5:1:1:1	S2→S3→S1	S3→S2→S1	brak rozwiązania

Metoda programowania kompromisowego daje możliwość dodatkowego ważenia kryteriów poprzez zastosowanie wykładnika potęgowego  $\alpha$ , który pozwala na dodatkowe zważenie każdej odchyłki od punktu idealnego, proporcjonalnie do ich wielkości. Im wartość  $\alpha$  jest większa tym większego znaczenia nabierają duże odchylenia strategii od punktu idealnego. Poszczególne przypadki obliczeniowe uwzględniające różne wartości współczynnika  $\alpha$  są zawarte w trzech różnych kolumnach w tabeli 2.

Podsumowując należy stwierdzić, że:

- Na 21 wykonanych przypadków obliczeniowych 13 razy jako najkorzystniejszy wybrany zostaje wariant S2 – czyli utrzymanie stanu istniejącego na poziomie segregacji i sortowania oraz uzupełnienie o Instalację Termicznego Przekształcania, budowaną na analizowanym obszarze. Do instalacji przekierowane będą wszystkie odpady, które pozostaną po procesach przetwarzania (sortowaniu i kompostowaniu), nie posiadające wartości użytkowej.
- W znacznej większości przypadków scenariusz S1 czyli wyłącznie utrzymanie stanu istniejącego znajduje się jako ostatni wariant w uszeregowaniu, co stanowi potwierdzenie konieczności rozbudowy systemu gospodarki odpadami, zwłaszcza że w stosunkowo niedługim czasie, nie będzie on spełniał standardów zapisanych przepisami prawa (konieczność ograniczenia składowania odpadów)
- Scenariusz S1 ani raz nie został wybrany jako najkorzystniejsze rozwiązanie dla analizowanego regionu
- Tylko w trzech przypadkach jako najkorzystniejszy wskazany zostaje scenariusz 3, czyli utrzymanie stanu istniejącego z produkcją paliwa z odpadów i wywiezieniem odpadów do cementowni lub innej instalacji celem ich termicznego przekształcenia; takie rozwiązanie wymaga jednak dodatkowych analiz (np. analizy ryzyka), ponieważ region uzależniony jest od instalacji, która może podnieść koszty przetwarzania odpadów lub odmówić ich przyjęcia, zwłaszcza, że po wykonanych procesach odzysku i recyklingu ich wartość kaloryczna będzie znacznie zaniżona. Rodzić to będzie zagrożenie produkcji RDF bez możliwości jego dalszego przetworzenia i składowania oraz powrotu do koncepcji ponownego rozważenia budowy instalacji termicznego przekształcenia w regionie.