

PRACE NAUKOWE

Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

Nr 446

Metody i zastosowania badań operacyjnych



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2016

Redakcja wydawnicza: Joanna Świrska-Korlub

Redakcja techniczna: Barbara Łopusiewicz

Korekta: Barbara Cibis

Łamanie: Małgorzata Myszkowska

Projekt okładki: Beata Dębska

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania
znajdują się na stronach internetowych

www.pracnaukowe.ue.wroc.pl

www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Publikacja udostępniona na licencji Creative Commons

Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 3.0 Polska
(CC BY-NC-ND 3.0 PL)



© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2016

ISSN 1899-3192
e-ISSN 2392-0041

ISBN 978-83-7695-610-7

Wersja pierwotna: publikacja drukowana
Zamówienia na opublikowane prace należy składać na adres:
Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław
tel./fax 71 36 80 602; e-mail: econbook@ue.wroc.pl
www.ksiegarnia.ue.wroc.pl

Druk i oprawa: TOTEM

Wstęp

Wstęp.....	7
Krzysztof Echaust: Modelowanie wartości ekstremalnych stóp zwrotu na podstawie danych śróddziennych / Modeling of extreme returns on the basis of intraday data	9
Helena Gaspars-Wieloch, Ewa Michalska: On two applications of the Omega ratio: $\max\Omega_{\min}$ and $\Omega(H+B)$ / O dwóch zastosowaniach wskaźnika Omega: $\max\Omega_{\min}$ i $\Omega(H+B)$	21
Agata Gluzicka: Zastosowanie modelu MAD z dodatkowymi warunkami ograniczającymi / Application of the MAD model with additional constraints	37
Dorota Górecka, Małgorzata Szalucka: Foreign market entry mode decision – approach based on stochastic dominance rules versus multi-actor multi-criteria analysis / Wybór sposobu wejścia na rynek zagraniczny – podejście oparte na dominacjach stochastycznych a wieloaktorska analiza wielokryterialna	47
Paweł Hanczar, Dagmara Pisiewicz: Logistyka odzysku – optymalizacja przepływów w systemie gospodarki komunalnej / Reverse logistics – optimization of flows in the system of waste management	70
Michał Jakubiak, Paweł Hanczar: Optymalizacja tras zbiórki odpadów komunalnych na przykładzie MPO Kraków / Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes on the example of MPO Cracow	83
Michał Kameduła: Zastosowanie koewolucyjnego algorytmu genetycznego w rozwiązaniu zadania trójkryterialnego / Application of co-evolutionary genetic algorithm for a three-criterion problem.....	93
Donata Kopańska-Bródka, Renata Dudzińska-Baryła, Ewa Michalska: Zastosowanie funkcji omega w ocenie efektywności portfeli dwuskładnikowych / Two-asset portfolio performance based on the omega function .	106
Marek Kośny, Piotr Peternek: Zagadnienie sposobu definiowania preferencji na przykładzie przydziału uczniów do oddziałów klasowych / Definition of preferences in the context of pupils' allocation to classes	115
Wojciech Młynarski, Artur Prędki: Ocena efektywności technicznej i finansowej wybranych nadleśnictw Lasów Państwowych za pomocą metody DEA / Technical and financial efficiency evaluation for selected forestry managements of the State Forests National Forest Holding – the DEA approach.....	126

Piotr Namieciński: Alternatywna metoda określania preferencji decydenta w zagadnieniach wielokryterialnych / Alternative methods of decision-maker preferences identification in multicriteria issues	144
Marek Nowiński: Testowanie nieliniowych algorytmów optymalizacyjnych – zestaw funkcji typu <i>benchmark</i> / Testing nonlinear optimization algorithms – set of benchmark type functions	159
Agnieszka Przybylska-Mazur: Wybrana metoda analizy długoterminowej stabilności finansów publicznych / The selected method of analysis of the long-term sustainability of public finance	173
Ewa Roszkowska, Tomasz Wachowicz, Robert Jankowski: Analiza porozumienia końcowego w negocjacjach elektronicznych w kontekście zgodności systemu oceny ofert negocjatora z informacją preferencyjną/ Analyzing the negotiation agreements in a context of concordance of negotiation offer scoring systems with negotiators' preferential information	187
Aleksandra Sabo-Zielonka, Grzegorz Tarczyński: Adaptacja heurystyki <i>s-shape</i> na potrzeby wyznaczenia trasy przejścia w niestandardowym układzie strefy kompletacji zamówień / Adaptation of the s-shape heuristic for the custom layout of the order-picking zone	207
Jakub Staniak: Inicjalizacja ukrytych modeli Markowa z wykorzystaniem analizy skupień / Initialization of hidden Markov models by means of clustering analysis.....	224
Paulina Szterlik: Lokalizacja magazynu centralnego z zastosowaniem metod wielokryterialnych / Location of central warehouse using quantitative research	237
Grzegorz Tarczyński: Porównanie efektywności kompletacji łączonych zleceń z kompletacją niezależną / An attempt of comparison of order batching with independent order-picking	250

Wstęp

Kolejna, XXXIV Ogólnopolska Konferencja Naukowa im. Profesora Władysława Bukietyńskiego, organizowana corocznie przez najważniejsze ośrodki naukowe zajmujące się dziedziną badań operacyjnych, w roku 2015 odbyła się w pięknym, zabytkowym i świeżo odremontowanym zespole pałacowo-parkowym w Łagowie koło Zgorzelca. Konferencję zrealizowaną pod nazwą *Metody i Zastosowania Badań Operacyjnych* przygotowała Katedra Badań Operacyjnych Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu pod kierownictwem dr. hab. Marka Nowińskiego, prof. UE.

Konferencje te mają już długoletnią tradycję – są to coroczne spotkania pracowników nauki specjalizujących się w badaniach operacyjnych. Głównym celem konferencji było, podobnie jak w latach ubiegłych, stworzenie (przede wszystkim dla młodych teoretyków, a także praktyków dyscypliny) forum wymiany myśli na temat najnowszych osiągnięć dotyczących metod ilościowych wykorzystywanych do wspomagania procesów podejmowania decyzji, a także prezentacja nowoczesnych zastosowań badań operacyjnych w różnych dziedzinach gospodarki. Ten cenny dorobek naukowy nie może być zapomniany i jest publikowany po konferencji w postaci przygotowywanego przez organizatorów zeszytu naukowego zawierającego najlepsze referaty na niej zaprezentowane.

W pracach Komitetu Naukowego Konferencji uczestniczyli czołowi przedstawiciele środowisk naukowych z dziedziny badań operacyjnych w Polsce; byli to: prof. Jan B. Gajda (Uniwersytet Łódzki), prof. Stefan Grzesiak (Uniwersytet Szczeciński), prof. Bogumił Kamiński (SGH w Warszawie), prof. Ewa Konarzewska-Gubała (Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu), prof. Donata Kopańska-Bródka, prof. Maciej Nowak i prof. Tadeusz Trzaskalik (Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach), prof. Dorota Kuchta (Politechnika Wrocławska), prof. Krzysztof Piasecki (Uniwersytet w Poznaniu) i prof. Józef Stawicki (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu).

Zakres tematyczny konferencji obejmował teoretyczne i praktyczne zagadnienia dotyczące przede wszystkim:

- modelowania i optymalizacji procesów gospodarczych,
- metod wspomagających proces negocjacji,
- metod oceny efektywności i ryzyka na rynku kapitałowym i ubezpieczeniowym,
- metod ilościowych w transporcie i zarządzaniu zapasami,
- metod wielokryterialnych,
- optymalizacji w zarządzaniu projektami oraz analizy ryzyka decyzyjnego.

W konferencji wzięło udział 43 przedstawiciele różnych środowisk naukowych, licznie reprezentujących krajowe ośrodki akademickie. W trakcie sześciu sesji ple-

narych, w tym dwóch sesji równoległych, przedstawiono 27 referatów, których poziom naukowy w przeważającej części był bardzo wysoki. Zaprezentowane referaty, po pozytywnych recenzjach, zostają dziś opublikowane w Pracach Naukowych Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu w postaci artykułów naukowych w specjalnie wydany zeszycie konferencyjnym.

Przypominając przebieg konferencji, nie można nie wspomnieć o konkursie zorganizowanym dla autorów referatów niebędących samodzielnymi pracownikami nauki. Dotyczył on prezentacji najciekawszego zastosowania badań operacyjnych w praktyce gospodarczej. Komitet Organizacyjny Konferencji powołał kapitułę konkursu, w której skład weszli: prof. Ewa Konarzewska-Gubała – przewodnicząca, prof. Jan Gajda, prof. Stefan Grzesiak i prof. Donata Kopańska-Bródka. Członkowie Komisji Konkursowej oceniali referaty ze względu na:

- innowacyjność, oryginalność metody będącej przedmiotem zastosowania,
- znaczenie zastosowania dla proponowanego obszaru,
- stopień zaawansowania implementacji metody w praktyce.

Spośród 15 referatów zgłoszonych wyróżniono: 1. miejsce: dr Michał Jakubiak i dr hab. Paweł Hanczar (Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu), *Optymalizacja tras zbiórki odpadów komunalnych na przykładzie MPO Kraków*; 2. miejsce: mgr Dagmara Piesiewicz i dr hab. Paweł Hanczar (Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu), *Logistyka odzysku – optymalizacja przepływów w systemie gospodarki komunalnej*; 3. miejsce: dr Dorota Górecka i dr Małgorzata Szałucka (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu), *Wybór sposobu wejścia na rynek zagraniczny – wieloaktorska analiza wielokryterialna a podejście oparte na dominacjach stochastycznych*.

Przy okazji prezentowania opracowania poświęconego XXXIV Konferencji *Metody i Zastosowania Badań Operacyjnych* i jej bardzo wartościowego dorobku nie możemy nie podziękować członkom Komitetu Organizacyjnego Konferencji, w którego skład wchodził młodzi, acz doświadczeni pracownicy Katedry Badań Operacyjnych Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu: dr Piotr Peternek (sekretarz), dr hab. Marek Kośny, dr Grzegorz Tarczyński oraz mgr Monika Stańczyk (biuro konferencji). Zapewnili oni w sposób profesjonalny sprawne przygotowanie i przeprowadzenie całego przedsięwzięcia oraz zadbali o sprawy administracyjne związane z realizacją konferencji, a także byli odpowiedzialni za dopilnowanie procesu gromadzenia i redakcji naukowych materiałów pokonferencyjnych, które mamy okazję Państwu dziś udostępnić.

Już dzisiaj cieszymy się na nasze kolejne spotkanie w ramach jubileuszowej XXXV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej im. Profesora Władysława Bukietyńskiego, która tym razem będzie organizowana przez naszych przyjaciół z Katedry Badań Operacyjnych Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu pod kierownictwem prof. dr. hab. Krzysztofa Piaseckiego.

Marek Nowiński

Paweł Hanczar, Dagmara Pisiewicz

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

e-mails: pawel.hanczar@ue.wroc.pl; dagmara.pisiewicz@ue.wroc.pl

**LOGISTYKA ODZYSKU –
OPTIMALIZACJA PRZEPLYWÓW
W SYSTEMIE GOSPODARKI KOMUNALNEJ**

**REVERSE LOGISTICS – OPTIMIZATION OF FLOWS
IN THE SYSTEM OF WASTE MANAGEMENT**

DOI: 10.15611/pn.2016.446.05

JEL Classification: R42, C44

Streszczenie: W referacie rozważono problem funkcjonujących systemów gospodarki odpadami komunalnymi wdrożonych po wejściu w życie Ustawy z dnia 1 lipca 2011 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku gminach. W artykule zostały przybliżone zmiany w gospodarce odpadami komunalnymi, konieczne do wdrożenia z perspektywy nowych obowiązków gmin. Omówiono założenia przyjęte w Wojewódzkim Planie Gospodarki Odpadami Komunalnymi dla Województwa Dolnośląskiego 2012 i podjęto próbę weryfikacji przyjętych w nim założeń. Następnie przeanalizowano możliwości wdrożenia zaproponowanego rozwiązania, wykorzystując metody programowania liniowego. Ostatecznie w referacie zaprezentowano wnioski zaproponowanego modelu optymalizacyjnego z uwzględnieniem przyszłych prac badawczych w omówionym zagadnieniu.

Słowa kluczowe: logistyka odzysku, optymalizacja przepływów, gospodarka odpadami, modele optymalizacyjne.

Summary: The paper concerns the problem of functioning of municipal waste management systems implemented after the entry into force of the Act of 1 July 2011, amending the law on maintaining cleanliness and order in municipalities. The article presents approximate changes in municipal waste management which were necessary to implement from the perspective of the new responsibilities of municipalities. The paper discusses the assumptions used at the Voivodeship Waste Management Plan for the Lower Silesian Voivodeship in 2012 and makes an attempt to verify the assumptions adopted. Then it analyzes the possibility of implementing the proposed solution using linear programming methods. Finally, the paper presents the findings of the proposed optimization model with respect to future research in the discussed issue.

Keywords: reverse logistics, optimization of flow, waste management, optimization models.

1. Wstęp

Zmiany systemu gospodarowania odpadami wynikały z konieczności transpozycji wymagań dyrektyw Unii Europejskiej do prawa krajowego oraz z dotychczasowego, mało efektywnego stosowania istniejących przepisów w zakresie gospodarki odpadami. O efektywności systemu gospodarki odpadami komunalnymi decyduje hierarchia postępowania z odpadami oraz udział odpadów przetwarzanych przez recykling i inne metody odzysku.

Motywacją do przeprowadzonego badania jest dostrzegalny brak modelu decyzyjnego, który umożliwiłaby władzom gmin optymalne realizowanie systemu gospodarki odpadami. Ponadto w analizach stanu gospodarki w 2014 r. większość gmin deklaruje zapotrzebowanie na uruchomienie nowej regionalnej instalacji przetwarzania odpadów komunalnych, mimo braku dostrzegalnego zapotrzebowania z perspektywy całego województwa.

2. Nowe zasady funkcjonowania systemu gospodarki odpadami komunalnymi

Do najistotniejszych zmian systemu gospodarki odpadami komunalnymi należało wdrożenie przepisów dotyczących wprowadzenia programów zapobiegania powstawaniu odpadów i realizacji założeń Wojewódzkiego Planu Gospodarki Odpadami Komunalnymi. Znowelizowana ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach nakłada na gminy szereg obowiązków i wprowadza narzędzia prawne służące efektywnemu wykonywaniu zadań.

Realizacja obowiązków organizacyjnych gminy wiąże się głównie z podjęciem działań umożliwiających proces zbiórki odpadów, odbiór odpadów od właścicieli nieruchomości oraz właściwe zagospodarowanie odpadów komunalnych z terenu gminy. Obowiązek ten gmina może realizować we własnym zakresie bądź umożliwiając wykonanie tego rodzaju zadań przez tworzenie właściwych jednostek organizacyjnych. Ponadto gmina ma w obowiązku umożliwić budowę regionalnych instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych i stacji zlewnych dla nieruchomości niepodłączonych do sieci kanalizacyjnej. Uruchomione regionalne instalacje przetwarzania odpadów komunalnych zgodnie z ustawodawstwem mają być przez gminę utrzymywane i eksploatowane w celu wdrażania założeń Wojewódzkiego Planu Gospodarki Odpadami Komunalnymi opracowanego dla danego województwa. Oprócz regionalnych instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych władze gminy mają w obowiązku stworzenie punktów selektywnego zbierania odpadów komunalnych w sposób umożliwiający łatwy dostęp dla wszystkich mieszkańców gminy. Ponadto konieczne jest wskazanie miejsc, w których dokonywane są zbiórki zużytych sprzętów elektronicznych i elektrycznych pochodzących z gospodarstw domowych [Hanczar, Pisiewicz 2015].

Obowiązkiem gmin w obszarze gospodarki odpadami komunalnymi jest prowadzenie czynności edukacyjnych w zakresie właściwego gospodarowania odpadami komunalnymi, a przede wszystkim dotyczących propagowania selektywnej zbiórki odpadów komunalnych. Działania edukacyjne mają pogłębiać świadomość społeczeństwa odnośnie do korzyści wynikających z selektywnej zbiórki odpadów komunalnych. Prowadząc odpowiednie działania edukacyjne, gmina przyczynia się do zachęcania mieszkańców do selektywnej zbiórki odpadów oraz realizacji zasad gospodarowania odpadami komunalnymi [Hanczar, Pisiewicz 2015].

Obowiązkiem gmin jest również monitorowanie ilości odpadów komunalnych wytwarzanych na terenie gminy i ilości odpadów odbieranych z terenu gminy zmieszanych odpadów komunalnych, odpadów zielonych oraz pozostałości z sortowania odpadów komunalnych przeznaczonych do składowania. Gromadzone informacje dotyczące tej kwestii mają na celu weryfikację skuteczności i efektywności funkcjonujących systemów. Na podstawie przeprowadzanych analiz możliwa jest korekta nieefektywnych działań oraz występujących braków w realizacji założeń selektywnej zbiórki odpadów komunalnych [Hanczar, Pisiewicz 2015].

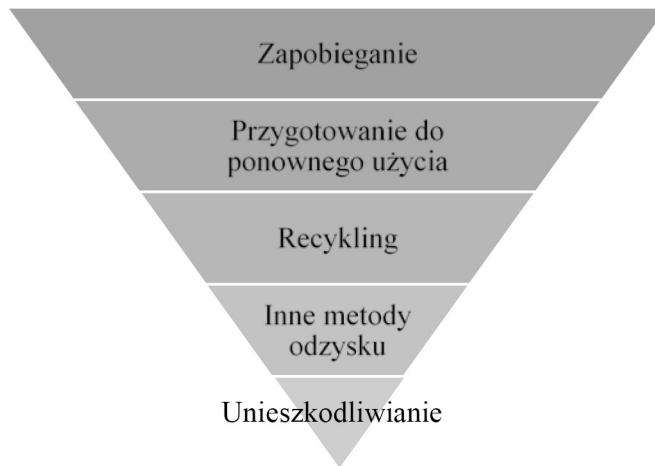
2.1. Hierarchia postępowania z odpadami komunalnymi

Zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju, w którym są realizowane zasady gospodarki odpadami, istotna jest hierarchia postępowania z odpadami, czyli po pierwsze zapobieganie powstawaniu odpadów, a następnie przygotowanie do ponownego ich użycia, recykling, zastosowanie innych metod odzysku i ostatecznie unieszkodliwianie, przy czym najmniej pożądanym sposobem ich zagospodarowania jest składowanie.

Na rysunku 1 została zaprezentowana hierarchia postępowania z odpadami uwzględniająca strukturę nakładów, jakie powinny być przeznaczane na wykonywanie poszczególnych działań.

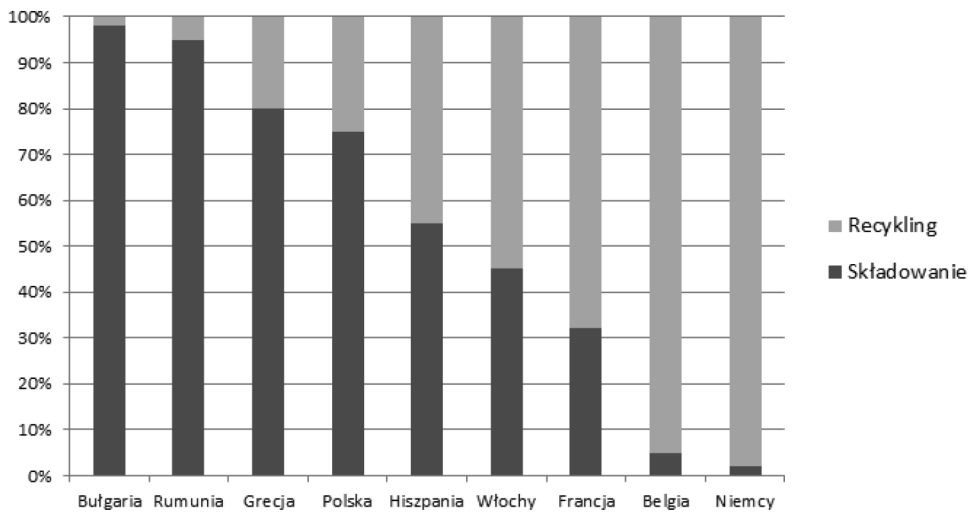
Stosując hierarchię postępowania z odpadami, o której mowa w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r., państwa członkowskie podejmują środki sprzyjające rozwiązaniom, które dają najlepszy dla środowiska wynik całkowity. Dla niektórych strumieni odpadów konieczne jest odstąpienie od tej hierarchii, jeżeli jest to umotywowane zastosowaniem metodologii myślenia o cyklu życia, obejmującej całkowity wpływ związany z wytwarzaniem i gospodarowaniem takimi odpadami [Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady...].

Na podstawie przeanalizowanych danych z Eurostatu można stwierdzić, że w Polsce wciąż głównym sposobem przetwarzania odpadów jest umieszczanie odpadów na składowiskach. Uzyskane dane zaprezentowano na rys. 2, na którym dostrzegalna jest różnica w sposobach przetwarzania odpadów w państwach członkowskich Unii Europejskiej.



Rys. 1. Hierarchia postępowania z odpadami uwzględniająca pożądaną strukturę nakładów

Źródło: opracowanie własne na podstawie Ustawy z dnia 1 lipca 2011 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach.



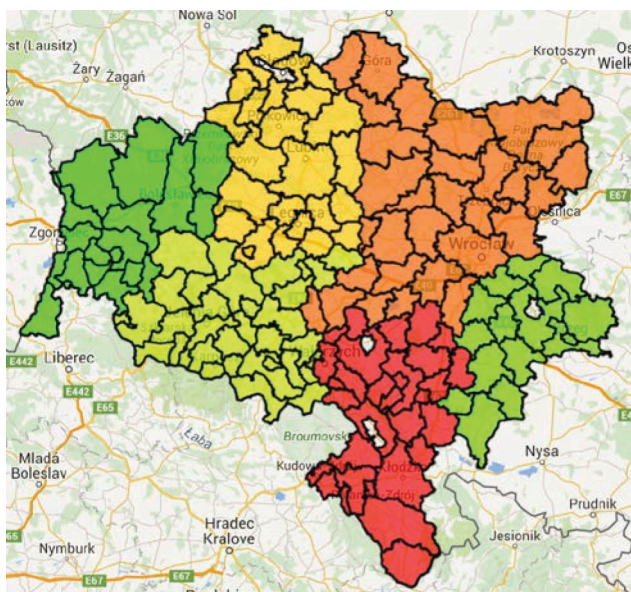
Rys. 2. Przetwarzanie odpadów komunalnych w 2011 r. w wybranych krajach UE

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu.

2.2. Ustalenia Wojewódzkiego Planu Gospodarki Odpadami Komunalnymi

Wojewódzki Plan Gospodarki Odpadami Komunalnymi dla Województwa Dolnośląskiego 2012, sporządzony jako realizacja Ustawy z dnia 1 lipca 2011 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach, scharakteryzował on dotychczasowy i pożądany stan gospodarki odpadami. Opracowany plan gospodarki odpadami wskazuje cele do osiągnięcia dla poszczególnych rodzajów odpadów, działania niezbędne do realizacji tych celów oraz przedstawia ogólny zarys funkcjonowania całego systemu na terenie danego województwa.

Kierując się efektywnością ekonomiczno-ekologiczną, zaproponował podział województwa dolnośląskiego na 6 regionów gospodarki odpadami: północny, północno-centralny, wschodni, południowy, śródkowosudecki i zachodni, co zaprezentowano na rys. 3.



Rys. 3. Podział województwa dolnośląskiego na 6 regionów gospodarki odpadami

Źródło: opracowanie własne.

Zgodnie z założeniami nowego systemu gospodarowania odpadami, wszystkie wytworzone zmieszane odpady komunalne w granicach jednego regionu muszą być również odpowiednio przetworzone i zagospodarowane w tym regionie. Natomiast odpady zebrane selektywnie mogą być przetwarzane i zagospodarowywane poza granicami regionu, w którym zostały selektywnie zebrane.

Koncepcja regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych (RIPOK) i regionalnego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi oparta

została przy jej wprowadzaniu na idei hierarchii postępowania z odpadami, zakładającej, że odpady już powstałe są poddawane przede wszystkim odzyskowi, a w sytuacji, kiedy jest to niemożliwe – dopiero w ostateczności – unieszkodliwiane przez składowanie.

Ze względu na to opracowano przydział poszczególnych regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych do zaproponowanych rejonów województwa dolnośląskiego. Łącznie w województwie dolnośląskim uruchomiono 86 regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych, w których zachodzą 3 rodzaje procesów gospodarowania odpadami. Tabela 1 przedstawia podział uruchomionych RIPOK-ów ze względu na rodzaj zachodzących w nich procesów.

Tabela 1. Klasyfikacja RIPOK-ów w województwie dolnośląskim

Rodzaj procesu zachodzącego w RIPOK	Liczba instalacji w województwie dolnośląskim	Udział mocy przerobowych
Mechaniczno-biologiczne przetwarzanie zmieszanych odpadów komunalnych	23	13%
Przetwarzanie selektywnie zebranych odpadów zielonych i innych bioodpadów	30	6%
Składowanie odpadów	33	81%

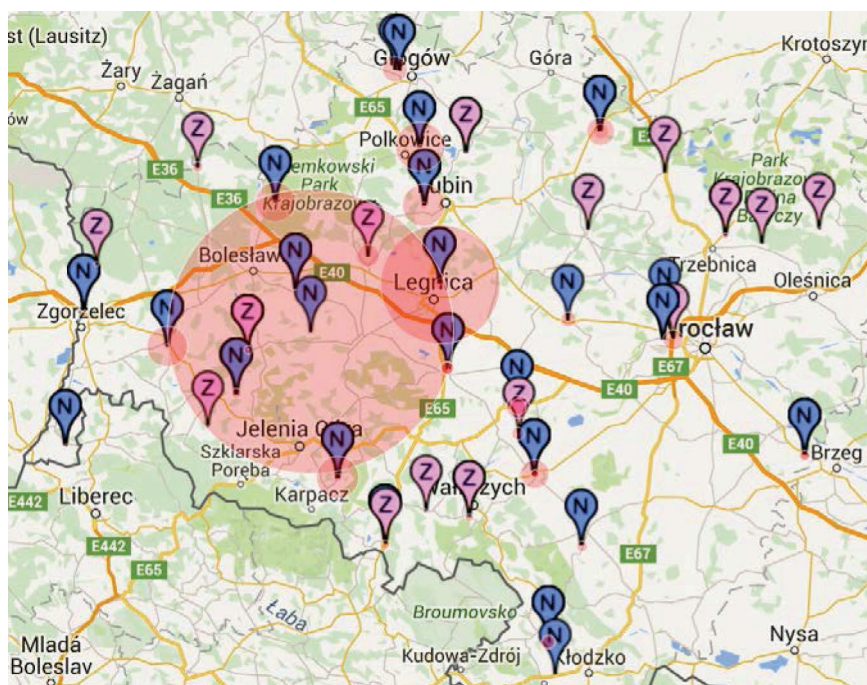
Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonego badania.

Wyznaczenie 6 regionów gospodarki odpadami komunalnymi powoduje, że w skład każdego z regionów wchodzi od kilkunastu do kilkudziesięciu gmin. Taki model regionów gwarantuje występowanie na obszarze każdego z nich instalacji spełniających kryteria, określone dla regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych, a także daje pewność poprawnego działania systemu gospodarowania odpadami opartego na przetwarzaniu zmieszanych odpadów komunalnych w regionalnych instalacjach przetwarzania odpadów komunalnych.

Zestawiając regionalne instalacje przetwarzania odpadów komunalnych według rodzaju procesu w nim zachodzącego, stwierdza się, że ich liczba jest zbliżona. Dostrzegalny jest natomiast przeważający udział mocy przerobowych dla regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych, w których odbywa się składowanie odpadów. Dowodzi to, że mimo wprowadzenia ustawy i wdrożeniu nowego systemu gospodarki odpadami, wciąż w województwie dolnośląskim preferowanym sposobem zagospodarowania odpadów pozostaje składowanie. Instalacje zajmujące się mechaniczno-biologicznym przetwarzaniem zmieszanych odpadów komunalnych stanowią 13% mocy przerobowych. Natomiast najbardziej pożądane instalacje

z perspektywy ustalonej hierarchii postępowania z odpadami zajmujące się przetwarzaniem selektywnie zebranych odpadów zielonych i bioodpadów stanowią jedynie 6% mocy przerobowych.

W Wojewódzkim Planie Gospodarki Odpadami Komunalnymi dla Województwa Dolnośląskiego 2012 uwzględniono przydział poszczególnych uruchomionych regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych do wyodrębnionych rejonów województwa dolnośląskiego. Na rysunku 4, który prezentuje mapę, umieszczono poszczególne regionalne instalacje przetwarzania odpadów komunalnych: oznaczone literą N usytuowane są instalacje normalne, przydzielone dla danego regionu, a oznaczone literą Z – instalacje zastępcze.



Rys. 4. Lokalizacja RIPOK-ów w województwie dolnośląskim

Źródło: opracowanie własne.

Wielkość okręgów zaznaczonych na mapie jest adekwatna do mocy przerobowych określonej RIPOK. Zauważalny największy okrąg jest składowiskiem odpadów zlokalizowanym w Pielgrzymce, co potwierdza wcześniejsze rozważania dotyczące przeważających mocy przerobowych znajdujących się w instalacjach zajmujących się składowaniem odpadów.

Według Ustawy z dnia 1 lipca 2011 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach instalacje zastępcze są instalacjami przewidzianymi

do zastępczej obsługi regionów w przypadku, gdy znajdująca się w regionie instalacja uległa awarii lub nie może przyjmować odpadów z innych przyczyn. Instalacja zastępcza obsługuje dany region pod względem przyjmowania odpadów do czasu uruchomienia właściwej danemu regionowi instalacji.

3. Optymalizacja przepływów funkcjonującego systemu gospodarki odpadami komunalnymi

Podjęto próbę zbudowania modelu, który umożliwiłby optymalne funkcjonowanie systemu gospodarki odpadami komunalnymi, bazując na danych uzyskanych z przeprowadzonej ankiety oraz danych z Wojewódzkiego Planu Gospodarki Odpadami Komunalnymi dla Województwa Dolnośląskiego. Sporządzenie modelu wymagało wykorzystania informacji dotyczących:

- mocy przerobowych istniejących regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych,
- masy generowanych odpadów w poszczególnych gminach województwa dolnośląskiego w ciągu roku,
- kosztów funkcjonowania regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych,
- kosztów obsługi transportowej odpadów z punktu gromadzenia odpadów do regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych.

Ponadto do opracowania modelu przyjęto założenia dotyczące możliwości wykorzystania kilku rodzajów gałęzi transportu, którymi występuje możliwość transportu odpadów z poszczególnych gmin do RIPOK-ów. Dołożono wszelkich starań, aby wprowadzone dane dotyczące ilości generowanych odpadów w poszczególnych gminach i wymienionych kosztów były zbliżone do rzeczywistych. Opracowany model statyczny uwzględniający okres 1 tygodnia rozwiązano za pomocą programu AIMMS 4.1.

Sporządzono model zaprezentowany wzorami (1)-(8); wykorzystuje on dwie grupy zmiennych decyzyjnych: x_{ijk} , z_{ijk} oraz y_j . Pierwsza zmienna określa ilość odpadów przetransportowanych z gminy i do regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych j za pomocą środka transportu k . Druga zmienna to zmienna binarna, określa ona środek transportu, który został użyty do przewiezienia odpadów z gminy i do regionalnej instalacji przetwarzania odpadów komunalnych j . Natomiast trzecia zmienna, która także jest zmienną binarną określa, czy RIPOK j została uruchomiona. Ponadto przyjęto następujące oznaczenia parametrów: c_j to tygodniowe koszty funkcjonowania regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych, d_{ijk} to koszty transportu 1 tony odpadów z gminy i do RIPOK-a j przy wykorzystaniu środka transportu k , s_{ijk} to koszty stałe wykorzystania środka transportu k do transportu odpadów z gminy i do RIPOK-a j , G_i to ilość odpadów generowanych w gminie i , R_i to ilość odpadów możliwa do przyjęcia przez RIPOK j w ciągu 1 tygodnia, M oznacza bardzo dużą liczbę dodatnią (*big M*).

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (d_{ijk} x_{ijk} + s_{ijk} z_{ijk}) + \sum_{j \in J} c_j y_j \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J, k \in K} x_{ijk} \geq G_i \text{ dla każdego } i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I, k \in K} x_{ijk} \leq R_j \text{ dla każdego } j \in J \quad (3)$$

$$x_{ijk} \leq M z_{ijk} \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I, k \in K} x_{ijk} \leq M y_j \text{ dla każdego } j \in J \quad (5)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad (6)$$

$$z_{ijk} \in \{0,1\} \quad (7)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad (8)$$

Funkcja celu (1) wraz z ograniczeniem (2) i (3) zapewnia, że wygenerowane odpady w gminach zostaną odebrane i przyjęte w regionalnej instalacji przetwarzania odpadów komunalnych. Ograniczenie (4) gwarantuje, że transport odpadów jest możliwy, gdy połączenie przy wykorzystaniu danego środka transportu zostało uruchomione. Ograniczenie (5) zapewnia transport odpadów do RIPOK-a j , jeśli został on otwarty. Ograniczenie (6) zapewnia, że liczba odpadów transportowanych między gminami a RIPOK będzie nieujemna. Ograniczenia (7) i (8) gwarantują, że zmienne decyzyjne z_{ijk} oraz y_j są zmiennymi binarnymi przyjmującymi wartość 0 lub 1.

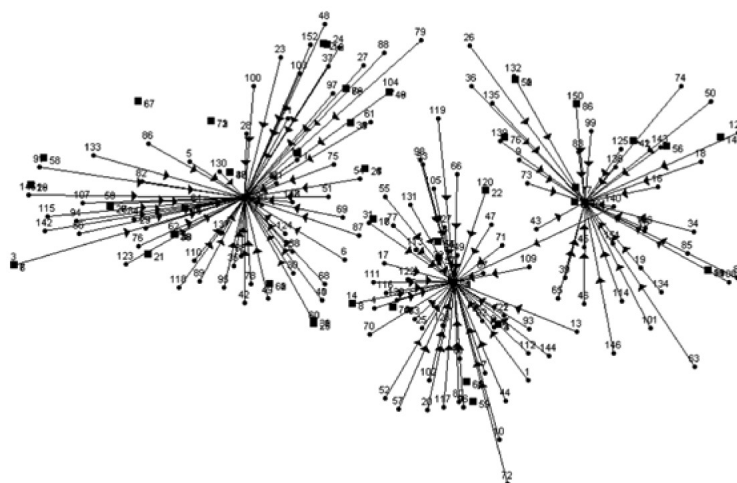
Zaproponowany model został zaimplementowany w wersji wykorzystującej komercyjne oprogramowanie CPLEX. Rozwiązanie modelu zostało wykonane w 3 wariantach.

3.1. Wariant I – rozwiązanie dla województwa dolnośląskiego

Przy rozwiązaniu modelu dla całego województwa dolnośląskiego wyliczono 53 833 ograniczeń, 53 953 zmiennych (w tym 26 840 zmiennych binarnych). Rozwiązanie przy wykorzystaniu programu AIMMS 4.10 zostało przeprowadzone w ciągu 1,5 sekundy. Przy wykorzystaniu opracowanego modelu uruchomione zostały 3 regionalne instalacje przetwarzania odpadów: w Pielgrzymce, we Wrocławiu i w Zawiszowie (wszystkie zajmują się składowaniem odpadów).

W przypadku województwa dolnośląskiego korzystne okazałoby się wykorzystanie transportu kolejowego do przewozu odpadów z Wrocławia do regionalnej instalacji przetwarzania odpadów komunalnych zlokalizowanych w Zawiszowie. Natomiast dla pozostałych gmin odpowiednie połączenie z uruchomionymi regionalnymi instalacjami przetwarzania odpadów komunalnych powinno odbywać się z wykorzystaniem transportu samochodowego.

Graf wyznaczonego rozwiązania zaprezentowano na rys. 5.



Rys. 5. Graf rozwiązania prezentowanego modelu dla województwa dolnośląskiego z wykorzystaniem programu AIMMS 4.10

Źródło: opracowanie własne.

Analizując uzyskane wyniki, należałoby rozważyć wskazywaną przez władze gmin konieczność inwestycji w uruchamianie nowych instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych. Dostrzegalne natomiast okazuje się utrzymanie i unowocześnienie uruchomionych instalacji bez konieczności funkcjonowania ustanowionej rejonizacji województwa dolnośląskiego. Występują bowiem przypadki gmin, z których odpady, zgodnie z rejonizacją, są transportowane do wyznaczonej regionalnej instalacji przetwarzania odpadów komunalnych, mimo że w znacznie bliższej odległości znajduje się instalacja przyporządkowana do innego regionu, przez co odpady z tejże gminy nie mogą być w niej przyjmowane. Opisana sytuacja występuje w gminie Czernica, należącej do rejonu wschodniego, który obsługiwany jest przez regionalną instalację przetwarzania odpadów komunalnych w Gaci. Odległość między gminą Czernica a regionalną instalacją przetwarzania odpadów komunalnych w Gaci wynosi około 257 km, natomiast gdyby odpady zgromadzone w gminie były transportowane do regionalnej instalacji przetwarzania odpadów komunalnych we Wrocławiu, odległość ta wynosiłaby około 20 km. Z perspektywy ekonomicznej wdrożenie rejonizacji wydaje się niezasadne, gdyż transport odpadów do instalacji oddalonej o 257 km generuje nadmierne koszty, których można byłoby uniknąć. Korzystniejszym rozwiązaniem byłoby przyporządkowanie poszczególnym gminom regionalnych instalacji przetwarzania odpadów, bazując na najmniejszych odległościach. Przyczyniłoby się to bezpośrednio do mniejszych kosztów funkcjonowania systemów gospodarki odpadami komunalnymi oraz ustalania niższych stawek opła-

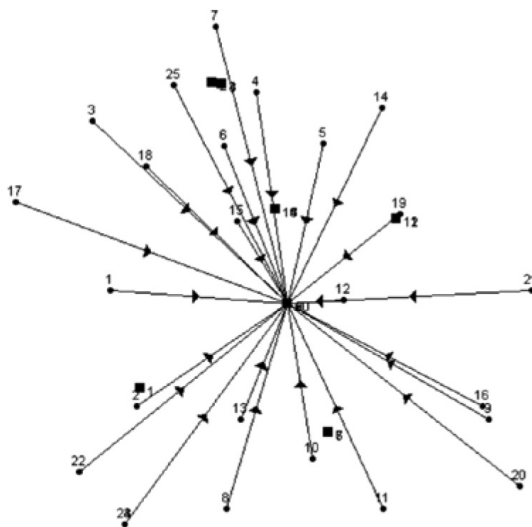
ty za gospodarowanie odpadami komunalnymi ponoszonymi przez właścicieli nieruchomości.

3.2. Wariant II – rozwiązanie dla rejonu północnego

Podczas rozwiązania modelu dla regionu północnego wyliczono 1556 ograniczeń, 1516 zmiennych (w tym 765 zmiennych binarnych). Rozwiązanie z wykorzystaniem programu AIMMS 4.10 zostało przeprowadzone w ciągu 0,23 sekundy. Model użyty do rozwiązania dla regionu północnego wyznaczył 1 regionalną instalację przetwarzania odpadów komunalnych znajdującą się w Lubinie. Oznacza to, że do obsługi gmin zlokalizowanych na obszarze wyznaczonego regionu wystarczyłoby 1 składowisko.

Wynik nie uwzględnił połączeń między gminami i regionalnymi instalacjami przetwarzania odpadów z wykorzystaniem transportu kolejowego. Zatem optymalnym rozwiązaniem w tym przypadku jest użycie transportu samochodowego.

Graf wyznaczonego rozwiązania zaprezentowano na rys. 6.



Rys. 6. Graf rozwiązania prezentowanego modelu dla regionu północnego z wykorzystaniem programu AIMMS 4.10

Źródło: opracowanie własne.

Analizując uzyskane wyniki dla regionu północnego, podobnie jak w odniesieniu do rozwiązania dla województwa dolnośląskiego, nie znajduje się potwierdzenia dla konieczności budowy nowych obiektów służących systemowi gospodarki odpadami komunalnymi. Rejon północny mógłby być obsługiwany przez 1 RIPOK, co przyczyniłoby się do zmniejszenia kosztów funkcjonowania gospodarki odpadami

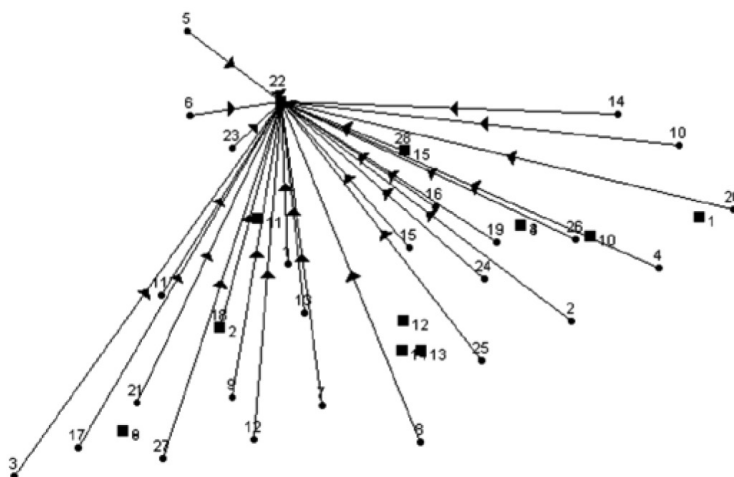
komunalnymi o koszty utrzymania i eksploatacji pozostałych i, jak się okazuje, niepotrzebnych regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych.

3.3. Wariant III – rozwiązanie dla rejonu północno-centralnego

Podczas rozwiązania modelu dla regionu północno-centralnego wyliczono 899 ograniczeń, 1696 zmiennych (w tym 855 zmiennych binarnych). Rozwiązanie przy wykorzystaniu programu AIMMS 4.10 zostało przeprowadzone w ciągu 0,03 sekundy. Opracowany model dla rejonu północno-centralnego wyznaczył, podobnie jak w poprzednim wariantcie, 1 RIPOK będący składowiskiem, zlokalizowany w Rudnie Wielkiej.

Przedstawione rozwiązanie uwzględniło tylko jeden środek transportu – samochodowy, gdyż nie spełnione zostały warunki dotyczące uruchomienia transportu kolejowego. W rezultacie obsługa zbiórki odpadów komunalnych w rejonie północno-centralnym mogłaby odbywać się z wykorzystaniem transportu samochodowego i uruchomieniu 1 regionalnej instalacji przetwarzania odpadów komunalnych.

Graf wyznaczonego rozwiązania zaprezentowano na rys. 7.



Rys. 7. Graf rozwiązania prezentowanego modelu dla regionu północno-centralnego z wykorzystaniem programu AIMMS 4.10

Źródło: opracowanie własne.

Rozważając uzyskane wyniki, podobnie jak w poprzednich wariantach, w odniesieniu do regionu północno-centralnego nie dostrzeżono zasadności organizacji dodatkowych mocy przerobowych i tym samym uruchamiania nowych regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych. Obszar regionu północno-centralnego może być obsługiwany przez RIPOK mieszczący się w Rudnie Wielkiej, na-

tomiast pozostałe funkcjonujące obiekty przyczyniają się do wzrostu kosztów funkcjonowania systemu gospodarki odpadami komunalnymi.

4. Zakończenie

Wyniki z przeprowadzonego badania wskazują na niewłaściwość zaproponowanej rejonizacji województwa dolnośląskiego i przyporządkowania poszczególnym regionom instalacji regionalnego przetwarzania odpadów komunalnych. Ponadto, wykorzystując maksymalne moce przerobowe istniejących instalacji RIPOK, nie dostrzega się zasadności uruchamiania kolejnych instalacji. Kierując się optymalizacją przepływów odpadów komunalnych w ujęciu województwa dolnośląskiego bez stosowania zaproponowanej rejonizacji, opracowany model umożliwia przyjęcie założenia o możliwości ograniczenia liczby funkcjonujących regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych.

Ze względu na to, że obecny model wymaga współpracy z władzami poszczególnych gmin i uwzględnienia aktualnych danych, wypracowanie optymalnego rozwiązania dla obszaru województwa dolnośląskiego jest przyszłym etapem badawczym.

Literatura

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy (Dz.U. L 312 z 22.11.2008, 19 11 2008).
- Hanczar P., Pisiewicz D., 2015, *Rozwiązania IT wspomagające selektywną zbiórkę odpadów*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice, w opracowaniu.
- Kłopotek B., 2012, *Zobowiązania unijne Polski w zakresie gospodarki odpadami komunalnymi*, Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku, 16 października, <http://www.wfosigw.gda.pl/> (25.08. 2015).
- Rosik-Dulewska Cz., 2015, *Podstawy gospodarki odpadami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Ustawa z 1 lipca 2011 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz.U. 2011 nr 152, poz. 897).