

Agnieszka MERKISZ-GURANOWSKA<sup>1</sup>

### **OPTYMALIZACJA SIECI RECYKLINGU SAMOCHODÓW WYCOFANYCH Z EKSPLOATACJI NA PRZYKŁADZIE WIELKOPOLSKI**

*Organizacja sieci recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji stanowi jeden z ważniejszych problemów związanych z przemysłem motoryzacyjnym. Kształtowanie sieci recyklingu powinno odbywać się w sposób przemyślany tak, aby zapewnić efektywność działania systemu przy jednoczesnej optymalizacji wykorzystywanych zasobów. W artykule przedstawiono model wspomagania decyzji dla lokalizacji podmiotów sieci recyklingu zbudowany na bazie kryterium minimalizacji kosztów. Następnie zastosowano ten model do optymalizacji sieci w Wielkopolsce i przedstawiono uzyskane wyniki.*

### **OPTIMISATION OF THE END-OF-LIFE VEHICLES RECYCLING NETWORK IN WIELKOPOLSKA REGION**

*The issue of end-of-life vehicles recycling network organization has become one of the essential elements related to car industry. Formation of recycling network should be organized carefully to ensure its efficiency and resources optimization. In this paper decision support model based on cost minimization objective function whose task is to optimize the location for recycling facilities has been presented. Then the optimization task for Wielkopolska region has been formulated and its results have been discussed.*

#### **1. WSTĘP**

Organizacja sieci recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji (SWE) stała się niezbędnym elementem związanym z rozwojem motoryzacji i funkcjonowaniem sektora transportu. Konieczność projektowania sieci recyklingu wynika zarówno z przepisów prawa jak i z uwarunkowań ekonomicznych.

Polska, jako jeden z krajów członkowskich UE została zobligowana do podjęcia działań w zakresie organizacji sieci recyklingu SWE, a szczegółowe zasady funkcjonowania sieci zostały ujęte w ustawie o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji [1]. Niestety efektywność funkcjonowania polskiej sieci jest relatywnie niska, na co składa się szereg czynników takich jak:

- niewystarczająca liczba młynów przemysłowych i zakładów recyklingu materiałów, z którymi stacje demontażu SWE mogłyby współpracować,

<sup>1</sup>Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań  
agnieszka.merkisz-guranowska@put.poznan.pl

- wysokie koszty funkcjonowania stacji demontażu związane z obowiązkowym wyposażeniem stacji,
- zbyt duża liczba stacji demontażu w stosunku do liczby SWE,
- funkcjonowanie szarej strefy stacji demontażu przetwarzającej znaczną część SWE.

Z jednej strony mamy więc do czynienia w Polsce ze zbyt dużą liczbą podmiotów na poziomie stacji demontażu, z drugiej ze zbyt małą liczbą podmiotów stanowiących kolejne ogniwa sieci. Głównym jednak problemem jest niska rentowność całego systemu, a dodatkowym czynnikiem, który może jeszcze pogorszyć sytuację jest zapowiadane przez rząd wycofanie dopłat do demontażu uzyskiwanych obecnie przez stacje demontażu.

Kluczowym elementem poprawy funkcjonowania sieci recyklingu w Polsce wydaje się być przebudowa systemu, która zapewni ograniczenie całkowitych kosztów związanych z recyklingiem pojazdów. Przebudowa polega na dostosowaniu liczby i lokalizacji podmiotów sieci do struktury podaży SWE przy zagwarantowaniu sprawnego przepływu między podmiotami i rentowności działania poszczególnych ogniw sieci. Uwzględnienie wpływu czynników na kształtowanie sieci oraz różne kryteria i preferencje związane z jej organizacją wymagają zastosowania odpowiednich narzędzi podejmowania decyzji. Narzędzia te, służące optymalizacji lokalizacji podmiotów, umożliwią projektowanie infrastruktury sieci recyklingu oraz kształtowanie wielkości przepływów pomiędzy podmiotami.

## 2. OPIS MODELU

Kształtowanie sieci wymaga zastosowania odpowiednich narzędzi modelowania. Proces modelowania składa się z następujących etapów:

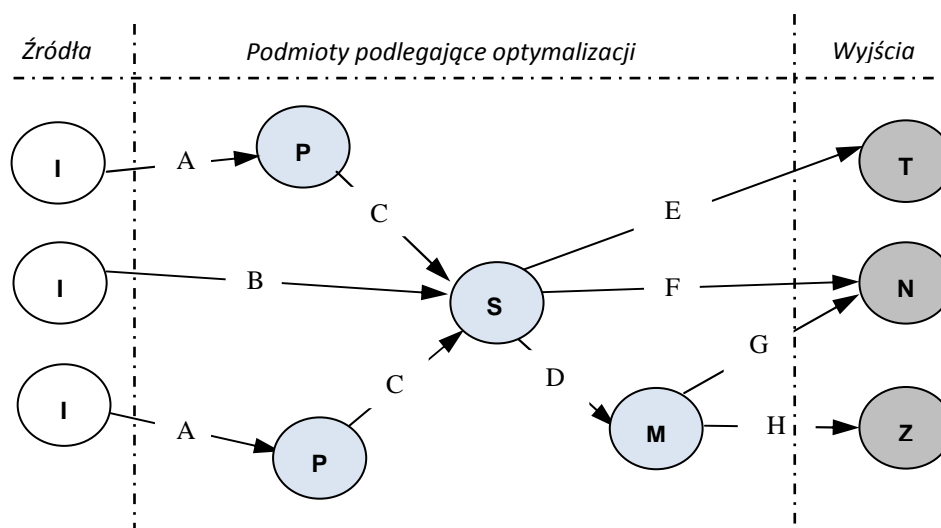
- Etap 1 – Identyfikacja problemu – określenie stanu obecnego i ustalenie celu modelowania.
- Etap 2 – Konstruowanie modelu :
  - określenie danych wejściowych i parametrów modelu (np. podaż SWE, funkcje kosztów, funkcje przychodów, macierz odległości między podmiotami, potencjały przerobowe),
  - wyznaczenie zmiennych decyzyjnych (np. zmienne lokalizacyjne, wielkość przepływów),
  - budowa funkcji oceny jakości rozwiązania,
  - zdefiniowanie ograniczeń.
- Etap 3 - Weryfikacja modelu:
  - wybór algorytmu obliczeń,
  - programowanie,
  - sprawdzenie poprawności modelu.
- Etap 4 – Aplikacja modelu.

Po zidentyfikowaniu problemu (przebudowa obecnej sieci) należy zbudować model. Budowa modelu rozpoczyna się od zidentyfikowania analizowanej struktury systemu, w tym przypadku sieci recyklingu SWE.

W kraju działa obecnie trzystopniowa sieć recyklingu. W trzystopniowej sieci SWE oddawane są albo do punktów zbierania pojazdów albo bezpośrednio do stacji demontażu. Punkty zbierania pojazdów nie przeprowadzają żadnych działań związanych z

przetwarzaniem SWE, ich zadaniem jest przekazanie pojazdu dalej do stacji demontażu. W stacjach demontażu wymontowuje się części nadające się do ponownego użytku, które trafiają na rynek i są sprzedawane przez stacje głównie klientom indywidualnym. Materiały niebezpieczne (np. akumulatory, oleje) oraz inne elementy pojazdu nienadające się do sprzedaży (np. szyby, opony, fotele) przekazywane są do zakładów wyspecjalizowanych w ich odzysku. Zdemontowana karoseria trafia do strzępienia do młyna przemysłowego, gdzie odzyskiwany jest złom metalowy w postaci metali żelaznych i metali nieżelaznych. Złom metalowy przekazywany jest również do zakładów zajmujących się ich odzyskiem lub do hut. Zakłady recyklingu sprzedają odzyskane surowce wtórne na rynku.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat sieci. Wejściami do systemu są pojazdy wycofane z eksploatacji (I). Następną grupę stanowią podmioty, których lokalizacja podlega modelowaniu, czyli punkty zbierania (P), stacje demontażu (S) i młyny przemysłowe (M), wyjściem z systemu są zakłady recyklingu materiałów, których lokalizacje nie podlegają optymalizacji tj. zakłady recyklingu tworzyw sztucznych (T), metali żelaznych (Z) i metali nieżelaznych (N).



Rys.1. Struktura modelu sieci recyklingu

Jako funkcję kryterium, będącą funkcją oceny jakości rozwiązania przyjęto minimalizację kosztów. Polska sieć recyklingu zgodnie z deklaracjami jej uczestników boryka się z problemem rentowności, dlatego założono, że w sytuacji braku rentowności kluczowym problemem będzie funkcjonowanie przy założeniu minimalizacji kosztów. Funkcja celu odnosi się do minimalizacji całkowitych kosztów, obejmujących zarówno koszty funkcjonowania poszczególnych grup podmiotów jak i koszty transportu SWE i odpadów pomiędzy podmiotami.

Kryterium można zapisać w następującej postaci:

$$\min \{K^{CP} + K^{CS} + K^{CM} + K^{TA} + K^{TB} + K^{TC} + K^{TD} + K^{TE} + K^{TF} + K^{TG} + K^{TH}\} \quad (1)$$

gdzie:

$K^{CP}$  - oznacza koszty stałe funkcjonowania punktów zbierania,

$K^{CS}$  - oznacza koszty całkowite (sumaryczne koszty stałe i zmienne) funkcjonowania stacji demontażu,

$K^{TA}$  - oznacza koszty transportu SWE pomiędzy źródłami i punktami zbierania,

$K^{TB}$  - oznacza koszty transportu SWE pomiędzy źródłami i stacjami demontażu,

$K^{TC}$  - oznacza koszty transportu SWE pomiędzy punktami zbierania i stacjami demontażu,

$K^{TD}$  - oznacza koszty transportu karoserii pomiędzy stacjami demontażu i młynami,

$K^{TE}$  - oznacza koszty transportu odpadów pomiędzy stacjami demontażu i zakładami recyklingu tworzyw sztucznych,

$K^{TF}$  - oznacza koszty transportu odpadów pomiędzy stacjami demontażu i zakładami recyklingu metali nieżelaznych,

$K^{FG}$  - oznacza koszty transportu odpadów pomiędzy młynami i zakładami recyklingu metali nieżelaznych,

$K^{FH}$  - oznacza koszty transportu odpadów pomiędzy młynami i zakładami recyklingu metali żelaznych.

Szczegółowy matematyczny zapis funkcji kryterium wraz z podaniem ograniczeń można znaleźć w opracowaniu [2].

Założenia jakie przyjęto w modelowaniu są następujące:

- nie uwzględniono funkcjonowania szarej strefy, czyli założono, że wszystkie SWE wycofane na danym obszarze trafiają do oficjalnie działających stacji (tych podlegających optymalizacji),
- modelowaniu podlegają punkty zbierania, stacje demontażu oraz młyny, przy czym dla młynów przemysłowych przeprowadzono dwa warianty optymalizacji – jeden wyłącznie z istniejącymi młynami a drugi ze wskazaniem także dodatkowych potencjalnych lokalizacji młynów,
- w modelu uwzględniono tylko niektóre zakłady recyklingu materiałów – z uwagi na to, że celem była minimalizacja kosztów funkcjonowania sieci, w modelu uwzględniono jedynie przepływy tych materiałów, które generują koszty dla podmiotów oraz tych, dla których lokalizacja miejsc zagospodarowania wpływa na lokalizację optymalizowanych podmiotów sieci (nie uwzględniono zatem zakładów recyklingu akumulatorów, olejów przepracowanych, opon i szkła),
- źródłem SWE są gminy, do gmin przypisano także lokalizację poszczególnych podmiotów,
- wszystkie odległości liczone są jako odległości między centrami gmin,
- na koszty funkcjonowania podmiotów składają się koszty stałe i koszty zmienne – koszty stałe ponoszone są niezależnie od wielkości przerobu podmiotów, natomiast całkowite koszty zmienne są funkcją przetwarzanych SWE lub odpadów,
- punkty zbierania ponoszą wyłącznie koszty stałe, gdyż nie przeprowadzają żadnych operacji związanych z przetwarzaniem SWE, a pojazdy po ich dostarczeniu przez właścicieli odbierane są przez stacje demontażu.

### 3. ALGORYTM ROZWIĄZANIA

Do rozwiązania problemu można wybrać metody wyczerpujące lub metody heurystyczne. Metody wyczerpujące polegają na przeszukiwaniu wszystkich rozwiązań. Jeżeli w zbiorze rozwiązań są rozwiązania dopuszczalne spełniające wszystkie ograniczenia, to metody takie pozwalają na wybór rozwiązania optymalnego. Największą wadą metod wyczerpujących jest to, że w praktyce i przy rzeczywistych złożonych problemach często nie można uzyskać optymalnego rozwiązania w rozsądnym lub akceptowalnym czasie. W tej sytuacji niezbędne jest zastosowanie metod heurystycznych. Pozwalają one na wygenerowanie satysfakcjonujących rozwiązań, które jednak mogą odbiegać od rozwiązań optymalnych [3]. Z uwagi na złożoność współczesnych systemów logistyki odzysku, a do tego obszaru należy sieć recyklingu pojazdów, coraz częściej wykorzystuje się w modelowaniu metody heurystyczne [4]. Największą ich zaletą jest to, że umożliwiają rozwiązywanie złożonych problemów w krótkim czasie. Do najczęściej stosowanych metod heurystycznych należą: symulowane wyżarzanie, poszukiwanie z tabu, algorytmy ewolucyjne, sztuczne sieci neuronowe [5].

W rozwiązywaniu przedstawionego wyżej zadania optymalizacyjnego posłużono się algorytmem ewolucyjnym połączonym z przeszukiwaniem lokalnym na poszczególnych etapach.

Do algorytmów ewolucyjnych należą wszystkie algorytmy wykorzystujące losowe różnicowanie oraz selekcję na populacji rozwiązań [3]. Algorytmy genetyczne wykorzystywane w algorytmach ewolucyjnych opierają się na właściwościach mutacji naturalnych genów. Z punktu widzenia badań operacyjnych algorytm genetyczny jest inteligentnym wykorzystaniem przypadkowego przeszukiwania. Metody tradycyjne oraz niektóre metody heurystyczne oparte są na jednym rozwiązaniu, które stanowi bazę dalszej analizy w kolejnych krokach. Algorytmy ewolucyjne charakteryzują się tym, że pracują na całej populacji rozwiązań [3]. Dodatkowym elementem, który różni algorytmy korzystające z populacji od innych metod jest koncepcja rywalizacji pomiędzy rozwiązaniami w populacji. Symulują one proces ewolucyjny z rywalizacją oraz dobozem naturalnym (selekcją). Wykorzystują także nowe mutacje, żeby poszukiwać nowe rozwiązania, naśladując proces naturalnej ewolucji. Rozwiązania, które są lepsze zgodnie z funkcją oceny, mają większe szanse stać się rodzicami następnego pokolenia rozwiązań.

Przeszukiwanie lokalne, które zostało wykorzystane na wybranych etapach algorytmu polega z kolei na tym, że zamiast przeszukiwać całą przestrzeń potencjalnych rozwiązań skupiamy się na lokalnym sąsiedztwie jakiegoś wybranego rozwiązania. W okolicach tego rozwiązania wybieramy inne rozwiązania z przestrzeni przeszukiwania i obliczamy dla nich wartość funkcji celu, a jeżeli nowe rozwiązanie jest lepsze to zastępuje poprzednie.

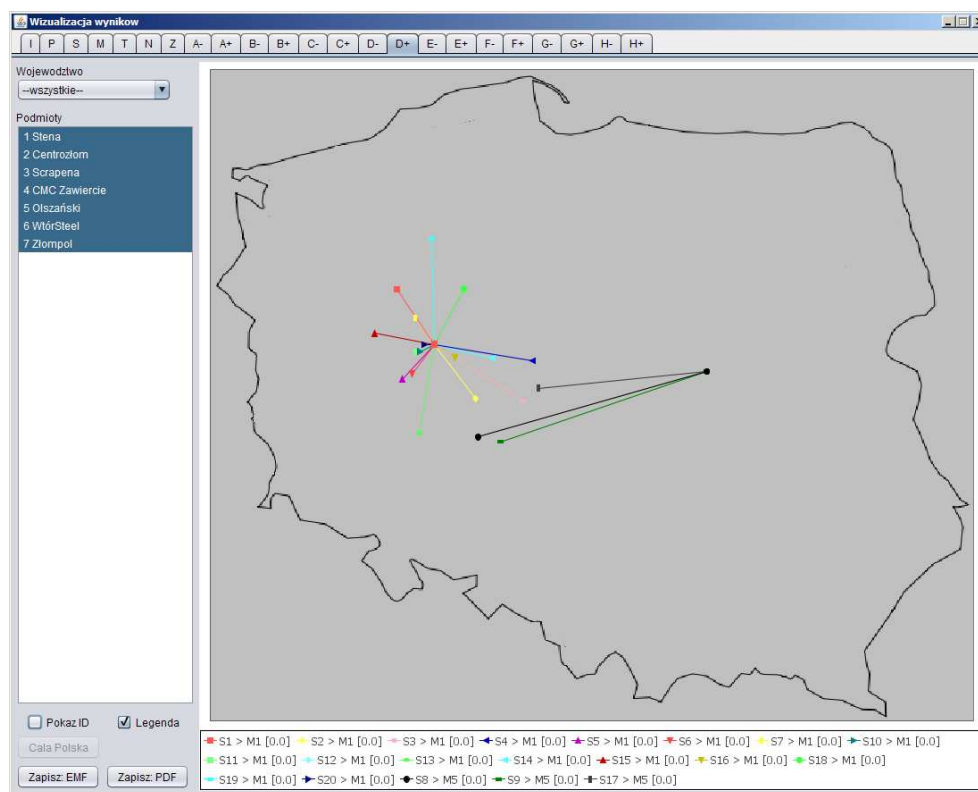
### 4. WYNIKI MODELOWANIA

Opisany model umożliwiający kształtowanie sieci w oparciu o kryterium minimalizacji kosztów funkcjonowania sieci został zastosowany do przebudowy oraz budowy sieci recyklingu w województwie wielkopolskim.

Województwo wielkopolskie jest trzecim, po województwie mazowieckim i śląskim, najbardziej zmotoryzowanym województwem w Polsce [6]. W województwie wielkopolskim funkcjonuje obecnie 5 punktów zbierania, 84 stacje demontażu i 1 młyn

przemysłowy. W 2009 roku wielkopolskie stacje demontażu przerobiły około 20 tysięcy SWE [7]. Na potrzeby zadania przyjęto, że wszystkie SWE trafiają do oficjalnej sieci, która powinna być w związku z tym przygotowana na odbiór prawie 84 tysięcy pojazdów. Założono też, że stacje demontażu mogą współpracować z młynami przemysłowymi i zakładami recyklingu materiałów z różnych części Polski, tak jak ma to miejsce w rzeczywistości. Podobnie młyny mogą współpracować z dowolnie położonymi na terenie kraju zakładami recyklingu.

Zadanie to zostało rozwiązane w dwóch wariantach – jednym, w którym zadanie optymalizacyjne polegało na przebudowie istniejącej sieci i w drugim, w którym optymalizacja polegała na budowie sieci od podstaw.



Rys.2. Wizualizacja wyników dla budowy sieci od podstaw w województwie Wielkopolskim dla przepływów między stacjami demontażu a młynami przemysłowymi

W pierwszym wariantcie w danych wejściowych, dla punktów zbierania, stacji demontażu, młynów przemysłowych i zakładów recyklingu uwzględniono wyłącznie podmioty faktycznie istniejące. Punkty zbierania i stacje demontażu były położone na obszarze Wielkopolski. Natomiast zakłady recyklingu materiałów zlokalizowane były na obszarze całej Polski.

Przebudowa sieci polegała na wskazaniu, które podmioty powinny funkcjonować w sieci i jak powinny kształtować się przepływy między nimi.

W najlepszym rozwiązaniu zaproponowano następującą strukturę sieci:

- spośród istniejących w Wielkopolsce podmiotów wybrano 1 punkt zbierania (20% istniejących), 38 stacji demontażu (45% istniejących) oraz 2 młyny przemysłowe,
- karoseria ze stacji demontażu powinna być przekazywana do najbliższego młyna, położonego w analizowanym regionie, reszta do najbliższego młyna poza Wielkopolską.

Zasadniczą część kosztów całego systemu stanowią koszty funkcjonowania podmiotów (93% kosztów), podczas gdy koszty transportu mają 7% udziału w kosztach całkowitych (tab.1). Ponad połowę kosztów transportu stanowią koszty transportu karoserii ze stacji do młynów, a spośród kosztów funkcjonowania koszty młynów stanowią prawie 55%, a koszty stacji demontażu niewiele ponad 45%. Koszt funkcjonowania młynów ma tym samym największy udział w całkowitych kosztach systemu – prawie 51%.

Średni przerób wybranych stacji demontażu wynosił 2207 SWE, przy czym średni potencjał przerobowy to 2342 SWE rocznie. Wykorzystanie potencjału stacji kształtuje się na poziomie 94%. W rozwiązaniu wybrano wszystkie największe działające stacje demontażu, czyli takie których potencjał przerobowy przekraczał 2000 SWE rocznie.

Tab. 1. Wartości kosztów dla przebudowy sieci recyklingu w Wielkopolsce

Typ kosztów	Wartość [PLN]	Udział w podsumie	Udział w całości
<b>Transport poł. A</b>	27 950	0,5%	0,0%
<b>Transport poł. B</b>	1 672 000	32,1%	2,3%
<b>Transport poł. C</b>	82 490	1,6%	0,1%
<b>Transport poł. D</b>	2 648 000	50,8%	3,6%
<b>Transport poł. E</b>	399 100	7,7%	0,5%
<b>Transport poł. F</b>	51 270	1,0%	0,1%
<b>Transport poł. G</b>	39 970	0,8%	0,1%
<b>Transport poł. H</b>	289 000	5,5%	0,4%
<b>Suma kosztów transportu</b>	<b>5 209 780</b>	<b>100,0%</b>	<b>7,1%</b>
<b>Koszt funkcjonowania P</b>	60 140	0,1%	0,1%
<b>Koszt funkcjonowania S</b>	30 560 000	45,1%	41,9%
<b>Koszt funkcjonowania M</b>	37 088 368	54,8%	50,9%
<b>Suma kosztów funkcjonowania</b>	<b>67 708 508</b>	<b>100,0%</b>	<b>92,9%</b>
<b>Suma kosztów całkowitych</b>	<b>72 918 288</b>		<b>100,0%</b>

Bibliografia [Opracowanie własne]

W najlepszym, znalezionym rozwiązaniu zaproponowano dwa młyny, w tym jeden zlokalizowany w Wielkopolsce, a drugi na Dolnym Śląsku. Wybór drugiej lokalizacji

następował wyłącznie spośród młynów faktycznie istniejących w kraju, zlokalizowanych w różnych regionach Polski. Potencjał przerobowy istniejącego w Wielkopolsce młyna jest zbyt mały jak na potrzeby przetwarzania wszystkich SWE (przyjęto, że maksymalnie jedna trzecia faktycznego potencjału może być wykorzystana na potrzeby sieci recyklingu SWE), stąd konieczność wskazania drugiej lokalizacji. Potencjał przerobowy wybranych młynów przemysłowych zostanie wykorzystany w niespełna 98% dla młyna w Wielkopolsce i 15 % dla młyna na Dolnym Śląsku. Stacje demontażu i młyny przemysłowe będą korzystały z 10 z ogólnej liczby 26 zakładów recyklingu metali nieżelaznych. Z zakładów recyklingu tworzyw sztucznych wytypowano 12 z 18 podmiotów, a każdy z młynów powinien współpracować z jednym zakładem recyklingu metali żelaznych i jednym zakładem recyklingu metali nieżelaznych.

Drugi wariant różni się od pierwszego tym, że w danych wejściowych nie podawano ani liczby ani lokalizacji punktów zbierania i stacji demontażu. Natomiast zbiór młynów przemysłowych i zakładów recyklingu był zbiorem faktycznie istniejących lokalizacji z obszaru całej Polski.

W rozwiązaniu najlepszym dla wariantu budowy sieci od początku zaproponowano następującą strukturę sieci:

- 19 stacji demontażu oraz 2 młyny,
- brak punktów zbierania pojazdów.

Tab. 2. Wartości kosztów dla wariantu budowy sieci recyklingu od podstaw

Typ kosztów	Wartość [PLN]	Udział w podsumie	Udział w całości
Transport poł. A	0	0,0%	0,0%
Transport poł. B	1 929 000	37,0%	2,8%
Transport poł. C	0	0,0%	0,0%
Transport poł. D	2 629 000	50,4%	3,8%
Transport poł. E	316 500	6,1%	0,5%
Transport poł. F	45 110	0,9%	0,1%
Transport poł. G	40 500	0,8%	0,1%
Transport poł. H	256 800	4,9%	0,4%
<b>Suma kosztów transportu</b>	<b>5 216 910</b>	<b>100,0%</b>	<b>7,5%</b>
Koszt funkcjonowania P	0	0,0%	0,0%
Koszt funkcjonowania S	28 060 000	43,6%	40,3%
Koszt funkcjonowania M	36 370 000	56,4%	52,2%
<b>Suma kosztów funkcjonowania</b>	<b>64 430 000</b>	<b>100,0%</b>	<b>92,5%</b>
<b>Suma kosztów całkowitych</b>	<b>69 646 910</b>		<b>100,0%</b>

Bibliografia [Opracowanie własne]



Zasadniczą część kosztów całego systemu stanowią koszty funkcjonowania podmiotów (92,5% kosztów), podczas gdy koszty transportu mają 7,5% udział w kosztach całkowitych (tab.2).

Prawie połowę kosztów transportu stanowią koszty transportu karoserii ze stacji do młynów, a spośród kosztów funkcjonowania koszty młynów stanowią ponad 56%, a koszty stacji demontażu niecałe 44%.

Średni przerób stacji demontażu wynosi 4415 SWE, przy czym maksymalny potencjał przerobowy stacji był określony w ograniczeniach na poziomie 5000 SWE rocznie.

W rozwiązaniu zaproponowano dwa młyny, jeden w Wielkopolsce, a drugi w województwie mazowieckim. Potencjał przerobowy wybranych młynów przemysłowych zostanie wykorzystany w 99% dla młyna z Wielkopolski i 43% dla drugiej lokalizacji. Stacje demontażu i młyny przemysłowe będą korzystały w sumie z 9 z ogólnej liczby 26 zakładów recyklingu metali nieżelaznych. Z zakładów recyklingu tworzyw sztucznych wytypowano 12 z 18 podmiotów, a każdy z młynów powinien współpracować z jednym zakładem recyklingu metali żelaznych i jednym metali nieżelaznych, podobnie jak dla wariantu przebudowy sieci.

W obu wariantach wyniki zadania wskazują na to, że transport odpadów nie odgrywa istotnej roli w całkowitych kosztach funkcjonowania systemu. Na poziomie stacji demontażu istotne jest to, żeby było zoptymalizowane wykorzystanie podmiotów, czyli w sieci powinno funkcjonować jak najmniej podmiotów z maksymalnie wykorzystanym potencjałem przerobowym. W obu przypadkach główny składnik kosztów stanowią koszty młynów przemysłowych. W wariantcie budowy sieci od podstaw najważniejsza różnica w stosunku do wariantu przebudowy dotyczy liczby stacji demontażu oraz ich potencjału przerobowego. Mimo jednak dwukrotnego zwiększenia przerobu stacji, całkowita oszczędność kosztów wynosi niecałe 5%. Analizę porównawczą wyników przedstawiono w tabeli 3.

Tab.3. Analiza porównawcza rozwiązań dla obu wariantów

	Wariant przebudowa	Wariant budowa od podstaw
<b>Liczba punktów zbierania</b>	1	0
<b>Liczba stacji demontażu</b>	38	19
<b>Liczba młynów przemysłowych</b>	2	2
<b>Przerób SWE w stacjach</b>	2 207	4 415
<b>Suma kosztów transportu [PLN]</b>	5 209 780	5 216 910
<b>Suma kosztów funkcjonowania [PLN]</b>	67 708 508	64 430 000
<b>Suma kosztów całkowitych [PLN]</b>	72 918 288	69 646 910

Bibliografia [Opracowanie własne]

## 5. WNIOSKI

Przedstawione w artykule modele optymalizacji sieci przy zastosowaniu kryterium minimalizacji kosztów mogą być przydatnym narzędziem zarówno w kształtowaniu sieci recyklingu (przebudowa/budowa) jak i mogą posłużyć do oceny istniejącej struktury sieci.

Wyniki zadań optymalizacyjnych przeprowadzonych na podstawie sieci recyklingu w Wielkopolsce pokazują, że kluczowym elementem całości kosztów sieci są koszty związane z działaniem stacji demontażu i młynów przemysłowych. Lokalizacja tych podmiotów oraz odpowiednio dobrany potencjał przerobowy mają podstawowe znaczenie dla rentowności sieci. W porównaniu z obecną sytuacją wniosek jaki można wysunąć to zbyt duża liczba małych stacji demontażu funkcjonujących na terenie Wielkopolski. W modelu optymalizacji od podstaw liczba stacji wyniosła mniej niż 25% rzeczywiście funkcjonujących stacji, przy czym warto zauważyć, że modelowanie przeprowadzono dla czterokrotnie większej liczby SWE niż faktycznie przetwarzane pojazdy w oficjalnie działających stacjach.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ustawa o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji z 20.01.2005, Dz. U. nr 25, poz. 202, 2005 z późniejszymi zmianami.
- [2] Merkisz-Guranowska A.: *The optimization of vehicles recycling network facility location*, Proceedings of 17<sup>th</sup> International Conference on Urban Transport and the Environment Urban Transport 2011, Pisa 2011.
- [3] Michalewicz Z., Fogel D.B.: *Jak to rozwiązać czyli nowoczesna heurystyka*, Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 2006.
- [4] Gen M., Cheng R.: *Genetic Algorithms and Engineering Design*, New York, Wiley 1997.
- [5] Osman I.H., Laporte G.: *Metaheuristics: A bibliography*, Annals of Operation Research, vol. 63, 1996.
- [6] Główny Urząd Statystyczny, Transport wyniki działalności w 2009 roku, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2010.
- [7] Sprawozdania z wielkopolskich stacji demontażu za rok 2009 udostępnione przez Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego.

*Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy. Projekt N N509 601839 pt. Metodyka kształtowania sieci transportowo-logistycznej w wybranych obszarach. Kierownik projektu Marianna Jacyna.*