

Agnieszka Merkisz-Guranowska¹

Wydział Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej

Kryteria optymalizacji w lokalizacji podmiotów sieci recyklingu pojazdów

1. WPROWADZENIE

Tworzenie sieci recyklingu wymaga stosowania odpowiednich narzędzi wspomaganie decyzji. Decyzje dotyczące lokalizacji podmiotów powinny uwzględniać jak najwięcej czynników obejmujących zarówno kwestie techniczne, ekonomiczne, środowiskowe i prawne. Dzięki temu kształtowanie wybranego fragmentu sieci np. w kontekście jej rozbudowy i lokalizacji nowych podmiotów, zapewni maksymalizację korzyści zarówno z punktu widzenia uczestników sieci, jak i właścicieli pojazdów i innych zainteresowanych podmiotów.

Poszukiwanie rozwiązania problemu decyzyjnego jakim jest lokalizacja elementów struktury sieci recyklingu wymaga określenia funkcji kryterium, która będzie stanowić kryterium rozstrzygające, która spośród decyzji dopuszczalnych jest decyzją optymalną. Funkcja ta jest zatem wskaźnikiem oceny jakości rozwiązania.

Rozwiązanie optymalne to takie, dla którego przyjęte kryterium oceny jakości rozwiązania (np. minimalny koszt) osiąga wartość ekstremalną przy spełnieniu [6]:

- ograniczeń sieci (np. potencjał przerobowy),
- warunków wynikających z zapotrzebowania na przetwarzanie odpadów (np. liczba pojazdów i masa odpadów z nich pochodzących do zagospodarowania),
- warunków wynikających z fizycznej interpretacji wielkości (np. nieujemność).

Kryterium optymalizacji jest odzwierciedleniem funkcji preferencji podmiotu podejmującego decyzję. W zależności od liczby funkcji preferencji, ujętych jako cząstkowe funkcje kryterium, zadania optymalizacyjne możemy podzielić na jednokryterialne i wielokryterialne [6,7,10,11]. Zadania jednokryterialne to takie, w których o wyborze optymalnego wariantu decyduje jedno kryterium.

W zadaniach wielokryterialnych jednocześnie uwzględnia się kilka funkcji preferencji, będących odzwierciedleniem często przeciwstawnych poglądów. W modelach tego typu możemy mieć dwie lub więcej funkcji cząstkowych, które ekstremalizowane są jednocześnie, przy czym optymalna realizacja jednego celu prowadzi najczęściej do pogorszenia realizacji przynajmniej jednego z pozostałych celów. Decyzja podejmowana jest zatem w kontekście jednoczesnej realizacji wszystkich wyróżnionych cząstkowych funkcji kryteriów, przy czym z reguły nie istnieje jakakolwiek decyzja (rozwiązanie, działanie), która jest najlepsza jednocześnie ze wszystkich punktów widzenia. W przeciwieństwie do klasycznych technik badań operacyjnych, metody wielokryterialne nie dają obiektywnie najlepszych rozwiązań. Proponowane rozwiązania są kompromisem pomiędzy preferencjami decydentów bądź innych zainteresowanych rozwiązaniem problemu stron.

2. FUNKCJE KRYTERIUM W LOKALIZACJI PODMIOTÓW SIECI RECYKLINGU

Warto zauważyć, że w latach 60-tych i 70-tych podstawowym i właściwie jedynym kryterium w optymalizacji lokalizacji podmiotów związanych z zagospodarowaniem odpadów była minimalizacja kosztów [2]. Dopiero w latach 80-tych, kiedy wzrosła świadomość ekologiczna społeczeństw, zaczęto uwzględniać także inne aspekty, przede wszystkim związane z ochroną środowiska, chociaż dopiero

¹agnieszka.merkisz-guranowska@put.poznan.pl

w latach 90-tych nastąpił prawdziwy rozwój modeli opartych na aspektach środowiskowych. W zakresie planowania systemu odpadów, zaczęto włączać wymogi środowiskowe takie jak hałas, zanieczyszczenie powietrza, kongestia w transporcie jako ograniczenia w zorientowanej ekonomicznie lokalizacji podmiotów systemu.

Jednokryterialne zadania optymalizacyjne są mimo ciągłego rozwoju modeli wielokryterialnych częściej stosowane w praktyce z uwagi na prostszy proces formułowania i realizacji takich zadań oraz szybsze i łatwiejsze znajdowanie rozwiązań optymalnych.

Przy wykorzystaniu modelowania jednokryterialnego sieci recyklingu spośród potencjalnych funkcji kryterium jest wybierana jedna funkcja, która następnie podlega minimalizacji bądź maksymalizacji przy założonych ograniczeniach. Natomiast przy wyborze metod wielokryterialnych w modelowaniu sieci podane kryteria są ze sobą selektywnie zestawiane tworząc kryteria cząstkowe.

Mimo możliwości wyboru różnych typów funkcji celu, analiza dostępnych prac badawczych w obszarze kształtowania sieci w logistyce odzysku przeprowadzona przez Chanintrakul i inni [3] wykazała, że w modelach jednokryterialnych jako funkcję celu prawie zawsze wykorzystuje się minimalizację kosztów. Najczęściej minimalizacja kosztów ogranicza się do kosztów samego transportu odpadów (w tym pojazdów), ewentualnie kosztów transportu i magazynowania. Znacznie rzadziej wykorzystywane są koszty procesu odzysku obejmujące zarówno koszty związane z logistyką odpadów jak i koszty ich przetwarzania. Najlepiej jednak, gdy funkcja celu odnosi się do całkowitych kosztów, czyli obejmuje jednocześnie koszty stałe jak i zmienne. W kosztach stałych najczęściej ujmuje się inwestycję początkową (koszt rozpoczęcia działalności) wyrażoną amortyzacją oraz koszt prowadzenia działalności niezależny od wielkości produkcji (wyrażonej wielkością świadczonych usług, wielkością produkcji, ilością przetworzonych odpadów). Natomiast do kosztów zmiennych zalicza się: transport, produkcję, koszty utrzymania, obsługi, dystrybucji, magazynowania, koszty środowiskowe (np. związane z unieszkodliwianiem odpadów).

Do innych kryteriów jakie można wykorzystać w zadaniach jednokryterialnych lokalizacji przedsiębiorstw logistyki odzysku lub jako cząstkowe funkcje celu w zadaniach wielokryterialnych można zaliczyć:

- minimalizację ryzyka środowiskowego – odnoszącego się głównie do minimalizacji ryzyka transportowego związanego z przewożeniem odpadów, składowania odpadów i przetwarzania oraz minimalizacji występowania efektów niepożądanych (np. hałas, emisja szkodliwych substancji) zarówno na etapie transportu jak i zagospodarowania.
- maksymalizację pokrycia – które może mieć w tym przypadku wymiar geograficzny (odległość, obszar), czasowy lub ilościowy (zaspokojenie popytu). Najczęściej wykorzystuje się w ramach tej grupy maksymalizację odległości i obsługi populacji. Do tej grupy można również zaliczyć kryterium równomiernego rozłożenia i dyspersji, gdyż preferencja ta również odnosi się do problemu pokrycia tylko, że w równomierny sposób.
- maksymalizację poziomu obsługi i efektywność procesów - kryteria te obejmują między innymi maksymalne wykorzystanie infrastruktury czy maksymalizację wskaźników związanych z zakresem świadczonych usług.
- maksymalizację zysku - dotyczy przede wszystkim maksymalizacji zysku netto, maksymalizacji zwrotu z kapitału, a także maksymalizacji przychodów.

W zadaniach dwukryterialnych najczęściej stosowane cząstkowe funkcje kryterium są następujące [4,5]:

- minimalizacja kosztów i minimalizacja czasu procesu,
- minimalizacja kosztów i maksymalizacja pokrycia obszaru geograficznego,
- minimalizacja kosztów i minimalizacja negatywnego oddziaływania na otoczenie,
- minimalizacja kosztów i minimalizacja odległości między elementami sieci.

Dobierając zestaw kryteriów cząstkowych należy pamiętać o pewnych zasadach, którymi należy się kierować. Roy zaproponował korzystanie z rodziny kryteriów, które są wyczerpujące, spójne i nie powtarzają się [9]. Zasady te rozwinął Bufardi i inni [1], zgodnie z którymi cele cząstkowe powinny być:

- kompletne, czyli uwzględniać wszystkie istotne punkty widzenia, osób lub organizacji, które mają wpływ na problem decyzyjny (inaczej wyczerpujące),
- nie powtarzające się, czyli nie powinny mierzyć tych samych zjawisk,
- pod względem liczby ograniczone do minimum, tak aby rozmiar problemu decyzyjnego był możliwie jak najmniejszy,
- operacyjne, czyli mierzalne oraz pod kątem znaczenia możliwe do zinterpretowania w analizie,
- różnicujące rozwiązania – kryteria nadające takie same wartości wszystkim alternatywnym rozwiązaniom nie powinny być brane pod uwagę.

Nie zawsze możliwe jest wyznaczenie zestawu całkowicie niezależnych kryteriów, gdyż z reguły występuje pewna współzależność między kryteriami. Powinno się wtedy wybierać te kryteria, które są ze sobą jak najmniej powiązane.

W przypadku systemów złożonych, a do takich należy sieć recyklingu, i niezależnie od tego co jest przedmiotem optymalizacji (dopasowanie infrastruktury do potrzeb, lokalizacja podmiotów, ich efektywność) trudno jest zaproponować jedno kryterium, które będzie odpowiadało wszystkim zainteresowanym stronom. Inaczej bowiem kształtują się preferencje administracji państwowej, właścicieli pojazdów, producentów samochodów czy uczestników sieci recyklingu. Rosnąca świadomość społeczeństwa oraz powszechne wdrażanie w krajach rozwiniętych koncepcji zrównoważonego rozwoju spowodowały, że projektowanie sieci recyklingu nie może odbywać się wyłącznie w oparciu o chęć podmiotów do uczestniczenia w systemie i ich indywidualny rachunek korzyści. Podmioty takie podejmują decyzje w oparciu o analizę rentowności, która nie powinna być wyłącznym kryterium decydującym o lokalizacji podmiotów sieci.

Wiele zaangażowanych stron, które są zainteresowane funkcjonowaniem sieci przekłada się na różne punkty widzenia uczestników procesu recyklingu, z których każdy stara się ekstremalizować swoją indywidualną korzyść. Wielokryterialne podejście do wspomagania decyzji zakłada minimalizację bądź maksymalizację funkcji celu złożonej z wielu kryteriów cząstkowych. Kryteria optymalizacji struktury sieci recyklingu mogą być różne w zależności od tego, z czyjego punktu widzenia będziemy oceniać sieć recyklingu. Ogólnie kryteria stosowane w optymalizacji lokalizacji podmiotów sieci recyklingu możemy podzielić trzy grupy. Pierwsza z nich obejmuje kryteria ekonomiczne związane z tworzeniem i funkcjonowaniem infrastruktury, z kosztami związanymi z przepływami materiałów w sieci oraz uzyskiwanymi przychodami. W drugiej grupie znajdują się kryteria związane z ochroną środowiska, a w trzeciej kryteria oceny jakości procesu.

Funkcje celu, które można wykorzystać w optymalizacji lokalizacji podmiotów sieci recyklingu są następujące:

Kryteria ekonomiczne

- Minimalizacja kosztów tworzenia infrastruktury - dotyczy wyłącznie nakładów początkowych na tworzenie infrastruktury sieci recyklingu (m.in. wyposażenie, budowa obiektów, koszt pozwoleń na prowadzenie działalności), nie uwzględnia natomiast kosztów związanych z funkcjonowaniem podmiotów.
- Minimalizacja kosztów odzysku samochodów wycofanych z eksploatacji (SWE) i pochodzących z nich odpadów - dotyczy kosztów działalności bieżącej związanej z procesami odzysku SWE i odpadów. Obejmuje koszty zmienne i stałe funkcjonowania podmiotów oraz koszty transportu.
- Minimalizacja całkowitych kosztów zagospodarowania SWE - kryterium zbliżone do minimalizacji kosztów odzysku, ale dodatkowo uwzględnia się w tym przypadku koszty likwidacji odpadów i tych SWE, które nie podlegają zagospodarowaniu w sieci recyklingu.
- Minimalizacja kosztów transportu pomiędzy elementami sieci - koszty transportu często stanowią barierę w odzysku wybranych elementów SWE, gdyż przychody ze sprzedaży części i odpadów nie pokrywają kosztów ich transportu pomiędzy podmiotami sieci.
- Minimalizacja kosztów przekazania SWE do sieci - o ile wszystkie wymienione wyżej kryteria minimalizacji kosztów odnoszą się albo do uczestników sieci albo do jej organizatorów, o tyle

kryterium minimalizacji kosztów przekazania SWE do sieci jest kryterium wykorzystywanym przez właścicieli pojazdów. Koszty przekazania obejmują przede wszystkim koszty transportu, ale mogą także obejmować opłaty, które są pobierane przy oddaniu pojazdu do sieci recyklingu.

- Maksymalizacja przychodów - bardzo ważne kryterium z punktu widzenia samofinansowania sieci recyklingu, gdyż wielkość generowanych przychodów ze sprzedaży części i materiałów decyduje o nakładach inwestycyjnych i wielkości kosztów całkowitych, jakie podmioty są w stanie ponieść. Do przychodów zaliczamy także pozostałe przychody niezwiązane ze sprzedażą odzyskiwanych odpadów między innymi dotacje do prowadzonej działalności. Dotacje zakłócają funkcjonowanie sektora w oparciu o mechanizm rynkowy, ale są często niezbędne do zachęcenia podmiotów gospodarczych do rozpoczęcia i prowadzenia działalności w obszarze odzysku odpadów.
- Maksymalizacja rentowności - kryterium to uwzględnia jednocześnie przychody z prowadzonej działalności i koszty całkowite prowadzonej działalności jest więc najbardziej kompleksowym kryterium ekonomicznym oceny sieci.

Kryteria środowiskowe:

- Maksymalizacja zakresu odzysku odpadów - mierzona albo ilością odpadów dostarczanych do sieci albo wskaźnikiem recyklingu i odzysku, funkcja ta może być również wskaźnikiem oceny jakości usługi, ale przede wszystkim jej maksymalizacja świadczy o zmniejszaniu ilości odpadów trafiających na składowiska.
- Maksymalizacja liczby zagospodarowanych SWE - może stanowić funkcję celu wtedy, gdy założymy, że część pojazdów może pozostawać poza systemem i w takiej sytuacji należy skierować jak największy strumień SWE do sieci recyklingu.
- Minimalizacja negatywnych oddziaływań utylizacji SWE - uwzględnia nie tylko negatywne oddziaływanie na środowisko odpadów trafiających na składowiska, ale także uwzględnia negatywne skutki czynności związanych z odzyskiem czy transportem odpadów.
- Minimalizacja zagrożeń związanych z transportem odpadów - opiera się na wdrażaniu zasady bliskości, zgodnie z którą odpady powinny być transportowane do najbliższych miejsc zagospodarowania, przez co unika się niebezpieczeństw związanych z ryzykiem wypadku w trakcie transportu oraz zapewnia w skali lokalnej infrastrukturę niezbędną do utylizacji SWE i odpadów z nich pochodzących.

Kryteria oceny jakości:

- Minimalizacja czasu realizacji procesu - w przypadku dużego strumienia SWE przydatnym może się okazać kryterium minimalizacji czasu procesu zagospodarowania SWE, przy czym kryterium to nie może być wykorzystywane jako jedyne kryterium w optymalizacji lokalizacji podmiotów sieci. Kryterium to może być natomiast wykorzystane jako jedno z kryteriów częściowych w wielokryterialnych zadaniach optymalizacyjnych.
- Maksymalizacja niezawodności procesu - niezawodność procesu może być interpretowana jako uzyskiwanie określonej jakości efektów np. w postaci danego wskaźnika odzysku czy ilości części wymontowywanych z SWE. Maksymalizacja poziomu niezawodności może być przeprowadzona przy danych lub ograniczonych zasobach, które można wykorzystać w stacjach demontażu. Podobnie jak kryterium minimalnego czasu realizacji procesu, maksymalizacja niezawodności procesu nie może być jedynym kryterium w optymalizacji lokalizacji podmiotów sieci.

3. WPLYW WYBORU FUNKCJI KRYTERIUM NA WYNIKI OPTYMALIZACJI LOKALIZACJI PODMIOTÓW SIECI RECYKLINGU

Wybrane kryteria zastosowano do optymalizacji sieci recyklingu w Polsce. Matematyczny zapis zadań optymalizacyjnych, algorytm metody rozwiązania oraz założenia do modelowania przedstawiono w pracy [8]. Do analizy wybrano kryteria minimalizacji kosztów całkowitych, maksymalizacji przychodów sieci oraz minimalizacji kosztów transportu SWE związanych z przekazaniem pojazdów do recyklingu. Przy czym to

ostatnie kryterium brane było pod uwagę jako kryterium cząstkowe obok maksymalizacji przychodów w zadaniu dwukryterialnym. Zadania rozwiązywane były dla dwóch wariantów tj. budowy sieci od podstaw oraz przebudowy istniejącej w kraju sieci.

Porównując otrzymane wyniki zadań optymalizacyjnych różnice dotyczą przede wszystkim liczby stacji demontażu oraz poziomu całkowitych kosztów funkcjonowania sieci. W zadaniach jednokryterialnych wybór funkcji kryterium (pomiędzy minimalizacją kosztów a maksymalizacją przychodów) nie wpływał w istotny sposób na uzyskane wyniki. Analizując liczbę podmiotów podstawowa różnica polega na tym, że w najlepszych rozwiązaniach dla zadań dotyczących budowy sieci otrzymano prawie o połowę mniej stacji demontażu niż w przypadku przebudowy sieci (tab.1). Przy takiej samej liczbie przetwarzanych pojazdów w sieci wpływa to na ich potencjał przerobowy. W wariantach budowy sieci od podstaw 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 wariantach przebudowy nie ma możliwości dowolnego kształtowania potencjału przerobowego stacji. Niski potencjał istniejących stacji powoduje konieczność utrzymania w sieci ponad dwukrotnie większej liczby stacji.

Tablica 1. Analiza porównawcza uzyskanych wyników dla zadań optymalizacyjnych.

	Przebudowa min kosztów	Budowa min kosztów	Przebudowa max rentowności	Budowa max rentowności
1	2	3	4	5
Liczba punktów zbierania SWE	3	0	3	0
Liczba stacji demontażu	389	178	390	177
Liczba młynów przemysłowych	14	13	13	14
Przerób SWE w stacjach demontażu	2120	4633	2115	4659
Suma kosztów funkcjonowania [mln PLN]	652 780 400	607 600 000	652 591 145	608 200 000
Suma kosztów transportu [mln PLN]	48 253 180	47 741 800	49 052 200	47 685 700
Suma kosztów całkowitych [mln PLN]	701 033 580	655 341 800	70 1643 345	655 885 700
Przychody całkowite [mln PLN]	789 312 000	788 300 000	789 745 000	788 300 000

Źródło: opracowanie własne.

Liczba młynów przemysłowych w każdym wariantcie i niezależnie od przyjętej funkcji kryterium wynosi pomiędzy 13 i 14 sztuk, chociaż w niektórych uruchomieniach aplikacji dla najlepszych wyników optymalizacji program wskazywał 12 młynów.

Dla wariantów budowy sieci od podstaw w żadnym z najlepszych rozwiązań niezależnie od funkcji kryterium nie wybrano punktów zbierania, czyli punktów pośrednich między właścicielami a stacjami demontażu, których zadaniem jest wyłącznie odbiór pojazdów. Działalność tych podmiotów generuje z punktu widzenia całości funkcjonowania sieci koszty, natomiast nie przyczynia się do zwiększenia przychodów, gdyż przychody punktów zbierania są jednocześnie kosztami stacji demontażu. W zadaniach optymalizacyjnych dla przebudowy sieci część punktów zbierania (od 3 do 6 ze 117) zostało utrzymanych, gdyż nie było w pobliżu źródeł SWE stacji demontażu z wolnymi mocami przerobowymi, a rozwiązanie musiało spełniać ograniczenia związane z odbiorem wszystkich SWE oraz nieprzekraczaniem odległości 50 km w transporcie SWE ze źródeł do miejsc oddania pojazdów.

Porównując wariant budowy sieci z wariantem przebudowy oszczędność w całkowitych kosztach funkcjonowania sieci wynosi około 50 mln rocznie, czyli około 7%. Koszty transportu kształtują się na podobnym poziomie we wszystkich rozwiązaniach. Całkowite przychody systemu pozostają na tym samym poziomie, różnica polega na strukturze przychodów i podziale pomiędzy istniejące stacje. W wariantcie budowy sieci stacji jest mniej więc przy tej samej liczbie przetworzonych w ciągu roku pojazdów całkowite przychody pojedynczych stacji będą wyższe. W wariantcie przebudowy sieci jest więcej stacji z mniejszym jednostkowym przerobem w związku z tym całkowite przychody pojedynczych stacji są niższe, mimo, że przychody całkowite w systemie pozostaną na tym samym poziomie.

W strukturze kosztów całkowitych pomiędzy 93 a 94% udziału mają koszty funkcjonowania podmiotów, przy czym niższy udział można zaobserwować dla zadań dotyczących budowy sieci (tab. 2). Transport odpadów z udziałem na poziomie 7% ma w stosunku do kosztów działalności niewielki wpływ na

całkowite koszty, a tym samym rentowność sieci. We wszystkich przypadkach główny składnik kosztów funkcjonowania stanowią koszty młynów przemysłowych, których udział wynosi od 50% do 54%.

Tablica 2. Analiza porównawcza struktury kosztów dla wyników zadań optymalizacyjnych.

Udział w kosztach całkowitych	Przebudowa min kosztów	Budowa min kosztów	Przebudowa max rentowności	Budowa max rentowności
1	2	3	4	5
<i>Koszty funkcjonowania</i>	93,1%	92,7%	93,0%	92,7%
Koszty funkcjonowania punktów zbierania	0,0%	-	0,0%	-
Koszty funkcjonowania stacji demontażu	42,7%	38,9%	42,8%	38,8%
Koszty funkcjonowania młynów przemysłowych	50,4%	53,8%	50,2%	53,9%
<i>Koszty transportu</i>	6,9%	7,3%	7,0%	7,3%

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowując przedstawione wyniki jednokryterialnych zadań optymalizacyjnych dla minimalizacji kosztów i maksymalizacji rentowności rozwiązania są zbliżone. Jest to konsekwencją tego, że całkowite przychody dla sieci się nie zmieniają, zmienia się tylko wartość przychodów przypadająca na poszczególne podmioty. Dla młynów przemysłowych całkowity przychód jest wprost proporcjonalny do ilości przetwarzanych odpadów, stąd przy niezmiennym przerobie dla całej sieci, o wysokości zysków decyduje poziom kosztów (który jest funkcją potencjału przerobowego), a nie całkowite przychody. Natomiast dla stacji demontażu przychód jednostkowy spada wraz z wielkością podmiotu (w efekcie płytszego demontażu), co oznacza, że maksymalizując przychody w wyniku optymalizacji powinniśmy otrzymywać większą liczbę stacji o mniejszym przerobie. Jednak analizując wyniki optymalizacji widać, że spadek przychodów jednostkowych związany z większą liczbą przetwarzanych SWE ma mniejszy wpływ na wyniki niż spadek jednostkowych kosztów stałych dla większego przerobu.

Ostatnią wykorzystywaną funkcją kryterium była funkcja minimalizacji kosztów dla właścicieli pojazdów. Funkcja ta była wykorzystywana w zadaniach dwukryterialnych, gdzie druga cząstkowa funkcja oceny odnosiła się do maksymalizacji rentowności dla uczestników (przedsiębiorstw) sieci recyklingu. W tabeli 3 podano wyniki optymalizacji dla zadań w których kryterium minimalizacji kosztów dla właścicieli nadano najwyższą wagę (kolumny 2 i 4). Dla porównania podano też wyniki zadań, w których najwyższą wagę nadano funkcji maksymalizacji zysków dla uczestników sieci (kolumny 3 i 5). W wariacie przebudowy sieci dolną granicę kosztów dla właścicieli pojazdów stanowi 12,1 miliona PLN. Jest to wartość kosztów oddania wycofanych z użytku pojazdów do sieci dla rozwiązania, w którym utrzymane zostaną wszystkie istniejące obecnie w kraju punkty zbierania i stacje demontażu i tym samym dostępność sieci wyniesie 806 miejsc oddania pojazdów. Rozwiązanie to gwarantuje dwukrotnie większą dostępność niż dla rozwiązania dla najwyższej wagi dla kryterium maksymalizacji korzyści dla uczestników sieci, ale poprawa wartości całkowitych kosztów przekazania SWE do sieci ponoszonych przez właścicieli wynosi niecałe 20%. Jednocześnie dla takiej gęstości sieci strata generowana przez cały system wynosi ponad 65,3 miliona PLN rocznie.

Tablica 3. Analiza porównawcza wyników dla funkcji kryterium minimalizacji kosztów dla właścicieli pojazdów.

	Przebudowa Min kosztów dla właścicieli pojazdów	Przebudowa Max zysków dla przedsiębiorstw sieci	Budowa Min kosztów dla właścicieli pojazdów	Budowa Max zysków dla przedsiębiorstw sieci
1	2	3	4	5
Całkowite zyski sieci [PLN]	-65 320 000	102 110 000	-673 373 000	147 600 000
Całkowite koszty właścicieli [PLN]	12 100 000	15 110 000	8 247 000	16 770 000
Liczba punktów zbierania	117	6	0	0
Liczba stacji demontażu	689	390	2478	177
Liczba młynów przemysłowych	14	13	14	13

Źródło: opracowanie własne.

Dla budowy sieci asymptotę pionową stanowi natomiast koszt przekazania pojazdów do sieci przy założeniu, że sieć stacji i punktów zbierania jest tak duża, że w każdej gminie będzie funkcjonował przynajmniej jeden punkt zbierania lub jedna stacja demontażu. W takiej sytuacji nie będzie kosztów zmiennych związanych z transportem, a jedynym ponoszonym przez właściciela kosztem będzie koszt stały związany z dostarczeniem pojazdu. Ten minimalny sumaryczny koszt dla właścicieli pojazdów wyniesie 8,25 miliona PLN. Obniżenie tego kosztu będzie możliwe tylko dla zmiany parametrów modelu i zmniejszeniu kosztu stałego uruchomienia transportu. Strata generowana przez sieć przy założeniu, że w każdej gminie jest stacja demontażu (dla rozwiązania z 2478 stacjami demontażu) wyniesie aż 673,4 miliona PLN.

4. PODSUMOWANIE

Najczęściej wykorzystywaną funkcją kryterium w logistyce odzysku, w tym w kształtowaniu sieci recyklingu, jest minimalizacja kosztów. Zdecydowanie rzadziej wykorzystuje się funkcję maksymalizacji zysków. Wynika to częściowo z faktu, że organizacja sieci recyklingu postrzegana jest w kategoriach minimalizacji oddziaływań środowiskowych przy jak najmniejszym obciążeniu finansowym, natomiast nie ma to być działalność nastawiona na zysk. Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe zarówno dla funkcji minimalizacji kosztów jak i maksymalizacji rentowności wykazały jednak, że uwzględnienie przychodów nie wpływa na wyniki optymalizacji. Jest to związane z tym, że przy obowiązku przetworzenia wszystkich pojazdów całkowita wartość przychodów dla sieci recyklingu jest stała stąd o maksymalizacji całkowitego zysku sieci decyduje minimalizacja kosztów.

Inne, często spotykane w logistyce, kryterium minimalizacji czasu trwania procesów nie jest w praktyce wykorzystywane w optymalizacji sieci recyklingu pojazdów, gdyż z uwagi na relatywnie niewielką podaż samochodów wycofanych z eksploatacji, czas trwania procesu odzysku nie stanowi wąskiego gardła w funkcjonowaniu sieci, a ważniejszym aspektem są kryteria ekonomiczne prowadzonej działalności. Z kolei aspekty środowiskowe ujmowane są najczęściej jako ograniczenia modelowania a nie jako funkcje kryterium. Wynika to z faktu obowiązywania w obszarze recyklingu pojazdów ściśle określonych przepisów prawa, które uniemożliwiają swobodne kształtowanie wskaźników oddziaływań środowiskowych. Zgodnie z obowiązującymi w Unii Europejskiej przepisami wszystkie wycofane z użytku pojazdy muszą zostać skierowane do sieci recyklingu, a wskaźnik odzysku musi wynieść obecnie 85%, a docelowo 95%. Nie można więc wykorzystywać jako funkcji kryterium maksymalizacji liczby zagospodarowanych pojazdów ani maksymalizacji zakresu odzysku odpadów wskaźnikiem recyklingu i odzysku.

Streszczenie

W artykule poruszono zagadnienia wyboru funkcji kryterium w modelowaniu lokalizacji przedsiębiorstw sieci recyklingu. Współcześnie coraz częściej wykorzystuje się do projektowania sieci recyklingu jedno i wielokryterialne metody wspomaganie decyzji. Jednokryterialne zadania optymalizacyjne najczęściej wykorzystują funkcję minimalizacji kosztów funkcjonowania sieci. W pewnych przypadkach trudno jest posługiwać się jedną funkcją celu z uwagi na wiele zaangażowanych podmiotów, co przekłada się na różne punkty widzenia poszczególnych uczestników procesu recyklingu, z których każdy stara się ekstremalizować swoją indywidualną korzyść. W takich przypadkach niezbędnym staje się stosowanie wielokryterialnego podejścia do wspomaganie decyzji, które zakłada minimalizację/maksymalizację funkcji celu złożonej z wielu kryteriów częściowych.

Słowa kluczowe: optymalizacja, modelowanie, funkcja oceny, sieć recyklingu pojazdów.

Optimisation criteria in vehicles recycling network location**Abstract**

The paper discusses the issue of choosing the criteria function in modeling of the vehicle recycling network entities location. Today, mono and multi criteria decision support methods are used in recycling network design. Mono criteria optimization tasks usually use the objective function that minimizes the cost of network operation. Sometimes, it is difficult to use a single objective function because of the many stakeholders involved that have different points of views and expectations towards the recycling network and each of them tries to extremize their individual benefits. In such cases, it is necessary to use multi criteria approach to decision making process which involves minimizing/maximizing the objective function composed of several partial criteria.

Key words: optimisation, modeling, objective function, vehicles recycling network.

LITERATURA

- [1] Bufardi A., Gheorghe R., Kiritsis D., Xirouchakis P.: Multicriteria decision-aid approach for product end-of-life alternative selection, *International Journal of Production Research*, vol. 42, 2004.
- [2] Chang N.B., Yang Y.C., Wang S.F.: Solid waste management system analysis with noise control and traffic congestion limitations, *Journal of Environmental Engineering*, vol.122(2), 1996.
- [3] Chanintrakul P.: Coronado Mondragon A., Lalwani Ch., Yew Wong Ch., Reverse logistics network design: a state-of-the-art literature review, *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, Vol. 1, No. 1, 2009.
- [4] Eiselt H.A., Laporte G.: *Facility Location: A survey of application and methods*, Springer, New York, 1995.
- [5] Farahani R.Z., SteadieSeifi M., Asgari N.: Multiple Criteria Facility Location Problems: A Survey, *Applied Mathematical Modelling*, vol.34, no.7, 2010.
- [6] Jacyna M.: *Modelowanie i ocena systemów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [7] Jacyna M.: *Modelowanie wielokryterialne w zastosowaniu do oceny systemów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001.
- [8] Merkisz-Guranowska A.: *Modelowanie lokalizacji podmiotów sieci recyklingu pojazdów samochodowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011.
- [9] Roy B.: *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1996.
- [10] Słowiński R.: Przegląd metod wielokryterialnego programowania liniowego. Część I. Przegląd statystyczny, tom 31, nr 1/2, 1984.
- [11] Słowiński R.: Przegląd metod wielokryterialnego programowania liniowego. Część II. Przegląd statystyczny, tom 31, nr 3/4, 1984.

Acknowledgment

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.