ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: TRANSPORT z. 58 Nr kol. 1688

Bronisław GOŁĘBIEWSKI, Włodzimierz CHOROMAŃSKI[1]

# METODA SUBOPTYMALIZACJI ROZMIESZCZENIA PRZESTRZENNEGO STACJI DEMONTAŻU WYKORZYSTYWANYCH W PROCESIE RECYKLINGU POJAZDÓW

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono metodę optymalizacji przestrzennego rozmieszczenia stacji demontażu wykorzystywanych w procesie recyklingu pojazdów. W metodzie minimalizowane są koszty transportu, demontażu i magazynowania pojazdów wycofanych z eksploatacji. Metoda zostanie oparta na algorytmach genetycznych.

# METHOD FOR SUB-OPTIMIZATION OF SPACIOUS LOCALIZATION'S OF VEHICLES DISASSEMLES STATIONS

**Summary.** This paper presents the method for sub-optimization of spacious localization's of vehicles disassemles stations. These stations are used in cars recycling. Proposed method becomes on genetic algorithm.

## 1. WPROWADZENIE

Rozpoczynając od najwcześniejszej fazy rozwoju produkcji, w której chodziło o wyprodukowanie pojazdu zdolnego do pokonywania dużych odległości bez awarii, poprzez okres gdy ważną rolę zaczęła odgrywać ekonomia a następnie bezpieczeństwo, nadeszły czasy, gdy na pierwszy plan wysunęły się: problematyka oszczędności zasobów naturalnych i pojazdy „przyjazne" dla środowiska [1]. System recyklingu w Polsce musi powstać ze względu na stale wzrastającą liczbę zarejestrowanych pojazdów.

Realizacja i wdrażanie w Polsce Punktów Odbioru Pojazdów (POP) i stacji demontażu (SDP) pojazdów wycofanych z eksploatacji (PWE) jest procesem wieloetapowym, na który składa się wiele elementów, takich jak: technologia, ekonomia, ekologia. Ogniwem łączącym te elementy jest logistyka transportu. Metoda, którą prezentujemy, opiera się na logistycznym podejściu do problemu i rozwiązaniu go proponowanym sposobem suboptymalizacji.

Rozmieszczenie stacji SDP w założonym obszarze jest procesem niewątpliwie złożonym. Składają się na to następujące elementy: wielkość obszaru, gęstość zarejestrowanych pojazdów itp. Metoda uwzględniać będzie liczbę PWE, odległości, koszty magazynowania, rozmieszczenie zakładów przetwarzających materiały motoryzacyjne.

[1] Wydział Transportu, Politechnika Warszawska, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel/fax (+48 22 6215687)

## 2. OPIS METODY S-ORPS (SUBOPTYMALIZACJI ROZMIESZCZENIA PRZESTRZENNEGO STACJI)

Przyjmuje się, iż mamy daną liczbę M miast powiatowych, w których znajdują się Punkty Odbioru Pojazdów (POP) Wycofanych z Eksploatacji (PWE). Do tych miast w rozpatrywanym obszarze Ω ostatni właściciele pojazdów oddawać będą swoje wyeksploatowane środki transportu.

Wyróżnijmy trzy poziomy. Pierwszy poziom stanowią właśnie miasta powiatowe i jednocześnie POP. Na drugim poziomie znajdują się Stacje Demontażu Pojazdów, do których będą kierowane ww. pojazdy w celu przeprowadzenia procesu demontażu. Zakłada się, iż stacje te będą znajdowały się dokładnie w miastach powiatowych, w których znajdują się POP.

Na trzecim poziomie są Zakłady Przetwórcze (ZP), do których transportowane będą odzyskane części i materiały. Przyjmijmy założenie, iż zakłady mogą być rozmieszczone również w innych miejscach niż Punkty Odbioru Pojazdów i Stacje Demontażu Pojazdów. Zadaniem metody jest takie rozmieszczenie Stacji Demontażu Pojazdów, aby koszty takich procesów, jak: transport, magazynowanie i demontaż były jak najmniejsze.

Optymalna liczba Stacji Demontażu oraz miejsce ich lokalizacji zostanie określona za pomocą zaproponowanej metody.

**Przyjęte dane wraz z założeniami:**

M – liczba miast (Punktów Odbioru Pojazdów)
i – indeks punktów odbioru pojazdów i = 1, ... M
Przyjmijmy X jako zbiór wszystkich miast w rozpatrywanym obszarze Ω:

$$X = \{X_1, X_2, X_3, \dots X_M\}$$

$Q_i$ – strumień PWE dopływający do i-tego POP-u, wyrażony w sztukach PWE.
Przyjmuje się, iż jest to zmienna losowa o wartości średniej $\overline{Q_i}$, odchyleniu standardowym $\sigma_i$ oraz rozkładzie normalnym, którego gęstość prawdopodobieństwa określona jest zależnością:

$$f(Q) = \frac{1}{\sigma_i\sqrt{2\pi}}\exp\left[\frac{-(Q-\overline{Q_i})^2}{2\sigma_i^2}\right] \tag{1}$$

Pomiędzy poszczególnymi miastami możemy określić odległości, które umieśćmy w macierzy Ls.
Ls – symetryczna macierz kwadratowa o wymiarze [M x M] zawiera minimalne wartości odległości drogowych w kilometrach wynikające z dostępności dróg kołowych.
Macierz odległości między danymi miastami jest macierzą kwadratową symetryczną:

$$Ls\,(i,j) = Ls\,(j,i) \tag{2}$$

Odległość w granicach danego miasta przyjmuje się równą zeru:

$$\underset{i}{\wedge}\ Ls\,[i,i] = 0 \tag{3}$$

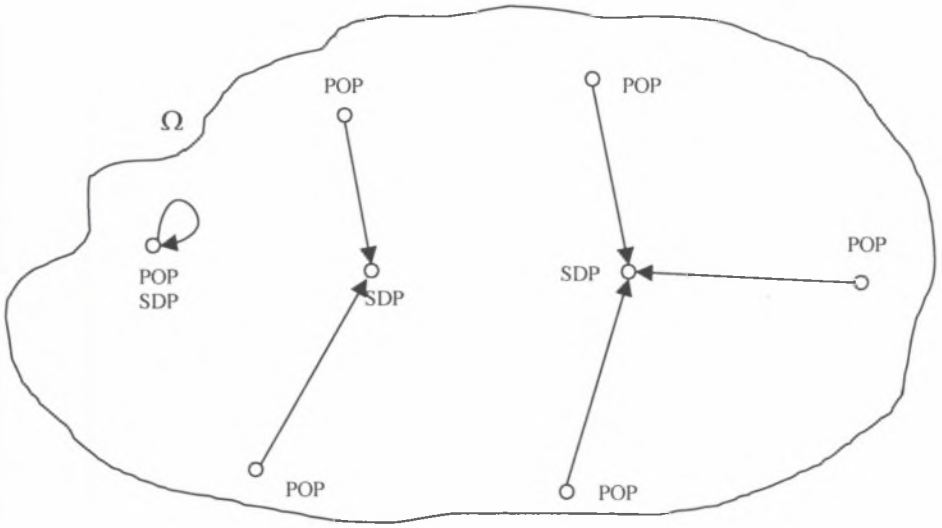
Odległości pomiędzy miastami nie przyjmują wartości ujemnej:

$$Ls\,(i,j) \geq 0 \tag{4}$$

Odległość między wybranym miastem a pozostałymi nie jest jednakowa:

$$Ls\,(i,j) \neq Ls\,(i,j+1) \tag{5}$$

$Ls_{ij}$ – odległość pomiędzy i-tym miastem, w którym znajduje się POP a j-tym miastem, w którym znajduje się SDP w obszarze Ω.




Rys. 1. Schemat przepływu pojazdów wycofanych z eksploatacji między POP a SDP
Fig. 1. Scheme of flow End of Life Vehicles from POP to SDP

N – liczba Stacji Demontażu Pojazdów {dana wstępna, która ulegać będzie zmianom i w rezultacie zostanie poddana optymalizacji}
j – indeks Stacji Demontażu Pojazdów j = 1, ... N
Liczba SDP musi zawierać się pomiędzy liczbą 1 a liczbą miast M:

$$1 \leq N \leq M \tag{6}$$

Przyjmijmy Y jako zbiór wszystkich Stacji Demontażu Pojazdów:

$$Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, \ldots\ldots\ldots\ldots Y_N\} \tag{7}$$

Zbiór Stacji Demontażu Pojazdów jest podzbiorem zbioru Punktów Odbioru Pojazdów (w SDP mieści się również POP)

$$Y \in X \tag{8}$$

$q_{ij}$ – strumień PWE płynący od i-tego POP do j-tej SDP

P – liczba Zakładów Przetwórczych
k – indeks Zakładów Przetwórczych k = 1, ... P

Przyjmijmy Z jako zbiór wszystkich zakładów przetwórczych:

$$Z = \{Z_1, Z_2, Z_3, \ldots\ldots\ldots Z_P\} \tag{9}$$

$S_{jk}$ – strumień materiałów i części płynący od j-tej SDP do k-tego ZP-ego.

W przypadku gdy Zakłady Przetwórcze nie będą położone w tych samych miastach co POP - zbiór ZP nie należy do zbioru POP ani zbioru SDP:

$$Z \notin X, \tag{10}$$

$$Z \notin Y, \tag{11}$$

należy wtedy określić odległości pomiędzy SDP a ZP, które umieszczamy w macierzy Lc.
Pomiędzy poszczególnymi miastami powiatowymi a zakładami przetwórczymi zostanie określona odległość w postaci macierzy Lc.
Lc – macierz o wymiarze [M x P] najbliższych odległości między POP-ami a ZP zawiera wartości minimalnych odległości drogowych w kilometrach wynikające z dostępności dróg kołowych.
$Lc_{jk}$ – odległość pomiędzy j-tym miastem, w którym znajduje się SDP a k-tym miastem, w którym znajduje się ZP w obszarze Ω.
Odległości pomiędzy miastami nie przyjmują wartości ujemnej:

$$Lc\,(j,k) \geq 0 \tag{12}$$

**Dane szukane:**

H[1 x M]- wektor M – elementowy, z elementami 0 i 1, w którym zakodowane są informacje o miejscach występowania SDP.
Oznaczamy miasta, w których zlokalizowane są Stacje Demontażu Pojazdów SDP jako „1" a miasta bez SDP jako „0". Powstały układ zer i jedynek będzie miał charakter potencjalnego rozwiązania zadania.
Liczba „jedynek" w wektorze H będzie poszukiwaną liczbą SDP-ów.
Miasta uszeregowane są alfabetycznie (od lewej do prawej)– znane są więc pozycje, którym odpowiadają poszczególne nazwy miast. Układ „1" jednoznacznie pokazywał będzie, w jakich miastach zlokalizowane są SDP.
„Jedynki" wyznaczać nam będą miejsca położenia SDP i do tych miast będą kierowane strumienie PWE. Skierowanie do najbliższego SDP PWE odbywa się na podstawie porównania odległości między danym miastem, w którym znajduje się POP a wszystkimi dostępnymi SDP, po czym wybierana jest odległość najmniejsza i do tej stacji trafiają PWE :

Min L(ij) dla i-tego miasta i j-tego SDP:
$i, j \quad \min L(i, j) = \min \quad \leftrightarrow \quad$ jeśli $H(j) = 1$

Jeżeli H(j) = 1, tzn. że w j-tym mieście jest SDP.
Jeżeli H(j) = 0, tzn. że w j-tym mieście nie ma SDP.

**Warunki i ograniczenia:**

Wartość strumieni nie przyjmuje wartości ujemnej:

$$Q, q, S \geq 0 \tag{13}$$

Suma strumieni wypływających z POP-ów musi być równa sumie strumieni wpływających do SDP-ów:

$$\sum_{i=1}^{M} Q_i = \sum_{j=1}^{N} q_j \tag{14}$$

Zakłada się 100 % odzysk części i materiałów w procesie demontażu PWE (0% odpadów). Suma strumieni wypływających z SDP-ów musi być równa sumie strumieni wpływających do ZP-ów:

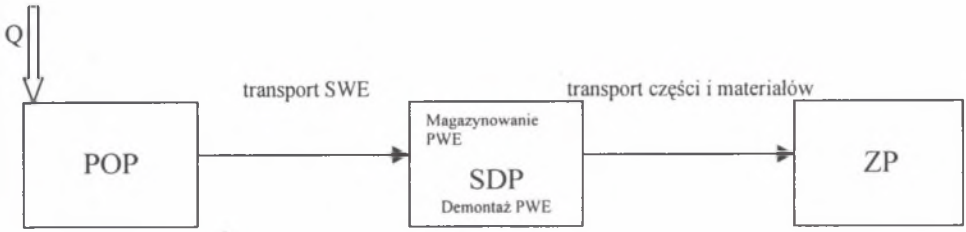
$$\sum_{j=1}^{N} q_j = \sum_{k=1}^{Z} S_k \tag{15}$$

**Założenia dodatkowe:**

- Pomijam koszt dostawy PWE od ostatniego właściciela do POP.
- Pomijam koszt magazynowania PWE w POP.
- Pomijam koszt magazynowania części i materiałów w SDP.
- Pomijam czasy transportu i demontażu.
- Rozpatrywane mogą być różnego typu pojazdy, jak np.: samochody osobowe, ciągniki rolnicze jako Pojazdy Wycofane z Eksploatacji PWE.

## 2.1. Analiza kosztów

Na koszt całkowity wszystkich procesów składają się cztery składowe kosztów:
- koszt transportu PWE z POP do SDP,
- koszt magazynowania PWE w SDP,
- koszt demontażu PWE w SDP,
- koszt transportu części i materiałów z SDP do ZP.




Rys.2. Uproszczony schemat przepływu materiałów w postaci blokowej
Fig. 2. Simple scheme of flow materials in block form

**Koszty jednostkowe rozpatrywanych procesów [3]:**

Jednostkowy koszt transportu PWE z POP do SDP - Cs. Wiadomą rzeczą jest fakt, iż im większa liczba PWE przewożona jednorazowo, tym mniejszy jest jednostkowy koszt transportu. Ma to istotne znaczenie przy transporcie kolejowym, gdy jednorazowo możemy przetransportować kilkadziesiąt pojazdów. Jednak w tym przypadku maksymalna liczba przewożonych jednorazowo pojazdów transportem drogowym wyniesie od 6 do 8 sztuk

(wynika to z możliwości ładunkowych ciągników siodłowych) – dlatego pomija się wpływ ilości przewożonych pojazdów na jednostkowy koszt transportu PWE (między POP a SDP), Cs – koszt jednostkowy jest kosztem stałym, niezależnym od wartości strumienia pojazdów.

Jednostkowy koszt magazynowania – Cm(q)

Na koszt magazynowania wpływa wiele czynników, począwszy od kosztów manipulacji związanych z przemieszczaniem towarów „do" i „od", a skończywszy na kosztach składowania. Koszt magazynowania z ekonomicznego punktu widzenia odgrywa niezmiernie ważną rolę, gdyż składowanie zwiększa użyteczność surowców w czasie oraz zwiększa stałą dostępność dla klienta. W związku z tym jest kosztem zależnym od wartości strumienia $q_j$. Funkcja zależności zostanie określona w kolejnym rozdziale pracy.

Jednostkowy koszt demontażu pojazdów - Cd(q)

Demontaż pojazdów jest najistotniejszym procesem w recyklingu pojazdów. Należy zauważyć, iż proces ten ma największy wpływ na ekologię. Zależy on nie tylko od stanu pojazdu, lecz przede wszystkim od zastosowanej technologii demontażu.
Koszt demontażu jest kosztem zależnym nieliniowo od wartości strumienia q. Funkcja zależności zostanie określona w kolejnym rozdziale pracy.

Cc – koszt jednostkowy transportu materiałów i części (między SDP a ZP) jest kosztem stałym, niezależnym od wartości strumienia S. Przyjmijmy założenie jak w przypadku Cs.

Wartość kosztów jednostkowych nie przyjmuje wartości ujemnej:

$$Cs, Cm, Cd, Cc \geq 0 \tag{16}$$

Po wybraniu miasta z SDP wg kryterium minimalnej odległości obliczany jest koszt transportu PWE z POP do wybranego SDP:

$$\mathbf{Ks(Q_i)} = (Ls(i, j)min) * \ Cs * Q_i * A, \tag{17}$$

gdzie A – współczynnik jakości drogi.

Dla danego miasta z SDP obliczana jest suma strumieni, które do niego spływają:

$$q_j = \sum_{i=1}^{M} Q_i \tag{18}$$

Na podstawie $q_j$ obliczany jest koszt magazynowania:

$$\mathbf{Km(q_j)} = \begin{Bmatrix} 0 & gdy \ q_j \leq D \\ Cm\ (q_j)*(q_j - D\ ) & gdy \ q_j > D \end{Bmatrix}, \tag{19}$$

gdzie: D – nominalna (dobowa) zdolność przetwarzania PWE w Stacji Demontażu Pojazdów.

Następnie obliczany jest koszt demontażu:

$$\mathbf{Kd(q_j)} = Cd(q_j) * q_j * E * B \tag{20}$$

gdzie: E – współczynnik ekologiczny,
B – współczynnik poziomu bezrobocia.
W procesie demontażu pojazd zostaje zdemontowany na poszczególne części i materiały. Od tego momentu przyjmijmy pojazd PWE jako masę (wyrażoną w jednostkach SI): m [kg]
Materiały zostają posegregowane wg rodzaju i skierowane do odpowiedniego ZP.
Następnie obliczany jest koszt transportu części i materiałów z danego SDP do poszczególnych ZP:

$$\mathbf{Kc(S_k)} = Cc(S_k) * S_k * Lc(j, k) * A \tag{21}$$

Funkcja celu (oceny):

$$F = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} Ks_{ij} + \sum_{j=1}^{J} Km_j(q_j) + \sum_{j=1}^{J} Kd_j(q_j) + \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=1}^{K} Kc_{jk} \rightarrow \min \tag{22}$$

Liczba i rozmieszczenie SDP ma bezpośredni wpływ na poszczególne koszty (transportu SWE , magazynowania, demontażu).
Przy założeniach, że strumień Q nie będzie duży, można pokusić się o analizę wpływu liczby SDP na rozpatrywane procesy. Im większa liczba SDP będzie znajdować się w rozpatrywanym obszarze tym:
- odległości pomiędzy nimi a POP będą mniejsze, co spowoduje zmniejszenie kosztów transportu PWE,
- wartość strumienia Q rozłoży się na dużą liczbę SDP, co spowoduje zmniejszenie kosztów magazynowania,
- wartość strumienia Q rozłoży się na dużą liczbę SDP, co spowoduje zwiększenie kosztów demontażu,
- odległości pomiędzy nimi a SDP a ZP będą mniejsze, co spowoduje zmniejszenie kosztów transportu PWE.

## 3. PODSUMOWANIE

Metoda ta pozwala analizować koszty procesu transportu, magazynowania i demontażu. Uzyskuje się wnioski dotyczące inwestowania w niektóre stacje demontażu, dążąc do zwiększenia ich przerobu i zmniejszenia obciążenia lub likwidacji niektórych innych stacji. Metoda opracowana została w formacie danych MS EXCEL, a do rozwiązania problemu lokalizacji SDP użyto Algorytmów Genetycznych [5], które idealnie nadają się do optymalizacji. AG wykonuje wielokierunkowe przeszukiwanie przez przekształcanie populacji potencjalnych rozwiązań i prowadzi do zbierania informacji genetycznej i jej wymiany między tymi kierunkami. Populacja podlega symulowanej ewolucji: w każdym następnym pokoleniu stosunkowo „dobre" rozwiązania reprodukują się, a stosunkowo „słabe" wymierają. Aby rozróżnić rozwiązania, używamy funkcji celu (oceny), która odgrywa rolę środowiska.

Na zakończenie można stwierdzić, że proponowaną metodę bardzo łatwo można zaadoptować do wszelkich obszarów takich, jak: powiat, województwo, region, kraj itd.

Ponadto wprowadzić w niej można również współczynniki, które nadawać będą metodzie charakter uniwersalny, np.: współczynnik ekologiczny, współczynnik poziomu bezrobocia które promować będą jedne lokalizacje a inne eliminować.

**Literatura**

1. Oprzędkiewicz J., Stolarski B.: Technologia i systemy recyklingu samochodów. WNT, Fundacja Książka Naukowo-techniczna, Warszawa 2003.
2. Material of The Second in Poland International Conference on Recykling of Cars PIAP, Warsow 1997.
3. Twaróg J.: Koszty logistyki przedsiębiorstw, ILiM Biblioteka Logistyka, Poznań 2003.
4. Sawwa R.: Recykling samochodów. Ekologia, Prawo, Praktyka, Perspektywy, PIAP Warszawa 2001.
5. Michalewicz Z.: Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne. WNT, Warszawa 1996.