

DYTCZAK Mirosław<sup>1</sup>  
GINDA Grzegorz<sup>2</sup>

## **ROZWIĄZANIE ZAGADNIENIA TRANSPORTOWEGO Z UWZGLĘDNIENIEM WPLYWU CZYNNIKÓW TRUDNO MIERZALNYCH**

*Przy formułowaniu i rozwiązywaniu zagadnienia transportowego uwzględnia się w ujęciu tradycyjnym jedynie czynniki o ilościowej naturze. W otoczeniu systemów transportowych występują jednak również czynniki o jakościowym charakterze, mogące istotnie wpływać na wielowymiarowe i dalekosiężne skutki podejmowanych decyzji. Odpowiadają one zwykle otoczeniu społecznemu i środowiskowemu. W celu ich właściwego uwzględnienia można odpowiednio dostosować istniejące, sprawdzone modele i sposoby rozwiązywania zagadnienia transportowego. Można w tym celu przykładowo postawić interesującą koncepcję względnego programowania liniowego, łączącego cechy programowania liniowego i analizy hierarchicznej procesów. W pracy przedstawiono zasady jej stosowania na przykładzie wybranego zagadnienia produkcyjno-transportowego.*

## **SOLUTION OF TRANSPORTATION PROBLEM INCLUDING INTANGIBLES**

*Formulation and solution of transportation problems usually involves including tangible factors only. There also appear, however, numerous substantial intangible factors, especially in the case of social and natural surroundings. They should be included during decision preparation because they can influence long-lasting multi-dimensional effects of decisions a lot. Reliable addressing of such factors requires appropriate modification of existing proven transportation problem models and solution methods. The relative linear programming, RLP, can be applied with this regard. It is based on combination of linear programming and analytic hierarchy process methodology. RLP application rules are presented in the paper. A selected instance of transportation-production problem is utilized for illustrative purposes.*

### **1. WSTĘP**

W trakcie właściwego przygotowywania współczesnych decyzji konieczne jest uwzględnianie wszystkich istotnych czynników, które mogą istotnie kształtować efekty decyzji. Jest to szczególnie istotne w przypadku zagadnień, które potencjalnie niosą za sobą

---

<sup>1</sup> Politechnika Opolska, Wydział Budownictwa; 45-061 Opole; ul. Katowicka 48. E-mail: mdytczak@gmail.com

<sup>2</sup> ATH, Wydział Nauk o Materiałach i Środowisku; 43-300 Bielsko-Biała; Plac Fabryczny 5.

E-mail: gginda@gmail.com

dalekosiężne, czasowo i przestrzennie oraz wielopłaszczyznowe skutki. Takimi problemami są niewątpliwie zagadnienia decyzyjne w transporcie. Działalność transportowa jest bowiem prowadzona w wielowymiarowym, gospodarczo-społeczno-środowiskowym otoczeniu, a infrastruktura systemu transportowego stanowi integralny element przestrzeni. W trakcie eksploatacji systemu dochodzi do licznych i złożonych interakcji między nim a otoczeniem. W celu spowodowania właściwego funkcjonowania systemu i jego elementów składowych konieczne staje się więc pełne uwzględnienie wszystkich istotnych czynników. Uwzględnienie wpływu czynników mierzalnych (łatwo mierzalnych) nie sprawia na ogół żadnych problemów. Istotne utrudnienie analiz, związanych z przygotowywaniem decyzji stanowi natomiast obecność czynników o jakościowym charakterze. Charakter takich czynników można określić jako trudno mierzalny. W praktyce opracowano szereg różnych sposobów oceny wpływu czynników trudno mierzalnych.

Do rozwiązywania zagadnień decyzyjnych w transporcie jest często wykorzystywana powszechnie znana koncepcja programowania liniowego. Korzystne wydaje się więc przystosowanie programowania liniowego do rozwiązywania problemów decyzyjnych przy uwzględnieniu wpływu czynników trudno mierzalnych. Można w tym celu użyć podobnych sposobów, jak w odniesieniu do informacji o nieprecyzyjnym i niepewnym charakterze np. rozmytego lub posybilistycznego programowania liniowego [1].

W pracy [1] zwrócono także uwagę na interesującą, lecz niedocenianą koncepcję względnego programowania liniowego WPL (ang. relative linear programming, RLP), zaproponowaną przez zespół Thomasa L. Saaty'ego [2] – twórcy metod analizy hierarchicznej procesów AHP i analizy sieciowej procesów ANP. Połączono w niej umiejętnie zalety programowania liniowego oraz AHP. Dzięki temu stało się możliwe rozwiązywanie zagadnień decyzyjnych, związanych z obecnością czynników o trudno mierzalnym charakterze przy pomocy programowania liniowego. Metoda WPL powstała z myślą o rozwiązywaniu zagadnień alokacji zasobów o mieszanej, zarówno łatwo, jak i trudno mierzalnej naturze. Do rozwiązywania zagadnień decyzyjnych w transporcie często wykorzystywana jest powszechnie znana koncepcja programowania liniowego. Wprowadzenie odpowiednich modyfikacji pozwala na zastosowanie WPL do rozwiązywania zagadnień decyzyjnych innych rodzajów. Przykładem, przedstawioną w pracy postać modelu WPL, pozwalającą rozwiązywać zagadnienie produkcyjno-transportowe.

## 2. WZGLĘDNE PROGRAMOWANIE LINIOWE

Ogólny model WPL wygląda następująco:

$$\begin{aligned} f &= {}_R \mathbf{c} \cdot \mathbf{v} \rightarrow \max \\ {}_R \mathbf{A} \cdot \mathbf{v} &\leq {}_R \mathbf{b} \\ \mathbf{v} &\geq \mathbf{0} \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:  ${}_R \mathbf{c}$  - wektor względnych współczynników funkcji celu,  
 $\mathbf{v}$  - wektor względnych zmiennych decyzyjnych,

${}_R \mathbf{A}$  - macierz relatywnych współczynników ograniczeń,

${}_R \mathbf{b}$  - wektor relatywnych wyrazów wolnych.

Charakterystyczne oznaczenie (lewy dolny indeks R) współczynników funkcji celu  ${}_R \mathbf{c}$ , macierzy ograniczeń  ${}_R \mathbf{A}$  oraz wyrazów wolnych  ${}_R \mathbf{b}$  wynika ze sposobu ich wyznaczania. Używa się bowiem w tym celu porównań parami AHP, co sprawia, że współczynniki te mają relatywny charakter. W modelu (1) używa się znormalizowanych (sumujących się do jedności) zestawów wartości współczynników funkcji celu, współczynników poszczególnych ograniczeń oraz wyrazów wolnych. Zmienne decyzyjne  $\mathbf{v}$  również mają względny charakter.

Postać ogólna (1) modelu WPL uwzględnia współistnienie zasobów łatwo mierzalnych i trudno mierzalnych. Dla przedstawienia znaczenia poszczególnych elementów składowych modelu (1) można wykorzystać zagadnienie oszacowania efektu synergii opisane w pracy [2]. Dotyczyło efektów związanych z łączeniem dwóch przedsiębiorstw produkcyjnych. Uwzględniono przy tym dwa zasoby łatwo mierzalne (budżety 2 głównych działów) oraz 2 zasoby trudno mierzalne: wizerunku marki oraz potencjału jakości produkcji. Powyższe zasoby pozwalały realizować podstawowe działania przedsiębiorstwa. Przyjęto przy tym, że działania te poświęcone są 3 obszarom: kształtowaniu rynku, innowacyjności oraz redukcji kosztów. W tym ujęciu:

1. Współczynniki  ${}_R c_j$  wyrażają strukturę udziału poszczególnych obszarów w kształtowaniu efektów działalności przedsiębiorstwa, opisanych funkcją celu.
2. Współczynniki macierzy ograniczeń  ${}_R a_{ij}$  odpowiadają jednostkowemu zapotrzebowaniu j-tego rodzaju działań na i-ty zasób.
3. Wyrazy wolne  ${}_R b_i$  wyrażają względną podaż (udział w ogólnej podaży zasobów) i-tego zasobu.

W wyniku rozwiązania przedstawionego zagadnienia otrzymuje się wskazówkę odnośnie najlepszej (pożądaney) struktury obszarów działań. Opisują ją wartości zmiennych decyzyjnych  $\mathbf{v}_j$  dedykowanych poszczególnym obszarom działań. Ponadto, w wyniku rozwiązania zagadnienia (1) można otrzymać informację o stopniu wykorzystania poszczególnych zasobów. Z zastosowaniem WPL wiąże się także możliwość wyceny zasobów trudno mierzalnych. Szczegółowe zasady wyceny opisano również w pracy [3].

Model zagadnienia WPL może również przyjmować szczególne postaci zależnie od tego, gdzie są w nim uwzględniane czynniki trudno mierzalne [3]. Mogą one być przykładowo jedynie uwzględniane w funkcji celu. Wtedy konstrukcję modelu WPL będzie odróżniać od konstrukcji tradycyjnego modelu programowania liniowego jedynie zastosowanie porównań parami AHP do wyznaczania wartości współczynników funkcji celu  $f$ :

$$\begin{aligned} f &= {}_R \mathbf{c} \cdot \mathbf{x} \rightarrow \max \\ \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} &\leq \mathbf{b} \\ \mathbf{x} &\geq \mathbf{0} \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:  $\mathbf{x}$  - wektor (bezwzględnych) zmiennych decyzyjnych,  
 $\mathbf{A}$  - macierz (bezwzględnych) współczynników ograniczeń,  
 $\mathbf{b}$  - wektor (bezwzględnych) wyrazów wolnych.

### 3. ILUSTRACJA ZASTOSOWANIA MODELU WPL W TRANSPORCIE

#### 3.1 Opis przykładowego zagadnienia

Rozważono zagadnienie transportowo-produkcyjne, związane z produkcją pewnego wyrobu w  $M=2$  zakładach. Podlega on następnie 2-etapowej dystrybucji na docelowym terenie zbytu. Wykorzystywane są przy tym magazyny (centrów dystrybucji) w liczbie  $O$ , zlokalizowane poza zakładami. Istnieje  $N$  punktów odbioru produktu przez klientów. Punkty te są zaopatrywane wyłącznie za pośrednictwem magazynów. Nabywcy mogą się zaopatrywać w produkt jedynie w punktach odbioru. Zakłady produkcyjne, centra dystrybucji i punkty odbioru mają ustalone położenie i są połączone siecią dróg.

Założono, że zagadnienie ma zbilansowany charakter, tzn. łączna wytwarzana ilość produktu w obu zakładach w rozważanym okresie czasu ( $W_i$ ) odpowiada zapotrzebowaniu klientów, sygnalizowanemu przez poszczególne punkty odbioru ( $Z_j$ ). Wynikają stąd następujące zależności między ilościami produktu oferowanymi przez poszczególne elementy sieci dystrybucji:

$$\sum_{i=1}^M W_i = \sum_{k=1}^O D_k; \quad \sum_{k=1}^O D_k = \sum_{j=1}^N Z_j \quad (3)$$

gdzie:  $D_k$  – ilość produktu zgromadzonego w  $k$ -tym magazynie:

$$D_k = \sum_{i=1}^M x_{ik} . \quad (4)$$

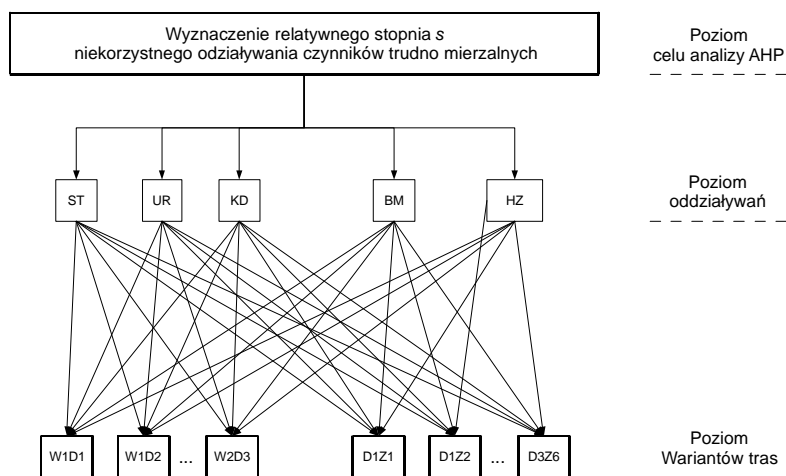
Zakłada się, że magazyny mają ograniczoną pojemność, która w przypadku  $k$ -tego magazynu wynosi  $D_k^{(\max)}$ . Wymagane minimalne wypełnienie magazynów produktem jest określone za pomocą parametru  $D_k^{(\min)}$ .

Znane są jednostkowe koszty produkcji  $p_i$  w zakładach produkcyjnych. Przewóz produktu z zakładu do magazynu jest możliwy dzięki wykorzystaniu pojedynczego połączenia (trasy) o jednostkowym koszcie transportu produktu  $c_{ik}^{(1)}$ . Dostępnych jest więc  $M \cdot O$  różnych połączeń między zakładami a magazynami. Do ich oznaczenia wykorzystano symbole producentów i magazynów np. W2D3. Podobne założenia przyjęto w przypadku transportu produktu z magazynów do punktów odbioru. Jednostkowy koszt transportu wynosi tu  $c_{kj}^{(2)}$  i istnieje  $O \cdot N$  różnych tras. W kosztach transportu uwzględniono również załadunek na środki i wyładunek ze środków transportowych.

Poza kosztami transportu wyrażonymi w jednostkach monetarnych brane są również pod uwagę trudno mierzalne efekty związane z charakterystyką tras. Można w jej ramach uwzględnić elementy związane z oddziaływaniem otoczenia na proces transportu (utrudnienia ruchu powodujące opóźnienia, stan drogi i kolizyjność ruchu wpływające na możliwość uszkodzenia pojazdu itp.) oraz procesu transportu na otoczenie (zagrożenie życia i zdrowia mieszkańców, szkodliwa emisja hałasu i zanieczyszczeń, skala zagrożeń związanych z transportem niebezpiecznych ładunków itp.). Należy przy tym zwrócić

uwagę na fakt uzależnienia intensywności wpływu od wrażliwości na niekorzystne oddziaływanie zarówno użytego środka transportowego, jego ładunku, jak i rozważanego otoczenia. Stopień nasilenia tego rodzaju niekorzystnych oddziaływań można ująć przy pomocy AHP, a w razie konieczności uwzględnienia sprzężeń między czynnikami również uogólnienia tej metody w postaci sieciowej analizy procesów ANP [4-6]. Elastyczność AHP/ANP ułatwia dostosowywanie poziomu szczegółowości oceny wpływu czynników trudno mierzalnych do faktycznych potrzeb. W przypadku bardziej wymagającej analizy można podzielić analizę na części poświęcone odrębnie trudno mierzalnym korzyściom, szczególnie kosztom oraz szansom i zagrożeniom w ramach metodyki BOCR oraz łączyć wiedzę różnych ekspertów [7]. Umożliwia to pełne uwzględnienie złożoności oddziaływań między procesem transportowym a wielowymiarowym otoczeniem. Zastosowanie AHP/ANP pozwala również na identyfikację roli i powiązań między poszczególnymi rodzajami oddziaływań trudno mierzalnych.

W rozważanym przypadku do oceny niekorzystnych aspektów użytkowania tras łączących wytwórców z centrami dystrybucji i centra z punktami odbioru przyjęto 5 trudno mierzalnych cech. Trzy pierwsze dotyczą : stanu technicznego (ST) i kolizyjności drogi (KD) oraz utrudnień w ruchu (UR). Pozostałe wyrażają stopień zagrożenia bezpieczeństwa mieszkańców wynikający z ruchu drogowego (BM) oraz wrażliwość otoczenia trasy na emisję hałasu i zanieczyszczeń (HZ). Przedstawione cechy są stymulantami z wyjątkiem cechy ST, który jest destymulantą. Postać hierarchii sterującej AHP użytej do wyznaczenia relatywnych intensywności cech trudno mierzalnych wyznaczono dzięki zastosowaniu postaci hierarchii sterującej AHP pokazanej na rys.1.

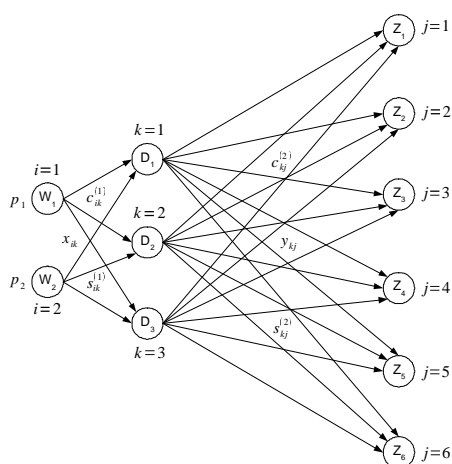


Rys.1. Przykładowa postać hierarchii sterującej AHP do wyznaczenia względnego stopnia niekorzystnego oddziaływania czynników trudno mierzalnych

Dla uproszczenia przyjęto, że stopień nasilenia niekorzystnych oddziaływań trudno mierzalnych na otoczenie i otoczenia na proces transportu jest, podobnie jak koszt transportu, wyrażony w odniesieniu do jednostki produktu przewożonego na danej trasie.

Wynosi on odpowiednio:  $s_{ik}^{(1)}$  w przypadku trasy między  $i$ -tym producentem a  $k$ -tym magazynem oraz  $s_{kj}^{(2)}$  dla trasy między  $k$ -tym centrum dystrybucji a  $j$ -tym punktem odbioru produktu.

Postać sieci dystrybucji związanej z powyższym zagadnieniem przedstawiono na rys.2. Rozwiązanie zagadnienia polega na takim doborze wielkości przewozów na poszczególnych trasach z zakładów produkcyjnych do centrów dystrybucji ( $x_{ik}$ ) oraz z centrów do punktów odbioru ( $y_{kj}$ ), aby zaspokoić potrzeby odbiorców jak najniższym kosztem  $F$  oraz jak przy najniższym stopniu niekorzystnego oddziaływania czynników trudno mierzalnych  $G$ .



Rys.2. Przyjęta postać sieci transportowej

### 3.2 Model

Przyjęte kryteria optymalizacji: kosztu i trudno mierzalnych charakterystyk tras można traktować jako uogólnione koszty produkcji i transportu. Dzięki odniesieniu obu rodzajów kosztów do jednostkowej ilości transportowanego produktu całkowite koszty finansowe ( $F$ ) i trudno mierzalne ( $G$ ) produkcji i transportu wynoszą:

$$F = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^O (p_i + c_{ik}^{(1)}) \cdot x_{ik} + \sum_{k=1}^O \sum_{j=1}^N c_{kj}^{(2)} \cdot y_{kj}; \quad G = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^O s_{ik}^{(1)} \cdot x_{ik} + \sum_{k=1}^O \sum_{j=1}^N s_{kj}^{(2)} \cdot y_{kj}. \quad (5)$$

Oba rodzaje uogólnionych kosztów są jednak rozliczane przy pomocy różnych jednostek: koszty finansowe w jednostkach monetarnych, natomiast trudno mierzalne charakterystyki tras, wskutek zastosowania metody AHP/ANP do określenia ich poziomów - w jednostkach bezwymiarowych. Różnice w sposobie wyrażania kosztów finansowych i trudno mierzalnych może również skutkować zróżnicowaniem rzędu

i wartości obu kryteriów. W celu ujednoczenia skal obu kryteriów można wykorzystać odniesienie ich wartości  $F$  i  $G$  (5) do przedziałów ich zmienności:

$$F \in [F_{\min}, F_{\max}]; \quad G \in [G_{\min}, G_{\max}] \quad (6)$$

Granice tych przedziałów otrzymano dzięki jednokryterialnej optymalizacji rozważanego zagadnienia. Wykorzystano przy tym zestawy ograniczeń, bilansujących zagadnienie (3), a także ograniczenia popytowe i podażowe:

$$W_i = \sum_{k=1}^O x_{ik}; \quad D_k = \sum_{i=1}^M x_{ik}; \quad D_k = \sum_{j=1}^N y_{kj}; \quad Z_j = \sum_{k=1}^O x_{kj} \quad (7)$$

Oczywiście przepływy produktu mają ukierunkowany charakter, a więc odpowiada im nieujemna ilość przesyłanego towaru:

$$x_{ik} \geq 0; \quad y_{kj} \geq 0. \quad (8)$$

W przypadku szacowania dolnej granicy przedziału kosztu  $F$  wykorzystywane jest kryterium  $F \rightarrow \min$ , a dolnej granicy wpływu czynników trudno mierzalnych:  $G \rightarrow \min$ . Górne granice obu kryteriów odpowiadają oszacowanemu stopniowi wpływu  $G$  i finansowemu kosztowi  $F$ , otrzymanym odpowiednio przy jednokryterialnej minimalizacji kosztu  $F$  oraz wpływu czynników trudno mierzalnych  $G$ .

Dzięki wyznaczeniu granic przedziałów (6) można odpowiednio ujednoczyć kryteria optymalizacji. Posłużono się w tym celu liniowymi formułami unitaryzacji zerowanej [8], uzyskując następujące postacie funkcji kryteriów:

$$f = \frac{F - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}}; \quad g = \frac{G - G_{\min}}{G_{\max} - G_{\min}}. \quad (9)$$

Względny wpływ poszczególnych kryteriów uwzględniono w sposób charakterystyczny dla modeli WPL – dzięki zastosowaniu pojedynczej funkcji celu. Użyto w tym celu pary znormalizowanych wag,  $w_1$  i  $w_2$ , wyrażających relatywne znaczenie kryteriów:

$$w_1 + w_2 = 1. \quad (10)$$

Dzięki zastosowaniu porównań parami AHP można ustalić wartości wag, wyrażające wymagania sformułowane lingwistycznie np. dużej przewadze kryterium finansowego odpowiada zestaw wag  $w_1=0,875$  oraz  $w_2=0,125$ .

Pełna postać odpowiednio zmodyfikowanego programu WPL przedstawia się więc następująco:

$$\begin{aligned}
 & w_1 \cdot f + (1 - w_1) \cdot g \rightarrow \min \\
 & W_i = \sum_{k=1}^O x_{ik}; \quad D_k = \sum_{i=1}^M x_{ik}; \quad D_k = \sum_{j=1}^N y_{kj}; \quad Z_j = \sum_{k=1}^O x_{kj} \\
 & \sum_{i=1}^M W_i = \sum_{k=1}^O D_k; \quad \sum_{k=1}^O D_k = \sum_{j=1}^N W_j \\
 & D_k \geq D_k^{(\min)}; \quad D_k \leq D_k^{(\max)} \\
 & x_{ik}, y_{kj} \geq 0
 \end{aligned} \tag{11}$$

Zastosowanie ważonej postaci funkcji celu pozwala również na przeprowadzanie analizy wrażliwości uzyskiwanych rozwiązań zagadnienia na zmiany relatywnego poziomu znaczenia kryteriów. Analiza ta służy identyfikacji różnych zestawów wartości ogólnego kosztu produkcji i dystrybucji produktu oraz trudno mierzalnych cech wybranych tras. Dzięki takiej informacji decydent może dokonać świadomego wyboru, realizując kompromis między kosztem dystrybucji a niekorzystnymi trudno mierzalnymi cechami wykorzystanych tras.

### 3.3 Przykładowe obliczenia

Przykładowe zagadnienie wiąże się z produkcją i przesłaniem do odbiorców 2625 t pewnego produktu. W tab.1 zestawiono podstawowe wartości parametrów modelu (11).

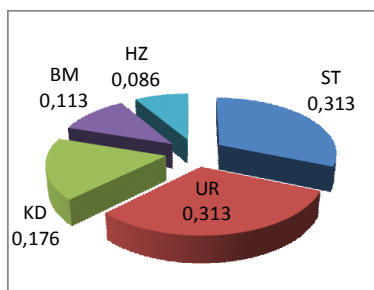
Tab. 1. Wielkość i koszty produkcji, ograniczenia magazynów oraz zapotrzebowanie

|                                  |                         |                         |                         |                         |                         |                         |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Zakład <math>i</math></b>     | <b><math>W_1</math></b> |                         | <b><math>W_2</math></b> |                         |                         |                         |
| $W_i, t / p_i, \text{zł/t}$      | 1200 / 1050             |                         | 1425 / 950              |                         |                         |                         |
| <b>Magazyn</b>                   | <b><math>D_1</math></b> |                         | <b><math>D_2</math></b> |                         | <b><math>D_3</math></b> |                         |
| $D_k^{(\min)} / D_k^{(\max)}, t$ | 500/1000                |                         | 550/1100                |                         | 450/900                 |                         |
| <b>Punkt odbioru</b>             | <b><math>Z_1</math></b> | <b><math>Z_2</math></b> | <b><math>Z_3</math></b> | <b><math>Z_4</math></b> | <b><math>Z_5</math></b> | <b><math>Z_6</math></b> |
| $Z_j, t$                         | 470                     | 400                     | 500                     | 425                     | 480                     | 350                     |

Jednostkowe koszty transportu  $c_{ik}^{(1)}$  wahają się od 286 zł/t do 468 zł/t, zaś  $c_{kj}^{(2)}$  - od 324 zł/t do 594 zł/t. Zestawiono je w tab.2.

Wartości stopnia wpływu trudno mierzalnych cech tras ustalono na podstawie analizy AHP przy zastosowaniu hierarchii sterującej z rys.1. Uzyskaną strukturę znaczenia cech przedstawiono na rys.3.





Rys.3. Znormalizowane wartości wag znaczenia czynników trudno mierzalnych

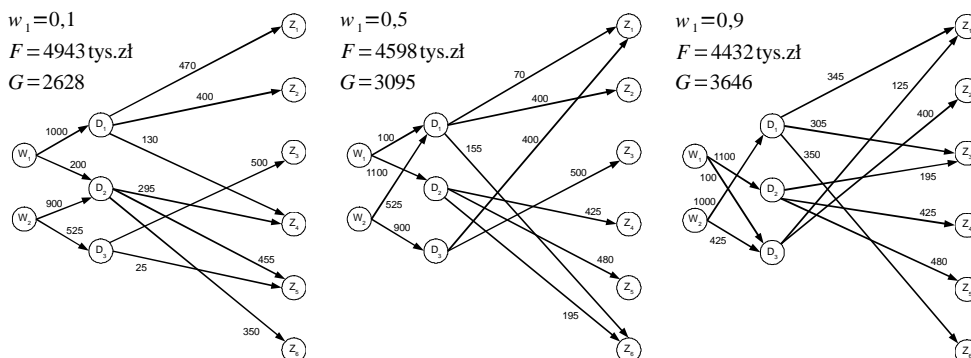
Na tej podstawie wyrażono dla poszczególnych tras względny wpływ cech trudno mierzalnych. Wartości odpowiednich wskaźników zestawiono w tab.2.

Tab. 2. Wartości parametrów  $c$  (zł/t) i  $s$  (-/t) tras

| Trasa | W1D1       | W1D2       | W1D3       | W2D1       | W2D2       | W2D3       |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| c/s   | 448/0,3341 | 286/0,7877 | 383/0,8290 | 276/0,7378 | 468/0,6773 | 419/0,5365 |
| Trasa | D1Z1       | D1Z2       | D1Z3       | D1Z4       | D1Z5       | D1Z6       |
| c/s   | 559/0,4731 | 515/0,3555 | 369/1,0000 | 594/0,5866 | 386/0,8441 | 355/0,8817 |
| Trasa | D2Z1       | D2Z2       | D2Z3       | D2Z4       | D2Z5       | D2Z6       |
| c/s   | 517/0,5288 | 468/0,4424 | 327/0,5031 | 419/0,4954 | 325/0,6343 | 412/0,4861 |
| Trasa | D3Z1       | D3Z2       | D3Z3       | D3Z4       | D3Z5       | D3Z6       |
| c/s   | 441/0,5615 | 324/0,6791 | 425/0,3583 | 425/0,7915 | 368/0,8123 | 504/0,7389 |

W wyniku obliczeń, przeprowadzonych przy założeniu 3 zasadniczych przypadków: przewagi znaczenia czynników trudno mierzalnych, równości znaczenia obu kryteriów oraz przewagi kryterium finansowego, uzyskano 3 unikalne, sprawne zestawy wyników. Otrzymane rozwiązania różnią się znacząco one nie tylko strukturą wykorzystywanych tras i ilością przewożonych za ich pośrednictwem produktów, ale również poziomami kosztów finansowych i trudno mierzalnych. Skalę tych różnic ilustruje rys.4, na którym przedstawiono ilości towaru przesyłanego poszczególnymi trasami oraz zestawy wartości składowych funkcji celu  $F$  i  $G$  (5).

W ten sposób decydent uzyskuje możliwość wyboru struktury przesyłania produktów dającej większe oszczędności finansowe, niższy poziom oddziaływania czynników trudno mierzalnych (i związanego z nimi ryzyka) lub struktury realizującej kompromis między różnymi rodzajami kosztów.



Rys.4. Ilustracja zróżnicowania uzyskanych rezultatów

#### 4. WNIOSKI

Uniwersalny charakter WPL pozwala na rozwiązywanie zróżnicowanych problemów decyzyjnych i to nie tylko tych, do rozwiązania których są tradycyjnie stosowane modele programowania liniowego. Dzięki elastyczności nadaje się ono do wspomaganie decyzji pojawiających się na różnych poziomach zarządzania: od operacyjnego aż po strategiczny. Potencjał metody sprawia więc, że stanowi ona interesujące narzędzie wspomaganie decyzji w transporcie. Potwierdza to przedstawiony przykład jej zastosowania do rozwiązywania zagadnienia transportowego.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dytczak M., Ginda G.: Programowanie liniowe z czynnikami trudno mierzalnymi, *Zeszyty Naukowe WSB we Wrocławiu*, nr 18/2010, s.115-135.
- [2] Saaty T.L., Vargas L.G., Dellmann K.: The allocation of intangible resources: the analytic hierarchy process and linear programming, *Socio-Economic Planning Sciences*, 2003, 37(3):169-184.
- [3] Dytczak M., Ginda: Efekt synergii na przykładzie fuzji podmiotów gospodarczych z niemierzalnymi zasobami, *Zeszyty Naukowe WSB we Wrocławiu*, 2011, nr 20.
- [4] Saaty T.L.: *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill, New York 1980.
- [5] Saaty T.L.: *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, RWS, Pittsburgh 1996.
- [6] Dytczak M.: *Wybrane metody rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych w budownictwie*, Politechnika Opolska, Opole 2010.
- [7] Dytczak M., Ginda G.: Benefits and costs in selecting fuel for municipality heating systems with the Analytic Hierarchy Process, *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 2006, 15(2):165-177.
- [8] Kukuła K.: *Metoda unitaryzacji zerowanej*, PWN PWN, Warszawa 2000.