

Katarzyna STUDZIŃSKA¹

ZAŁOŻENIA POLIOPTYMALIZACJI PROCESU OCENY EFEKTÓW ZADAŃ BADAWCZYCH PROJEKTU „CARAVEL” NA RZECZ ZRÓWNOWAŻONEJ MOBILNOŚCI

Streszczenie. Artykuł ukazuje sposoby poprawy sytuacji komunikacji zbiorowej w Krakowie w nawiązaniu do celów i zadań projektu badawczego CARAVEL - „Ku nowym sposobom podróżowania”. Projekt ten jest wykonywany w ramach Szóstego Programu Ramowego Program CIVITAS „Czystszy i lepszy transport w miastach”. Koordynatorem całego projektu jest miasto Genua. W Krakowie w projekcie CARAVEL udział biorą: Urząd Miasta Krakowa, Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne SA oraz Politechnika Krakowska - Katedra Systemów Komunikacyjnych, będąca bezpośrednim realizatorem zadań badawczych. W Ramach projektu jest do zrealizowania 17 zadań. Politechnika Krakowska jest realizatorem 3 zadań oraz jest odpowiedzialna za ocenę efektów wprowadzanych zadań. W artykule zostały przedstawione cele, zadania realizowane przez Kraków oraz sposoby oceny efektów zadań badawczych projektu CARAVEL. Wyjaśniono najważniejsze pojęcia związane z zagadnieniami polioptymalizacji, ukazano zasady oraz możliwości zastosowania polioptymalizacji do oceny efektów wprowadzanych zmian w zakresie obsługi transportowej na przykładzie zadań projektu CARVEL. Na podstawie różnych metod oceny sytuacji pokazano, że można przedstawić idealną sytuację efektów każdego z zadań, w których dążymy do stworzenia zrównoważonej mobilności.

ASSUMPTION FOR POLIOPTIMIZATION IN THE ASSESMENT OF RESEARCH MEASURES WITHIN „CARAVEL” PROJECT IN THE FRAME OF SUSTAINABLE MOBILITY

Summary. The paper describes methodology of improvements' of the Public Transport situation in Krakow based on research project CARAVEL – “Traveling towards a new mobility”. This project is conducted within 6th Framework Programme - Programme CIVITAS – “Cleaner and better transport in cities”. A coordinator of whole project is Genua city. There are few CARAVEL project's participants in Krakow: Municipality of Krakow (Urząd Miasta Krakowa - UMK), Public Transport Operator (Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne SA - MPK) Krakow University of Technology – Chair of Transportation System (Politechnika Krakowska - PK – Katedra Systemów Komunikacyjnych). Krakow University of Technology is responsible for the research measures. 17 measures need to be realized within framework of the project. Krakow University of Technology carries out 3 measures and is responsible for evaluation of implemented measures. The article describes aims and measures realized by Krakow and evaluation of implemented measures within CARAVEL project. There are presented explanations of the main issues connected with

¹ Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel./fax (+48 12) 628 21 78 / (+48 12) 628 25 35, kasiast@transys.wil.pk.edu.pl, sfp@transys.wil.pk.edu.pl

polioptymization problems, rules and possibly applying of polioptymization for evaluation in transport. On the basis of different methods of assessment, the possibility of optimal results of each measure was described.

1. WPROWADZENIE

Transport miejski pełni funkcje wzmacniające poczucie więzi ludzkich, zaspokaja potrzeby wynikające z mobilności mieszkańców. Władze państwowe i samorządowe starają się zapewnić obywatelom jak najlepsze możliwości dojazdu do miejsc pracy, nauki i innych, w których ludzie mają obowiązek lub potrzebę przebywać. Jakość świadczonych usług w publicznym transporcie pasażerskim odgrywa bardzo ważną rolę. Ważne jest, aby klienci byli zadowoleni i usatysfakcjonowani jakością wykonywanych usług.

Do oceny realizacji obsługi transportowej wykorzystuje się wiele metod, najczęściej są to metody obserwacji. Wiele informacji mogą dostarczyć badania sondażowe oraz różne sposoby modelowania ruchu. Oceny funkcjonowania komunikacji zbiorowej można również dokonać stosując metody optymalizacji.

2. ZADANIA BADAWCZE PROJEKTU „CARAVEL” – „KU NOWYM SPOSOBOM PODRÓŻOWANIA”



Sposoby oceny efektów funkcjonowania komunikacji zbiorowej mogą być wykorzystane w zadaniach badawczych projektów unijnych. Jednym z najważniejszych instrumentów unijnych wspierających badania jest 6 Program Ramowy, który jest głównie ukierunkowany na badania służące wzmocnieniu nauki i technologii. Program CIVITAS II – „Czysty i lepszy transport w miastach” jest jedną z inicjatyw 6 Programu Ramowego. W ramach programu CIVITAS II Kraków, Genua, Burgos i Stuttgart zyskały dofinansowanie UE do nowatorskiego projektu CARAVEL - „Ku nowym sposobom podróżowania”. Projekt rozpoczął się 1.02.2005 roku, będzie trwał cztery lata, a koordynatorem całego projektu jest miasto Genua. W Krakowie w projekcie CARAVEL udział biorą: Urząd Miasta Krakowa, Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne SA oraz Politechnika Krakowska - Katedra Systemów Komunikacyjnych, będąca bezpośrednim realizatorem zadań badawczych.

Celem programu jest wdrażanie innowacyjnych strategii transportowych oraz rozprzestrzenianie wiedzy w zakresie podróżowania, realizującego postulat zrównoważonego transportu. Głównym celem programu Civitas jest promocja i wdrożenie zrównoważonego, czystego i efektywnego transportu miejskiego, wdrożenie i testowanie realnych zmian poprzez zintegrowane pakiety technologiczne i strategię z zakresu energii i transportu w 8 obszarach badawczych, które dotyczą nowych form użytkowania i własności pojazdów, stylu życia ograniczającego korzystanie z samochodu, wskazuje nowe koncepcje dystrybucji ładunków, innowacyjnych ‘miękkich’ środków kierowania potrzebami mobilności oraz ma na celu integrację systemów zarządzania transportem i związanych z nimi obsługą informacyjną.

Cele projektu CARAVEL:

- Oparcie zużywanej energii w coraz większej skali na zasobach odnawialnych.
- Zmniejszenie zatłoczenia, hałasu, zanieczyszczeń powietrza.
- Poprawa zdrowia oraz jakości życia wszystkich mieszkańców.
- Zapewnienie bezpiecznego i równoprawnego dostępu do pracy, edukacji i innych usług.
- Uzyskanie społecznej akceptacji dla idei mobilności realizującej postulaty zrównoważonego transportu.

- Wspomaganie trwałego rozwoju gospodarczego.
- Zmniejszenie ekologicznych skutków „brzemienia mobilności”.
- Szczególna troska o potrzeby niepełnosprawnych obywateli.
- Badanie i ocena wdrażanych zintegrowanych strategii zrównoważonego przemieszczania się w terenach miejskich.

W ramach projektu CARAVEL miasto Kraków jest odpowiedzialne za realizację siedemnastu zadań – Katedra Systemów Komunikacyjnych Politechniki Krakowskiej za realizację trzech zadań oraz ocenę efektów wszystkich zadań.

Wdrażane zadania:

- 1) Proces przechodzenia do ekologicznych pojazdów.
- 2) Zintegrowana strategia kontroli dostępu do centrum Krakowa oraz egzekwowania ograniczeń dostępu.
- 3) Korytarze szybkiego i ekologicznego podróżowania w Krakowie.
- 4) Oferta usługi przewozowej, dostosowującej się do bieżących potrzeb.
- 5) Nowe formy mobilności związane z wypoczynkiem mieszkańców.
- 6) Zintegrowany system biletowo-taryfowy komunikacji miejskiej.
- 7) Plan działań dla poprawy bezpieczeństwa transportu publicznego.
- 8) System dzielenia się miejscem w samochodzie („carpooling”).
- 9) Opcjonalne rozwiązania współkorzystania z samochodów („carsharing”).
- 10) Korzystanie z rowerów publicznych.
- 11) Nowy plan przewozu i dystrybucji towarów w centrum.
- 12) Marketing na rzecz zrównoważonej mobilności mieszkańców.
- 13) Forum Mobilności w Krakowie.
- 14) Zintegrowany plan mobilności dla Politechniki Krakowskiej.
- 15) Centrum Monitoringu Bezpieczeństwa Drogowego i Zapobiegania Wypadkom.
- 16) Platforma informacyjna dotycząca transportu, w tym podróżowania w Krakowie.
- 17) System priorytetów w ruchu dla pojazdów transportu publicznego.

Katedra Systemów Komunikacyjnych Politechniki Krakowskiej realizuje następujące zadania:

- System dzielenia się miejscem w samochodzie („carpooling”).
- Zintegrowany plan mobilności dla Politechniki Krakowskiej.
- System priorytetów w ruchu dla pojazdów transportu publicznego.

Wdrażane zadania stawiają wielkie wyzwanie dla Krakowa. Obecna sytuacja w Krakowie przedstawia się następująco:

- duże zatłoczenie na ulicach Krakowa - wiele niedogodności wynikających ze strat czasu, słabej dostępności, braku punktualności środków komunikacji zbiorowej,
- duże zanieczyszczenie powietrza, wysoki poziom hałasu emitowany przez transport drogowy – źle wpływają na zdrowie mieszkańców oraz zabytkową zabudowę miasta,
- wysoka liczba wypadków, kolizji drogowych – np. w 2005 r. – miało miejsce 11390 kolizji i wypadków drogowych, w których 1624 osoby zostały ranne i 39 osób zabitych [1],
- brak wystarczającej ilości miejsc parkingowych – parkowanie w niedozwolonych miejscach.

Jednym z ważnych elementów wchodzących w skład całego projektu jest aspekt oceny poszczególnych zadań oraz oceny efektów w skali całego miasta, za co jest odpowiedzialna Politechnika Krakowska. Sprowadza się to do czynnego uczestnictwa w ocenie każdego z zadań poprzez opracowanie, wdrożenie zasad oceny, kontrolę realizacji procesu oceny oraz syntetyzowanie wyników oceny. W ramach tego zadania został opracowany zestaw wskaźników, pozwalających oceniać efekty wprowadzenia działań. Ocena obejmuje analizę

sytuacji przed wdrożeniem zadania i po jego wdrożeniu oraz opracowanie scenariusza „nic nie robić”, czyli przedstawienie sytuacji, w której nie wprowadzono by żadnych zmian poprawiających obecną sytuację. Celem oceny efektów zadań jest ponadto oszacowanie korzyści, które byłyby możliwe do uzyskania w innych miastach oraz przekazanie doświadczeń.

Wprowadzone działania zapewnią poprawę jakości, wydajności usług transportu publicznego, doprowadzą do istotnych zmian w zakresie podziału zadań przewozowych oraz zmniejszą zatłoczenie motoryzacyjne na ulicach miasta.

Pomocnymi narzędziami służącymi do wyznaczenia wskaźników są: badania ankietowe, pomiary bezpośrednie, modelowanie ruchu, np. wykorzystanie programu VISUM i VISSIM oraz wykorzystanie metod optymalizacji. Metody te pozwolą na ocenę sytuacji zarówno przed, jak i po wdrożeniu wcześniej wspomnianych zadań. Wiele problemów związanych z komunikacją zbiorową można łatwo rozwiązać za pomocą metod optymalizacji. Dla każdego zadania stworzono zbiór wskaźników odnoszących się do:

- Środowiska: poziom emisji i koncentracji spalin CO, CO₂, NO_x, poziom hałasu.
- Społeczności: poziom świadomości, akceptacji proponowanych innowacji, postrzeganie dostępności transportu publicznego, bezpieczeństwo w podróży.
- Transportu: bezpieczeństwo jazdy, niezawodność i jakość usług transportowych, poziom zatłoczenia jezdni i wewnątrz autobusu lub tramwaju, średnia prędkość przejazdu w szczycie i poza szczytem, usprawnienie przewozu towarów itp.
- Energii: zużycie energii.
- Ekonomii: koszty eksploatacyjne i taryfowe, przychody przewoźnika i koszt jednego kilometra przejazdu itp.

3. POLIOPTYMALIZACJA W OCENIE EFEKTÓW ZADAŃ BADAWCZYCH

Przy rozwiązywaniu problemów związanych z komunikacją zbiorową oraz w życiu codziennym często napotykamy na sytuacje, w których musimy zdecydować o wyborze najlepszego rozwiązania danego problemu i zastanowić się, któremu kryterium powinniśmy dać pierwszeństwo ze względu na jakość rozwiązania. Różne kryteria jakości zachowują się przy tym z reguły przeciwstawnie. Takimi przeciwstawnymi kryteriami mogą być np. koszty związane z komunikacją zbiorową, czas podróży komunikacją zbiorową i jakość świadczonych usług.

Należy wypracować pewien kompromis pomiędzy wszystkimi kryteriami (należy się zastanowić, któremu kryterium należy dać pierwszeństwo przed innymi). W celu rozwiązania tego typu problemów pomocne jest zastosowanie zagadnień optymalizacji (jednokryterialnej i wielokryterialnej).

Pierwszym ważnym krokiem, jaki należy poczynić przy zagadnieniach związanych z optymalizacją, jest określenie celów (sformułowanie kryteriów oraz stworzenie funkcji celu-jednej lub kilku zmiennych). Kryterium optymalizacyjne jest podstawowym pojęciem optymalizacji, za pomocą którego dokonujemy porównania poszczególnych rozwiązań. Kryterium optymalizacyjne jest wybierane w początkowej fazie projektowania. Kryterium wyrażone w języku matematyki jest nazywane funkcją celu [2].

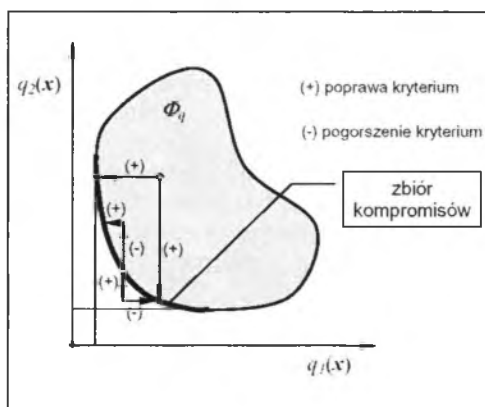
Można stworzyć pewien model matematyczny do procesu optymalizacji, składający się:

- z funkcji celu lub zbioru funkcji celów - matematyczny zapis kryterium optymalizacyjnego (przykładowymi funkcjami celu mogą być: funkcja kosztu $q_1(x)$, czasu podróży $q_2(x)$),

- ze zbioru zmiennych decyzyjnych (np. zalecana prędkość ruchu, wielkość kosztów systemu dispatching, ilość taboru przekazywanego do ruchu itp.),
- ze zbioru ograniczeń (warunki ograniczające, obszar rozwiązań dopuszczalnych).

Możliwe rozwiązania zadania optymalizacyjnego możemy sklasyfikować jako **zdominowane** i **niedzdominowane** (zbiór wszystkich rozwiązań niezdominowanych nazywamy zbiorem kompromisów - paretooptymalne – *ang. Pareto optimal*).

Rozwiązanie x jest zdominowane, jeśli istnieje dopuszczalne rozwiązanie y nie gorsze od x (dla każdej funkcji celu). W przeciwnym wypadku jest to rozwiązanie niezdominowane. Rysunek 1 pokazuje zbiór rozwiązań kompromisowych, jakie możemy uzyskać pomiędzy dwoma kryteriami (np. kosztu $q_1(x)$ i czasu $q_2(x)$).



Rys. 1. Zbiór rozwiązań niezdominowanych – [3]

Fig. 1. A set of none dominated solutions – [3]

Za pomocą takiego narzędzia oceny efektów zadań jak polioptymalizacja w projekcie CARAVEL możemy dokonać oceny wielu zadań. Polioptymalizacja może być wykorzystana niemalże w każdym zadaniu. Wymaga to oczywiście stworzenia odpowiednich funkcji celu i ich równoczesnej optymalizacji. Funkcje celów zostaną stworzone za pomocą wcześniej zdefiniowanych wskaźników oceny danego zadania. Weźmy pod uwagę zadania, za których realizację jest odpowiedzialna Politechnika Krakowska. Problem, jaki może zostać przedstawiony, dotyczy usprawnienia transportu publicznego na wybranym korytarzu transportowym w Krakowie w ramach zadania: System priorytetów w ruchu dla pojazdów transportu publicznego. W Krakowie istnieją wydzielone pasy ruchu dla autobusów i tramwajów, ale niewiele jest skrzyżowań, na których pojazdy transportu publicznego traktowane są priorytetowo. W zakresie programu CARAVEL Urząd Miasta Krakowa przetestuje w wybranych przez Politechnikę Krakowską korytarzach (w tym wykorzystywanych dla dojazdów do obiektów Uczelni) system zarządzania pojazdami komunikacji zbiorowej, co zagwarantuje pierwszeństwo ruchu i odpowiednią jakość usług. Wprowadzenie systemu priorytetów dla transportu zbiorowego na skrzyżowaniach oraz sterowania dyspozytorskiego powinno zapewnić poprawę jakości i wydajności usług transportu publicznego, skrócenie czasu wykrywania i likwidacji skutków wypadków lub awarii pojazdów.

Korzystając z metod optymalizacji wielokryterialnych, można stworzyć jak najlepsze warunki podróży komunikacją zbiorową na wybranym korytarzu. Należy sformułować listę wskaźników: obniżenie czasu podróży, procent redukcji kosztów, procent redukcji potrzebnego czasu na likwidację skutków awarii i wypadków, procent wzrostu popytu na

przewozy, procent redukcji na zapotrzebowanie taboru, wydajność paliwa, postrzeganie dostępności komunikacji zbiorowej, wskaźnik punktualności, regularności, wskaźnik komfortu, obniżenia czasu podróży komunikacji zbiorowej, średniej prędkości pojazdów w godzinach szczytu i poza godzinami szczytu oraz wskaźnik średniegoapełnienia pojazdu pasażerami.

Należy się zastanowić nad tym, co chcemy osiągnąć w wyniku optymalizacji, np. wszystkie wcześniej wspomniane wskaźniki pogrupowano w 3 główne kryteria: kryterium kosztu utrzymania linii, czasu podróży komunikacją zbiorową oraz jakości świadczonych usług. W wyniku optymalizacji w tym przypadku dążymy do stworzenia takiego rozwiązania, aby koszt był jak najniższy, czas jak najkrótszy, a jakość jak najlepsza.

Kolejnym krokiem jest określenie zmiennych decyzyjnych danego problemu, jaką decyzję możemy podjąć: np. w jakim czasie daną trasę ma pokonać autobus danej linii, jakie przystanki ma obsłużyć, jaki ma być średni interwał obsługi. Proces optymalizacji przeprowadzamy uwzględniając różnorodne ograniczenia, które określają nam zbiór dopuszczalnych rozwiązań. Ograniczenia mogą wynikać np: z ograniczeń prawnych i technologicznych (pojemność pojazdu, czas pracy kierowców). Ostatnim elementem brany pod uwagę jest ocena wpływu decyzji na cele, np. sposób obliczeń funkcji celu może przedstawiać sumę kosztów utrzymania linii i czasu przejazdu oraz jakości. Sposób obliczenia funkcji celu może być analityczny - gdy mamy do czynienia z funkcją matematyczną - lub symulacyjny. Problem można rozwiązać analitycznie i symulacyjnie przedstawiając go np. w programie Mathematica. Mathematica jest złożonym systemem umożliwiającym rozwiązywanie zadań matematycznych z wykorzystaniem przekształceń symbolicznych, obliczeń numerycznych i grafiki. Dzięki temu programowi można świetnie przedstawić graficznie uzyskane rozwiązania, które można łatwo ze sobą porównać, wprowadzić ewentualne zmiany i wysunąć odpowiednie wnioski.

Stworzenie ogólnego algorytmu oceny funkcjonowania komunikacji zbiorowej pozwoli na późniejsze, szersze zastosowanie takich metod w różnorodnych problemach transportowych, np. planowane jest przeniesienie rozważanego problemu na większą ilość linii. Algorytm stworzony na przedstawionym przykładzie można wykorzystać do porównań i analiz możliwych rozwiązań w bardziej skomplikowanych problemach komunikacji zbiorowej. Dzięki takim algorytmom łatwiej jest poprawić mankamenty transportu miejskiego oraz przyczynić się do ich poprawy, aby zwiększyć jego konkurencyjność.

Przykład:

1. Funkcja (kryterium) czasu podróży wybranego korytarza - minimalizacja

Wskaźniki

- Wskaźnik niepuktualności [4]

Wskaźnik niepuktualności można przedstawić następująco:

$$\begin{aligned} U &= -1,3d - 1,6 & d \leq 2 \\ U &= -0,5d & -2 \leq d \leq 0 \\ U &= 0,162hd & 0 \leq d \leq 6 \\ U &= 0,97h & d \geq 6 \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

d – odchyłka od rozkładu jazdy,
h – interwał międzypojazdowy.

- Wskaźnik nieregularności [4]

Wskaźnik nieregularności można przedstawić następująco:

$$R = 2,05 \sqrt[1,7]{h} \quad (2)$$

gdzie:

$$V_h = \frac{S_h}{\bar{h}} - \text{współczynnik zmienności interwałów między kolejnymi pojazdami komunikacji zbiorowej,}$$

$$S_h - \text{odchylenie standardowe interwałów (w minutach),}$$

$$\bar{h} - \text{interwał średni (w minutach).}$$

- Średni czas przejazdu wybranego korytarza

$$V = \frac{S}{t} \rightarrow t = \frac{S}{V} \quad (3)$$

gdzie:

V – średnia prędkość pojazdu,
S – średnia droga,
t – średni czas przejazdu.

Zmienne decyzyjne dla kryterium czasu: \bar{h} , t, V_h , U

Postać funkcji

Korzystając ze wzorów (1),(2),(3), stworzono funkcję czasu przejazdu korytarza drogowego

$$F_1(\bar{h}, t, V_h, U) = 2,05 \cdot V_h^{1,7} \cdot \bar{h} \cdot w_1 + t \cdot w_2 + U \cdot w_3 \quad [\text{min}]$$

gdzie:

w_1, w_2, w_3 – wagi.

Ustalenie wag

Wagi mogą zostać ustalone na podstawie wyników badań, które zostały podane w [4]. Pod uwagę można wziąć wagi kryteriów w pełnym zbiorze kryteriów.

Wagi kryteriów należy unormować np. do 1:

$$w_1 = 0,45$$

$$w_2 = 0,23$$

$$w_3 = 0,32$$

2. Funkcja kosztu utrzymania linii - minimalizacja

Wskaźniki

- Poziom kosztów eksploatacyjnych [5]

Wskaźnik redukcji kosztów eksploatacyjnych poniesionych na komunikację zbiorową można przedstawić następująco:

$$A = \frac{B}{C} \quad (4)$$

gdzie:

A – średni operacyjny koszt dla usługi (€/pkm, €/poj.km),
B – suma operacyjnych kosztów poniesionych na usługi,
C – suma pas. km lub poj. km.

- **Poziom kosztów nieregularności komunikacji zbiorowej [4]**

Wskaźnik poziomu kosztów nieregularności można przedstawić następująco:

$$W_t = \frac{1}{3 \cdot [r^2 + \frac{(1-r)^2}{2}]} \quad (5)$$

gdzie:

W_t – efektywne wykorzystanie taboru,

r – stopień nieregularności, będący stosunkiem maksymalnego interwału – spośród trzech sąsiednich interwałów – do sumy tych interwałów; w przypadku ruchu ściśle regularnego $r = 0,33$.

- **Wydajność paliwa [5]**

Wskaźnik wydajność paliwa można przedstawić następująco:

$$X = \frac{Y}{Z} \quad (6)$$

gdzie:

X – średnia wydajność zużywanego paliwa przez pojazd (l/poj.km) – może być wyrażone w formie monetarnej,

Y – suma konsumowanej energii przez dany pojazd,

Z – suma poj. km przypadający na dany pojazd.

Zmienne decyzyjne dla kryterium kosztu: B, X, W_t, A

Postać funkcji

Korzystając ze wzorów (4), (5), (6), stworzono funkcję kosztu. Ogólna postać funkcji kosztu utrzymania linii na wybranym korytarzu transportowym wygląda następująco:

$$\text{Min } F_2(B, X, W_t, A) = W_t \cdot k_1 + X \cdot k_2 + A \cdot k_3$$

gdzie:

k_1, k_2, k_3 – koszty jednostkowe kapitałowe i eksploatacji.

3. Funkcja (kryterium) jakości - minimalizacja

Wskaźniki:

- **Wskaźnik nieregularności – wzór (2).**
- **Wskaźnik niepunktualności – wzór (1).**
- **Wskaźnik dyskomfortu [4].**

Wskaźnik dyskomfortu można przedstawić następująco:

$$K = 0,8 + 3,6(q - 0,15)^2 \quad (7)$$

gdzie:

Q – napełnienie względne $0 \leq q \leq 1,3$, przy czym $q = \frac{N}{C_n}$, gdzie N – napełnienie bezwzględne (liczba pasażerów w pojeździe).

C_n – pojemność nominalna pojazdu (przy wykorzystaniu powierzchni miejsc do stania $0,15 \text{ m}^2/\text{os.}$).

Zmienne decyzyjne dla kryterium jakości: K, U, V_h

Postać funkcji

Korzystając ze wzorów (2),(1), (7) stworzono funkcję jakości.

Ogólna postać funkcji jakości wygląda następująco:

$$\text{Min } F_3(K, U, V_h) = K \cdot w_1 + 2,05 \cdot V_h^{1,7} \cdot \bar{h} \cdot w_2 + U \cdot w_3$$

gdzie:

w_1, w_2, w_3 - wagi (ustalone na podstawie przeprowadzonych ankiet).

Ustalenie wag

Wagi mogą zostać ustalone na podstawie wyników badań, które zostały podane w [4].

Pod uwagę można wziąć wagi kryteriów w pełnym zbiorze kryteriów.

Wagi kryteriów należy unormować np. do 1.

$$w_1 = 0,2$$

$$w_2 = 0,47$$

$$w_3 = 0,33$$

Najlepszym rozwiązaniem tego problemu byłoby rozwiązanie, w którym uzyskano najkrótszy czas przejazdu, najniższy koszt oraz najwyższą wartość funkcji jakości. Byłoby to rozwiązanie idealne. Niestety, uzyskanie takiego rozwiązania jest niemożliwe. Z tych funkcji można stworzyć zbiór kompromisów i z niego wybrać zadowalające nas rozwiązanie. Można graficznie przedstawić zbiór kompromisu pomiędzy dwoma wybranymi funkcjami, np. koszt - czas, jakość - czas, jakość - koszt - rysunek analogiczny do rys. nr 1 lub kompromis pomiędzy trzema funkcjami koszt - czas - jakość - rysunek w przestrzeni trójwymiarowej.

Przy rozwiązywaniu problemów optymalizacyjnych w kryteriach wielu zmiennych należy przeprowadzić analizę wrażliwości parametrów.

Podstawą analizy wrażliwości jest opracowanie optymistycznego i pesymistycznego wariantu. W badaniach można uwzględnić zmianę jednego czynnika przy innych nie zmienionych wartościach lub też równoczesną zmianę kilku czynników. W analizie wrażliwości punktem wyjścia jest ustalenie jego poziomu przed zmianą czynników, a następnie wyznaczenie każdorazowo nowego prognozy, np. opłacalności przy zmianie poszczególnych zmiennych. Analiza rozwiązań dostarcza istotnych informacji, służących do podjęcia decyzji o realizacji przedsięwzięcia oraz wskazuje na poziom związanego z nim ryzyka. Skupiając się jedynie na zmianach pesymistycznych, można określić tzw. zdolność do funkcjonowania np. linii autobusowej w najgorszych możliwych warunkach działania.

4. PODSUMOWANIE

Poprawa obsługi transportu zbiorowego jest priorytetowym zadaniem polityki transportowej Krakowa. Niektóre wskaźniki mają postać skwantyfikowaną skalibrowanymi parametrami.

Stworzenie jak najlepszych układów wskaźników w ramach każdego zadania pozwoli na zobrazowanie jak najlepszych sytuacji, mogących odnieść sukces w rzeczywistym świecie. Do tego celu mogą posłużyć nam między innymi wcześniej wspomniane metody optymalizacyjne, dzięki którym będziemy mogli porównywać otrzymane wyniki i wysunąć odpowiednie wnioski co do efektów i stopnia realizacji zadań.

Przykładowy algorytm przedstawiony na zadaniu dotyczącym priorytetów dla komunikacji zbiorowej może stać się pewnym wzorcem, na którym będzie można się oprzeć przy porównywaniu możliwych rozwiązań w bardziej skomplikowanych problemach komunikacji zbiorowej. Dzięki takim ocenom i porównaniom rozwiązań łatwiej jest wskazać mankamenty transportu miejskiego oraz przyczynić się do ich poprawy. Zazwyczaj w takich

sytuacjach niemożliwa jest równoczesna poprawa wszystkich kryteriów, gdyż poprawa jednego z kryterium powoduje pogorszenie się innego kryterium lub kryteriów.

Stworzenie jak najlepszych warunków podróży komunikacją zbiorową sprawi, że wiele osób będzie skłonnych z niej korzystać. Dzięki temu zmniejszy się zatłoczenie ulic, hałas, obniży się poziom zanieczyszczenia powietrza itp.

Literatura

1. Zarząd Dróg i Komunikacji w Krakowie: Raport o stanie bezpieczeństwa w ruchu drogowym w Krakowie w 2005r., Kraków 2006.
2. Ostwald M.: Podstawowe pojęcia optymalizacji. Podstawy optymalizacji konstrukcji. Wyd. Politechnika Poznańska, 2005.
3. Stadnicki J.: Optymalizacja - Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku – Białej, Katedra Mechaniki i Inżynierskich Metod Komputerowych, 2002.
4. Rudnicki A.: Jakość komunikacji miejskiej – Wydano w Ramach Zeszytów Naukowo – Technicznych Oddziału SITK, Kraków 1999.
5. <http://ts3906048.teamtreff.de> – materiały dotyczące projektu CIVITAS – CARAVEL-cooperation space-evaluation-Civitas Core Indicators- Civitas -Guard Core Indicator sheets VI (AnnexD: Indicator Definition and Methodology Sheets).