

Mirosław KRUSZYŃSKI\*, Jacek ŻAK\*\*

## **ANALIZA I OCENA WIELOKRYTERIALNA WYBRANYCH, INNOWACYJNYCH ROZWIĄZAŃ TRANSPORTOWYCH WOBEK POTRZEB OSÓB Z NIEPEŁNOSPRAWNOŚCIĄ I STARSZYCH**

DOI: 10.21008/j.0239-9415.2017.075.11

W niniejszym artykule autorzy zaprezentowali wybrane, innowacyjne rozwiązania transportowe dla systemu transportu miejskiego i dokonali ich wielokryterialnej oceny z uwzględnieniem analizy potrzeb osób z niepełnosprawnością i starszych (w zaawansowanym wieku). Przedstawili takie nowoczesne rozwiązania transportowe jak: system *personal rapid transit* (PRT), system *bus rapid transit* (BRT), czy zintegrowany węzeł przesiadkowy. Wymienione rozwiązania zastosowali do zaprojektowania różnych wariantów systemu transportu miejskiego i poddali je ocenie wielokryterialnej z uwzględnieniem interesów (preferencji i oczekiwań) osób o ograniczonej mobilności. W artykule zaprezentowano wyniki komputerowych eksperymentów obliczeniowych z wykorzystaniem metody AHP. Na podstawie uzyskanego rankingu końcowego przeprowadzono odpowiednie wnioskowanie.

**Słowa kluczowe:** ograniczona mobilność, innowacyjne rozwiązania transportowe, analiza wielokryterialna

### **1. WPROWADZENIE**

Na świecie żyje ponad miliard osób z niepełnosprawnością. Według szacunków Światowej Organizacji Zdrowia (ang. World Health Organization – WHO) w latach 70. XX w. stanowili oni 10% całej populacji ludzkiej. Liczba osób starszych

---

\* Katedra Zarządzania Produkcją i Logistyki Wydziału Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.

\*\* Katedra Nauk Ekonomicznych Wydziału Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.

i osób z niepełnosprawnością ciągle wzrasta. Na podstawie analiz dokonanych przez World Health Survey, Global Burden of Disease Study, można stwierdzić, że obecnie udział osób z niepełnosprawnością na świecie wynosi ok. 15% (Officer, 2011). Statystyki dotyczące Polski, również dowodzą, że liczba osób z niepełnosprawnością rośnie i waha się pomiędzy 10–15% ludności kraju. Według Narodowego Spisu Powszechnego z 2002 r. w Polsce żyło ok. 4,5 mln osób z niepełnosprawnością (Ogonowska-Musiatowicz 2003), zaś według danych z 2011 r. było ich już ok. 5,7 mln (Zgierska, 2012).

W światowym raporcie o niepełnosprawności WHO z 2011 r. wskazano szereg powszechnych barier środowiskowych stawianych osobom z niepełnosprawnością. Są to m. in. (Officer, 2011):

- piętnowanie i dyskryminacja,
- brak dostępu do odpowiedniej opieki zdrowotnej oraz usług rehabilitacyjnych,
- nieodpowiedni poziom świadczenia usług (nieumiejętne posługiwanie się sprzętem, odmowa pomocy, złe traktowanie),
- brak dostępu do transportu, budynków oraz technologii informacyjnych i komunikacyjnych,
- brak możliwości uczestnictwa w podejmowaniu decyzji, mający bezpośredni wpływ na ich życie.

Spośród wyżej wymienionych barier środowiskowych stawianych osobom z niepełnosprawnością na szczególną uwagę, obok braku dostępu do odpowiedniej opieki zdrowotnej i usług rehabilitacyjnych, zasługuje również brak dostępu do transportu. Istotne zaangażowanie w ostatnich dwóch dekadach struktur publicznych oraz wielu organizacji społecznych przyczyniło się do większej aktywności osób z niepełnosprawnością. Zauważalny jest pozytywny trend wskazujący, że coraz więcej osób z niepełnosprawnością kształci się na uczelniach, podejmuje aktywność na rynku pracy, a także działalność gospodarczą na własne ryzyko. Realizacja aspiracji edukacyjnych, zawodowych oraz społecznych osób z niepełnosprawnością wymaga ich przemieszczanie. To zagadnienie jest przedmiotem analizy niniejszego artykułu.

Obok nasilającego się problemu niepełnosprawności i ciągłego wzrostu liczby osób z niepełnosprawnością we współczesnym świecie występują również zmiany demograficzne, które przejawiają się między innymi we wzroście długości życia i w spadku współczynnika urodzeń (Labus, 2013). W konsekwencji zmienia się struktura społeczeństwa i następuje jego systematyczne starzenie. W 1950 r. na świecie żyło ok. 200 mln ludzi w wieku 60 lat i powyżej; ta grupa światowej populacji liczy obecnie 500 mln osób. Około 2020 r. liczba osób starszych na świecie sięgnie 1 mld, a do 2025 r. wzrośnie do 1,2 mld.

Na tym tle sytuacja w Polsce przedstawia się podobnie. W końcu 2014 r. liczba ludności Polski wynosiła 38,5 mln, w tym ponad 8,5 mln stanowiły osoby w wieku 60 lat i więcej (ponad 22%). W latach 1989-2014 liczba osób w starszym wieku wzrosła o ponad 2,9 mln, w tym największy wzrost – o 1 mln – odnotowano dla grupy 60–64 latków. Udział osób w wieku co najmniej 60 lat w całej populacji

wzrósł o 7,5%, tj. z 14,7% w 1989 r. do 22,2% w 2014 r. Dla porównania odsetek dzieci i młodzieży zmniejszył się w tym czasie o ponad 12% – z prawie 30% do 18% (GUS, 2016).

Jak wynika z powyższych danych, starzenie się społeczeństwa stanowi poważne wyzwanie dla współczesnego świata, w tym dla Polski. Do podstawowych zagadnień omawianych w tym kontekście zaliczyć należy: aktywne wspieranie osób starszych, zapewnienie im zdrowego starzenia się, w tym pomocy społecznej i opieki medycznej. Wiele organizacji międzynarodowych podnosi konieczność zabezpieczenia osobom w podeszłym wieku dostępności do sieci usług społecznych i zdrowotnych, a także potrzebę ich aktywizacji zawodowej i angażowania się w życie społeczne (tzw. partycypacja społeczna; elastyczne formy zatrudnienia; wykorzystanie doświadczenia osób starszych) (Labus, 2014).

Przedstawione dane i argumentacja świadczą o tym, że wzrastająca liczba osób z niepełnosprawnością i starzenie się społeczeństwa wymagają zapewnienia tym osobom przyjaznego i niezawodnego transportu, w szczególności w obszarach miejskich (zurbanizowanych). Transport taki powinien być przystosowany do dysfunkcji i ograniczeń ruchowych osób starszych i z niepełnosprawnością, powinien gwarantować im utrzymanie mobilności na odpowiednim poziomie. Dostępność transportu dla tej grupy jego użytkowników oraz zapewnienie właściwego komfortu podróży mają bardzo istotne znaczenie dla podniesienia jakości ich życia (WHO, 2007). Jak wynika z przedstawionej argumentacji, aktywność osób z niepełnosprawnością i starszych uzewnętrznia się w postaci licznej grupy rodzajowych potrzeb związanych z aspiracjami edukacyjnymi, zawodowymi i społeczną działalnością, których zaspokojenie wiąże się z pokonywaniem przestrzeni (Labus, 2014). Właśnie z tej aktywności wynikają potrzeby transportowe osób z niepełnosprawnością i starszych, które mają charakter wtórny i odzwierciedlają popyt na podróże.

Współczesne rozwiązania transportowe powinny sprzyjać zapewnieniu mobilności tej grupy osób, z uwzględnieniem czterech powiązanych ze sobą elementów dotyczących danego obszaru (w szczególności miejskiego), tj.: aktywności użytkowników, popytu na podróże, podaży transportu oraz koncepcji zrównoważonego rozwoju (Chamier-Gliszczyński, 2017). Zwiększający się popyt na podróże coraz większej liczby osób z niepełnosprawnością i starszych, a zarazem coraz bardziej aktywnych, powinien być zaspokojony przez odpowiednio zaprojektowaną ofertę przewozową, stanowiącą podaż transportu. Oferta taka powinna obejmować następujące, powiązane ze sobą i właściwie dopasowane elementy (Kruszyński, 2014): infrastrukturę (punktową i liniową), środki transportu, usługi transportowe i organizację transportu (strukturę organizacyjną, wykwalifikowanych pracowników, regulaminy itp.). Tak skonstruowany system transportowy winien być dopasowany do potrzeb osób starszych i z niepełnosprawnością.

Spełnienie tych potrzeb jest również zgodne z krajowymi i europejskimi priorytetami zrównoważonego rozwoju transportu, który uwzględnia zarówno cele ekologiczne, społeczne, jak i gospodarcze (Ministerstwo Infrastruktury, 2011). Takie podejście do transportu zakłada również (Komisja Wspólnot Europejskich, 2001):

zaspokojenie podstawowych potrzeb w zakresie mobilności (w tym potrzeb osób o ograniczonej mobilności), zastosowanie przystępnych cen, utrzymanie wysokiej sprawności systemu z możliwością wyboru środka transportu, gwarancję poprawy jakości życia wszystkich mieszkańców (w tym osób starszych i z niepełnosprawnością) i spełnianie norm emisji substancji szkodliwych i hałasu.

Jednocześnie kwestia zrównoważonego transportu (w tym również w miastach) stała się katalizatorem innowacyjności w tym obszarze. Na innowacyjności spojrzano, przy tym, z dwóch perspektyw: innowacji zarządczych (w obrębie metod planowania, finansowania, wdrażania, kontroli) wprowadzanych przez podmioty zarządzające transportem oraz innowacyjnych rozwiązań, które upłynniają ruch pasażerski w mieście i zmniejszają kongestię (Cichosz, 2015). Wspomniane innowacyjne rozwiązania transportowe są obszarem badań wielu ośrodków naukowych i dotyczą różnorodnych rozwiązań sprzyjających zwiększeniu mobilności mieszkańców (Komisja Europejska, 2017). Realizowane projekty badawcze dotyczą takich zagadnień jak: innowacyjne koncepcje zwiększenia dostępności, systemy informacyjne dla podróżnych dostosowane do potrzeb osób o ograniczonej mobilności (Fontes, 2017), efektywne planowanie i wykorzystanie infrastruktury oraz węzłów przesiadkowych, projektowanie innowacyjnych środków transportu, infrastruktura innowacyjnych systemów komunikacji autobusowej, centra zarządzania ruchem oraz zautomatyzowane i efektywne systemy transportowe (Grabarek, 2014).

Podejmowane badania naukowe uwzględniają holistyczne podejście w obrębie proponowanych innowacyjnych rozwiązań dla transportu (zwłaszcza publicznego), włączając w to ideę *universal design* – projektowania dla wszystkich. Przyszłością jest projektowanie uniwersalne, które przewiduje zintegrowane podejście dla wszystkich mieszkańców w zakresie planowania i projektowania transportu i przestrzeni publicznej (Labus, 2013). Takie podejście do projektowania nowych rozwiązań w obszarze transportu miejskiego musi być poprzedzone rozpoznaniem istniejących barier w dostępności infrastruktury i środków transportu miejskiego dla wszystkich użytkowników miasta, jednak ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb i wymagań osób z niepełnosprawnością i starszych. Jest to szczególnie istotne wobec depopulacji i starzenia się społeczeństwa. Przy projektowaniu przyjaznych rozwiązań transportowych należy uwzględnić najczęściej występujące dysfunkcje osób z niepełnosprawnością i starszych, takie jak: problemy w poruszaniu się (w pokonywaniu stopni i schodów, powolne poruszanie się, łatwość męczenia się, trudność z utrzymaniem równowagi, brak ramp i poręczy), poruszanie się na wózkach inwalidzkich (nierówna nawierzchnia, pokonywanie krawężników i stopni, wysokopodłogowe autobusy i tramwaje, brak platform, wysoko umieszczone przyciski), dysfunkcje wzroku (np. zbyt słabe oświetlenie przystanków; identyfikacja krawędzi peronu, kierunku jazdy, obszaru ruchu pieszego i ruchu drogowego, numeru autobusu lub tramwaju), dysfunkcja słuchu (komunikaty o następnym przystanku, informacje alarmowe, komunikaty o nadjeżdżającym pojeździe) (Evans, 1998). Dostępność transportu dla osób z niepełnosprawnością i starszych jest kluczowym elementem i podstawą funkcjonowania społeczeństwa opartego na rów-

nych prawach, bo przyszłość każdej osoby w dużym stopniu zależy od możliwości poruszania się (Popiel, 2016).

W świetle wszystkich powyższych rozważań celem niniejszego artykułu jest przedstawienie problematyki mobilności osób niepełnosprawnych oraz starszych i scharakteryzowanie różnorodnych, innowacyjnych rozwiązań transportowych pod względem ich przydatności dla tej grupy pasażerów. Autorzy artykułu pragną dokonać analizy i oceny wielokryterialnej wybranych wariantów transportowych i uszeregować je od najlepszego do najgorszego, biorąc pod uwagę kryteria istotne dla osób o ograniczonej mobilności.

Artykuł składa się z pięciu rozdziałów. Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem do problematyki osób starszych i z niepełnosprawnością, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnienia ich ograniczonej mobilności. W rozdziale drugim zaprezentowano wybrane, innowacyjne rozwiązania transportowe i scharakteryzowano ich przydatność dla tej grupy pasażerów. W rozdziale trzecim odniesiono się do metodyki oceny rozwiązań transportowych, a w rozdziale czwartym zaprezentowano praktyczną wielokryterialną analizę i ocenę przydatności wybranych rozwiązań transportowych dla osób starszych i z niepełnosprawnością. Rozdział ten zawiera wyniki komputerowych eksperymentów obliczeniowych. Artykuł zakończono wnioskami i spisem bibliografii.

## **2. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH INNOWACYJNYCH ROZWIĄZAŃ TRANSPORTOWYCH**

W polityce transportowej wielu krajów i miast na świecie można dostrzec priorytety, których przyjęcie prowadzi do zrównoważonego rozwoju transportu (w tym transportu miejskiego). Obok takich priorytetów jak racjonalne użytkowanie indywidualnych środków transportu oraz promocja i zwiększanie atrakcyjności transportu zbiorowego, pojawiają się priorytety związane z zastosowaniem innowacyjnych rozwiązań w obszarze nowych środków transportu oraz nowych technologii w infrastrukturze, a także zwiększenia dostępności transportu publicznego (Rada Miejska Miasta Poznania, 1999). Innowacyjne rozwiązania zwiększające dostępność transportu uzyskuje się przez szkolenia ułatwiające pasażerom samodzielne korzystanie ze środków transportu publicznego i z infrastruktury z nimi związanej, bez obaw i problemów. Ma to szczególne znaczenie dla osób z niepełnosprawnością i osób starszych, a także dla dzieci w wieku szkolnym (Grabarek, 2014). Jednak współcześnie istnieje potrzeba zwiększenia dostępności transportu (w tym miejskiego) dla osób z niepełnosprawnością i starszych ze względu na ich, wzmiankowane wcześniej, aspiracje edukacyjne, gospodarcze i społeczne. Dokonuje się tego najczęściej przez zastosowanie innowacyjnych środków transportu,

innowacyjnych rozwiązań w infrastrukturze transportu oraz przez innowacyjność reguł zarządzania i sterowania transportem.

Stosując innowacyjne rozwiązania przy budowie nowych elementów infrastruktury transportowej jak i modernizacji już istniejącej infrastruktury, należy w szerokim zakresie uwzględniać dysfunkcje występujące u osób z niepełnosprawnością i starszych. Planując taką innowacyjną infrastrukturę, należy wziąć pod uwagę jej długi okres amortyzacji, a w konsekwencji odnieść się też do potrzeb przyszłych pokoleń seniorów i osób z niepełnosprawnością, którzy będą stanowili większość w społeczeństwie oraz będą mieli zupełnie inne wymagania i aspiracje życiowe niż im współcześni (Labus, 2013).

W miastach istnieje wiele przykładów innowacyjnych rozwiązań, które dotyczą planowania i projektowania infrastruktury w kontekście osób z niepełnosprawnością oraz depopulacji i starzenia się społeczeństwa. Do najbardziej spektakularnych innowacyjnych rozwiązań można zaliczyć projektowanie i realizowanie kompletnych systemów transportowych w pełni zautomatyzowanych, do których można zaliczyć szybki grupowy transport miejski (ang. *group rapid transit* – GRT) oraz szybki indywidualny transport miejski (ang. *personal rapid transit* – PRT) z wykorzystaniem lekkiej, napowietrznej infrastruktury, najczęściej szynowej, zapewniającej w całym systemie dostęp osobom z różnymi dysfunkcjami (rys. 1). Na świecie znanych jest wiele projektów grupowego i osobistego transportu. Najbardziej znane to: ULTra (Londyn – lotnisko Heathrow, UK), CabinTaxi (Detroit, USA), Coaster (GRT system – Austria), CompuCar (Niemcy), FLYWAY (Szwecja), MISTER (Polska), MonicPRT (Singapur), ParkShuttle (Holandia), SkyTran (Los Angeles, USA).



Rys. 1. Szybki indywidualny transport miejski – ULTra PRT Urban Light Transit (City-data.com, 2017)

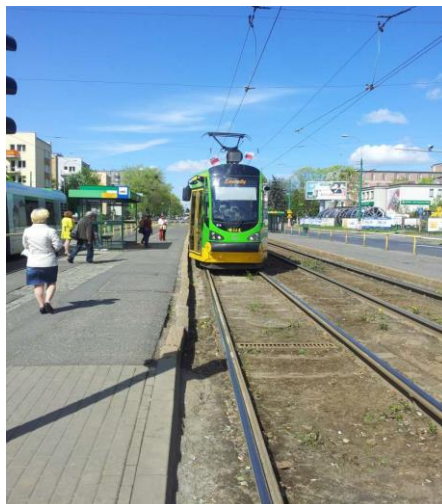
Innym przykładem innowacyjnych rozwiązań transportowych, szczególnie przydatnym w obszarach zurbanizowanych, jest system ekspresowej komunikacji autobusowej (ang. *bus rapid transit* – BRT) z wydzielonymi, dostosowanymi pasami ruchu, odpowiednio zaprojektowanymi stacjami autobusowymi, komputerowo wspomaganym system sterowania ruchem, system informacji pasażerskiej (rys. 2). System BRT wprowadzany jest w miastach w celu zapewnienia pasażerom szybkiego przejazdu przez ulice o dużym natężeniu ruchu i zagwarantowania im sprawnego połączenia między kilkoma dzielnicami miasta. Skutkuje to dużym skróceniem czasu podróży i wysokim jej komfortem, w tym dla osób starszych i z niepełnosprawnością.



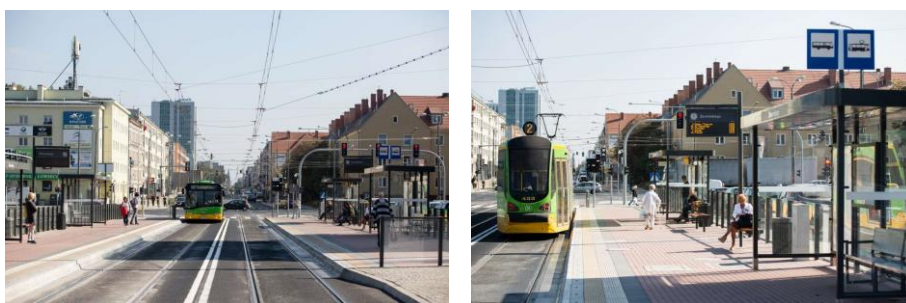
Rys. 2. System szybkiej komunikacji autobusowej w Quito (Ekwador) (Miovision, 2017)

Kolejny obszar, w którym w wielu miastach realizuje się innowacyjne rozwiązania, to efektywne planowanie i wykorzystanie infrastruktury i węzłów przesiadkowych, przyjaznych dla pasażerów, zaprojektowanych w taki sposób, aby przesiadka była wygodna i nie stwarzała problemów dla osób z niepełnosprawnością i starszych oraz matek z wózkami (rys. 3 i rys. 4).

Przykłady innowacyjnych rozwiązań w zakresie integracji podsystemów transportu publicznego wdrożonych w wielu miastach na świecie dotyczą również integracji rozkładów jazdy i informacji o nich, jak również zastosowania wyszukiwarek połączeń, które pozwalają na efektywne zaplanowanie podróży transportem publicznym (Cichosz, 2015).



Rys. 3. Przystanek tramwajowy w Poznaniu przy ul. Dąbrowskiego przed transformacją (ZTM, 2017)



Rys. 4. Przystanek tramwajowy z rysunku 3 zmodernizowany i zintegrowany z linią autobusową stanowiący węzeł przesiadkowy przyjazny dla pasażerów będących osobami z niepełnosprawnością i starszymi (ZTM, 2017)

### 3. METODYKA OCENY ROZWIĄZAŃ TRANSPORTOWYCH

Ocena rozwiązań, procesów czy systemów transportowych jest zagadnieniem bardzo szeroko omawianym w literaturze przedmiotu od wielu lat (Saaty, 1995; Żak, 2017; Żak, 2015; Macharis, 2009; Żak, 2011; Kruszyński, 2014). Wielu autorów zajmujących się tą tematyką zaproponowało różnorodne podejścia i metody oceny rozwiązań transportowych i aktywności transportowej. Wśród dominujących chi najbardziej popularnych podejść należy wymienić:



- analizę wskaźnikową o charakterze wielowymiarowym (wieloaspektowym), pozwalającą na benchmarkingowe porównanie rozważanych wariantów (opcji) z wykorzystaniem wielu miar i wskaźników (Karlof, 1993; Zairi, 1994; Czyż-Gwiazda, 2006; Węgrzyn, 2000),
- analizę kosztów i korzyści (ang. *cost-benefit analysis* – CBA), uwzględniającą porównanie wszystkich pozytywnych (korzyści) i negatywnych (koszty) aspektów rozważanych rozwiązań transportowych, wyrażonych w jednostkach monetarnych (Boardman, 2013),
- analizę wielokryterialną (ang. *multiple criteria analysis* – MCA), umożliwiającą ocenę rozważanych rozwiązań transportowych za pomocą wielu kryteriów (czynników, charakterystyk) i ich agregację prowadzącą do globalnej oceny kandydatów (wariantów) (Saaty, 1995; Żak, 2011; Vincke, 1992; Figueira, 2005; Keeney, 1993; Kruszyński, 2014).

### 3.1. Wieloaspektowa analiza wskaźnikowa

**Analiza wskaźnikowa** jest powszechnie stosowanym w wielu obszarach narzędziem badania racjonalności rozważanych rozwiązań, oceny sprawności i efektywności funkcjonowania procesów, przedsiębiorstw czy systemów. Pozwala ona na kompleksową diagnozę danego rozwiązania czy obiektu (podmiotu) i dostarcza informacji o jego aktualnej kondycji (stanie). Jak sama nazwa wskazuje, **analiza wskaźnikowa** opiera swoje wyniki na zbiorze określonych wskaźników, czyli właściwie dobranych parametrów ocennych. Wskaźniki te pozwalają na ocenę słabych i mocnych stron rozważanych rozwiązań. Przedstawiają one również obraz powiązań oraz relacji, jakie występują pomiędzy przyczynami i skutkami zjawisk związanych z danym rozwiązaniem.

W wielu przypadkach analizę wskaźnikową stosuje się w celach porównawczych. Wówczas konfrontuje się ze sobą różne warianty/rozwiązania i przeprowadza ich benchmarking, czyli porównanie znanego rozwiązania, praktyki czy procesu z innymi, najczęściej najlepszymi znanymi lub z pewnymi standardami obowiązującymi w otoczeniu (np. w danej branży).

Typowa benchmarkingowa analiza wskaźnikowa składa się z następujących faz:

- wyboru wariantów/zagadnień/obiektów do porównania wraz z wariantami/obiektami wzorcowymi, względem, których dokonuje się porównań,
- definicji wskaźników pozwalających na ocenę wariantów/obiektów,
- określenia i zebranie danych umożliwiających obliczenie zdefiniowanych wskaźników,
- obliczenie wskaźników dla wszystkich rozważanych wariantów i przeprowadzenie analiz porównawczych,

- analiza uzyskanych rezultatów; wyciągnięcie wniosków; rekomendacje dotyczące słabych i mocnych stron rozwiązań oraz sugestie związane z wprowadzeniem zmian.

W przypadku rozwiązań, procesów i obiektów transportowych do ich oceny stosuje się takie wskaźniki jak (Rudnicki, 1999; Żak, 2015; Kruszyński, 2015): efektywność finansowa (IRR), trwałość, niezawodność (punktualność), bezpieczeństwo, przyjazność dla środowiska, komfort podróży/przewozu, czas przejazdu/dostawy, dostępność, regularność.

W literaturze przedmiotu niewiele mówi się o wskaźnikach stosowanych przy ocenie rozwiązań transportowych dla pasażerów starszych i z niepełnosprawnością (Fontes, 2017). Stąd w swoich rozważaniach autorzy artykułu zaadaptowali wybrane wskaźniki uniwersalne i dostosowali je do specyfiki rozwiązań transportowych dla osób z ograniczoną mobilnością. W ten sposób, skonstruowali oni rodzinną kryteriów oceniających rozważane rozwiązania.

### 3.2. Analiza kosztów i korzyści

**Analiza kosztów i korzyści** (ang. *cost-benefit analysis* – CBA) jest uniwersalną metodyką oceny społeczno-ekonomicznych korzyści określonego rozwiązania, projektu czy przedsięwzięcia (Boardman, 2013). Jest powszechnie stosowana do oceny koncepcji i rozwiązań transportowych. Polega na przeprowadzeniu analizy, w której rozważa się wszystkie korzyści, jakie generuje dany projekt/rozwiązanie i porównuje je z wszystkimi kosztami, jakie wiążą się z jego wdrożeniem.

Podstawową zasadą CBA jest maksymalizacja globalnego dobrobytu społeczeństwa, będącego wynikiem agregacji indywidualnych dobrobytów poszczególnych jednostek, zaspokajanych przez rozważane rozwiązania/projekty. Dzięki CBA możliwe jest rozważenie, czy dane rozwiązanie/projekt gwarantuje wzrost wyżej wzmiankowanego dobrobytu społecznego, tj. czy rozwiązanie to prowadzi do wzrostu ogólnych korzyści społeczno-ekonomicznych wynikających z jego wdrożenia (Boardman, 2013).

CBA pozwala na rozpoznanie i obliczenie wszystkich pozytywnych (korzyści) i negatywnych (koszty) efektów rozważanego rozwiązania (projektu). W metodyce tej wszystkie koszty i korzyści są wyrażone w kategoriach finansowych, tj. za pomocą jednostek monetarnych i porównane ze sobą (Boardman, 2013). Dzięki takiej agregacji możliwe jest uwzględnienie w ocenie rozwiązań/projektów ich słabych i mocnych stron oraz preferencji różnych podmiotów, wyrażonych finansowo. W CBA najczęściej stosuje się trzy następujące miary oceny rozwiązań (Boardman, 2013): ekonomiczną wartość netto (ang. *economic net present value* – ENPV), ekonomiczną wewnętrzną stopę zwrotu (ang. *economic internal rate of return* – EIRR) oraz wskaźnik korzyści do kosztów (ang. *benefit-cost ratio* – BCR).

### 3.3. Metodyka Analizy Wielokryterialnej

Analiza wielokryterialna (AW), zwana „wielokryterialnym wspomaganie decyzji” (WWD) jest dziedziną wiedzy wywodzącą się z badań operacyjnych. Dziedzina ta zmierza do wyposażenia decydenta w procedury, narzędzia i metody matematyczno-informatyczne umożliwiające rozwiązywanie złożonych problemów decyzyjnych, przy analizie których konieczne jest uwzględnienie wielu, często przeciwstawnych punktów widzenia. Metodyka WWD służy do rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych (Żak, 2005; Żak, 2011; Roy, 1993), czyli sytuacji, w której mając zdefiniowany zbiór zadań (rozwiązań, wariantów)  $A$  oraz spójną rodzinę kryteriów oceny  $F$ , decydent dąży do:

- określenia wariantu uważanego za najlepszy (problem wyboru),
- dokonania podziału wariantów na określone klasy (problem klasyfikacji),
- uszeregowania wariantów od najlepszego do najgorszego (problem szeregowania).

W przypadku rozwiązań transportowych, AW pozwala na zdefiniowanie problemu ich oceny jako zadań wielokryterialnego szeregowania wariantów, na podstawie różnych aspektów (kryteria) oceny. Na bazie agregacji ocen wariantów (rozwiązań transportowych) względem poszczególnych kryteriów następuje ich uporządkowanie od rozwiązania najlepszego do najgorszego.

Podstawowymi atrybutami wielokryterialnych problemów decyzyjnych (WPD) są zbiór rozwiązań (wariantów)  $A$  oraz spójna rodzina kryteriów oceny  $F$ . Zbiór rozwiązań  $A$  to zbiór obiektów, decyzji, kandydatów, wariantów lub czynności, które mają być poddane analizie i ocenie w trakcie procedury decyzyjnej. W niniejszym artykule za warianty przyjęto poszczególne transportowe rozwiązania infrastrukturalne oraz alternatywne środki transportu, wszystkie opisane w sekcji 2 artykułu. Przez spójną rodzinę kryteriów  $F$  rozumie się taki zbiór kryteriów, który powinien spełniać wymagania: wyczerpywalności oceny, spójności oceny z nadrzędnymi celami decydenta, nieredundancji kryteriów (Figueira, 2005; Vincke, 1992; Roy 1993). W niniejszym artykule autorzy, definiując spójną rodzinę kryteriów zwrócili szczególną uwagę na takie aspekty, jak: średni czas podróży, bezpieczeństwo i niezawodność, koszty inwestycyjne, przyjazność dla środowiska, funkcjonalność, komfort podróży i dostępność do systemu transportowego. Jednocześnie uwzględnili w ocenie przydatność rozwiązań transportowych dla osób z niepełnosprawnością i starszych, o ograniczonej mobilności.

Metody WWD służące do rozwiązywania WPD można w ogólności podzielić na trzy grupy (Figueira, 2005; Vincke, 1992): metody wieloatrybutowej teorii użyteczności, np. UTA, AHP, metody oparte na relacji przewyższania np. ELECTRE I–IV, Promethee, Oreste, metody interaktywne (dialogowe), np. LBS. Metody te zostały scharakteryzowane w pracy Żaka (Żak, 2005).

Zagadnienie oceny rozwiązań transportowych dla osób z niepełnosprawnością i starszych zdefiniowano jako wielokryterialny problem szeregowania wariantów, oceny wielokryterialnej z wykorzystaniem kryteriów opartych o wskaźniki charak-

teryzujące przydatność rozwiązań transportowych dla osób starszych i z niepełnosprawnością. Eksperymenty obliczeniowe przeprowadzono z wykorzystaniem metody AHP (Saaty, 1995).

#### **4. WIELOKRYTERIALNA OCENA PRZYDATNOŚCI WYBRANYCH ROZWIĄZAŃ TRANSPORTOWYCH DLA OSÓB STARSZYCH I Z NIEPEŁNOSPRAWNOŚCIĄ**

##### **4.1. Istota zagadnienia**

W związku z rosnącymi potrzebami transportowymi osób z niepełnosprawnością, w aglomeracji poznańskiej postanowiono wprowadzić wybrane rozwiązania transportowe, które ułatwiałyby tej grupie podróżnych korzystanie z transportu publicznego. Decydent – Członek Zarządu Miasta, podejmując decyzję o przeprojektowaniu rozwiązań transportowych na określonym obszarze miasta zdecydował się rozważyć i porównać wybrane opcje pod względem ich przydatności dla osób starszych i z niepełnosprawnością. W konsekwencji rozważono różne rozwiązania innowacyjne możliwe do zastosowania (ze względu na ich rozwój techniczny i technologiczny) do przebudowy systemu transportowego Poznania na obszarze obejmującym następujące osiedla: Rataje, Żegrze, Chartowo, Lecha, Łacina, a także rejon jeziora Malta z Termami Maltańskimi. W trakcie projektowania nowych rozwiązań wykorzystano omawiane w drugim rozdziale artykułu kompletne, innowacyjne i w pełni zautomatyzowane podsystemy transportowe, takie jak: szybki grupowy transport miejski (ang. *group rapid transit* – GRT) oraz szybki indywidualny transport miejski (ang. *personal rapid transit* – PRT), oba oparte o lekką, napowietrzną infrastrukturę szynową napowietrzną, również innowacyjny system komunikacji autobusowej (ang. *bus rapid transit* – BRT) z wydzielonymi pasami ruchu, a także zmiany w funkcjonowaniu przystanków przesiadkowych. Przeprojektowując je, wprowadzono zmiany w przebiegu ulic i torów tramwajowych, wzajemnie je dopasowując oraz zmodyfikowano przystanki tramwajowe w taki sposób, aby mogły być wykorzystywane zarówno przez tabor tramwajowy, jak i autobusowy.

W rezultacie skonstruowano odmienne warianty rozwiązań transportowych, które zgodnie z życzeniem decydenta poddano wszechstronnej ocenie, zwracając szczególną uwagę na potrzeby i wymagania osób starszych i z niepełnosprawnością. Ocenę przedmiotowych rozwiązań transportowych zdefiniowano jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingu) wariantów. Do oceny użyto zbioru kryteriów uwzględniających różne aspekty, a w szczególności wymagania i oczekiwania osób z różnymi dysfunkcjami. Zgodnie z życzeniem decydenta warianty uszeregowano od najlepszego do najgorszego.

## 4.2. Definicja wariantów i spójnej rodziny kryteriów oceniających

W pracy zdefiniowano pięć wariantów, opisanych symbolami W1–W5, których zestaw zawiera obecne rozwiązanie transportowe dotyczące omawianego obszaru miejskiego (wariant W1) i cztery inne, innowacyjne warianty transportowe (W2–W5) uwzględniające różne zmiany w rozważanym systemie transportowym tego obszaru. Zmiany te obejmują, między innymi:

- wprowadzenie wspólnych przystanków tramwajowych i autobusowych w węzłach przesiadkowych, co skutkuje przeprojektowaniem kluczowych skrzyżowań i dopasowaniem przebiegu ulic i torów tramwajowych,
- kompletną zmianę podsystemu transportowego miasta na innowacyjny, w pełni zautomatyzowany szybki grupowy transport miejski GRT lub uzupełnienie istniejącego rozwiązania o szybki indywidualny transport miejski PRT z wykorzystaniem lekkiej, napowietrznej infrastruktury szynowej, zapewniającej w całym systemie dostęp osobom z różnymi dysfunkcjami,
- uzupełnienie obecnego rozwiązania o innowacyjny system komunikacji autobusowej BRT z wydzielonymi pasami ruchu, stacjami autobusowymi, komputerowo wspomaganym system sterowania ruchem oraz systemem informacji pasażerskiej.

Zbiór pięciu wariantów poddany analizie wielokryterialnej jest następujący:

- **Wariant W1** jest jednopoziomowym rozwiązaniem transportowym, które składa się z dwóch dróg z wydzielonymi torami tramwajowymi, które biegną równolegle wzdłuż ulic Jana Pawła II i Zamenhofa (stanowiących fragment II ramy komunikacyjnej miasta na odcinku ok. 4 km). W tym wariantcie w trzech punktach na obwodnicy wewnątrzmijskiej (II rama), do której dochodzą ulice J. Piłsudskiego, B. Krzywoustego i arcybiskupa A. Baraniaka, po których kursują autobusy transportu publicznego następują przesiadki na tramwaj skutkujące długim przejściem podróżnych z przystanku autobusowego na przystanek tramwajowy (od 200 m do 400 m), nieakceptowanym z punktu widzenia obsługi osób z niepełnosprawnością i starszych.
- **Wariant W2** jest rozwiązaniem, w którym autobusy korzystają z przystanków tramwajowych w węzłach przesiadkowych, a podróżni nie muszą przemieszczać się między przystankami autobusowymi i tramwajowymi. Charakteryzuje się on wprowadzeniem zasady korzystania z tej samej, wspólnej infrastruktury przystankowej przez dwa podsystemy transportu miejskiego: autobusowy i tramwajowy. W efekcie w wariantcie tym przeprojektowano kluczowe skrzyżowania ulic: J. Piłsudskiego i Zamenhofa, Arcybiskupa A. Baraniaka i Jana Pawła II oraz Rondo Rataje.
- **Wariant W3** jest rozwiązaniem polegającym na zastosowaniu w rozważanym obszarze nowego, innowacyjnego, kompletnego podsystemu transportowego, jakim jest w pełni zautomatyzowany szybki, grupowy transport miejski GRT. Podsystem ten ma zastąpić transport autobusowy funkcjonujący wzdłuż ulic do-

chodzących do II ramy (ulice: J. Piłsudskiego, B. Krzywoustego i arcybiskupa A. Baraniaka) dobrze komunikujący zlokalizowane osiedla mieszkaniowe (osiedla: Rataje, Żegrze, Chartowo, Lecha, Łacina, a także rejon jeziora Malta z Termami Maltańskimi) z podsystemem tramwajowym za pomocą schodów ruchomych w układzie dwupoziomowym.

- **Wariant W4** jest koncepcją charakteryzującą się tymi samymi rozwiązaniami, co wariant W1, z uzupełnieniem o nowy, innowacyjny podsystem transportowy, jakim jest szybki indywidualny transport miejski PRT z wykorzystaniem lekkiej, napowietrznej infrastruktury szynowej, zapewniającej w całym systemie dostęp osobom z różnymi dysfunkcjami oraz umożliwiającej przesiadkę w opisywanych węzłach przesiadkowych.
- **Wariant W5** jest koncepcją, charakteryzującą się tymi samymi rozwiązaniami, które zastosowano w wariantcie W1 z uzupełnieniem o innowacyjny podsystem komunikacji autobusowej BRT z wydzielonymi, dostosowanymi pasami ruchu, wzdłuż ulicy B. Krzywoustego i zintegrowanym skomunikowaniem się z podsystemem tramwajowym w węźle przesiadkowym Rondo Rataje.

Do oceny powyższego zbioru wariantów transportowych wykorzystano zbiór kryteriów, uwzględniających różne aspekty oceny oraz szczególne wymagania osób starszych i z niepełnosprawnością. Kompletny zbiór 7 kryteriów uwzględniających wspomniane aspekty przedstawiono poniżej:

- **Średni czas podróży – K1 [pkt]** – kryterium minimalizowane. Kryterium oceniające czas podróży, zostało wyrażone jako liczba punktów przypisanych przez ekspertów (w skali od 0 do 10 punktów), która odpowiada ocenie szybkości przemieszczania się w tym obszarze transportowym (czas jazdy) osób z niepełnosprawnością i starszych z uwzględnieniem koniecznej przesiadki (czas przesiadki), zmiany podsystemu transportowego, a także oczekiwania na przystanku na środek transportu (czas oczekiwania).
- **Bezpieczeństwo i niezawodność – K2 [pkt]** – kryterium minimalizowane. Kryterium, za pomocą którego ocenia się poziom bezpieczeństwa oraz wpływ planowanych zmian inwestycyjnych na liczbę wypadków na analizowanym obszarze transportowym z udziałem osób starszych i z niepełnosprawnością. Również w zakresie niezawodności, za pomocą kryterium ocenia się: niezawodność funkcjonowania, punktualność, regularność, szansę na uzyskanie miejsca siedzącego, prawdopodobieństwo osiągnięcia celu podróży w spodziewanym czasie. Wszystkie te aspekty funkcjonowania systemu transportu są istotne dla podróżujących osób z niepełnosprawnością i starszych. Kryterium to wyrażono jako liczbę punktów przypisanych przez ekspertów (w skali od 0 do 10 punktów), która odpowiada prognozowanemu wskaźnikowi ryzyka wystąpienia wypadków w zależności od rozwiązań infrastrukturalnych oraz natężenia ruchu pojazdów transportu publicznego (PuT) i prywatnego (PrT).
- **Koszty inwestycyjne – K3 [pkt]** – kryterium minimalizowane. Kryterium o charakterze ekonomicznym, ważne dla władz miejskich i inwestora, oceniające wielkość nakładów finansowych niezbędnych do zrealizowania konkretnego wa-

riantu, a wyrażone jako ilość punktów przyznanych przez ekspertów (w skali od 0 punktów – małe nakłady inwestycyjne – do 10 punktów – duże nakłady inwestycyjne).

- **Przyjazność dla środowiska – K4 [pkt]** – kryterium maksymalizowane. Kryterium to charakteryzuje wpływ rozważanych wariantów na środowisko (dwutlenek węgla, hałas). Jest ono definiowane jako liczba punktów przypisanych przez ekspertów (w skali od 0 do 10 punktów), która odpowiada ocenie negatywnego wpływu rozważanych inwestycji na środowisko w jej sąsiedztwie. Definicja tego kryterium bierze pod uwagę zmiany w poziomie hałasu i zanieczyszczenia powietrza.
- **Funkcjonalność – K5 [pkt]** – kryterium maksymalizowane. Kryterium tym określa się funkcjonalność, użyteczność i przyjazność rozwiązania, zwłaszcza z punktu widzenia osób starszych i z niepełnosprawnością. Kryterium to charakteryzuje długość przejścia pieszego między podsystemami transportowymi w węzle/węzłach transportowym/transportowych i jakości jego/ich zorganizowania dla podróżujących. Kryterium definiowane jest za pomocą liczby punktów przyznanych przez ekspertów (w skali od 0 do 10 punktów).
- **Komfort podróży – K6 [pkt]** – kryterium maksymalizowane. Kryterium oceniające standard podróży środkami transportu publicznego. W kryterium tym uwzględniono liczbę miejsc w pojazdach niskopodłogowych jak również liczbę miejsc dla osób z niepełnosprawnością i miejsc dla osób poruszających się na wózkach inwalidzkich, liczbę miejsc w pojazdach klimatyzowanych, dostępność miejsc siedzących. Kryterium zostało wyrażone w skali punktowej (od 0 do 10 punktów).
- **Dostępność do systemu transportowego – K7 [pkt]** – kryterium maksymalizowane. Kryterium wyrażone liczbą punktów, odpowiadających gęstości sieci transportowej (z uwzględnieniem dróg, linii autobusowych, linii tramwajowych i innych środków transportu) w rozważanym rejonie transportowym. Kryterium to ma istotne znaczenie z punktu widzenia oceny czasu dojścia i odejścia osób z niepełnosprawnością i starszych do/od sieci transportowej.

Dla każdego z wariantów zdefiniowanych powyżej wyznaczono wartości kryteriów uzyskując macierz ocen zaprezentowaną w tabeli 1.

Tabela 1. Macierz ocen rozważanych rozwiązań transportowych

	Kierunek preferencji	W1	W2	W3	W4	W5
K1	Min.	9	5	3	2	6
K2	Min.	9	5	3	2	6
K3	Min.	0	2	10	9	6
K4	Max.	3	3	6	7	2
K5	Max.	1	6	7	8	5
K6	Max.	1	4	6	8	3
K7	Max.	1	1	1	7	1

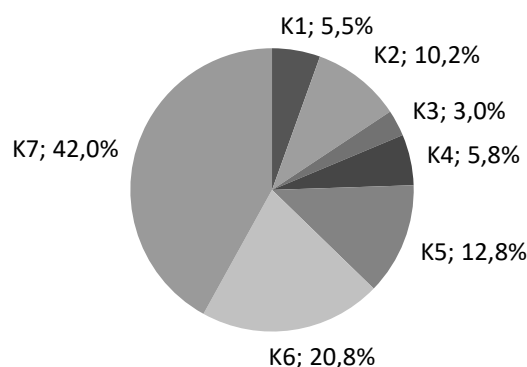
### 4.3. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe

Ponieważ skonstruowano zbioru wariantów, spójnej rodziny kryteriów, macierzy ocen oraz wybrano metodę pozwalającą na rozwiązanie rozważanego problemu decyzyjnego, nastąpiła konieczność zamodelowania preferencji decydenta. Modelowanie preferencji decydenta polegało w omawianym przypadku na przeprowadzeniu wywiadu z decydem, określając indywidualne oczekiwania i preferencje. W rezultacie przeprowadzonego wywiadu, uzyskano oceny ważności poszczególnych kryteriów (w postaci globalnych ocen punktowych) oraz wyskalowano wrażliwość decydenta na zmianę wartości kryteriów. Porównania parami przeprowadzono dla kryteriów i wariantów. Na rysunku 5 przedstawiono bezwzględne wagi kryteriów.

Wybrana metoda wielokryterialnego wspomaganie decyzji AHP (ang. *analytic hierarchy process*) jest wielokryterialną metodą hierarchicznej analizy problemu, wykorzystującą zasady wieloatrybutowej teorii użyteczności (Saaty, 1980; Keeney, 1993; Saaty, 2005). Metoda ta pozwala na dekompozycję złożonego problemu decyzyjnego i uporządkowanie skończonego zbioru wariantów decyzyjnych A. Algorytm metody składa się z pięciu zasadniczych faz (Goodwin, 1998; Żak, 2005):

- faza I – konstrukcja hierarchicznej struktury procesu decyzyjnego,
- faza II – definiowanie preferencji decydenta,
- faza III – obliczanie znormalizowanych ocen ważności elementów hierarchii,
- faza IV – badanie globalnej spójności macierzy,
- faza V – konstrukcja uszeregowania końcowego wariantów.

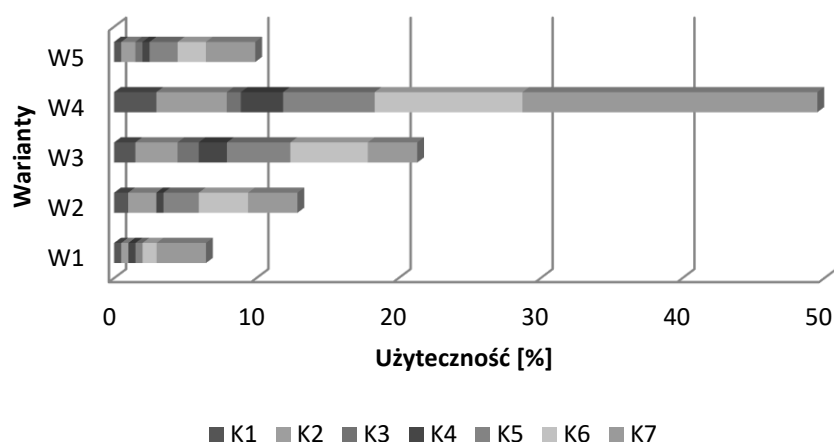
Rezultatem końcowym algorytmu metody AHP jest ranking, czyli uszeregowanie wariantów od najlepszego do najgorszego, zgodnie z obliczonymi wartościami ich użyteczności, od największej do najmniejszej (Żak, 2005).



Rys. 5. Bezwzględne wagi kryteriów uzyskane po zamodelowaniu preferencji decydenta w metodzie AHP



Obliczone bezwzględne wagi kryteriów i wariantów posłużyły do wyznaczenia użyteczności wariantów. Dokonano tego za pomocą addytywnej funkcji użyteczności. Użyteczność danego wariantu obliczana jest jako suma iloczynów wag na drodze od każdej gałęzi hierarchii, z którą związany jest dany wariant. Wygenerowano w ten sposób ranking wariantów, który przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Ranking wariantów rozwiązań transportowych uzyskany metodą AHP

#### 4.4. Analiza wyników

W rankingu końcowym najwyższą ocenę uzyskał wariant W4, charakteryzujący się wprowadzeniem podsystemu szybkiego indywidualnego transportu miejskiego PRT. Jak wynika z uzyskanych ocen, wariant ten jest najbardziej przyjazny dla osób starszych i z niepełnosprawnością. Wariant ten wyraźnie przewyższa pozostałe warianty. Jest ponad dwukrotnie lepszy od kolejnego w rankingu wariantu W3. Wariant W3 polega na zastosowaniu w pełni zautomatyzowanego szybkiego, grupowego transportu miejskiego GRT, który ma zastąpić transport autobusowy. Widać wyraźnie, że wariant ten jest mniej korzystny dla osób starszych i z niepełnosprawnością przede wszystkim z uwagi na niezmienną dostępność transportową w stosunku do sytuacji obecnej zdefiniowanej jako wariant W1. To w wariantcie W4 w systemie transportowym rozpatrywanego obszaru miasta pojawia się dodatkowo kolejny podsystem transportowy, który zwiększa dostępność transportową. Właśnie to kryterium tak mocno wpłynęło na pozycję wariantu w rankingu poszczególnych wariantów. Na końcu rankingu znalazł się wariant W1, który jest obecnym rozwiązaniem złożonym z podsystemów tramwajowego i autobusowego.

Porównując wariant zwycięski, najlepszy, W4 z wariantem najgorszym W1, w pierwszej kolejności należy zauważyć, że W4 ma użyteczność blisko osiem razy większą od W1. Taka sytuacja wskazuje jednoznacznie na potrzebę zmian w systemie transportu omawianego rejonu miasta wobec potrzeb osób z niepełnosprawnością i starszych. Trzy kryteria, K5 (funkcjonalność), K6 (komfort podróży) i K7 (dostępność transportowa) najmocniej wpłynęły na różnicę między tymi wariantami. Wymienione kryteria, od siedmiu razy (w przypadku K7) do ośmiu razy (w przypadku K5 i K6) bardziej wpływały na wariant najlepszy (W4) niż na wariant najgorszy (W1).

## 5. PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule autorzy dokonali przeglądu i oceny porównawczej wybranych rozwiązań transportowych, wpływających na poprawę mobilności osób z niepełnosprawnością i osób starszych (w zaawansowanym wieku). Autorzy przeprowadzili rozważania zarówno w odniesieniu do transportowych rozwiązań infrastrukturalnych, jak i środków transportu, czyli taboru.

Na wybranym przykładzie dokonano oceny przydatności rozważanych wariantów (związanych z infrastrukturą transportową i z taboru) do transportu osób z ograniczoną mobilnością. W obszarze analizy rozwiązań infrastrukturalnych autorzy dokonali oceny systemów PRT (*personal rapid transit*), BRT (*bus rapid transit*) oraz multimodalnych węzłów przesiadkowych, sprzyjających integracji systemów transportowych (w szczególności systemów transportu miejskiego).

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski o charakterze metodycznym:

- metodyka wielokryterialnego wspomaganie decyzji (WWD) jest użytecznym narzędziem oceny przydatności rozwiązań transportowych dla osób starszych i z niepełnosprawnością,
- ocenę różnorodnych rozwiązań transportowych z uwzględnieniem wymagań osób starszych i z niepełnosprawnością można formułować jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingu) wariantów, a do jego rozwiązania można zastosować jedną z wielokryterialnych metod rankingowych, np. metodę AHP,
- przy ocenie rozwiązań transportowych z punktu widzenia osób starszych i z niepełnosprawnością należy uwzględnić następujące aspekty/kryteria: dostępność od systemu transportowego (waga 42%), komfort podróży (waga 20,8%), funkcjonalność (waga 12,8%) oraz bezpieczeństwo i niezawodność (10,2%).

Przeprowadzone badania pozwalają również na wyciągnięcie następujących wniosków praktycznych/uitylitarnych:

- najkorzystniejszym rozwiązaniem dla osób starszych i z niepełnosprawnością jest wariant W4, ponieważ istotnie poprawia dostępność do systemu transpor-

towego w analizowanym obszarze miasta w porównaniu do pozostałych wariantów,

- porównanie W4 i W1 wskazuje na konieczność uwzględniania przy projektowaniu systemów transportowych istotnych aspektów z punktu widzenia osób starszych i z niepełnosprawnością, tj. aspektów społecznych i środowiskowych, a w mniejszym stopniu ekonomicznych (koszt inwestycyjny).

Za główne osiągnięcia artykułu autorzy uznają:

- sformułowanie problemu oceny rozwiązań transportowych z punktu widzenia osób starszych i z niepełnosprawnością w postaci zadania wielokryterialnego szeregowania wariantów,
- rozwiązanie tego zagadnienia, czyli przeprowadzenie oceny rozwiązań transportowych za pomocą metody AHP.

Przedstawiona praca badawcza może i powinna być rozwijana w następujących kierunkach:

- wykorzystania innych metod wielokryterialnych (np. electre III/IV, ANP, promethee) do oceny przydatności rozwiązań transportowych do potrzeb i wymagań osób starszych i z niepełnosprawnością oraz przeprowadzenie analiz porównawczych uzyskanych wyników,
- szczegółowego badania środków transportowych i elementów infrastruktury transportowej pod względem spełniania wymagań osób starszych i z niepełnosprawnością.

## LITERATURA

- Boardman, A., Greenber, D., Vinning, A., Weimer, D. (2013). *Cost-Benefit Analysis. Concepts and Practice*. New York : Pearson Publishing.
- Chamier-Gliszczyński, N. (2017). *Modelowanie mobilności a aspekcie planowania transportu miejskiego*. Koszalin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej.
- Cichosz, M. (2015). Innowacje w logistyce miejskiej – zrównoważony transport publiczny. In: J. Witkowski, *Prace naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu: Ekonomiczne, społeczne i środowiskowe uwarunkowania logistyki*. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 26-39.
- City-data.com, <http://www.city-data.com/forum/new-york-city/2137541-how-much-more-can-population-nyc-7.html>.
- Czyż-Gwiazda, E. (2006). *Benchmarking. Benchmark index czyli jak porównywać się z najlepszymi*. Katowice: Centrum Benchmarkingu Polska – TUV Nord Polska.
- Evans, J., White, M. (1998). *A review of transport resources for people with disabilities: A state-of-the-art review'*. Review Report 3. Vermont South, Victoria: ARRB Transport Research.
- Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (eds.) (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys*. New York: Springer.

- Fontes, T., Correia, J., Pinho de Sousa, J., Freire de Sousa, J., Galvao, T. (2017). A Multi-User Integrated Platform for Supporting the Design and Man-agement of Urban Mobility Systems. In: Fontes T., Correia J., Pinho de Sousa J., Freire de Sousa J., Galvao T. *A Multi-Transportation Research Procedia (forthcoming)*.
- Goodwin, P., Wright, G. (1998). *Decision Analysis for Management Judgment*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Grabarek, I. (2014). Ergonomia w projektowaniu innowacyjnego transportu publicznego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej: Organizacja i Zarządzanie*, 63, 67-75.
- GUS (2016). *Informacji Ministra Zdrowia na temat wpływu zmian demograficznych i starzenia się społeczeństwa na organizację systemu ochrony zdrowia i Narodowy Program Zdrowia*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Karlof, B., Ostblom, S. (1993). *Benchmarking. A signpost to Excellence in Quality and Productivity*, John Wiley & Sons, Chichester. Chichester: John Wiley & Sons.
- Keeney, R., Raiffa, H. (1993). *Decision Analysis with Multiple Objectives. Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Komisja Europejska. (2017, czerwiec 17). *Komisja Europejska - informacje*. Pobrano z lokalizacji Witryna sieci Web Komisji Europejskiej: [https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/doc/2011\\_white\\_paper/white-paper-illustrated-brochure\\_pl.pdf](https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_pl.pdf)
- Komisja Wspólnot Europejskich. (2001). *Biała Księga "Europejska polityka transportowa na 2010 r.: czas na decyzję" COM(2001)0370*. Bruksela.
- Kruszyński, M. (2014). *Metodyka wielokryterialnego wspomaganie decyzji w problematyce zarządzania transportem miejskim*. Poznań.
- Kruszyński, M., Żak, J. (2015). Agregacja rankingów w wielopoziomowej, wielokryterialnej ocenie projektów transportu miejskiego. *Logistyka 2*, strony 433-434.
- Labus, A. (2014). Miasto przyjazne osobom starszym na przykładzie SANGERHAUSEN. W P. zbiorowa, *Osoby starsze w przestrzeni życia społecznego*. Katowice: OMIKRON Sp. z o.o., strony 194-219.
- Labus, A. (2013). Starzejące się społeczeństwa europejskie XXI w. w koncepcjach odnowy miejskiej. Gliwice: Politechnika Śląska.
- Macharis, C., DeWitte, A., Ampe, J., (2009). The multi-actor, multi-criteria analysis methodology (MAMCA) for the evaluation of transport projects: Theory and practice. *Journal of Advanced Transportation*, 43(2), strony 183-202.
- Ministerstwo Infrastruktury. (2011). *Strategia rozwoju transportu do 2020 roku (z perspektywą 2030 roku)*. Warszawa.
- Miovision (2012). *Bus Rapid Transit (BRT) in the United States*. Retrieved from: <https://miovision.com/blog/bus-rapid-transit-brt-in-the-united-states>.
- Officer, A., Posarac, A. (2011). *World report on disability 2011*. Malta: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.
- Ogonowska-Musiatowicz, Z., Chmielewski M. (2003). *Narodowy Spis Powszechny i Mieszkań 2002 r.* Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Popiel, M. (2016). Innowacje służące poprawie dostępności transportu miejskiego dla osób niepełnosprawnych – wybrane przykłady. *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG(19(3))*, 46-56.
- Rada Miejska Miasta Poznania. (1999). *Polityka transportowa miasta Poznania*. Poznań: Urząd Miasta Poznania.

- Roy, B. (1993). Decision Science or Decision-Aid Science? *European Journal of Operational Research*, 66(2), 184-203.
- Rudnicki, A. (1999). *Quality in Urban Public Transportation*. Kraków: Association of the Transportation Engineers.
- Saaty, T. (1995). Transport Planning with Multiple Criteria: The Analytic Hierarchy Process Applications and Progress Review. *Journal of Advanced Transportation*, 29(1), 81-126.
- Saaty, T. (2005). *Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Multiple Criteria Decision Analysis*. New York: State of the Art Surveys, Springer, New York.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Vincke, P. (1992). *Multicriteria Decision - Aid*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Węgrzyn, A. (2000). *Benchmarking. Nowoczesna metoda doskonalenia przedsiębiorstwa*. Kluczbork–Wrocław: ANTYKWA.
- WHO (2007). *Global Age Friendly Cities: A guide*. Geneva: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.
- Zairi, M., Leonard, P. (1994). *Practical Benchmarking: the Complete Guide*. London: Chapman & Hall.
- Zgierska, A. (red.). (2012). *Osoby niepełnosprawne na rynku pracy w 2011 r.* Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- ZTM (2015). *Program "Brama Zachodnia" - przebudowa trasy tramwajowej w ul. Dąbrowskiego - od ul. Botanicznej do ul. Żeromskiego wraz z węzłem*. Retrieved from: <http://www.ztm.poznan.pl/pl/o-ztm/inwestycje-2/zrealizowane/program-brama-zachodnia-przebudowa-trasy-tramwajowej-w-ul-dabrowskiego-od-ul-botanicznej-do-ul-zeromskiego-wraz-z-wezlem>.
- Żak, J. (2017). The Methodology of Multiple Criteria Decision Making/Aiding as a System-Oriented Analysis for Transportation and Logistics. In: J. Świątek, *Advances in Systems Science. Proceedings of the International Conference on Systems Science 2016 (ICSS 2016)*. Heidelberg–New York: Springer International Publishing.
- Żak, J., Kruszyński, M. (2015). Application of AHP and ELECTRE III/IV Methods to Multiple Level, Multiple Criteria Evaluation of Urban Transportation Projects. *Transportation Research Procedia*, 10, 820-830.
- Żak, J. (2005). *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym*. Poznań: Politechnika Poznańska.
- Żak, J. (2011). The Methodology of Multiple Criteria Decision Making/Aiding in Public Transportation. *Journal of Advanced Transportation*, 45(1), 1-20.

**ANALYSIS AND MULTIPLE-CRITERIA EVALUATION OF SELECTED,  
INNOVATIVE TRANSPORTATION SOLUTIONS IN VIEW OF THE NEEDS  
OF DISABLED AND ELDERLY PEOPLE**

**Summary**

In this paper the authors have presented selected, innovative transportation solutions for the urban transportation system and have conducted a multiple-criteria evaluation of them, taking into consideration the analysis of the needs of disabled and elderly (in advanced age) people. They have presented modern transportation solutions, such as: Personal Rapid Transit (PRT) system, Bus Rapid Transit (BRT) system and integrated transfer nodes. They have used the above mentioned solutions to design different variants of an urban transportation system and have carried out their multiple-criteria evaluation taking into consideration the interests (preferences and expectations) of people with reduced mobility. In this paper the results of the computer based computational experiments, carried out using the AHP method have been presented. On the basis of the final ranking of considered variants, the appropriate reasoning has been conducted.

**Keywords:** reduced mobility, innovative transportation solutions, multiple-criteria analysis