

Dr inż. Ireneusz Kaczmar

Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

ORCID: 0000-0002-5394-1168

e-mail: i.kaczmar@pwsu.eu

Ocena wpływu zestawienia składu pociągu na bezpieczeństwo i komfort jazdy pasażera

Evaluation of the impact of the train composition on the safety and comfort of the passenger journey

Streszczenie

Celem artykułu jest wielokryterialna ocena zestawienia składu pociągu pod kątem komfortu i bezpieczeństwa podróży na wybranych trasach w Polsce. Badania obejmują składy kolejowe z różnymi konfiguracjami wagonów i lokomotyw, które kursują na popularnych liniach, bez uwzględniania stanu infrastruktury torów kolejowych. Ocena zostanie dokonana na podstawie wiedzy ekspertów, którymi są pracownicy kolei. Zaproponowana metoda badawcza to analityczny proces hierarchiczny (AHP). Zakres opracowania obejmuje zbadanie siedmiu popularnych składów pociągów kursujących na wybranych trasach w kontekście ich możliwości przewozowych. Cel artykułu autor zamierza osiągnąć przez przegląd stanu wiedzy, identyfikację czynników wpływu, wybór tras przejazdów, wybór składów pociągów, analizę czynników ekonomicznych, technicznych, jakościowych i bezpieczeństwa. Na zakończenie zostanie utworzony końcowy ranking wyników. Badania są oparte na wiedzy ekspertów z drużyn pociagowych z dużym doświadczeniem zawodowym. Wyniki zagregowano komputerowo z użyciem oprogramowania Expert Choice.

Słowa kluczowe

kolej, transport kolejowy, transport naziemny, ekonomika transportu, AHP, ocena transportu kolejowego

Abstract

The purpose of the article is a multi-criteria evaluation of train composition in terms of travel comfort and safety on selected routes in Poland. The study includes train sets with different configurations of cars and locomotives that run on popular lines, without taking into account the condition of the railroad track infrastructure. The evaluation will be made based on the knowledge of experts, who are railroad employees. The proposed research method is an analytical hierarchical process (AHP). The scope of the work includes an examination of seven popular train sets operating on selected routes in the context of their capacity. The author intends to achieve the purpose of the work by reviewing the state of the art, identifying influential factors, selecting routes, selecting train compositions, analyzing economic, technical, quality and safety factors. Finally, a final ranking of the results will be created. The research is based on the knowledge of train crew experts with extensive professional experience. The results were aggregated by computer using Expert Choice software.

Keywords

rail, rail transportation, surface transportation, transportation economics, AHP, rail transportation development

JEL: R4

Wstęp

Wybór tematu został podyktowany rosnącą konkurencją w sektorze transportowym i coraz większymi wymaganiami klientów. Presja środowiska związana z coraz większymi wymaganiami w zakresie emisji gazów cieplarnianych oraz rosnące ceny paliw kopalnych powodują, że kolej staje się atrakcyjnym środkiem transportu i jest konkurencyjna w stosunku do połączeń lotniczych, zwłaszcza na dystansie poniżej 1000 km. Aby spro-

stać wymaganiom pasażerów w zakresie komfortu i dostosowania oferty przewozowej, istnieje potrzeba optymalnego doboru zestawienia składu pociągu przez przewoźnika do potrzeb klienta. Należy przy tym uwzględnić obowiązkowe parametry techniczne taboru, aby spełniać wymagane poziomy bezpieczeństwa (Białoń & Czarnecki, 2006; Raczynski, 2007), uwzględniając m.in.:

- maksymalną dopuszczalną prędkość linii kolejowej,

- maksymalną dopuszczalną prędkość pojazdu kolejowego,
- wymagany procent masy hamującej pociągu przy określonej prędkości,
- rodzaj napędu i hamulców zastosowanych w pojazdach kolejowych,
- interoperacyjność, czyli zgodność techniczną systemów kolejowych w różnych państwach członkowskich Unii Europejskiej,
- dostosowanie zestawienia składu pociągu do oczekiwań podróżnych i spodziewanych natężeń potoków ruchu oraz opłacalności ekonomicznej.

Obecnie, jak na warunki europejskie, wzorcem do naśladowania jest francuski TGV, który przy normalnej eksploatacji osiąga prędkość 320 km/h, a jego rekord prędkości odnotowany w 2007 r. to 574,8 km/h¹.

Celem opracowania jest wielokryterialna ocena możliwości transportowych składu pociągu z uwzględnieniem wybranych czynników technicznych i ekonomicznych w kontekście komfortu i bezpieczeństwa podróży. Ocena została dokonana z punktu widzenia i na podstawie wiedzy ekspertów kolejowych (pracowników drużyn pociągowych), a nie z punktu widzenia pasażera. Pasażer jest jedynie klientem dla którego często najważniejszym, a może nawet jedynym, kryterium wyboru środka transportu jest cena biletu i dostępność stacji docelowej. Pozostałe kwestie są zwykle mniej istotne lub nieznane. Natomiast kierownik pociągu czy konduktor ma szerszą wiedzę na temat funkcjonowania transportu kolejowego i może udzielić bardziej precyzyjnych informacji w tym zakresie. Ocena wybranych pociągów na popularnych trasach w Polsce dotyczyła komfortu i bezpieczeństwa podróży. Zakres badań obejmuje wybrane konfiguracje składów pociągów obsługujących realne linie kolejowe, ale bez uwzględniania stanu infrastruktury stałej torów kolejowych. Efektem końcowym jest ranking badanych składów pociągów.

Z badania wyłączono koleje dużych prędkości, ponieważ ten typ pociągów powinien być oceniany w innej kategorii pojazdów.

Operator kolejowy ma możliwości różnych konfiguracji zestawienia taboru kolejowego, przez co zmieniają się parametry całego składu. Zaproponowana metoda badawcza to analityczny proces hierarchiczny, rzadko stosowany w tej dziedzinie. Zakres badań obejmuje wybrane linie kolejowe i ich zdolności przewozowe. Cele szczegółowe zrealizowane w przedstawionym opracowaniu zdefiniowano w następujący sposób:

- przegląd stanu wiedzy w badanym zakresie,
- wybór linii kolejowych, na których zostanie przeprowadzone badanie,
- identyfikacja i wybór obiektywnych kryteriów oceny,
- ocena wariantów i synteza wyników.

Przegląd wiedzy w zakresie klasyfikacji tras i składów pociągów

Zestawienie składu pociągu to konfiguracja lokomotywy oraz wagonów, które tworzą pociąg (Bartczak, 2015). Może ono obejmować różne rodzaje wagonów, takich jak: wagon klasy 1 (pierwszej), 2 (drugiej) lub 3 (trzeciej) w zależności od stopnia luksusu i wygody, wagon restauracyjny lub barowy, wagon bagażowy, wagon sypialny, wagon z miejscami dla osób niepełnosprawnych, wagon z miejscami dla rowerów, inne rodzaje wagonów specjalnego przeznaczenia (PKP Intercity, 2020). Zestawienie składu pociągu może mieć wpływ na bezpieczeństwo i komfort jazdy pasażera, ponieważ różne rodzaje wagonów mogą pełnić różne funkcje i służyć różnym potrzebom pasażerów (Fajczak-Kowalska, 2013). Dlatego konfiguracja składu pociągu jest ważnym elementem zarządzania ruchem kolejowym. Zgodnie z literaturą (Starczewska, 2011) podstawowa typologia pociągów w Polsce to:

- Pociągi Express Intercity (Intercity) kursujące w Polsce należą do kategorii pociągów Intercity uruchamianych przez przewoźników kolejowych w różnych krajach europejskich. Przejazd pociągu charakteryzuje się małą liczbą stacji pośrednich oraz wysoką prędkością maksymalną, wpisując się tym samym w poczet połączeń pospiesznych.
- Pociągi Express InterCity Premium (Pendolino). Pociągi PKP Pendolino obsługują połączenia pomiędzy największymi polskimi miastami, łącząc południe i północ kraju. Przejazd pociągiem PKP Pendolino należy do bardzo wygodnych. Prędkości, z jakimi pociągi kursują między miastami w Polsce, dochodzą do 250 km/h.
- Pociągi Twoje Linie Kolejowe (TLK) to oferta która pozwala na podróże pociągiem na dalekich trasach przy niskich cenach biletów kolejowych. Pociąg zatrzymuje się na wszystkich stacjach pośrednich na trasie i kursuje z dużą częstotliwością.

W przypadku infrastruktury wagonowej istnieją dwa podstawowe typy wagonów:

- wagon bezprzedziałowy,
- wagon z przedziałami.

Należy wspomnieć, iż istnieją także wagony sypialne oraz wagony wykorzystywane do przewozu rowerów, a także wagon restauracyjny – Wars. Różnica między pierwszą a drugą klasą wagonów jest następująca:

- Pociąg Intercity – w pierwszej klasie pociągu Intercity wagony są przedziałowe. Każdy z foteli jest regulowany oraz ma indywidualne oświetlenie oraz gniazdko 220V. W drugiej klasie pociągu występują zarówno wagony bezprzedziałowe, jak i przedziałowe. Wszystkie posiadają klimatyzację, toalety oraz urządzenia wzmacniające sygnał telefoniczny.



- Pociąg Pendolino – pierwsza klasa pociągu Pendolino to najwyższy standard dostępny w polskich pociągach. Duży odstęp między miejscami oraz regulowane fotele sprawiają, że podróż jest komfortowa. Podróżni otrzymują ponadto ciepły i zimny napój oraz przekąskę. W drugiej klasie pasażerowie również mogą liczyć na komfort. Część foteli jest zwrócona do siebie, tworząc strefę ze stolikiem. Pasażerowie otrzymują jeden napój. Istnieje również możliwość wykupienia miejsc w Strefie Ciszy.
- Pociąg TLK – pasażerowie pierwszej klasy mają do dyspozycji wagony przedziałowe oraz bezprzedziałowe. W każdym z przedziałów znajduje się sześć komfortowych foteli. W drugiej klasie pasażerowie mogą wybrać między wagonem bezprzedziałowym z podwójnymi siedzeniami lub przedziałowym z ośmioma miejscami w obrębie przedziału.

Zgodnie z literaturą przedmiotu (Cieślakowski, 2012; UTK, 2010) linie kolejowe mogą być klasyfikowane według ich właściwości, parametrów technicznych lub funkcji gospodarczych i społecznych. W zależności od znaczenia rozróżnia się linie:

- magistralne – charakteryzuje je bardzo szybki ruch osobowy i szybki ruch tranzytowy towarowy;
- pierwszorzędne – charakteryzuje je szybki ruch osobowy i tranzytowy towarowy;
- drugorzędne – o mniejszym natężeniu i szybkości jazdy pociągów;
- znaczenia miejscowego – obsługują miejscowe trasy o małym natężeniu i małej prędkości jazdy.

Kolejny podział dotyczy szerokości toru dla danego operatora (Butkevicius, 2007). Według tego kryterium wyróżnia się linie:

- normalnotorowe (o rozstawie szyn między wewnętrznymi krawędziami toków szynowych 1435 mm),
- szerokotorowe (o szerokości większej niż 1435 mm, np. 1520 mm – Rosja, Ukraina, Białoruś i inne kraje WNP, 1600 mm – Irlandia lub 1676 mm – Hiszpania, Portugalia),
- wąskotorowe (o szerokości mniejszej niż 1435 mm, np. 1067 mm, 1000 mm, 785 mm, 750 mm i 600 mm),

Należy również wskazać podział ze względu na liczbę torów oraz rodzaj trakcji, co pozwala wyróżnić linie:

- jednotorowe,
- dwutorowe,
- wielotorowe,
- zelektryfikowane,
- nieelektryfikowane.

Następna klasyfikacja dotyczy ukształtowania terenu oraz położenia w stosunku do powierzchni. Występują więc linie:

- nizinne (o pochyleniach podłużnych linii od 5 do 10‰ i promieniach łuków w granicach od 500 do 2000 m),
- podgórskie (o pochyleniach podłużnych linii od 10 do 15‰ i promieniach łuków w granicach od 300 do 1500 m),
- górskie (o pochyleniach podłużnych linii do 30‰ i z promieniami łuków w granicach od 300 do 800 m);
- naziemne,
- nadziemne,
- podziemne.

Pociągi PKP Intercity poruszają się wyłącznie po liniach normalnotorowych. Pociągi wyjeżdżające poza granice do krajów byłego ZSRR, np. do Białorusi, mają przeważnie zmieniane wózki na szerszy rozstaw torów (1520 mm). Wyczerpującą klasyfikację linii kolejowych w Polsce można odnaleźć w materiałach źródłowych (PKP Polskie Linie Kolejowe, 2021). Dokumentacja PKP uwzględnia specyfikację linii i ich podział ze względu na wiele parametrów, m.in.: długość linii, prędkości konstrukcyjne czy parametry Transeuropejskiej Sieci Transportowej TEN-T, AGC, AGTC, TEN-T. Natomiast szczegółowe dane dotyczące oznakowania i konfiguracji pojazdów w składzie pociągu można odnaleźć w dokumentacji operatora (Dyrekcja Generalna PKP, 1997), a także w aktualnych planach zestawienia składów dostępnych na stronie operatora.

Materiały i metody

W badaniu zastosowano analityczny proces hierarchiczny (AHP – *Analytic Hierarchy Process*). Nie jest to metoda często stosowana w ocenie transportu kolejowego, chociaż można odnaleźć w literaturze pojedyncze przypadki podobnych opracowań naukowych (Sivilevičius & Maskeliūnaite, 2010). Jest to metoda ekspercka, wspomagająca podejmowanie decyzji. Służy do oceny i porównywania różnych opcji oraz alternatyw. Może być szczególnie przydatna w ocenie stanu transportu kolejowego, ponieważ pozwala na precyzyjne określenie i ważenie wybranych kryteriów, takich jak np. koszt, szybkość, niezawodność, bezpieczeństwo czy ekologia. Filozofia metody polega na stworzeniu hierarchicznej struktury, w której każde kryterium jest oceniane w odniesieniu do pozostałych. Za pomocą odpowiednich algorytmów można wyznaczyć wagę poszczególnych kryteriów i uzyskać ostateczne rankingi opcji. Metoda AHP jest szczególnie przydatna w sytuacjach, gdy decyzja dotyczy wyboru między kilkoma opcjami, które różnią się pod względem wielu kryteriów. Może być również stosowana do oceny i porównywania różnych systemów transportu, takich jak np. kolej, samochody czy tramwaje. W przypadku transpor-

tu kolejowego AHP szczególnie przydaje się do oceny skuteczności różnych rozwiązań technicznych czy organizacyjnych, takich jak zestawienie składu pociągu oraz jego wpływ na bezpieczeństwo i komfort pasażera, czy do porównywania różnych tras i linii kolejowych. W procesie projektowania badawczego metodą analitycznego procesu hierarchicznego (AHP) wyróżnia się następujące fazy:

- analizę sytuacji,
- identyfikację problemu,
- zdefiniowanie problemu,
- opracowywanie wariantów alternatywnych rozwiązań,
- ocenę wariantów,
- wybór wariantu optymalnego lub analizę czynników wpływu.

Ocena wariantów oraz wybór wariantu racjonalnego odgrywają fundamentalną rolę w tym procesie. Warianty projektowe to propozycje rozwiązania określonego problemu. W zależności od stopnia konkretyzacji zadania projektowego mogą one być formułowane bardziej lub mniej szczegółowo, co stwarza określone trudności praktyczne i teoretyczne. Trudności praktyczne wynikają z konieczności redukcji kosztów i ryzyka procesów informacyjno-decyzyjnych; trudności teoretyczne sprowadzają się natomiast do budowy systemu oceny spełniającego wymogi kompletności, spójności i wszechstronności. W sekcji tej zostaną pokrótce scharakteryzowane oraz porównane lokomotywy, wagony oraz zestawione z nich składy pociągów.

Wyrażna przewaga zaproponowanej metody polega na konwersji werbalnego przekazu wiedzy ekspertów do użytecznej dla decydentów informacji w postaci liczbowej lub graficznej (diagramy, procenty itp.). Model matematyczny wykorzystujący algebrę macierzy zakłada dekompozycję skomplikowanego problemu do prostej postaci składającej się z wielu jednostkowych problemów, które możemy porównywać parami, nie rozpraszając uwagi na inne elementy. Te elementarne czynniki wpływu lub kryteria są oceniane w zależności od sytuacji i koncepcji przyjętego badania. Dalej następuje wielokryterialna analiza decyzyjna, która polega na porównywaniu parami jednostkowych elementów większej całości (analizowany problem), a końcowym etapie następuje synteza wyników częściowych w odniesieniu do celu głównego. Metoda jest oparta na pewnych koncepcjach z zakresu psychologii i matematyki.

Szczegółowy model matematyczny jest szeroko opisywany jest w literaturze (Saaty, 2010), dlatego też bardziej skupiono się na zastosowaniu praktycznym modelu. Główne etapy rozwiązywania problemów decyzyjnych w metodzie AHP koncentrują się na zadaniach dotyczących opracowania koncepcji badania i zaprojektowania struktury decyzyjnej oraz dekompozycji dużego problemu na mniejsze składowe. Ważnym etapem jest zebranie

spójnych ocen ekspertów i sposób ich agregacji, dalej – wygenerowanie wartości priorytetów w ramach struktury decyzyjnej. Ostatni etap dotyczy weryfikacji spójności dokonanych ocen, aby uniknąć sprzecznych wypowiedzi i obejmuje syntezę wyników.

W realizowanym badaniu pierwsza faza polega na zidentyfikowaniu wszystkich istotnych problemów, ważnych dla realizacji celu głównego. Dalej następuje ich przedstawienie według wybranej struktury w postaci hierarchii lub sieci, zaczynając od postawienia celu głównego na samej górze, wymienieniu głównych kryteriów, a kończąc na uszczegółowieniu na najniższym poziomie hierarchii. Te struktury są zazwyczaj przedstawiane w formie dendrogramu, czyli diagramu w kształcie drzewa. Dalej następuje analiza czynników wpływu z zastosowaniem algebry macierzy. Jednostki elementarne są zapisywane w postaci macierzy. Macierz porównania parami stanowi podstawowe narzędzie do analizy danych przy użyciu metody AHP. Jest zwykle oznaczana symbolem A i przyjmuje postać standardową zapisywaną ogólnie jako:

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Na podstawie macierzy A obliczane są wektory preferencji kryteriów głównych i odpowiadających im subkryteriów jako wektory własne macierzy porównań parami (Ghorbanzadeh i in., 2018). Taki wektor jest najczęściej określany jako wektor priorytetowy lub wektor wagowy i ma postać następującej formuły:

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T. \quad (2)$$

Wektory własne macierzy porównań parami po znormalizowaniu określają względną ważność elementów decyzyjnych na każdym poziomie struktury hierarchicznej. Stanowią one lokalne wartości tych elementów. Wartości lokalne dają podstawę do obliczenia priorytetów globalnych. Wartość globalną elementu z danego poziomu uzyskuje się w wyniku przemnożenia wartości jego priorytetu lokalnego przez wartość priorytetu globalnego elementu macierzystego, znajdującego się na poziomie bezpośrednio powyżej. Na ostatnim poziomie

struktury hierarchicznej, gdzie znajdują się warianty decyzyjne, priorytety oblicza się podobnie, jak opisano powyżej. Opisywany proces badawczy przebiega następująco:

1. Porównanie ważności wariantów decyzyjnych w odniesieniu do poszczególnych subkryteriów. W wyniku tego określa się znaczenie poszczególnych wariantów decyzyjnych dla realizacji danego subkryterium (priorytety lokalne).
2. Otrzymane priorytety lokalne mnoży się przez odpowiadające im priorytety globalne dla subkryteriów. Wielkości te są nazwane cząstkowymi priorytetami globalnymi.
3. Suma cząstkowych priorytetów globalnych danego wariantu decyzyjnego jest jego priorytetem globalnym. Wariant z najwyższą wagą priorytetu uznaje się za najlepszy.

Po wykonaniu porównań parami wszystkich zgromadzonych elementów oceny są normalizowane i weryfikowane w celu zbadania ich spójności. Wyżej wspomniane oceny formułuje się według fundamentalnej skali Saaty'ego, czyli skali dziesięciostopniowej. Szeroki opis metody badawczej, a także liczne przykłady struktur decyzyjnych w postaci hierarchii lub sieci można odnaleźć w literaturze (Saaty & Cillo, 2021; Kaczmar, 2010).

Koncepcja badania i wybór kryteriów

Aby wybrać istotne kryteria dotyczące bezpieczeństwa i komfortu zestawienia składu pociągu, dokonano analizy literatury (Bazaras, 2006; Ulatowski i in., 2018; Monsuur i in., 2017) oraz porównań danych producenta pojazdów, tj. lokomotyw oraz wagonów w badanych składach pociągów.

Na podstawie przyjętych kryteriów wybrano składy pociągów kursujących na popularnych liniach kolejowych w Polsce. Z punktu widzenia przewoźnika zidentyfikowano cztery kryteria główne, które składają się z subkryteriów szczegółowych (rysunek 1). Dotyczą one następujących obszarów oceny pojazdów:

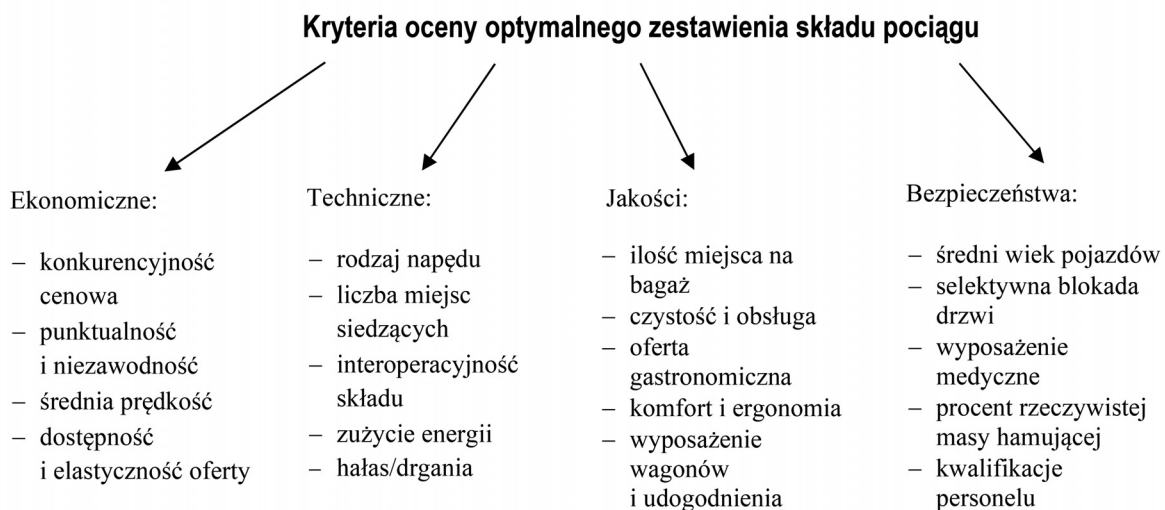
- K1 – kryterium ekonomiczne,
- K2 – kryterium techniczne,
- K3 – kryterium jakości,
- K4 – kryterium bezpieczeństwa.

Wyboru kryteriów głównych dokonano na podstawie wiedzy ekspertów, a także literatury (Bril & Łukasik, 2013; Kowalczyk & Rosik, 2014; Garlikowska, 2014; Kłos-Adamkiewicz, 2016). Poniżej zamieszczono szerszy opis kryteriów głównych oraz odpowiadających im subkryteriów szczegółowych.

Kryterium ekonomiczne. Wzięto pod uwagę aspekty ekonomiczne funkcjonowania transportu kolejowego, m.in. uogólniony koszt, zużycie energii i wpływ na środowisko w odniesieniu do innych środków transportu i źródeł napędu, opartych zwłaszcza na spalaniu paliw kopalnych. Subkryteria obejmują:

- konkurencyjność cenową wobec innych środków transportu – można ją zdefiniować jako uogólniony koszt podróży na badanej trasie; czynnik uwzględnia sumę różnych kosztów związanych z podróżą (pieniężnych, czasu, stresu, miejsc parkingowych itp.);
- punktualność i niezawodność transportu kolejowego w odniesieniu do innych środków transportu na badanej trasie;
- średnią prędkość – w tym subkryterium wzięto pod uwagę średnią prędkość uzyskiwaną na całej trasie przebiegu pociągu;

Rysunek 1. Schemat kryteriów i subkryteriów



Źródło: opracowanie własne.

- dostępność i elastyczność oferty, różnorodność miejsc i klas wagonów, możliwość zakupu biletu przez Internet, zasięg linii, dostępność i położenie stacji przystankowych.

Kryterium techniczne. W tym kryterium wzięto pod uwagę aspekty techniczne, m.in. rodzaj napędu i sterowania, pojemność składu pociągu, interoperacyjność, średnią prędkość podróży i in. Stosowne subkryteria obejmują:

- rodzaj napędu i sterowania – określa rodzaj silników (synchroniczne, asynchroniczne) oraz sposób i niezawodność sterowania nimi – analogowe, cyfrowe;
- liczbę miejsc siedzących – w tej kategorii brana jest pod uwagę liczba dostępnych miejsc siedzących w danym pociągu;
- interoperacyjność – w tym subkryterium uwzględnia się możliwość użycia składu pociągu w innych krajach, na przykład z innym rodzajem zasilania;
- zużycie energii i wpływ na środowisko w porównaniu z innymi środkami transportu;
- hałas/drgania – to subkryterium obejmuje subiektywne odczucie hałasu według ekspertów podczas jazdy, jego uciążliwość dla podróżnych i wibracje przenoszone z wózka wagonowego do przestrzeni pasażerskiej.

Kryterium jakości. Wzięto tu pod uwagę aspekty jakościowe takie jak ilość miejsca na bagaż, czystość w wagonach, jakość obsługi pasażerów, oferta gastronomiczna, ergonomia siedzeń i dodatkowe udogodnienia oferowane podróżnym. Subkryteria obejmują:

- ilość miejsca na bagaż – określa dostępną przestrzeń bagażową, w tym miejsca na rowery itp.;
- czystość i obsługę – wzięto pod uwagę czystość wagonów, toalet i poziom obsługi klienta, m.in. komunikaty głosowe, możliwość użycia karty płatniczej, zakres usług dodatkowych świadczonych przez drużynę pociągową;
- ofertę gastronomiczną – oceniana jest obecność wagonu gastronomicznego w zestawionym składzie pociągu i jego oferta;
- komfort i ergonomię – w tym subkryterium brana jest pod uwagę subiektywna ocena ergonomii komfortu siedzeń;
- wyposażenie i udogodnienia – wzięto pod uwagę takie elementy, jak: klimatyzacja, liczba gniazdek zasilania, ładowarki, dostęp do prasy, sterowanie oświetleniem itp.

Kryterium bezpieczeństwa. To kryterium obejmuje wybrane aspekty bezpieczeństwa w pociągu, tj.: średni wiek pojazdów, zezwolenie maszynisty na otwarcie wyłącznie drzwi znajdujących się po stronie krawędzi peronowej, wyposażenie medyczne w pociągu, procent rzeczywistej masy hamującej czy kwalifikacje personelu. Wyróżniono następujące subkryteria:

- średni wiek pojazdów – to subkryterium odnosi się do średniego wieku pojazdów zestawionych w danym składzie pociągu;
- selektywną blokadę drzwi – to subkryterium odnosi się do posiadania przez wagony systemu selektywnej zgody otwierania drzwi przez maszynistę (system TBO);
- wyposażenie medyczne – to subkryterium odnosi się do ilości wyposażenia medycznego, apteczka, defibrylator itp.
- procent rzeczywistej masy hamującej – parametr określa sprawność hamulców wybranego składu pociągu;
- kwalifikacje personelu – to subkryterium bierze pod uwagę rodzaj dodatkowych kwalifikacji personelu, np. język obcy, migowy, ukończone kursy i szkolenia.

Ocena zestawionych składów została wykonywana na bazie struktury hierarchicznej. Najwyżej znajduje się cel badania, na drugim poziomie kryteria główne, na trzecim poziomie subkryteria szczegółowe, a na czwartym poziomie alternatywy decyzyjne. Elementy (kryteria główne i cząstkowe, warianty) znajdujące się na poszczególnych poziomach struktury hierarchicznej są oceniane przez porównanie ich parami (każdy z każdym). Każdy z elementów danego poziomu modelu jest porównywany pod kątem względnej ważności w odniesieniu do kryterium znajdującego się na poziomie bezpośrednio wyższym. Porównań kryteriów głównych i cząstkowych oraz analizowanych wariantów poprzez określanie stopnia dominacji jednego nad drugim dokonuje grupa wybranych ekspertów na podstawie indywidualnych osądów (Skorupka & Duchaczek, 2010).

Grupa ekspertów ($N = 10$) składała się z dziesięciu doświadczonych pracowników drużyn pociągowych z wieloletnim stażem pracy. W badaniach nie uwzględniano opinii podróżnych, natomiast grupę ekspertów stanowili w tym przypadku pracownicy kolei. Opinie grupy zebrane za pomocą kwestionariusza wywiadu zostały zagregowane metodą średniej geometrycznej. Następnie dane zostały wprowadzone do modelu komputerowego w postaci liczbowej z wykorzystaniem fundamentalnej skali Saaty'ego. Po opracowaniu struktury hierarchicznej przystąpiono do ocen poszczególnych elementów i zbadano ich wpływ na realizację celu głównego. Program komputerowy skontrolował również spójność ocen udzielanych przez ekspertów, aby unieвозмоwić dopuszczenie ocen sprzecznych.

Przebieg procesu badawczego

Ważnym krokiem przy wykorzystaniu metody AHP jest prawidłowe zdefiniowanie alternatyw decyzyjnych. W naszym przypadku są to elektrowozy

poszczególnych serii oraz konkretne typy wagonów pasażerskich, z których zestawiane są badane składy pociągów. Wybrano sześć popularnych typów lokomotyw serii: EU07, EP07, EP09, EU44, EU160 i SU160 oraz szesnaście typów wagonów: 111A, 140A, 113A, Batzen89, 175a-10, 170A, 154A, 152A, 167A, 308A, 134A, 112A, 141A oraz wagony kolei austriackiej ÖBB klasy 1, klasy 2 i klasy 2 z miejscami na rowery. Wizualizację badanych pojazdów i ich podstawowe parametry można odnaleźć w katalogach producenta. Ponieważ ilość danych technicznych przekracza możliwości redakcyjne artykułu, pominięto ten aspekt. Wyłączono pociągi typu EIP, ponieważ znajdują się one w zupełnie innej klasie pojazdów, a porównania nie byłyby adekwatne. Po wstępnej subiektywnej analizie popularności linii zgodnie z wykazem linii (PKP Polskie Linie Kolejowe, 2021) do badań zostały wybrane pociągi:

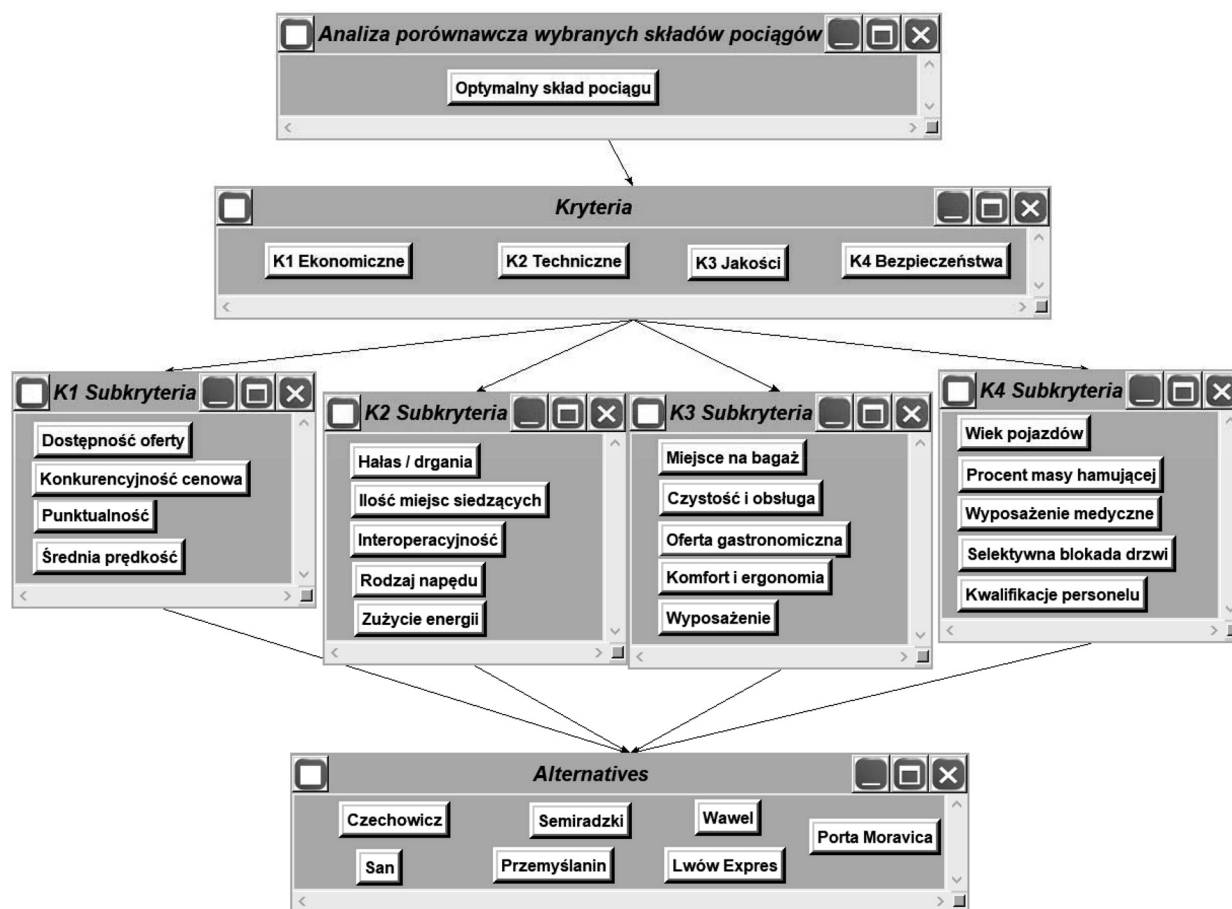
- pociąg TLK Czechowicz nr 21122 relacji Lublin Główny–Warszawa Wschodnia przez Lubartów, Radzyń Podlaski, Łuków, Siedlce, Mińsk Mazowiecki;
- pociąg IC San nr 31106/7 relacji Przemyśl Główny–Warszawa Wschodnia przez Przeworsk, Stalową Wolę, Rozwadow, Sandomierz,

Ostrowiec Świętokrzyski, Starachowice Wschodnie, Radom Główny;

- pociąg IC Siemiradzki nr 3602 relacji Przemyśl Główny–Wrocław Główny przez Rzeszów, Kraków Główny, Katowice, Gliwice, Opole;
- pociąg IC Przemyślanin nr 38172 relacji Przemyśl Główny–Świnoujście przez Rzeszów, Kraków Główny, Katowice, Gliwice, Opole, Wrocław Główny, Leszno, Poznań Główny, Szczecin Główny;
- pociąg międzynarodowy EC Wawel nr 37000/1/56 relacji Przemyśl Główny–Berlin HBF przez Kraków Główny, Katowice, Gliwice, Opole Główny, Wrocław Główny, Legnicę, Lubin, Zieloną Górę Główną, Rzepin, Frankfurt;
- pociąg IC Lwów Expres nr 36000 Przemyśl Główny–Wrocław Główny przez Rzeszów, Kraków Główny, Katowice, Gliwice, Opole;
- pociąg międzynarodowy IC/EC Porta Moravica nr 34002 relacji Przemyśl Główny–Graz HBF przez Rzeszów, Kraków Główny, Katowice, Chałupki, Ostrawę-Svinov, Breclav, Wien HBF.

Dla potrzeb realizowanej pracy zaprojektowano strukturę hierarchiczną, której schemat pokazano na rysunku 2. Przetwarzanie danych uzyskanych od grupy ekspertów było możliwe dzięki zastosowaniu

Rysunek 2. Schemat struktury hierarchicznej analizowanego problemu



Źródło: opracowanie własne.

waniu programów komputerowych, takich jak np. Expert Choice lub Super Decision. Obliczenia na potrzeby niniejszego artykułu zostały wykonane przy użyciu programu Super Decision ver 2.7.

Składy pociągów do analizy wielokryterialnej zostały zestawiane z wymienionych wyżej typów pojazdów, których szczegółowe dane techniczne można odnaleźć w kartach katalogowych producenta. Są to realne pociągi poruszające się na prawdziwych trasach według stanu na sierpień 2022 r. Poniżej zamieszczono krótką specyfikację wybranych składów pociągów:

- **pociąg Czechowicz** – kursuje na trasie Lublin Gł.–Warszawa Wsch. w godzinach 14:45–17:43, składa się z lokomotywy serii SU160 i wagonów typ B, B, AB, B, B w liczbie 5 szt.;
- **pociąg San** – kursuje na trasie Przemyśl Gł.–Warszawa Wsch. w godzinach 04:26–10:32, składa się z lokomotywy serii EP07 i wagonów typ Bnouz, Bnouz, ABnouz, Bnouz w liczbie 4 szt.;
- **pociąg Siemiradzki** – kursuje na trasie Przemyśl Gł.–Wrocław Gł. w godzinach 13:48–19:47, składa się z lokomotywy serii EU160 i wagonów typ Amnouz, Bnouz, Bnouz, Bnouz, Bnouz, Bnouz w liczbie 6 szt.;
- **pociąg Przemyślanin** – kursuje na trasie Przemyśl Gł.–Świnoujście w godzinach 18:38–10:08, składa się z lokomotywy serii EP09 i wagonów typu Bcmnouz, WLABmnouz, Bmnouz, Bmnouz, Bnouz, Bbnouz, Bnouz, WRnouz, Anouz, Anouz, Bnouz, Bbnouz, Bbnouz, Bnouz, Bnouz w liczbie 15 szt.;
- **pociąg Wawel** – kursuje na trasie Przemyśl Gł.–Berlin HBF w godzinach 07:13–17:39, składa się z lokomotywy serii EU44 i wagonów typu Amnpouz, WRmnouz, Bbmnouz, Bmnouz, Bmnouz, Bmnouz, Bmnouz, Bgmnouz w liczbie 9 szt.;
- **pociąg Lwów Expres** – kursuje na trasie Przemyśl Gł.–Wrocław Gł. w godzinach 03:51–19:47, składa się z lokomotywy serii EP08 i wagonów typu: Bmnouz, Bmnouz, Bbnouz, Bnouz, WRnouz, Anouz w liczbie 6 szt.;
- **pociąg Porta Moravica** – kursuje na trasie Przemyśl Gł.–Graz HBF w godzinach 10:16–16:21, składa się z lokomotywy serii

EP09 i wagonów typu: Amz, Bmz, Bmpz, Bmpz w liczbie 4 szt.

W związku z tym, że metoda AHP jest metodą ekspercką, grupę ekspertów stanowili pracownicy drużyn pociągowych. Wszyscy eksperci posiadają wiedzę i doświadczenie zawodowe w dziedzinie kolejowej, a także znają trasy przejazdów badanych składów. Wśród ekspertów przeprowadzono wywiad z kwestionariuszem zalecanym przez autora metody, zgodnie z fundamentalną skalą Saaty'ego z udziałem moderatora. Oceny ekspertów zagregowano metodą średniej geometrycznej, a następnie wprowadzono do programu komputerowego. Współczynnik niespójności wypowiedzi IR kształtował się poniżej 0,1 dla badanych wariantów. W wyniku przeprowadzonych analiz uzyskano wiarygodne wyniki obliczeń zaprezentowane w następnej sekcji.

Wyniki i dyskusja

W tabeli 1 zamieszczono wartości liczbowe przedstawiające wpływ głównych kryteriów na optymalne zestawienie pociągu, w tym możliwości przewozowe, i bezpieczeństwo jazdy badanymi składami. Obliczone parametry otrzymano na podstawie supermacierzy porównań parami, która reprezentuje punkt widzenia ekspertów kolejowych, a nie podróżnych. W ten sposób werbalne opinie ekspertów zostały przedstawione w sposób liczbowy.

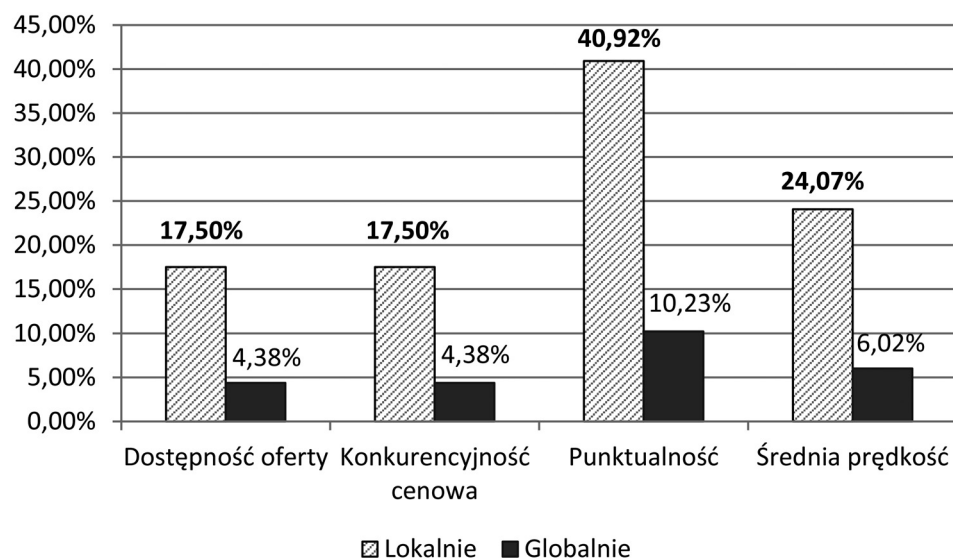
Na podstawie danych można stwierdzić, że największy wpływ na optymalne zestawienie składu pociągu ma kryterium bezpieczeństwa (49,50%), następnie kryterium ekonomiczne (19,96%), a dalej kryterium techniczne 16,50%, na ostatnim miejscu zaś, z udziałem 14,04%, znajduje się kryterium jakości.

Według ekspertów, czyli z punktu widzenia przewoźnika, najważniejszymi kryteriami głównymi w doborze składu pociągu są bezpieczeństwo i ekonomiczne koszty eksploatacyjne. Z drugiej strony podróżni wybierający ten środek transportu również chcą czuć się bezpiecznie i mieć zagwarantowane dotarcie do punktu docelowego jak najniższym kosztem. Następnie oczekują, aby podróż odbyła się w komfortowych warunkach. Aspekty

Tabela 1. Procentowe znaczenie kryteriów głównych

Kryterium główne	Udział kryterium w realizacji celu (w %)	
	wynik znormalizowany	wyniki dealny
K1 – ekonomiczne	19,96	49,32
K2 – techniczne	16,50	33,33
K3 – jakości	14,04	28,36
K4 – bezpieczeństwa	49,50	100,00

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 3. Udział czynników w kryterium głównym K1

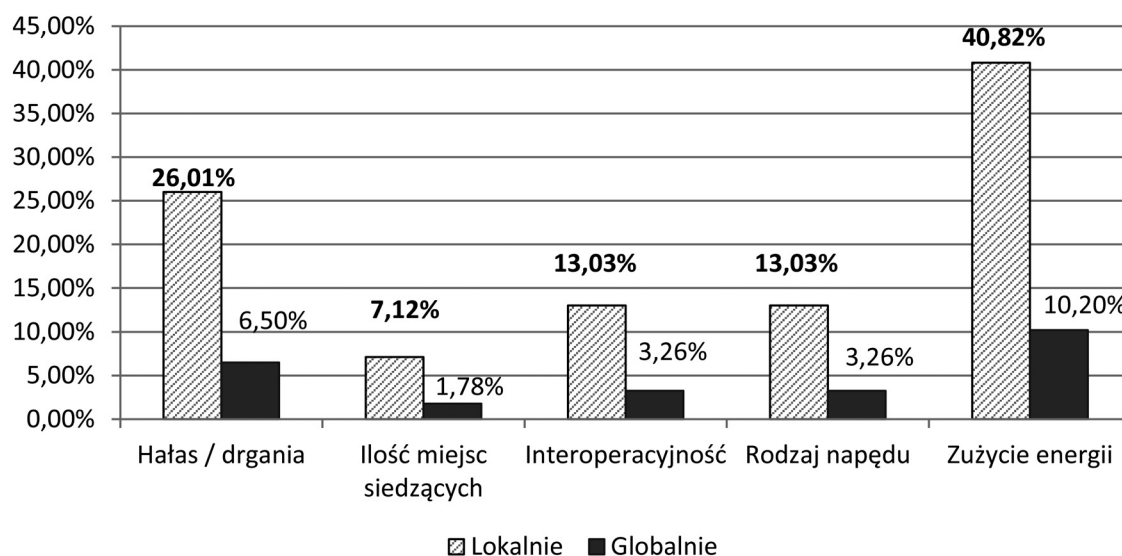
Źródło: opracowanie własne.

techniczne i jakościowe w opinii badanych nie mają aż tak wielkiego znaczenia. Należy jednak pamiętać, że jest to subiektywna ocena ekspertów, a nie podróżnych. Na rysunku 3 pokazano graficzne porównanie subkryteriów szczegółowych, ich udział lokalny w kryterium głównym K1 oraz udział globalny związany z realizacją celu pracy.

Największe znaczenie lokalne w kryterium K1 ma punktualność (40,92% udziału), ponieważ większość pasażerów korzysta regularnie z tego środka transportu. Na drugim miejscu jest średnia prędkość na danej trasie (24,07%), dalej na trzecim

i czwartym miejscu z takim samym udziałem plasują się dostępność oferty (17,5%) i konkurencyjność cenowa (17,5%). Wyniki są wiarygodne, gdyż zwykle podróż odbywa się w celu dojazdu do pracy, szkoły lub na studia, a pasażer nie chce wydawać większej kwoty na bilety i oczekuje punktualności. Ważnym czynnikiem jest dostępność biletu wraz z rezerwacją miejsca do siedzenia i elastyczność oferty.

Udział czynników szczegółowych w kryterium K2 został pokazany na rysunku 4. Jak widać, w kryterium głównym technicznym K2 największy wpływ

Rysunek 4. Udział czynników w kryterium K2

Źródło: opracowanie własne.

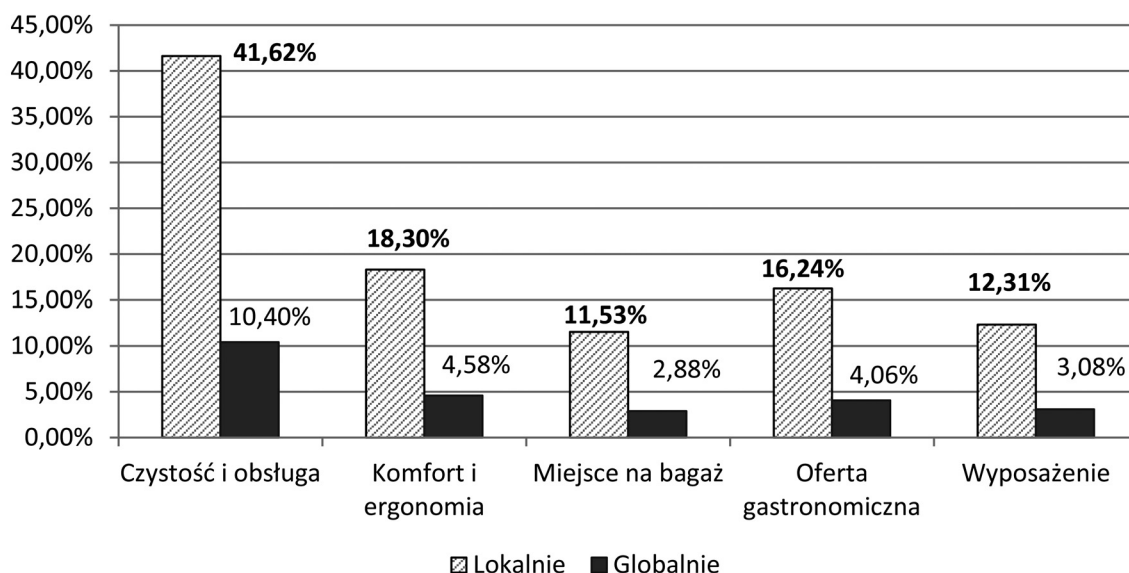
lokalny zdaniem ekspertów ma subkryterium zużycia energii (40,82%), na drugim miejscu czynnik – hałas/drgania (26,01%), a na trzecim i czwartym miejscu interoperacyjność i rodzaj napędu (po 13,03%). Na ostatnim miejscu uplasował się czynnik – liczba miejsc siedzących (7,12%).

Udział czynników szczegółowych w głównym kryterium K3 został pokazany na rysunku 5. Jak można zaobserwować, w kryterium głównym jakości K3 największy wpływ (priorytet) lokalny ma subkryterium dotyczące czystości wagonów i obsługi (41,62%), gdyż zdaniem ekspertów większość podróżnych wybierających kolejowy środek transportu potrzebuje wysokiego poziomu obsługi klien-

ta, a także higienicznych warunków podróżowania. Na drugim miejscu znalazły się komfort i ergonomia siedzeń (18,30%), a następnie oferta gastronomiczna (16,24%). Na czwartym miejscu pod względem ważności uplasowało się wyposażenie wagonów (16,24%). Są to różnego rodzaju udogodnienia w postaci liczby gniazdek elektrycznych, portów USB, ładowania indukcyjnego, sterowania oświetleniem, klimatyzacją czy dostępu do bezprzewodowego Internetu. Na ostatnim miejscu znajduje się subkryterium dotyczące ilości dostępnego miejsca na bagaż w składzie pociągu (11,53%).

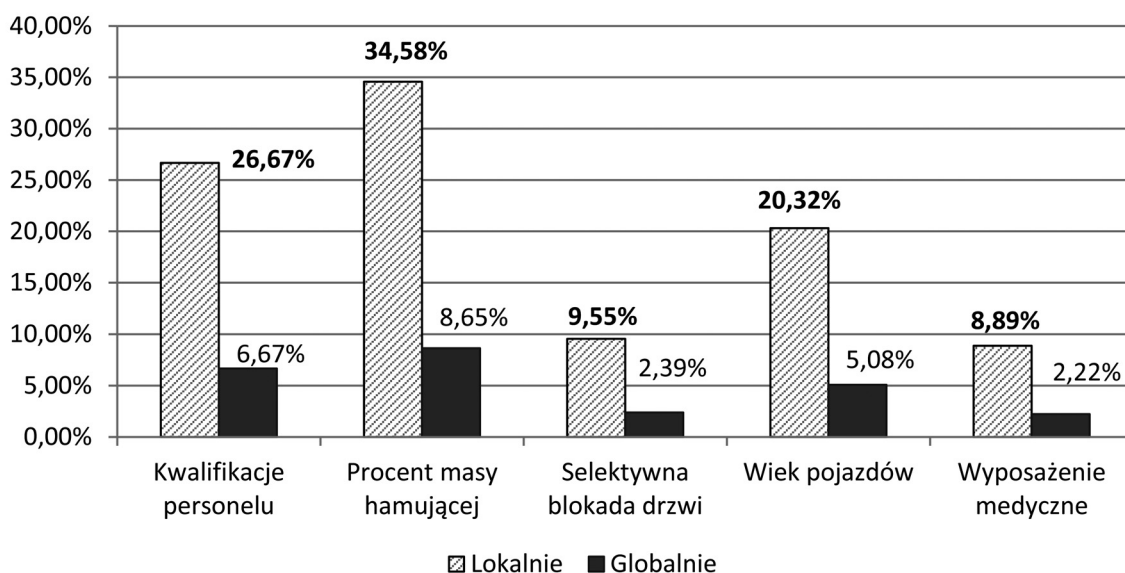
Udział poszczególnych czynników szczegółowych w kryterium K4 dotyczącym bezpieczeństwa

Rysunek 5. Udział czynników w kryterium K3



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 6. Udział czynników w kryterium K4



Źródło: opracowanie własne.

podróży został pokazany na rysunku 6. Na kryterium główne K4 największy wpływ lokalny (34,58%) ma rzeczywisty procent masy hamującej gwarantujący zatrzymanie pociągu w określonej drodze hamowania przy krawędzi peronowej, a także dający możliwość awaryjnego zatrzymania składu przed potencjalną przeszkodą zagrażającą bezpieczeństwu ruchu. Przeciętny pasażer podróżujący koleją najczęściej nie zdaje sobie sprawy z ważności tego czynnika, jedyne ekspert może zidentyfikować takie kryterium i wskazać jego wagę. Na drugim miejscu znalazł się czynnik dotyczący kwalifikacji personelu pociągu (26,67%), czyli znajomości języków obcych, obsługi niepełnosprawnych, możliwości udzielenia pomocy medycznej itp. Na trzecim miejscu uplasował się średni wiek pojazdów (20,32%), gwarantujący najmniejsze wyeksploatowanie taboru. Na ostatnich dwóch pozycjach znalazły się wyposażenie medyczne składu pociągu (8,89%) oraz system sterowania i selektywnego otwierania drzwi (9,55%), dający komfort ich otwarcia bez użycia siły. Jest to system TBO, w którym maszynista daje zgodę na otwarcie drzwi znajdujących się przy krawędzi peronowej. Ostatni ranking składów pociągów zaprezentowano w podsumowaniu.

Podsumowanie i wnioski

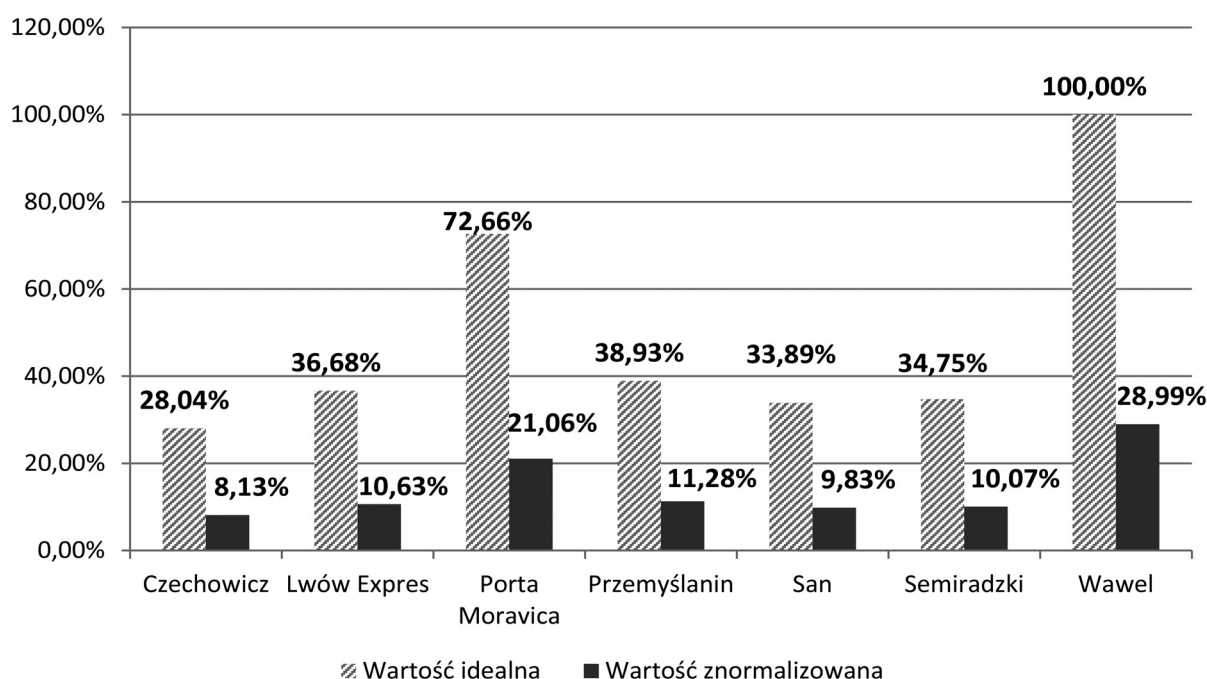
Zaproponowana metoda badawcza ma swoje zalety i wady, ale w analizowanym przypadku sprawdziła się bardzo dobrze. Jedną z zalet AHP jest

możliwość określenia wag kryteriów oraz ustalenie hierarchii wariantów i przedstawienie wyników liczbowych na dowolnym poziomie struktury hierarchicznej rozpatrywanego zagadnienia. W wyniku przeprowadzenia analitycznego procesu hierarchicznego otrzymujemy ranking końcowy, tzw. *Alternative rankings*, czyli kolejność, w jakiej poszczególne alternatywy decyzyjne (jeżeli zostały wcześniej zdefiniowane) oceniono w procesie AHP.

Na rysunku 7 przedstawiono ranking końcowy w ujęciu idealnym i znormalizowanym. Ranking idealny to specjalny rodzaj rankingu alternatyw, w którym oceniamy każdą opcję na podstawie jej odbiegania od idealnego rozwiązania, które przyjmuje wartość jeden (100%). Idealne rozwiązanie jest tu zdefiniowane jako takie, które otrzymałoby maksymalne wartości wszystkich kryteriów i subkryteriów. Ranking znormalizowany opisany jest przedziałem od 0 do 1, w którym wszystkie wartości sumują się do jedności (100%). Wartości końcowe badanych składów pociągów zaprezentowano na rysunku 7.

Najwyżej zostało ocenione zestawienie pociągu międzynarodowego EC Wawel (wartość idealna 100%, wartość znormalizowana 28,99%). Pozostałe pociągi uplasowały się w następującej kolejności: Porta Moravica, Przemyślanin, Lwów Expres, Siemiradzki, San. Ostatnie miejsce – z racji niskiego komfortu, niskiej prędkości, wysłużenia taboru i słabego podstawowego wyposażenia, które zapewnia jedynie komfort termiczny w porach roku wymagających ogrzewania składu, oraz niskiego poziomu bezpieczeństwa – zajął pociąg TLK Cze-

Rysunek 7. Schemat struktury hierarchicznej analizowanych pociągów



Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Wartości priorytetów wszystkich badanych czynników

Nazwa czynnika	Wartość lokalna (w %)	Wartość globalna (w %)
Dostępność oferty	17,50	4,38
Konkurencyjność cenowa	17,50	4,38
Punktualność	40,92	10,23
Średnia prędkość	24,07	6,02
Hałas / drgania	26,01	6,50
Ilość miejsc siedzących	7,12	1,78
Interoperacyjność	13,03	3,26
Rodzaj napędu	13,03	3,26
Zużycie energii	40,82	10,20
Czystość i obsługa	41,62	10,40
Komfort i ergonomia	18,30	4,58
Miejsce na bagaż	11,53	2,88
Oferta gastronomiczna	16,24	4,06
Wypożyczenie	12,31	3,08
Kwalifikacje personelu	26,67	6,67
Procent masy hamującej	34,58	8,65
Selektywna blokada drzwi	9,55	2,39
Wiek pojazdów	20,32	5,08
Wypożyczenie medyczne	8,89	2,22
K1 – ekonomiczne	19,96	–
K2 – techniczne	16,50	–
K3 – jakości	14,04	–
K4 – bezpieczeństwa	49,50	–
Suma	–	100,00
Współczynnik niespójności ocen	0,0271	–

Źródło: opracowanie własne.

chowicz. Natomiast w tabeli 2 przedstawiono wartości liczbowe wag lokalnych i globalnych dla wszystkich analizowanych czynników głównych i szczegółowych.

Ze względu na przedstawione w tabeli 2 wartości globalnej ważności czynników można uszeregować wyszczególnione subkryteria w następującej kolejności:

1. Czystość i obsługa – 10,40%.
2. Punktualność – 10,23%.
3. Zużycie energii – 10,20%.
4. Procent masy hamującej – 8,65%.
5. Kwalifikacje personelu – 6,67%.
6. Hałas/drgania – 6,50%.
7. Średnia prędkość – 6,02%.
8. Wiek pojazdów – 5,08%.
9. Komfort i ergonomia – 4,58%.
10. Dostępność oferty – 4,38%.
11. Konkurencyjność cenowa – 4,38%.
12. Oferta gastronomiczna – 4,06%.
13. Interoperacyjność – 3,26%.
14. Rodzaj napędu – 3,26%.
15. Wypożyczenie – 3,08%.
16. Miejsce na bagaż – 2,88%.

17. Selektywna blokada drzwi – 2,39%.

18. Wypożyczenie medyczne – 2,22%.

19. Liczba miejsc siedzących – 1,78%.

Ponadto spośród badanych czynników najważniejsze subkryteria, o najwyższej wadze lokalnej przy optymalizacji składu pociągu, to m.in.:

- czystość i obsługa – 41,62%;
- punktualność – 40,92%;
- zużycie energii – 40,82%;
- procent masy hamującej – 34,58%.

W wyniku przeprowadzonych analiz oraz pozyskania wiedzy od ekspertów zidentyfikowano 19 istotnych czynników, które mają wpływ na optymalne zestawienie składu pociągu. Duża grupa czynników nie jest znana przeciętnemu pasażerowi korzystającemu sporadycznie z transportu kolejowego.

Na zakończenie sformułowano ważniejsze wnioski końcowe:

1. Dwa najważniejsze kryteria lokalne wskazane przez ekspertów i istotne dla pasażera to czystość i obsługa oraz punktualność, natomiast z punktu widzenia przewoźnika są to zużycie energii i procent masy hamującej pociągu, który musi zapewnić wymagany poziom bezpieczeństwa.

2. Optymalne zestawienie składu pociągu, niezależnie od stanu infrastruktury torowisk, musi uwzględniać szereg czynników, które mogą stać ze sobą w sprzeczności, jak np. cena biletu i zużycie energii czy średnia prędkość i procent masy hamującej lub zużycie energii elektrycznej.
3. W ocenie ekspertów pasażerowie dużą wagę przywiązują do czynnika czystości i obsługi, co wiąże się z zapewnieniem wysokiego poziomu obsługi klienta przez przewoźnika (najwyższy priorytet w skali globalnej – 10,40%).
4. Pewnym zaskoczeniem okazała się niska pozycja konkurencyjności cenowej podróży koleją w stosunku do innego środka transportu (globalnie jedenaste miejsce). Należy jednak pamiętać, że zaprezentowano punkt widzenia ekspertów, a nie pasażerów. Bardzo prawdopodobne jest, że w przypadku przeprowadzania badań wśród pasażerów (np. na próbie losowej) okazałoby się, że czynnik ten osiąga znacznie wyższą pozycję w rankingu, być może nawet byłaby to pierwsza pozycja.

Dobór składu pociągu jest kluczowym dylematem każdego przewoźnika kolejowego. Chodzi bowiem o to, aby pogodzić komfort podróży, punktualność, czas przejazdu z optymalnym zużyciem energii i dostosowaniem technicznym pojazdów kolejowych do parametrów linii kolejowych.

Niniejsza praca jest unaocznieniem, jak w rzeczywistych warunkach decyzyjnych przydatne są programy do analizy wielokryterialnej typu Super Decision ver 2.7, ponieważ ułatwiają podejmowanie decyzji w zarządzaniu flotą posiadanego taboru oraz w ekonomicznym rozporządzaniu nim.

Cel artykułu został osiągnięty, ponieważ udało się zastosować metodę komputerową w praktycznym zarządzaniu przedsiębiorstwem. Ograniczeniem pracy jest brak uwzględnienia stanu infrastruktury torów i trakcji na badanych trasach, ponieważ temat ten jest zbyt obszerny, aby ująć go w jednym opracowaniu.

Przypisy/Notes

- ¹ www.eurostar.com (dostęp: 11.11.2022).

Bibliografia/References

- Bartczak, K. (2015). Analiza taboru kolejowego w Polsce. *TTS Technika Transportu Szybnego*, (12).
- Bazaras, J. (2006). Internal noise modelling problems of transport power equipment. *Transport*, 21(1), 19–24.
- Białoń, A., & Czarnecki, R. (2006). Normalizacja europejska w zakresie kompatybilności między taboru kolejowym a urządzeniami detekcji pociągu. *TTS Technika Transportu Szybnego*, (12), 49–52.
- Bril, J., & Łukasik, Z. (2013). Bezpieczeństwo transportu. *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 14(3), 1895–1905.
- Butkevicius, J. (2007). Development of passenger transportation by railroad from Lithuania to European States. *Transport*, 22(2), 73–79.
- Cieślakowski, S. (2012). Granice prędkości grawitacyjnego rozrządzenia wagonów. *TTS Technika Transportu Szybnego*, (9).
- Dyrekcja Generalna PKP. (1997). Instrukcja o znakowaniu i numeracji wagonów osobowych. *Biuletyn Polskich Kolei Państwowych*, Mw-37b.
- Fajczak-Kowalska, A. (2013). *Transport kolejowy w procesach logistycznych polskiej gospodarki*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Garlikowska, M. (2014). Czynniki wpływające na postrzeganie transportu kolejowego w kategoriach niezawodności. *Problemy Kolejnictwa*, (165), 35–49.
- Ghorbanzadeh, O., Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2018). An interval matrix method used to optimize the decision matrix in AHP technique for land subsidence susceptibility mapping. *Environmental Earth Sciences*, 77, 1–19.
- <https://www.eurostar.com> (dostęp: 11.11.2022).
- <https://www.utk.gov.pl> (dostęp: 14.08.2022).
- Kaczmar, I. (2010). Pozycjonowanie informacji w Internecie z wykorzystaniem analitycznego procesu hierarchicznego AHP. *Marketing i Rynek*, (10), 25–30.
- Kłos-Adamkiewicz, Z. (2016). Uogólniony koszt podróży na przykładzie wyboru komunikacji miejskiej i samochodu osobowego. *Problemy Transportu i Logistyki*, (3/35), 73–82. <https://doi.org/10.18276/ptl.2016.35-07>
- Kowalczyk, K., & Rosik, P. (2014). Zmiany kosztu podróży samochodem i pociągiem w ruchu międzyaglomeracyjnym w 2000 i 2010 r. *Zeszyty Naukowe. Problemy Transportu i Logistyki/Uniwersytet Szczeciński*, (28), 125–141.
- Monsuur, F., Enoch, M., Quddus, M., & Meek, S. (2017). Impact of train and station types on perceived quality of rail service. *Transportation Research Record*, 2648, 51–59.
- PKP Intercity. (2020). *Instrukcja Br-21 (H-21) dla zespołu drużyn konduktorskich w zakresie obsługi pociągów pasażerskich uruchamianych przez „PKP Intercity” spółka z o.o.*
- PKP Polskie Linie Kolejowe. (2021). Załącznik do zarządzenia nr 1/2009 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 9 lutego 2009 r. *Plan zestawienia, obiegu i obsługi składów pociągów pasażerskich krajowych EIP, EIC, IC, TLK*.
- Raczyński, J. (2007). Czynniki decyzyjne w procesie zakupu taboru kolejowego. *TTS Technika Transportu Szybnego*, 13(4), 38–45.
- Saaty T. L. (2010). *Mathematical Principles of Decision Making. Principia Mathematica Decernendi*. RWS Publications.
- Saaty T. L., & Cillo, B. (2021). *The Encyclicon. Vol. 2: A Dictionary of Complex Decisions Using the Analytic Network Process*. RWS Publications.
- Sivilevičius, H., & Maskeliūnaitė, L. (2010). The criteria for identifying the quality of passengers' transportation by railway and their ranking using AHP method. *Transport*, 25(4), 368–381.
- Skorupka, D., & Duchaczek A. (2010). Zastosowanie metody AHP w optymalizacji procesów decyzyjnych związanych z realizacją przedsięwzięć logistycznych. *Zeszyty Naukowe. Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki*, (3), 54–62.
- Starczewska, M. (2011). *Leksykon terminów kolejowych*. KOW Media & Marketing.
- Ulatowski, B., Łukasik, Z., & Kurkowski, A. (2018). Rodzaje danych eksploatacyjnych w systemach sterowania ruchem kolejowym. *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, (12/226), 693–696.
- UTK. (2010). *Funkcjonowanie rynku transportu kolejowego w Polsce w 2010 roku*.

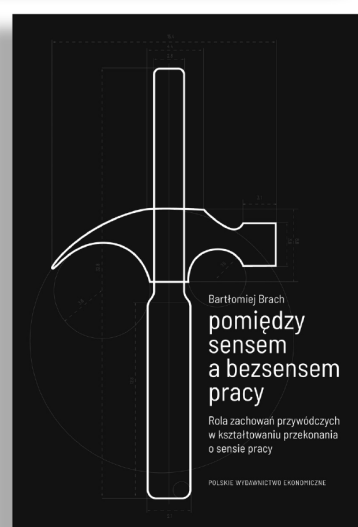
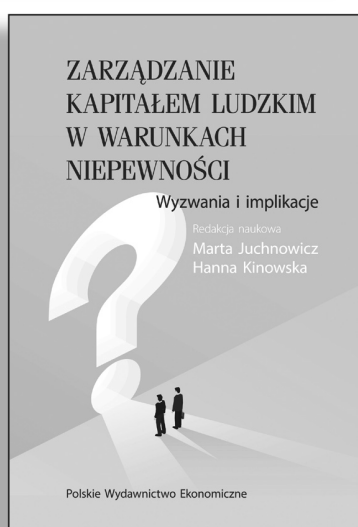
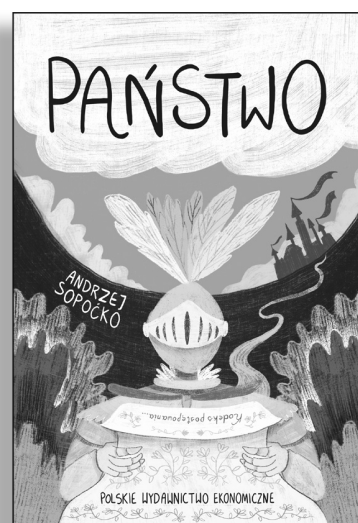
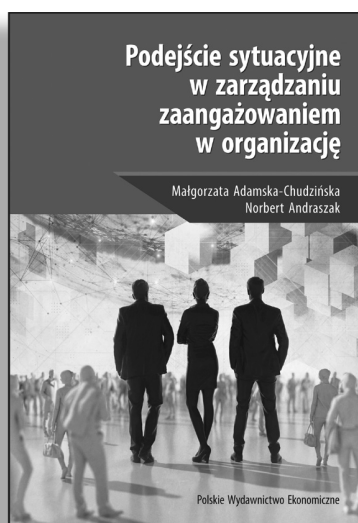
Dr inż. Ireneusz Kaczmar

Inżynier informatyk, magister ekonomii. W 2011 r. uzyskał tytuł doktora nauk ekonomicznych na Wydziale Zarządzania i Komunikacji Społecznej Uniwersytetu Jagiellońskiego. Obecnie jest zatrudniony jako wykładowca w Państwowej Akademii Nauk Stosowanych w Przemyśle w Instytucie Nauk Technicznych, gdzie prowadzi zajęcia z ekonomii i zarządzania. Jego główne zainteresowania naukowe to metody ilościowe w zarządzaniu oraz zastosowanie symulacji komputerowych w przemyśle. Ma wieloletnie doświadczenie zawodowe w zakresie optymalizacji procesów, projektowania modeli symulacyjnych i wielokryterialnych systemów decyzyjnych. Jest autorem międzynarodowych artykułów naukowych.

Dr inż. Ireneusz Kaczmar

A computer engineer with a master's degree in economics. In 2011, he received his PhD in economics from the Faculty of Management and Social Communication at Jagiellonian University. He is currently employed as a lecturer at the State Academy of Applied Sciences in Przemyśl at the Institute of Technical Sciences, where he teaches economics and management. His main research interests are: quantitative methods in management and the application of computer simulations in industry. He has about many years of professional experience in process optimization, simulation model design and multi-criteria decision-making systems. He is the author of international scientific articles.

Zapraszamy do zakupu książek



Książki są dostępne na stronie: www.pwe.com.pl