

Analiza skali wykluczenia komunikacyjnego na obszarze Polski wraz z rekomendacjami zmian legislacyjnych w kontekście publicznego transportu zbiorowego T-INCLUDED

Zadanie 4

**Opracowanie baz algorytmów do wyznaczenia
składowych wykluczenia i ich integracji wraz z oceną**

**Wypracowanie, analiza i ocena ilościowych algorytmów oceny
składowych wykluczenia komunikacyjnego oraz ich integracji
i agregacji do wskaźnika WK na poziomie punktu adresowego i JST**

30 kwietnia 2025 r.



Rzeczpospolita
Polska

NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju



POLITECHNIKA POZNAŃSKA



POLITECHNIKA
GDAŃSKA



Politechnika
Śląska

Politechnika
Warszawska

INFORMACJE O WYKONAWCY

Politechnika Poznańska

pl. M. Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań

NIP: 7770003699

REGON: 000001608

e-mail: biuro.rektora@put.poznan.pl

strona: <http://www.put.poznan.pl>

ZESPÓŁ WYKONAWCÓW PRAC

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki Poznańskiej

ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań

strona: <https://wilit.put.poznan.pl>

Wykonawcy:

- Maciej Bieńczak – IT, ZST
- Wojciech Miechowicz – IT, ZST
- Michał Pawłowski – IIL, ZBMiDK
- Adam Redmer – IT, ZST
- Jeremi Rychlewski – IIL, ZBMiDK
- Hanna Sawicka – IT, ZTS
- Piotr Sawicki – IT, ZST (*kierownik B+R*)
- Michał Wojtal – IT
- Paweł Zmuda-Trzebiatowski – IT, ZST (*kierownik projektu na PP*)

Spis treści

1. Wprowadzenie	7
2. Zastosowanie wskaźników w politykach transportowych - podstawowe wymagania	12
2.1. Podstawy tworzenia wskaźników do oceny skuteczności polityk transportowych	12
2.2. Konkluzje w zakresie tworzenia wskaźników do oceny skuteczności polityk transportowych	17
3. Opracowanie algorytmów składowych wykluczenia komunikacyjnego i pomocniczych - przegląd rozwiązań	19
3.1. Przegląd stanu wiedzy w zakresie algorytmów składowych WK	19
3.1.1. Przegląd prac z zakresu badania zjawiska wykluczenia	19
3.1.2. Czas dojazdu	41
3.1.3. Koszt dojazdu	44
3.1.4. Częstość kursowania	48
3.1.5. Dostępność przestrzenna przystanku	50
3.1.6. Dostępność dla osób ze szczególnymi potrzebami	54
3.1.7. Niezawodność czasu podróży	65
3.2. Przegląd stanu wiedzy w zakresie algorytmów pomocniczych	73
3.2.1. Przesiadki	73
3.2.2. Rozróżnianie charakteru badanego obszaru	77
3.2.3. Rozdzielczość zagregowanej prezentacji WK	82
3.2.4. Sposoby agregacji wskaźnika WK	86
3.2.5. Sieciowe miary	88
3.2.5. Transport na życzenie	91
3.3. Propozycje algorytmów składowych wykluczenia komunikacyjnego i pomocniczych	92
3.3.1. Algorytm składowy czasu dojazdu	92
3.3.1.1. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie czasu dojazdu – Algorytm 1	92
3.3.1.2. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie czasu dojazdu – Algorytm 2	93
3.3.2. Algorytm składowy kosztu dojazdu	95
3.3.2.1. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie kosztu dojazdu – Algorytm 1	97
3.3.2.2. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie kosztu dojazdu – Algorytm 2	99

3.3.3. Algorytm składowy częstości kursowania	101
3.3.3.1. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie częstości kursowania – Algorytm 1	102
3.3.3.2. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie częstości kursowania – Algorytm 2	103
3.3.4. Algorytm składowy dostępności przestrzennej przystanku	104
3.3.4.1. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie dostępności przestrzennej przystanku – Algorytm 1	104
3.3.4.2. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie dostępności przestrzennej przystanku – Algorytm 2	110
3.3.4.3. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie dostępności przestrzennej przystanku – Algorytm 3	112
3.3.4.4. Rekomendacje w zakresie dalszych prac nad algorytmami	112
3.3.5. Algorytm składowy dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami	113
3.3.5.1. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami – Algorytm 1	113
3.3.5.2. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami – Algorytm 2	117
3.3.5.3. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami – Algorytm 3	118
3.3.6. Algorytm składowy niezawodności czasu podróży	118
3.3.6.1. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie niezawodności czasu podróży – Algorytm 1	118
3.3.6.2. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie niezawodności czasu podróży – Algorytm 2	120
3.3.7. Algorytm pomocniczy w zakresie przesiadek	123
3.3.7.1 Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie planowania przesiadek – Algorytm 1	123
3.3.7.2 Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie planowania przesiadek – Algorytm 2	125
3.3.8. Algorytm pomocniczy w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru	129
3.3.8.1. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru – Algorytm 1	129
3.3.8.2. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru – Algorytm 2	136
3.3.8.3. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru – Algorytm 3	140
3.3.8.4. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie rozróżnienia	

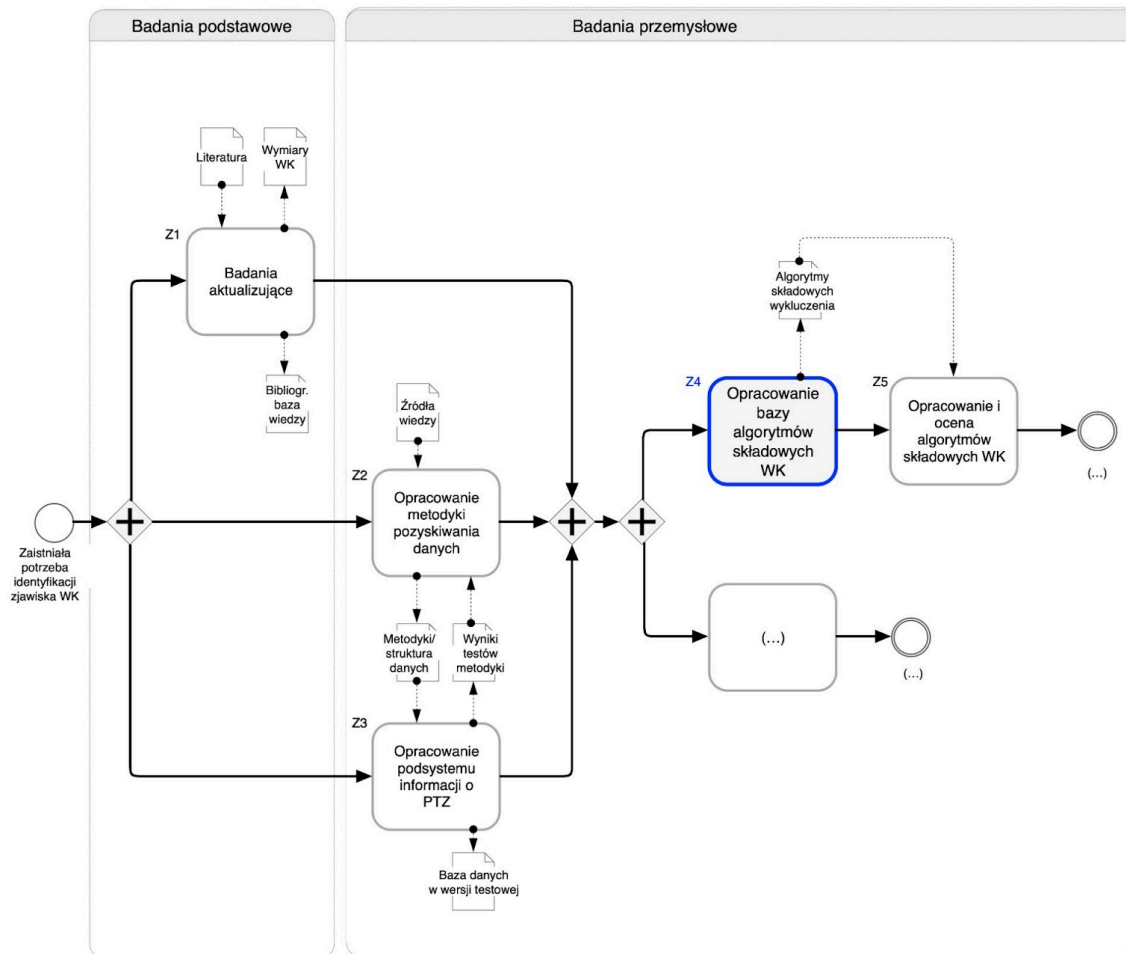
charakteru badanego obszaru – Algorytm 4	141
3.3.9. Algorytm pomocniczy w zakresie agregacji przestrzennej	143
3.3.9.1. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie agregacji przestrzennej badanego obszaru – Heurystyka 1	144
3.3.9.2. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie agregacji przestrzennej badanego obszaru – Heurystyka 2	145
3.3.10. Algorytm pomocniczy w zakresie miar sieciowych	145
3.3.10.1. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie miar sieciowych – Algorytm 1	146
3.3.10.2. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie miar sieciowych – Algorytm 2	147
3.3.11. Transport na życzenie	147
4. Opracowanie algorytmów integrujących składowe (algorytmy) wykluczenia komunikacyjnego – przegląd rozwiązań	149
4.1. Propozycja algorytmów integracji składowych wykluczenia	149
4.2. Wybrane algorytmy integracji składowych wykluczenia	172
5. Opracowanie algorytmów agregujących wskaźnik wykluczenia komunikacyjnego do wyższego poziomu jednostki samorządu terytorialnego – przegląd rozwiązań	202
5.1. Agregacja na poziomie składowych wskaźników wykluczenia dla punktów adresowych	202
5.2. Agregacja na poziomie wskaźników wykluczenia dla punktów adresowych	203
5.3. Wykorzystanie wskaźników makro dla JST do wyznaczenia wskaźnika WK dla JST	205
6. Testy analityczne - rekomendacje w zakresie wyboru algorytmów do dalszych badań - kamienie milowe	207
6.1. Analiza porównawcza podstawowych algorytmów wyznaczania składowych WK	207
6.1.1. Założenia dotyczące analiz w zakresie wyboru podstawowych algorytmów wyznaczania składowych WK	207
6.1.2. Rezultaty analiz w zakresie wyboru podstawowych algorytmów wyznaczania składowych WK	208
6.2. Analiza porównawcza pomocniczych algorytmów przy wyznaczaniu wykluczenia komunikacyjnego	220
6.2.1. Założenia dotyczące analiz w zakresie wyboru pomocniczych algorytmów przy wyznaczaniu WK	220
6.2.2. Rezultaty analiz w zakresie wyboru algorytmów pomocniczych przy wyznaczaniu WK	221
6.3. Analiza porównawcza algorytmów integrujących składowe WK	225
6.4. Analiza porównawcza algorytmów agregujących składowe WK	227
6.4.1. Założenia dotyczące analiz w zakresie wyboru algorytmów agregacji przy	

wyznaczaniu wskaźnika WK dla JST	227
6.4.2. Rezultaty analiz w zakresie wyboru algorytmów agregacji przy wyznaczaniu wskaźnika WK dla JST	228
7. Podsumowanie	232
Bibliografia	235

1. Wprowadzenie

Ulokowanie Z4 na tle innych zadań projektowych, głównie w początkowej fazie ich realizacji (projekt składa się z 22 zadań), zostało przedstawione na [Rys 1](#). Zadanie 4 realizowane jest w ramach badań przemysłowych i zostało poprzedzone realizacją Z1-Z3. W ramach Z1 pn. *Badania aktualizujące*, obejmujące swym zasięgiem badania podstawowe, przeprowadzone zostały kompleksowe badania literatury w zakresie identyfikacji, definiowania, badania i zapobiegania zjawisku WK. Zgromadzona wiedza ukształtowała bibliograficzną bazę wiedzy, ale fundamentalnym efektem Z1 mającym wpływ na realizację Z4 miało zidentyfikowanie wymiarów WK. Na podstawie raportu Z1, w którym przedstawiono roboczą definicję zjawiska WK powinno uwzględnić następujące wymiary:

- *Przestrzenny* – odzwierciedlający dostępność usług PTZ z punktu widzenia odległości jaką należy pokonać pomiędzy miejscem zamieszkania a przystankiem PTZ.
- *Czasowy* – odzwierciedlający czas świadczenia usługi PTZ, nie tylko z uwagi na atrakcyjność usług PTZ względem transportu indywidualnego, ale głównie z punktu widzenia możliwości realizacji regularnych podróży.
- *Finansowy* – odzwierciedlający dostępność usługi PTZ rozumianej jako możliwość odbywania podróży z uwagi na potencjalne ograniczenia finansowe podróży.
- *Niezawodnościowy* – odzwierciedlający ciągłość i poprawność realizacji regularnych podróży.
- *Organizacyjny* – odzwierciedlający możliwość wykonania podróży zarówno w kierunku dojazdowym, jak i powrotnym, w tym w określonych oknach czasowych (porach dnia).



Rys. 1. Metodyka realizacji projektu - fragment

W ramach Z2, pn. *Opracowanie metodyki pozyskiwania danych*, zostały przeanalizowane dostępne zbiory i źródła wiedzy, które pozwalają na ilościowe odzwierciedlenie wspomnianych wcześniej wymiarów zjawiska WK. W efekcie powstały metodyki pozyskiwania danych, a także została opracowana struktura danych, która stanowi podstawę algorytmizacji identyfikującej zjawisko WK.

Dla usystematyzowania gromadzenia danych i nadania im jednolitego standardu, w ramach Z3, pn. *Opracowanie podsystemu informacji o PTZ*, zostało przygotowane

testowe narzędzie w postaci bazy danych; przyjęto, że standardem opisu funkcjonowania PTZ jest General Transit Feed Specification - GTFS.

Mając na uwadze wspomniane efekty realizacji Z1-Z3 za **cel zadania 4** uznano wypracowanie, analizę i ocenę algorytmów oceny składowych WK oraz ich integracji i agregacji do wskaźnika WK na poziomie punktu adresowego i jednostki samorządu terytorialnego (JST)¹. Wobec tak sformułowanego celu zaplanowano realizację sześciu następujących **działań badawczych**:

- D1 - opracowanie podstawowych algorytmów składowych WK i algorytmów pomocniczych.
- D2 - opracowanie algorytmów integrujących, tj. łączących składowe algorytmy WK.
- D3 - opracowanie algorytmów agregujących wskaźnik WK do wyższego poziomu jednostki samorządu terytorialnego.
- D4 - przeprowadzenie testów analitycznych opracowanych algorytmów.
- D5 - opracowanie rekomendacji w zakresie wyboru ww. algorytmów do dalszych badań.
- D6 - opracowanie raportu częściowego z realizacji Z4.

Według założeń przedstawionych we wniosku projektowym² istotą Z4 jest przegląd istniejących rozwiązań w zakresie algorytmów opisujących kluczowe składowe WK, wypracowanie propozycji projektowych, a także przeprowadzenie analizy porównawczej uwzględniające 4 kategorie algorytmów, tj.:

- Podstawowe składowe WK, w szczególności związane z: czasem dojazdu, częstotliwością kursowania, niezawodnością czasu dojazdu, kosztami dojazdu i dostępnością przestrzenną przystanków, w tym także dla osób ze specjalnymi potrzebami (osób z niepełnosprawnościami).

¹ Cel wynika z listy oczekiwanych rezultatów określonych przez Ministerstwo Infrastruktury w wytycznych konkursowych.

² Politechnika Poznańska, Politechnika Gdańska, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Analiza skali wykluczenia komunikacyjnego na obszarze Polski wraz z rekomendacjami zmian legislacyjnych w kontekście publicznego transportu zbiorowego, wniosek o dofinansowanie projektu, GOSPOSTRATEG-V/0005/2021 (95483), 2021.

- Pomocnicze składowe WK, w szczególności dotyczące: rozróżnienia badanego obszaru, agregacji przestrzennej, oraz obsługi możliwości przesiadek między różnymi środkami transportu funkcjonującymi w systemie PTZ (w ramach taryf niezależnych lub zintegrowanych), co ma duże znaczenie dla możliwości poprawnego modelowania przemieszczania się pasażerów, a jednocześnie może znacząco zwiększyć złożoność obliczeń.
- Integracja składowych WK i klasyfikacja do wskaźnika WK na poziomie punktu adresowego.
- Agregacja wskaźnik WK do poziomu JST (gminy, powiatu, województwa), włączając w to klasyfikację zagregowanego obszaru pod względem poziomu WK dla agregacji niejednorodnych obszarów.

Algorytmy opracowane w ramach projektu zostaną analitycznie ocenione, dzięki czemu do dalszych prac zostaną wytypowane rozwiązania najkorzystniejsze. Przyjęto, że w ocenie analitycznej algorytmów zostaną uwzględnione takie aspekty, jak:

- zapotrzebowanie informacyjne w odniesieniu do możliwości pozyskania i wykorzystania niezbędnych danych w ramach projektu,
- stopień złożoności informatycznej,
- czytelność uzyskiwanego rezultatu.

Za kluczowe efekty realizacji Z4 uznaje się zestaw 4 kamieni milowych projektu, które wraz z ich parametrami obejmują:

- KM1: Analiza porównawcza algorytmów wyznaczających składowe WK; lista powinna obejmować minimum 10 rekomendowanych do dalszych badań algorytmów wyznaczających składowe WK, w tym minimum po 2 składowe: czasu dojazdu, kosztu dojazdu, częstości kursowania, dostępności przestrzennej przystanku i dla osób ze specjalnymi potrzebami.
- KM2: Analiza porównawcza algorytmów integrujących składowe WK; lista powinna obejmować minimum 4 algorytmy integrujące składowe WK rekomendowane do dalszych badań.

- KM3: Analiza porównawcza algorytmów agregujących składowe WK; lista powinna obejmować minimum 2 rekomendowane do dalszych badań algorytmy agregujące WK z poziomu punktu adresowego do poziomu JST.
- KM4: Analiza porównawcza algorytmów pomocniczych przy wyznaczaniu WK; lista powinna obejmować minimum 2 rekomendowane do dalszych badań algorytmy pomocnicze uwzględniające możliwość przesiadek w ramach systemu PTZ.

Zgodnie z przyjętą metodyką prac projektowych, patrz [Rys 1](#), rezultaty prac osiągnięte w wyniku realizacji Z4 posłużą bezpośrednio do realizacji Z5, pt. *Opracowanie i ocena algorytmów do wyznaczenia składowych WK we współpracy z bazą danych*. Wszystkie algorytmy opracowane w ramach Z4 i wytypowane do dalszych badań zostaną w ramach Z5 zaimplementowane w środowisku badawczym i wraz ze zbiorem niezbędnych danych wejściowych poddane testowaniu.

2. Zastosowanie wskaźników w politykach transportowych - podstawowe wymagania

2.1. Podstawy tworzenia wskaźników do oceny skuteczności polityk transportowych

W niniejszym rozdziale skoncentrowano się na istocie tworzenia wskaźników ilościowych, które mają odzwierciedlać stopień realizacji zakładanego celu. Wskazano podstawowe cechy, które powinien spełniać poprawnie skonstruowany wskaźnik, a także zidentyfikowano kluczowe ryzyka stosowania miar ilościowych w ocenie skuteczności działań.

Opracowywany w niniejszym projekcie wskaźnik zagrożenia wykluczeniem komunikacyjnym, a także jego składowe, mają w zamierzeniu pełnić funkcję oceniającą skuteczność działań planistycznych i interwencji prowadzonych w ramach polityki transportowej, która ma na celu zwalczanie tego wykluczenia. Stosowanie podejścia ilościowego do oceny polityk nie jest zagadnieniem nowym – wiadomo, że oprócz zalet, podejście to niesie ze sobą zagrożenia, z których najpoważniejsze związane są z niewłaściwą konstrukcją wskaźników. Stąd należy wskazać kluczowe cechy, które powinien spełniać wskaźnik, by móc być stosowanym w ocenie skuteczności polityk bez czynienia szkód. Są to:

- prawidłowość odwzorowania ważnych aspektów modelowanego zjawiska,
- obiektywność i odporność na próby fałszowania rzeczywistego obrazu,
- transparentność,
- ekonomiczność, w tym łatwość aktualizacji oraz pozyskania danych, na podstawie których wskaźnik jest wyznaczany,
- możliwość wyznaczenia w akceptowalnym horyzoncie czasu podejmowania decyzji.

Pierwsza cecha ma związek z tym, że w momencie wdrożenia podejścia ilościowego do oceny skuteczności polityk, to wskaźnik staje się reprezentantem zjawiska, a

zainteresowane podmioty mogą podejmować próby ustalenia jego wartości. Zjawisko samo w sobie nie jest złe. Jednak, jeśli rozbieżności pomiędzy wskaźnikiem, a reprezentowanym przez niego zjawiskiem są zbyt duże, efekt może być taki, że poprawa wartości wskaźnika nie będzie przekładać się na poprawę w zakresie analizowanego zjawiska, a nawet będzie przekładać się na jego pogorszenie. W opinii wykonawców projektu zjawisko wykluczenia komunikacyjnego jest oceniane z perspektywy indywidualnej w skali mikro. Stąd stosowanie bardziej ogólnych skal może prowadzić do przekłamań, na przykład objawiających się tym, że na ocenę poziomu wykluczenia w małej miejscowości będzie miał wpływ stan transportu w innej, większej miejscowości. W efekcie z perspektywy tak skonstruowanego wskaźnika przestanie mieć znaczenie, czy polepszenie sytuacji transportowej ma miejsce w tej małej, czy w tej większej miejscowości, tj. efekty te będą się wzajemnie kompensować. Podobne ryzyko można wskazać na przykładach wskaźnika minimalnych standardów komunikacyjnych, które wyrażone zostały np. jako minimalna oczekiwana liczba zatrzymań na przystankach, minimalna liczba kursów na linii czy dobową liczbą kursów zatrzymujących się w miejscowości. W pierwszym przypadku uzyskanym rezultatem może być zmniejszenie liczby przystanków, a w efekcie pogorszenie dostępności (zwiększenie poziomu wykluczenia komunikacyjnego). Pogorszenie w tym zakresie może być wymuszone potrzebą aby częściej obsługiwać inne przystanki bez jednoczesnego zaangażowania dodatkowych środków (pojazdów, kierowców). Co więcej, zwiększenie częstotliwości kursów niekoniecznie ma sens np. w przypadku przystanków obsługujących generatory ruchu (szkoły, zakłady pracy, miejsca zakupów czy rozrywki), których godziny otwarcia są ograniczone lub potrzeba przewozowa występuje tylko w niektóre części dnia (np. zmiana, czy początek i koniec lekcji). Analogicznie w drugą stronę - uzależnienie poziomu dopłat od takiego parametru może powodować zwiększanie liczby przystanków ponad potrzebę wynikającą z charakterystyki obsługiwanego obszaru. Natomiast ustalenie minimalnej liczby kursów na linii będzie wywierało presję na tworzenie linii wielowariantowych, w których np. jedna linia będzie obsługiwała całą gminę, a każdy kurs będzie obsługiwał "kieszeniowo" inne miejscowości. W efekcie w sposób znaczący może spaść czytelność rozkładów jazdy z perspektywy pasażera, przy jednoczesnym braku wzrostu poziomu obsługi. W przypadku standardu dotyczącego liczby kursów zatrzymujących się w miejscowości

należy zauważyć, że struktura przestrzenna miejscowości jest zróżnicowana, podobnie jak przebiegi dróg, po których mogą poruszać się pojazdy publicznego transportu zbiorowego. Występują zarówno sytuacje, gdy obszary zabudowane dwóch miejscowości przylegają do siebie, jak i sytuacje, gdy w granicach administracyjnych miejscowości znajduje się znaczna powierzchnia obszarów niezabudowanych. Stąd wpływ na wartość tak skonstruowanego wskaźnika może mieć nawet nieznaczne przesunięcie fizycznej lokalizacji przystanku (o kilka metrów). Co więcej, biorąc pod uwagę, że publiczny transport zbiorowy operuje na sieci dróg, z których nie każdy odcinek jest dla niego dostępny ze względu na niewystarczające parametry techniczne (szerokość, rodzaj nawierzchni, nośność), takie przesunięcia (w celu zaspokojenia oczekiwań wyrażonych we wskaźniku) mogą być w efekcie niekorzystne z perspektywy rzeczywistego standardu obsługi. Może mieć to miejsce zarówno w zakresie lokalizacji przystanków (które mogą zostać oddalone od terenów zabudowanych z perspektywy wykorzystywanych ścieżek dojścia, w tym wykorzystywanych skrótów), jak i samej usługi PTZ - nieznaczne przesunięcie przystanku może powodować znaczące wydłużenia czasu podróży w związku z koniecznością pokonywania dłuższej drogi, np. przez brak bezpiecznego miejsca do zawrócenia pojazdu, czy też przez oczekiwanie związane z możliwością powrotu pojazdu na drogę nadrzędną w warunkach kongestii (co może nie być problemem dla pieszych, jeśli korzystają z odseparowanych ścieżek dojścia lub mają pierwszeństwo na przejściach dla pieszych). Natomiast występują także sytuacje, gdy na przystanek zlokalizowany przy granicy administracyjnej miejscowości, do której przynależy, przychodzą mieszkańcy sąsiedniej, innej miejscowości.

Ponadto należy zauważyć, że przez ważne aspekty modelowanego zjawiska można rozumieć też oczekiwania względem tego, jak powinien wyglądać jego stan docelowy. Ma to szczególne znaczenie w przypadku podejścia ilościowego do trudno mierzalnych i skomplikowanych zjawisk, jak wykluczenie komunikacyjne, w którym dużą rolę odgrywa komponent indywidualny. W zależności od tego, jak został ustalony stan docelowy, może zdarzyć się, że z jednej strony część osób, uznanych za wykluczone komunikacyjnie, mimo wszystko będzie sobie radzić w tych warunkach dzięki swoim indywidualnym cechom (jak kompetencje poznawcze czy rozwinięta sieć społeczna), a z drugiej strony, w tym samym momencie, inne osoby mogą nie zostać uznane za wykluczone pomimo znajdowania się w takim stanie. To jednak niekoniecznie jest

krytycznym mankamentem podejścia ilościowego, gdyż w wielu zastosowaniach wystarczy, że wskaźnik wystarczająco dobrze odzwierciedla zmiany będące następstwem wprowadzanych interwencji. Warto jednak zapewnić to, by wskaźnik był możliwie elastyczny w parametryzacji.

O ile konkluzją z wcześniejszych rozważań jest to, że w przypadku analizowania wykluczenia komunikacyjnego niemożliwe jest uniknięcie subiektywizmu w doborze i określaniu ocenianych parametrów (co można złagodzić zapewniając transparentność w zakresie przyjętych założeń), tak sam pomiar powinien być dokonywany w możliwie obiektywny sposób. Oznacza to, że wskaźniki powinny bazować na obiektywnych, łatwych do pozyskania, aktualnych i wiarygodnych źródłach danych (w przypadku oceny wykluczenia komunikacyjnego np. rozkładach jazdy). Przy wiarygodności, kompletności i precyzyjności tych źródeł danych, tak aby minimalizować ryzyka związane np. z próbą ich fałszowania w celu osiągnięcia korzyści lub unikania aktualizacji danych przez podmioty, które są do tego zobowiązane (np. aktualizacja zezwoleń przez przewoźnika w przypadku zmiany rozkładu jazdy). Z drugiej strony problematyczne jest tu bazowanie np. na wywiadach z respondentami reprezentującymi różne podmioty, gdyż istnieje ryzyko, że odpowiedzi będą udzielane w sposób zapewniający, w odczuciu respondentów, największe szanse na uzyskanie pożądanego z ich punktu widzenia rezultatu, np. wyższego dofinansowania. Ponadto należy zauważyć, że zachowania transportowe przyjmują wiele form - transport z punktu początkowego do docelowego może odbywać się zarówno bezpośrednio, jak i z przesiadką w punkcie pośrednim, ale też z dojazdem, np. rowerem, do przystanku znajdującego się w innej miejscowości. Nie każdy respondent może mieć świadomość wszystkich opcji występujących w jego otoczeniu, co może powodować rozbieżności w odpowiedziach na pytanie o dostępne opcje transportowe.

Kolejną ważną cechą jest transparentność. Oprócz wspomnianej wcześniej potrzeby przedstawienia przyjętych założeń co do parametryzacji ważne jest, aby wyznaczony wskaźnik mógł być niezależnie weryfikowalny. W szczególności oznacza to potrzebę korzystania ze źródeł danych, a także rozwiązań algorytmicznych, do których dostęp może mieć każdy zainteresowany podmiot. W tym sensie zalecane może być korzystanie z rozwiązań otwartych. Ponadto problematyczne jest tu korzystanie z

danych osobowych, uwzględniając szczególnie chronione, takie jak dotyczące zdrowia czy rasy. Jakkolwiek cechy te są wskazywane, jako możliwe determinanty wykluczenia, to w praktyce nie ma możliwości ich stosowania przy ocenie poziomu wykluczenia na poziomie punktu adresowego. Informacje te musiałyby być utajnione prowadząc do braku transparentności wyników. Alternatywą jest stosowanie ich na zagregowanym poziomie, np. powiatu, co jednak może okazać się być niewystarczającą rozdzielczością dla analiz na poziomie punktu adresowego.

Podejście ilościowe powinno być ponadto względnie tanie w realizacji (względem budżetu przeznaczanego na interwencje mające na celu polepszenie badanego zjawiska). Pomocne może być tu wykorzystywanie danych, które i tak są wytwarzane na inne potrzeby (związane np. z funkcjonowaniem publicznego transportu zbiorowego czy dane publikowane przez Główny Urząd Statystyczny) oraz łatwo dostępne (tj. tanie w pozyskiwaniu i przetwarzaniu).

Ostatnia cecha związana jest z aktualnością wyznaczonych wskaźników. Odzwierciedlanie przez wskaźnik stanu historycznego powoduje, że z jednej strony wydłuża się okres trwania nieefektywnych interwencji, a z drugiej strony wzrasta ryzyko akceptacji interwencji rozwiązujących problemy, które przestały być aktualne, a także nie- dostrzegania nowych problemów, które właśnie powstały. Należy zauważyć, że system publicznego transportu zbiorowego jest systemem dość dynamicznym. Działanie w warunkach niskich marż jest ryzykowne oraz wymusza na organizatorach i przewoźnikach działania optymalizacyjne w zakresie wykorzystywanych zasobów (środki transportu, infrastruktura, ludzie). Optymalizacja ta powoduje z kolei, że jakiegokolwiek awarie, planowane remonty czy inne wydarzenia, takie jak pandemia, braki kierowców, brak środków w budżecie organizatora, przyznanie lub nie środków z Funduszu Rozwoju Połączeń Autobusowych mogą skutecznie uniemożliwić realizację przyjętych rozkładów jazdy, co wymusza ich aktualizację. Aktualizacja ta może rozprzestrzeniać się po całym systemie w związku z potrzebą zachowania synchronizacji rozkładów (skomunikowania pojazdów). W efekcie można przyjąć założenie, że w skali kraju każdego dnia jakieś kursy są zawieszane, ale też tworzone są nowe, a część kursów zmienia trasę oraz rozkładowe godziny odjazdów. Stąd budowane wskaźniki wykluczenia powinny być w stanie pokazać stan aktualny lub bliski

aktualnemu, a najkorzystniej też stan przyszły mając na względzie to, że część zmian rozkładowych jest anonsowana z wyprzedzeniem. Stąd czas produkcji wskaźnika (pozyskania aktualnych danych i ich przetworzenia) powinien być możliwie krótki. Co więcej, stosowane algorytmy powinny zapewniać skalowalność, tj. możliwość przyspieszenia produkcji przez zwiększanie dostępnych zasobów, np. obliczeniowych.

Należy zauważyć, że powyżej wskazane cechy są wzajemnie powiązane, tj. różnego rodzaju rozwiązania mogą wpływać na wiele z nich jednocześnie. Przykładowo, bazowanie na otwartych danych źródłowych może wspierać zarówno transparentność wyznaczanych wskaźników, jak i obniżać koszt prowadzenia analiz. Z kolei łatwość pozyskiwania i przetwarzania danych wpływa zarówno na ekonomiczność, jak i aktualność uzyskiwanych rezultatów.

2.2. Konkluzje w zakresie tworzenia wskaźników do oceny skuteczności polityk transportowych

Podsumowując rozważania przedstawione w niniejszym rozdziale Autorzy przyjmują, że utworzony wskaźnik wykluczenia komunikacyjnego w odniesieniu do wyodrębnionego obszaru powinien:

- prawidłowo odwzorowywać ważne aspekty modelowanego zjawiska - a zatem odnosić się do kluczowych wymiarów identyfikujących możliwość wystąpienia wykluczenia komunikacyjnego;
- być obiektywny i odporny na próby fałszowania rzeczywistego obrazu - czyli nie odnosić się do odczuwania zjawiska wykluczenia lecz stwierdzenie jego występowania na podstawie powszechnie uznanych miar;
- być transparentny – czyli odnosić się wyłącznie do informacji, które są powszechnie dostępne i możliwe do zweryfikowania, a jednocześnie korzystać z technik i algorytmów obliczeniowych, które są możliwe do odtworzenia i wykorzystania przez inne podmioty;
- być ekonomiczny, w tym możliwy do łatwej aktualizacji oraz pozyskania danych na podstawie których wskaźnik jest wyznaczany – oznacza to korzystanie z informacji, które są na bieżąco aktualizowane i publikowane w przestrzeni

publicznej, bez konieczności ponoszenia dodatkowych nakładów na pozyskanie aktualnych danych o funkcjonowaniu PTZ;

- być wyznaczany w akceptowalnym horyzoncie czasu podejmowania decyzji, a zatem wyznaczenie wskaźnika dla dowolnego obszaru, w tym również dla obszaru całego kraju, powinno być możliwe w powszechnie akceptowalnym przedziale czasu, np. kilku-kilkunastu dni.

3. Opracowanie algorytmów składowych wykluczenia komunikacyjnego i pomocniczych - przegląd rozwiązań

3.1. Przegląd stanu wiedzy w zakresie algorytmów składowych WK

3.1.1. Przegląd prac z zakresu badania zjawiska wykluczenia

Wykluczenie transportowe jest analizowane przez wielu autorów, i prezentowane w różnych publikacjach, w tym raportach i artykułach. Skala zjawiska zależy od różnych czynników, w tym także od sposobu pomiaru.

W literaturze światowej dostępne są liczne raporty oparte o badania przeprowadzone w obszarze wykluczenia komunikacyjnego. Raport (Transport for the North, 2022) analizuje czynniki wykluczenia społecznego związane z transportem (Transport-Related Social Exclusion – TRSE). Analizy prowadzone są dla tzw. LSOA (Lower Layer Super Output Area), tj. ogólnie przyjętej w UK jednostki geograficznej dla analizy statystycznej małych obszarów (obejmują minimalną populację mieszkańców na poziomie 1000, średnio 1500 osób). Nie są więc prowadzone na poziomie pojedynczego punktu adresowego, ale odpowiednika 1/10 gminy w Polsce (biorąc pod uwagę liczbę ludności). Ryzyko wykluczenia TRSE mierzone jest z kolei w 5-stopniowej skali (1-5) dzielącej LSOAS na 5 kategorii zagrożenia wykluczeniem. Jakkolwiek wskaźnik TRSE jest wynikiem wielu komponentów (w tym także kosztów), to podstawowym z nich jest czas dojazdu do określonych POI (centra zatrudnienia, skupiające powyżej 5000 miejsc pracy, miejsca edukacji/szkoły, szpitale/przychodnie, usługi podstawowe utożsamiane z centrami miast, tj. banki, poczty, apteki). Z kolei czas dojazdu uwzględniany jest jako odsetek populacji danego obszaru mogącej dotrzeć do kluczowych POI w czasie 30 min (45 min w przypadku miejsc pracy, co ma odpowiadać rzeczywistym czasom dojazdu obserwowanym w UK) pod warunkiem, że różnica czasu dojazdu samochodem i transportem publicznym jest mniejsza niż 120 min. Podsumowując, autorzy wskazują, że najwyższy 5 stopień ryzyka wykluczenia społecznego z przyczyn transportowych w UK dotyka ok. 3% populacji, na północy UK ok. 5%.

Raport (Stanny i in., 2018) ma szeroki zakres tematyczny. Obejmuje analizę 11 składowych rozwoju społeczno-gospodarczego wsi podzielonych na cztery grupy: przestrzeń, kwestie gospodarcze, kwestie społeczne i elementy jakości życia. Pierwsza grupa obejmuje tylko jedną składową, tj. dostępność przestrzenną gmin. Jest ona mierzona średnią ważoną (suma wag równa 100), 6 następujących wskaźników:

- przeciętny czas potrzebny na dojazd do miasta wojewódzkiego według przynależności administracyjnej (waga 20),
- przeciętny czas dojazdu do najbliższego położonego miasta powiatowego o znaczącej roli dla lokalnego rynku pracy (waga 10),
- odsetek sołectw w gminie skomunikowanych transportem publicznym (przystanek autobusowy lub kolejowy), z wyłączeniem transportu szkolnego (waga 20),
- odsetek sołectw, do których dochodzi droga o nawierzchni utwardzonej, np. asfaltowa, betonowa (waga 15),
- liczba zarejestrowanych samochodów osobowych ogółem na 100 mieszkańców (waga 15),
- odsetek starych samochodów (wyprodukowanych przed 2004 r.) w ogólnej liczbie zarejestrowanych pojazdów (waga 20).

Dostępność gmin zależy zatem nie tylko od dostępności publicznego transportu zbiorowego, ale także transportu indywidualnego (samochodów osobowych) i sieci drogowej. Sama dostępność jest tu mierzona czasem dojazdu do miast wojewódzkich i powiatowych. Autorzy jako najlepsze potraktowali maksymalnie 45- i 15-minutowe czasy dojazdu odpowiednio do miast wojewódzkich i powiatowych. Wskazali także na to, że czas dojazdu jest silnie uzależniony od odległości geograficznej gminy względem ww. miast, nie jest to jednak zależność bezwzględna. Odstępstwa wynikają głównie z obecności autostrad i komunikacji kolejowej. Ponadto wyniki badań ankietowych pokazały, że zainteresowanie mieszkańców gmin ogranicza się praktycznie wyłącznie do ich własnych miast powiatowych. I wreszcie skomunikowanie transportem publicznym traktowane jest jako obecność w gminie (tu badania prowadzono na poziomie sołectw, a dla gmin określano odsetek sołectw skomunikowanych) przystanku autobusowego lub kolejowego. Doświadczenia autorów wskazują, że komunikacja publiczna jest często zawodna, relatywnie droga, rozkłady jazdy na przystankach nieaktualne, a liczba

połączeń na dobę mała. Ale braki komunikacji zbiorowej (wykorzystującej głównie autobusy) tylko częściowo można wyjaśnić niedostatkiem sieci drogowej. W skali kraju drogi o nawierzchni utwardzonej dochodzą do wszystkich sołectw w 79% gmin, a w kolejnych 12% omijają mniej niż co dziesiątą wieś.

Kolejny raport (Stanny i in., 2018) stanowi kontynuację wieloletnich badań w zakresie rozwoju społeczno-gospodarczego wsi. Autorzy raportu prowadzą badania w oparciu o dane pozyskiwane cyklicznie z kilkudziesięciu źródeł, w tym głównie instytucji publicznych oraz badań własnych, ankietowych, przeprowadzanych w każdej gminie wiejskiej i miejsko-wiejskiej w Polsce (z pominięciem gmin miejskich). Dane z pierwszego źródła, tj. instytucji publicznych, pochodzą m.in. z: Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) – głównie Bank Danych Lokalnych, Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców (CEPiK), Ministerstwa Finansów (MF), Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR), Kasy Rolniczego Ubezpieczenia Społecznego (KRUS), Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej (MRPiPS), Ministerstwa Funduszy i Polityki Regionalnej (MFIPR), ośmiu okręgowych komisji egzaminacyjnych (OKE), Państwowej Komisji Wyborczej (PKW), Urzędu Komunikacji Elektronicznej (UKE), urzędów marszałkowskich.

IV etap badań (Stanny i in., 2018) objął lata 2010–2019, tj. do pandemii COVID-19. Zdaniem autorów raportu potem sytuacja uległa istotnej zmianie. Badania obejmują m.in. aspekt przestrzenny, gdzie analizowana jest dostępność przestrzenna gmin mierzona średnią ważoną 6 wskaźników ww. (Stanny i in., 2018). Wszystkie miary składowej dostępności przestrzenna zostały skonstruowane zasadniczo na podstawie danych pozyskanych z dwóch źródeł. Pierwszym jest ww. ankietę gminną, a drugim Centralna Ewidencja Pojazdów i Kierowców (CEPiK).

Na szczególną uwagę zasługują tu zwłaszcza trzy składowe. Dwie pierwsze nie odnoszą się co prawda do publicznego transportu zbiorowego, a do transportu indywidualnego (prywatne samochody osobowe), ale stanowi on alternatywę i ewentualny punkt odniesienia dla PTZ co do oczekiwań podróży. Składowe te to przeciętny czas potrzebny na dojazd do miasta wojewódzkiego (według przynależności administracyjnej) oraz przeciętny czas dojazdu do najbliższego położonego miasta

powiatowego o znaczącej roli dla lokalnego rynku pracy (bez względu na przynależność administracyjną). Pierwsza z nich w 2019 r. wynosiła 70 min – o 10 min mniej niż w latach 2015 i 2010. Ta wyraźna poprawa nastąpiła wskutek intensywnej rozbudowy sieci dróg ekspresowych i autostrad, która w latach 2010–2019 wydłużyła się z 1316 do 4027 km. Natomiast druga składowa osiągnęła 20 min i ta wartość nie zmieniała się od 2010 r. Oba wymienione wskaźniki dostępności są ze sobą słabo skorelowane ($r = 0,144$), a zatem czas dojazdu do stolicy województwa nie jest współzależny z czasem dojazdu do miasta o lokalnym znaczeniu. Natomiast składową dostępności przestrzennej gmin bezpośrednio związaną z PTZ jest odsetek sołectw w gminie skomunikowanych bez przesiadek transportem publicznym (przystanek autobusowy lub kolejowy), z wyłączeniem transportu szkolnego. Wartość tego wskaźnika w 2019 r. wyniosła 84%, co oznacza, że taki odsetek sołectw jest skomunikowany. Autorzy jednocześnie wskazują na to, że na przestrzeni dekady nastąpiły niewielkie zmiany wartości tego wskaźnika dla poszczególnych gmin. Dodają też, że regres transportu publicznego nasilił się w okresie pandemii COVID-19, a transport lokalny (wraz ze szkolnym) jest jedną najczęściej malejących pozycji w budżetach gmin.

Konkluzje z raportu – najwyższa ocena dostępności przestrzennej dotyczy gmin położonych w pobliżu miast. Jest to widoczne przede wszystkim wokół stolic województw. Obszary o niskiej oraz bardzo niskiej klasie oceny dostępności przestrzennej występują poza strefą oddziaływania tych ośrodków i – wraz ze wzrostem odległości od nich – tworzą zwarte klastry. Obserwowane są one przede wszystkim na stykach granic województw pomorskiego i zachodniopomorskiego, podlaskiego i warmińsko-mazurskiego, wielkopolskiego i lubuskiego, a także w rejonach peryferyjnych większości województw (np. na północny zachód oraz południe od Warszawy, na południe od Łodzi, w strefach przygranicznych, m.in. w województwach lubelskim i dolnośląskim).

DG IPOL i IRS (European Parliament. Directorate General for Internal Policies of the Union & Istituto per la Ricerca Sociale - IRS, 2015) cytując (Church i in., 2000), (Lucas, 2012), wskazują na i analizują siedem kategorii wykluczenia społecznego związanych z transportem:

- fizyczne, np. konstrukcja pojazdu, niedostosowana infrastruktura (np. do potrzeb osób ze specjalnymi potrzebami), brak informacji o rozkładach jazdy,
- geograficzne, np. lokalizacja miejsc zamieszkania na obszarach wiejskich, peryferiach miast,
- odległość względem kluczowych POI, np. sklepy, szkoły, służba zdrowia lub usługi rekreacyjne,
- ekonomiczne, np. wysokie koszty podróży,
- czas dojazdu, np. połączone obowiązki praca-dom-opieka nad dziećmi ograniczające czas dostępny na dojazdy (tzw. ubóstwo czasu),
- strach, w tym obawy o bezpieczeństwo osobiste,
- przestrzenne, np. nieodpowiednio zabezpieczone lub zaprojektowane przestrzenie publiczne.

Wskazują też typowe grupy osób zagrożonych wykluczeniem transportowym: i) nie posiadające samochodu lub mające ograniczony dostęp do niego, ii) o niskich dochodach, iii) bezrobotni, iv) kobiety, v) samotni rodzice, vi) rodzice podróżujący z dziećmi, vii) mniejszości etniczne, viii) osoby starsze, ix) młodzież, x) studenci, xi) ze specjalnymi potrzebami, xii) mieszkańcy obszarów pozamiejskich oraz xiii) pracownicy zmianowi. Z czego, wg cytowanej przez autorów literatury, najczęściej wskazywane jako zagrożone są grupy ii, iii, vii, viii, ix i xi.

W odniesieniu do kosztów transportu, badania UE z 2014 r. wskazują, że w Polsce koszty transportu publicznego uznaje za akceptowalne niemal połowa badanych, zaś 1/3 za zbyt wysokie (reszta – brak zdania). I jest to wynik najbliższy średniej unijnej (UE-28). Odnośnie do osób ze specjalnymi potrzebami (z niepełnosprawnością) badania wskazują, że barierę w korzystaniu z transportu publicznego mogą stanowić nie tylko pojazdy czy przystanki, ale także ich otoczenie (np. słabej jakości chodniki). Odnośnie do czasu dojazdu wskazują na znaczenie nie tylko samego czasu trwania podróży, ale też czasu dostępu do przystanków, który jest różny w zależności od miejsca zamieszkania i jego stopnia urbanizacji. Czas ten jest krótszy niż 10 min w przypadku 77% mieszkańców UE-28 (dane z 2013 r.), ale w przypadku dużych miast 87%, a w przypadku małych miast 78%, zaś wsi 65% mieszkańców. Natomiast czas dotarcia do

przystanku rzędu 10-30 min obserwowany jest średnio w przypadku 18% mieszkańców, i odpowiednio 12%, 18% i 25% zależnie od wskazanego stopnia urbanizacji.

Podsumowując, autorzy wskazują za Eurobarometer survey, że do częstszego korzystania z transportu publicznego ludzi młodych (15-24 lata) mogłyby zachęcić tańsze bilety (35% wskazań) oraz niezawodne i punktualne usługi (28%), natomiast w przypadku osób mieszkających na wsi są to częstotliwość i zasięg (po 29%) transportu publicznego.

Raport (Social Exclusion Unit, 2003) prezentuje wyniki brytyjskich badań dotyczących wykluczenia transportowego (i społecznego) z uwzględnieniem dojazdów do miejsc pracy, nauki, opieki zdrowotnej, zakupu żywności oraz podstawowych aktywności społecznych, jak rekreacja, kultura, religia, czy sport. Bariery transportowe dla realizacji tych aktywności stanowią ograniczona, w tym fizycznie, dostępność transportu, niskie bezpieczeństwo podróży, wysokie koszty transportu, słaba informacja, zbyt duże odległości, czas podróży lub liczba przesiadek oraz przestrzenna (lokalizacja) i czasowa (godziny pracy) dostępność usług transportowych. Jak widać poza samym przejazdem komunikacją publiczną istotny jest także dostęp do niej (lokalizacja i godziny pracy). Tu pod uwagę wzięto odsetek gospodarstw domowych zlokalizowanych w promieniu 13 min marszu od przystanku autobusowego, z którego odjazd następuje co najmniej raz na godzinę. Badania pokazały, że w miastach warunek ten spełnia powyżej 95% gospodarstw, podczas gdy na terenach wiejskich nieco ponad 40%. I wreszcie, w raporcie zaproponowano, choć niestety nie podano wartości, potencjalne wskaźniki monitorowania poprawy dostępności transportowej, m.in.: odsetek osób w odległości 10 min pieszo od przystanków autobusowych z interwałem czasu odjazdu rzędu 5, 10, 15-min, odsetek osób, mogących dostać się transportem publicznym do kluczowych POI (praca, opieka zdrowotna, sklepy spożywcze) w ciągu 45 min mierzonych w układzie od drzwi do drzwi (a więc razem z czasem dotarcia do i od przystanku), odsetek dzieci w wieku 5–11 lat mogących dotrzeć do szkoły podstawowej zlokalizowanej w promieniu 1 km, odsetek autobusów w pełni dostępnych dla pasażerów (np. ze specjalnymi potrzebami), odsetek osób nie korzystających z transportu publicznego ze względu na niskie bezpieczeństwo, stawki za przejazdy/koszty podróży na km, odsetek pracowników transportu przeszkolonych w zakresie obsługi klienta i świadomości

specjalnych potrzeb niektórych pasażerów, ogólne zadowolenie klientów z usług transportu publicznego, liczba ofiar pieszych wśród dzieci na 1000 dzieci w populacji, poziom zanieczyszczenia powietrza, czy odsetek osób znajdujących się w odległości 500 m pieszo od sklepu spożywczego.

Wśród aktualnych (2023 rok) raportów dotyczących zjawiska wykluczenia komunikacyjnego na terenie Polski wyróżnić można dwa opracowania, tj. (Štraub & Mróz, 2023) oraz (Gajda i in., 2023). W raporcie (Štraub & Mróz, 2023) rozważane są dwa kluczowe aspekty polityki transportowej, tj. bezpłatny transport publiczny i transport reagujący na popyt. Są to podejścia mające na celu poszerzenie dostępności transportu pasażerskiego oraz poprawę jakości transportu.

Informacje, istotne z uwagi na realizowany raport, są następujące:

- lista gmin posiadających bezpłatny transport publiczny,
- rodzaje ulg w transporcie publicznym,
- liczba systemów z bezbiletowym transportem publicznym.

Zasadniczy wniosek dotyczący bezpłatnego transportu publicznego przedstawiony przez Autorów raportu wskazuje, że jest on obecny w całej Polsce (zwłaszcza w gminach małych i średnich), jednak jego koncentracja jest wysoka w województwie dolnośląskim, wielkopolskim i mazowieckim, oraz że jest on nieobecny w województwie podkarpackim i świętokrzyskim, oraz w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców.

Systemy transportu reagującego na popyt (transport na żądanie) obsługują połączenia międzymiastowe oraz miasta lub ich części w 3 województwach, tj. zachodniopomorskim, małopolskim i śląskim. Za wyjątkiem jednego przypadku, organizatorem są samorządy. Działanie tych systemów jest różne, dostosowane do lokalnych uwarunkowań. Najczęściej są one dedykowane osobom potrzebującym wsparcia w zakresie mobilności.

Spośród 582 gmin przeanalizowanych przez Autorów, 408 zapewnia transport publiczny, w ponad 17% z nich, czyli 72 gminach, nie pobiera się opłat za przejazd, tj. w 54 gminach przejazdy są darmowe dla wszystkich, a w 18 dostęp mają tylko osoby zameldowane w danym rejonie (mieszkańcy).

W literaturze wyróżniane są pełne i ograniczone systemy bezpłatnego transportu publicznego. Pełne to takie, w ramach których każdy potencjalny pasażer może skorzystać z bezpłatnej usługi transportu publicznego. Do systemów pełnych zalicza się również te, w których każdy mieszkaniec danego rejonu może skorzystać z tej usługi. Systemy ograniczone są podzielone na 4 typy, tj. społecznie ograniczone (z zerowych opłat korzystają tylko wybrane grupy, np. studenci, emeryci), ograniczone przestrzennie (tylko wybrany fragment sieci transportowej jest objęty zerową opłatą), ograniczone czasowo/sezonowo (transport publiczny jest bezpłatny tylko w ograniczonym czasie, np. sezon turystyczny), oraz tymczasowe (zerowe opłaty obowiązują w bardzo krótkim czasie, mają zazwyczaj charakter incydentalny, np. dni wolne od ruchu samochodowego).

Autorzy przedstawiają wniosek ogólny dotyczący transportu publicznego, tj. w metropoliach kluczowa jest częstotliwość, a na obszarach wiejskich wystarczyć może dostępność usług.

Raport (Gajda i in., 2023) skupia się na opisie systemu transportowego i jego dostępności, opisując wprost "wykluczenie" jedynie w kilku miejscach. Z racji zakresu deklarowanego w tytule, ogranicza się do miast i miejskich obszarów funkcjonalnych, pomijając najbardziej narażone na wykluczenie tereny wiejskie i leśne. Wśród kryteriów analizowanych w raporcie związanych z wykluczeniem dominują problemy dostępności przestrzennej (odległości od przystanku) i czasowej (częstotliwość i godziny kursów), a także bezpośrednio połączeń, system taryfowy i, szczególnie w kontekście kolei, ich punktualność (gwarancję przewozu). Opracowanie ma w dużej mierze charakter porównawczy, w większym stopniu analizuje zmianę między rokiem 2016 i 2022, niż konkretne wartości określające dostępność czy wykluczenie.

Autorzy raportu zauważają, że w miejskich obszarach funkcjonalnych komunikacja publiczna jest optymalizowana dla zapewnienia dojazdu do pracy, podczas gdy w "mniejszych ośrodkach (...) spełnia przede wszystkim funkcje socjalne". W miejskich ośrodkach funkcjonalnych problemem bywa brak bezpośredniego dojazdu do miasta centralnego z peryferyjnych obszarów tego ośrodka, na drugim miejscu wymienia się brak połączeń między gminami ośrodka - koncentrację transportu publicznego na

dowozie tylko do miasta centralnego. Problemem jest też nadal “rozlewanie się” miast i miejskich ośrodków funkcjonalnych – w prawie wszystkich badanych miejscach zmalała liczba osób w zasięgu dojścia do przystanku, co wiąże się z zasiedleniem obszarów z dala od komunikacji publicznej. Autorzy raportu zauważają pozytywną zmianę w małych miastach, gdzie wykorzystano środki z funduszy, między innymi autobusowego, do uruchomienia lokalnego transportu publicznego (w średnich miastach ten przyrost był znacznie mniejszy, w dużych już poprzednio funkcjonowała komunikacja publiczna). W niektórych małych miastach transport publiczny jest kierowany na dworzec kolejowy – służy głównie (choć nie wyłącznie) przesiadce na pociąg. Zauważono też, że 36% miast organizuje transport publiczny wyłącznie na swoim terytorium, bez obsługi okolicznych gmin.

Wykluczenie komunikacyjne jest mierzone w różny sposób, co w istotny sposób wpływa na interpretację wyników i wnioskowanie. Autorzy artykułu (Bok & Kwon, 2016) prowadzą porównawczą analizę dostępności do publicznego transportu zbiorowego z wykorzystaniem informacji zawartych w standardzie General Transit Feed Specification - GTFS. Analizują 6 aglomeracji w USA, Kanadzie i Korei, w tym Chicago, Portland, Washington, Vancouver, Toronto oraz Daejeon. Zaproponowana procedura jest bardziej wieloetapowa niż wielowymiarowa i składa się z: i) pozyskania danych, ii) identyfikacji obszarów obsługiwanych przez transport zbiorowy, iii) klasyfikacji poziomów dostępności, oraz iv) obliczania wielkości obszaru pokrycia transportu zbiorowego z punktu widzenia populacji. Dla zachowania porównywalności przeprowadzonych analiz Autorzy posługują się pojęciem obszarów funkcjonalnych (Functional Urban Areas – FUA), zdefiniowanych w 2012 r. przez OECD. Zgodnie z zaproponowanym podziałem procedura obejmuje:

- W zakresie pozyskania danych (etap pierwszy): pozyskano dane dla wybranych aglomeracji, udostępnione w postaci standardu GTFS.
- W zakresie identyfikacji obszarów obsługiwanych przez transport zbiorowy (etap drugi): dla każdego przystanku ustalono częstotliwość odjazdów różnymi środkami transportu (w poszczególnych godzinach w przedziale 6:00-20:00, w wybrany dzień roboczy); przystanki oddalone w odległości mniejszej niż 50 m zgrupowano (utworzono klastry); obszary obsługiwane przez transport zbiorowy zostały wyznaczone na podstawie wartości progowych: 5 min pieszo

(odpowiednik dystansu ok. 330 m) dla transportu drogowego i 10 min pieszo (odpowiednik dystansu ok. 660 m) dla transportu szynowego.

- w zakresie klasyfikacji poziomów dostępności do obszarów obsługi (etap trzeci): sklasyfikowano każdy obszar usług dla każdego środka transportu według danych dotyczących częstotliwości; ponownie przeprowadzono klasyfikację w oparciu o agregację klas charakterystycznych dla danego rodzaju transportu (drogowy i kolejowy).

Ostatecznie zaproponowana miara dostępności do transportu zbiorowego zakłada 4 stopnie dostępności {bardzo duża, duża, średnia i niska}.

W artykule (Baran & Augustyn, 2021) przedstawiono koncepcję modelu łączącego zjawisko wykluczenia komunikacyjnego z ideą zinstytucjonalizowanego carpoolingu opartego na efektywnym zarządzaniu informacją. Jednym z istotnych wątków jest wykluczenie społeczne jako efekt wykluczenia komunikacyjnego. Autorzy wskazują, że wykluczenie komunikacyjne stanowi istotny problem w szczególności w rejonach o małej gęstości zaludnienia oraz tam, gdzie funkcjonuje przestarzały plan transportowy. Na tych obszarach najczęściej funkcjonuje komunikacja autobusowa. W miejscach tych dominują dwie grupy społeczne, tj. dzieci w wieku szkolnym i osoby starsze. Autorzy wskazują, że najbardziej narażone na wykluczenie komunikacyjne są osoby ze specjalnymi potrzebami, osoby starsze, uczniowie, osoby które z różnych powodów nie mogą korzystać z własnego środka transportu (np.: brak uprawnień do prowadzenia pojazdów, brak wystarczających zasobów finansowych na zakup środka transportu, światopogląd dotyczący ekologii). Często powodem wykluczenia komunikacyjnego są warunki geograficzne utrudniające organizację transportu zbiorowego.

W analizowanym artykule do oceny wykluczenia komunikacyjnego są brane pod uwagę następujące aspekty: częstotliwość kursów, dostęp do miejsc zatrudnienia, edukacji, opieki zdrowotnej, usług i rozrywki.

Autorzy zwracają uwagę na to, że skala wykluczenia komunikacyjnego dynamicznie się zmienia, nawet kilka razy w roku i może mieć charakter sezonowy (np. pory roku).

Dane, którymi posłużyli się autorzy podczas konstruowania modelu wykluczenia komunikacyjnego, dotyczą interwałów czasowych, w których występuje wykluczenie komunikacyjne. Wyróżniono trzy stany, takie jak:

- brak wykluczenia komunikacyjnego, czyli możliwość realizacji z danego przystanku 15 i więcej podróży na dzień,
- częściowe wykluczenie komunikacyjne, czyli możliwość realizacji z danego przystanku od 1 do 14 podróży na dzień,
- całkowite wykluczenie komunikacyjne, czyli brak połączeń transportowych.

Minimalna wartość 15 podróży na dzień wynika z badań przeprowadzonych w Stanach Zjednoczonych, Szwajcarii i Australii, na podstawie których ustalono, że pasażer akceptuje maksymalny czas oczekiwania na środek transportu równy 1 godzinę. Po tym czasie jego chęć znalezienia alternatywnego środka transportu drastycznie wzrasta. Z uwagi na to, że przeważnie celem podróży pasażerów z rejonów o małej gęstości zaludnienia jest większa miejscowość (np. miasto powiatowe), z której powracają do miejsca zamieszkania w tym samym dniu, oraz w 99% podróży jest ona realizowana pomiędzy godziną 7:00 a 22:00, łączna liczba interwałów 1 godzinnych wynosi 15.

Autorzy artykułu zakładają, że jedna podróż oznacza możliwość przejazdu do miejsca docelowego i powrotu do punktu startowego.

W artykule przedstawiono wskaźnik wykluczenia komunikacyjnego, który odniesiono do liczby dni w roku, tj.:

- S1 – dni robocze poza świętami, 212 dni w roku, udział 57,92%,
- S2 – dni robocze w okresie świątecznym, 44 dni w roku, udział 12,02%,
- S3 – soboty poza okresem świątecznym, 41 dni w roku, udział 11,20%,
- S4 – soboty w okresie świątecznym, 8 dni w roku, udział 2,19%,
- S5 – niedziele poza okresem świątecznym, 41 dni w roku, udział 11,20%,
- S6 – niedziele w okresie świątecznym, 9 dni w roku, udział 2,46%,
- S7 – dni ustawowo wolne od pracy, 11 dni w roku, udział 3,01%.

Wskaźnik ten wyrażono poniższym wzorem:

$$TRSE = [R/M - 1] * 100\%$$

$$R = \begin{cases} R_{Sn}, & R_{Sn} \leq M \\ M, & M < R_{Sn} \end{cases}$$

gdzie:

TRSE – wskaźnik wykluczenia komunikacyjnego,

R – liczba podróży w ciągu dnia,

R_{Sn} – liczba podróży w ciągu dnia obliczona oddzielnie dla każdej kategorii Sn,

Sn – kategoria dni w ciągu roku (od S1 do S7),

M – parametr definiujący dzienną liczbę podróży, poniżej wartości której jest określone wykluczenie komunikacyjne.

Tak zdefiniowany wskaźnik wykluczenia komunikacyjnego może przyjmować wartości z zakresu od 0 do 100%, przy czym 0% oznacza brak wykluczenia komunikacyjnego, każda wartość wyższa od 0% jest interpretowana jako pojawienie się wykluczenia komunikacyjnego (100% oznacza pełne wykluczenie komunikacyjne).

Autorzy artykułu podkreślają, że wskaźnik TRSE należy obliczyć dla każdego rejonu objętego badaniem oraz dla każdej kategorii dni w roku. Następnie, w danym rejonie należy wyznaczyć średnią ważoną z wartości uzyskanej dla każdej kategorii dni w roku.

Oprócz częstotliwości kursów wzięto pod uwagę wielkość populacji w analizowanym rejonie (jeśli występuje wykluczenie komunikacyjne, znana jest liczba osób których ten problem dotyczy) oraz kategorię dróg w analizowanym rejonie. Wielkości te posłużyły do zbadania korelacji pomiędzy nimi.

Ponadto możliwe jest zestawienie wielkości populacji w danym rejonie oraz wyznaczonego wskaźnika TRSE.

W artykule (Currie i in., 2010) poruszono aspekt wykluczenia społecznego w kontekście wykluczenia transportowego (brak dostępu do komunikacji zbiorowej i własnych środków transportu), w powiązaniu z dobrostanem i ubóstwem czasowym. Badania są przeprowadzone w Melbourne ze szczególnym naciskiem na obrzeża miasta, ponieważ tam najczęściej osiedlają się osoby mniej zamożne (z uwagi na relatywnie niższe koszty

utrzymania); autorzy podkreślają że organizacja transportu publicznego w tych rejonach jest na niższym poziomie niż w pozostałych częściach miasta.

Artykuł prezentuje wyniki badań ankietowych przeprowadzonych wśród mieszkańców miasta, o zróżnicowanym wieku, pozycji społecznej, miejscu zamieszkania (ze szczególnym uwzględnieniem dzielnic peryferyjnych), dochodach, możliwościach dostępu do różnych środków transportu.

W odniesieniu do transportu, autorzy zwracają uwagę na dostęp do transportu zbiorowego, własnych środków transportu oraz możliwości dotarcia do wielu miejsc pieszo.

Z przeprowadzonych badań ankietowych wynika, że osoby młode częściej niż dorośli zwracają uwagę na problemy związane z transportem.

Osoby mniej zamożne, które mają w podobnym zakresie ograniczony dostęp do transportu jak osoby bardziej zamożne, częściej wskazują na problemy związane z brakiem możliwości podjęcia różnych aktywności z uwagi na ograniczenia transportu.

Osoby mniej zamożne, które osiedliły się na obrzeżach miasta w większości mają własny środek transportu (samochód). Stanowi on istotny problem, ponieważ generuje wysokie koszty utrzymania. Z kolei osoby mniej zamożne, które osiedliły się bliżej centrum miasta, w większości nie posiadają własnego pojazdu. Wynika to z większych możliwości dostępu do różnych miejsc oraz lepszej niż na obrzeżach miasta organizacji transportu publicznego. Pomimo tego ta grupa respondentów częściej narzekała na problemy związane z transportem.

Z uwagi na szerszy niż opisany powyżej kontekst zrealizowanych badań wysunięto wniosek, że ubóstwo czasowe może być ważnym elementem łączącym niekorzystne warunki transportowe z wykluczeniem społecznym i dobrostanem. Ponadto wykluczenie społeczne jest silnie skorelowane z dobrostanem, dochodami oraz pokonywanym dystansem (przemieszczaniem się).

Autorzy pracy (Xia i in., 2016) prezentują wykluczenie społeczne w odniesieniu do wykluczenia komunikacyjnego, wskazując na jego wieloaspektowy charakter. Badania zostały przeprowadzone na obszarze dwóch miast w Australii.

W oparciu o przegląd literatury wyróżniono dwa typy wykluczenia komunikacyjnego, tj. oparte na podejściu kategoryalnym oraz oparte na podejściu przestrzennym. Pierwsze z nich dotyczy strony popytowej, w ramach której wyróżniane są wzorce podróży, podejście i potrzeby określonych grup społecznych. W podejściu przestrzennym podkreślana jest strona podaży, w tym jakość świadczonych usług transportowych, dostęp do transportu publicznego oraz przestrzenne luki w podaży transportu w oparciu o potrzeby mieszkańców.

Autorzy artykułu koncentrują się na podejściu przestrzennym. Wskazują na potrzebę analizy problemu z różnych punktów widzenia. Obejmuje to wielopoziomową skalę przestrzenną, taką jak wewnętrzne obszary miejskie, obszary środkowe (ang. *middle areas*), zewnętrzne obszary miasta, całe miasto, a nawet kraj, etapy rozwoju miast oraz różnorodne czynniki wpływające na transport w kontekście wykluczenia społecznego. Xia i in. zwracają uwagę na skutki społeczne niewłaściwej podaży transportu, które dotyczą przede wszystkim osoby nieposiadające własnego środka transportu, mające niskie dochody, osoby starsze oraz osoby ze specjalnymi potrzebami.

Z przeglądu literatury autorów wynika, że miary wykluczenia komunikacyjnego przedstawiane w literaturze są oparte na częstotliwości kursów, prędkości, odległości, pojemności, oczekiwanych podróży, dostępu, czasu i kosztu.

Autorzy posłużyli się wyznaczeniem wskaźnika podaży transportu publicznego, w którym uwzględniono następujące odległości do przystanku (dostępność przestrzenna wyrażona jako promień):

- autobusowego – 400 m,
- pozostałych (w tym kolejowego, promowego) – 800 m.

Wskaźnik podaży transportu publicznego został wyznaczony dla każdego rejonu, w którym określono liczbę usług transportowych oferowanych w danym punkcie w ciągu tygodnia, a następnie pomnożono ją przez udział procentowy obszaru analizowanego

rejonu, który obejmował powierzchnię dostępności przestrzennej. Wartości te, określone dla wszystkich punktów w obszarze zostały następnie zsumowane.

Indeks ten wyrażono poniższym wzorem:

$$SI_{SA1} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{Bi}}{A_{SA1}} \times SL_{Bi} \right)$$

gdzie:

SI_{SA1} – indeks podaży transportu publicznego,

A_{Bi} – obszar dostępności przestrzennej wyrażony w [km²],

A_{SA1} – obszar analizowanego rejonu wyrażony w [km²],

SL_{Bi} – tygodniowa liczba usług transportowych realizowanych w danym punkcie (przystanku) analizowanego rejonu,

n – łączna liczba analizowanych przystanków (punktów).

Autorzy zwracają uwagę, że tak zdefiniowany indeks jest przydatny w przypadku analizy rejonu danego miasta. Przy czym w przypadku większych miast indeks ten będzie wyższy niż w mniejszych miejscowościach. Jeśli zatem obliczenia mają dotyczyć kilku obszarów (np. mniejszych i większych miast), autorzy proponują znormalizowany indeks podaży transportu publicznego uwzględniający populację rejonu (*NSIPA*):

$$NSIPA_i = \frac{SI_i}{(P_i \times A_i)}$$

$$\mu_{NSIPA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{SI_i}{(P_i \times A_i)}$$

gdzie:

NSIPA – znormalizowany indeks podaży transportu publicznego uwzględniający populację rejonu,

SI_i – indeks podaży transportu publicznego w rejonie i ,

P_i – wielkość populacji w rejonie i ,

A_i – obszar rejonu i ,

μ_{NSIPA} – wartość średnia *NSIPA*.

Xia i in. wykorzystują również krzywą Lorenza i współczynnik Gini do określenia zależności pomiędzy wykluczeniem komunikacyjnym grup społecznych najbardziej narażonych na to wykluczenie w odniesieniu do analizowanych rejonów.

Autorzy artykułu (Lizárraga i in., 2020) prezentują ocenę wykluczenia komunikacyjnego w Guadalajarze (Meksyk). Wykorzystują dwa wskaźniki, tj. wskaźnik niekorzystnego czasu dostępu (IATD – Index of Access Time Disadvantage) oraz wskaźnik niekorzystnej sytuacji społecznej transportu (ITSD - Index of Transport Social Disadvantage).

IATD jest obliczony w oparciu o odległość pomiędzy przystankami oraz przestrzenną jednostkę analizy (GS – Geoelectoral Section); autorzy wykorzystują ArcGis do analiz. Przyjęto następujące założenia: po pierwsze do obliczeń obszaru usług wykorzystano środek ciężkości GS; po drugie, jeśli GS miał kilka opcji środka transportu w odległości mniejszej niż 5 minut, wybierano środek o najwyższej hierarchii, czyli najpierw LRT (light rail transit), następnie BRT (bus rapid transit), następnie trolejbus i na końcu autobus.

ITSD jest wyznaczony w oparciu o charakterystyki społeczne, w ramach których niekorzystna sytuacja społeczna transportu została podzielona na dwie grupy z wykorzystaniem wskaźnika Gini. W pierwszej grupie wyszczególniono studentów, osoby starsze i bez wsparcia socjalnego, zakładając ich równomierny rozkład na analizowanym terenie. W drugiej grupie wzięto pod uwagę niekorzystne czynniki związane z transportem, w tym specjalne potrzeby (niepełnosprawność), bezrobocie, brak własnych środków transportu, dzieci w wieku przedszkolnym i młodsze (do 5 lat), brak lodówki i analfabetyzm. Założono ich równomierny rozkład na analizowanym terenie. Wyznaczanie wskaźnika ITSD jest oparte na określeniu 3 stopni niekorzystnej sytuacji.

Hai i in. (Hai & Quang, 2022) prezentują podejście do oceny wykluczenia społecznego (podkreślając rolę transportu) w dużych miastach poprzez perspektywę stopnia prawdopodobieństwa wystąpienia wykluczenia społecznego, wskaźnika dostępności, skali geograficznej oceny.

Autorzy koncentrują się na problemie wykluczenia społecznego dotyczącego mieszkańców wysp miejskich odgradzonych różnymi barierami (w tym np. drogami

ekspresowymi, rzekami) od miejsc pracy, rozrywki itp. oraz braku transportu lub zbyt wysokich kosztów (lub zbyt długiego czasu) transportu do tych miejsc.

Wskazują, że na obszarach miejskich liczba lekarzy rodzinnych dostępnych transportem publicznym (lub pieszo, lub rowerem) w czasie 15 min od miejsca zamieszkania wynosi 4 lub więcej, a własnym samochodem – 5 lub więcej. Liczba centrów handlowych dostępnych własnym środkiem transportu w ciągu 15 min wynosi natomiast 3 lub więcej.

Autorzy prezentują różne wskaźniki wykluczenia społecznego (w większości w formie opisowej), a wśród nich związane z dostępnością, w tym potencjalną dostępnością określaną jako średni czas podróży, minimalna odległość lub koszt transportu z miejsca zamieszkania do miejsc różnej aktywności. Inną miarą jest odległość lub czas podróży do trzech najbliższych szkół podstawowych, centrów handlowych lub miejsc opieki zdrowotnej.

Autorzy w artykule (Fatima i in., 2022) określają wskaźnik dostępności dla osób starszych. Mierzą czas dojścia z geograficznego centrum rejonu miasta (na przykładzie Melbourne), który zamieszkuje około 400 osób, do najbliższego przystanku, czas oczekiwania na przystanku, czas jazdy, czas dojścia do miejsca docelowego.

Średni czas oczekiwania na przystanku jest wyznaczany jako połowa czasu częstotliwości odjazdu danego środka transportu do miejsca docelowego, np. jeśli częstotliwość pojazdu wynosi 10 minut, to średni czas oczekiwania na przystanku wynosi 5 min. Obserwacje z Polski wskazują, że zasada ta dotyczy częstotliwości do 12 min, przy odstępach kursowych większych niż 12 minut pasażerowie wychodzą na konkretny kurs, przy średnim czasie oczekiwania wynoszącym 6 min.

Są rozważane 4 miejsca docelowe (jako punkty zainteresowania osób starszych), czyli: centrum handlowe (POI1), ośrodek zdrowia (POI2), ośrodek edukacji (POI3) i miejsce rekreacji (POI4). Dane o preferencjach osób starszych, są wzięte z badań ankietowych. Wskaźnik uwzględnia również populację osób starszych. Wskaźnik jest wyrażony w 6 kategoriach: bardzo słaby (very poor), słaby (poor), średni (moderate), dobry (good), bardzo dobry (very good) i doskonały (excellent).

Całkowity czas transportu TTT jest sumą czasów dojścia (WT), średniego czasu oczekiwania (AvWT) oraz, czasu jazdy (InVT) i został wyrażony poniższym wzorem:

$$TTT = WT + AvWT + InVT$$

Dla każdego punktu zainteresowania (docelowego) jest obliczany udział wskaźnika TTT (poniżej pokazano udział wskaźnika dla centrum handlowego):

$$TTTratio_{POI1} = \frac{TTT \text{ of } POI1 \text{ (Shopping centre)}}{TTT \text{ of } (POI1 + POI2 + POI3 + POI4)}$$

Następnie jest wyznaczany wskaźnik dostępności EPTAI:

$$EPTAI = \sum_{j=1}^4 (TTTratio_{POI})(P_{ratio} * 102)$$

gdzie:

$$TTTratio_{POI} = \frac{TTT \text{ of Specific } POI}{\sum_{j=1}^4 (TTT \text{ of } POI_j)}$$

$$P_{ratio} = \frac{\sum_{j=1}^4 \text{Elderly Population}}{\sum_{j=1}^4 \text{All group Population}}$$

Autorzy (Gadziński & Beim, 2009) określają dostępność transportu miejskiego w Poznaniu. Zwracają uwagę na takie aspekty, jak czas: dojścia do przystanku, oczekiwania na przyjazd środka transportu, przejazdu środkiem komunikacji publicznej, ewentualnych przesiadek i przejazdu kolejnym środkiem transportu.

Odwołują się do przeglądu literatury w zakresie maksymalnej odległości dojścia do przystanku, która najczęściej wynosi w przypadku przystanków autobusowych 400 metrów, a w przypadku przystanków kolejowych 800 metrów (Yigitcanlar i in., 2007). W modelach brytyjskich wartość ta jest większa i wynosi:

- 640 m dla przystanków autobusowych,
- 960 m dla przystanków tramwajowych, kolejowych i metra.

Te same wartości, w oparciu o opracowanie (Gent & Symonds, 2005) przyjęto w raporcie "Transport publiczny w miastach i miejskich obszarach funkcjonalnych" (Gajda i in., 2023), jedynie dla tramwaju przyjęto wartość "autobusową" 640 m. Skrócenie

odległości dojścia do przystanku tramwajowego może wynikać z funkcjonowania tego środka transportu jedynie w większych miastach, w których średnia odległość do przystanku wynosi 350 m.

W przypadku osób starszych i ze specjalnymi potrzebami należy przyjąć mniejszą odległość, np. 180 m.

W modelach niemieckich spotykane są następujące maksymalne odległości:

- 300 m dla przystanków autobusowych,
- 400 m dla przystanków tramwajowych,
- 500 m dla przystanków kolejowych.

Kolejny aspekt poruszany przez autorów (Gadziński & Beim, 2009) to współczynnik wydłużenia drogi, który obliczany jest jako iloraz rzeczywistej odległości między miejscem rozpoczęcia podróży a przystankiem w linii prostej (np.: we Fryburgu jest równy 1,25; w Londynie – 1,32; w Poznaniu – 1,26).

Autorzy przeprowadzili obliczenia dostępności przestrzennej przystanków poznańskiej komunikacji publicznej, jednak nie przedstawili sposobu wyznaczania, ograniczając się do określenia: „przy użyciu zaawansowanych narzędzi GIS”.

W artykule (Mościcka i in., 2019) przedstawiono wyniki badań w zakresie najbardziej korzystnego środka transportu z punktu widzenia czasu podróży w poszczególnych dzielnicach Warszawy. Podstawą badań jest opis stanu aktualnego transportu, tj. analiza atrakcyjności, analiza czasu i prędkości podróży oraz analiza potencjalnej dostępności. Zbadano również zależność pomiędzy uśrednioną nominalną prędkością przejazdu a liczbą mieszkańców. Ustalono, że największy pozytywny wpływ na efektywność podróżowania komunikacją miejską ma system metra i kolei.

Zaproponowano następującą metodykę badań – poniżej przedstawioną w postaci kroków milowych:

1. Dla terenu Warszawy wyznaczono 601 punktów pomiarowych na 1000-metrowej siatce.
2. Dla każdego punktu pomiarowego obliczono czasy przejazdu (Google Maps, błąd pomiaru równy 3 min) do pozostałych 600 punktów wraz z odległościami i

prędkościami. Uwzględniono podróże piesze, rowerem, samochodem, transportem publicznym w wybranych chwilach czasowych, tj. o godzinie:

- 8:00 i 17:00 – jako godziny szczytu komunikacyjnego,
- 12:00 i 21:00 – jako godziny poza szczytem komunikacyjnym,
- 2:00 – nocna zmiana (dostępna tylko komunikacja autobusowa nocna).

3. Określono poziom atrakcyjności wyznaczonych obszarów (1x1 km) dla każdego z punktów pomiarowych, poprzez ustalenie wskaźnika przedstawionego poniżej i obejmującego:

- Wielkość populacji (liczba mieszkańców, płeć i przedział wiekowy: 0-14, 15-64, >64 lat). Jeśli dom znajdował się na granicy obszarów, to uwzględniono środek ciężkości wielokąta reprezentującego dom.
- Liczbę podróży do miejsc pracy, jako liczbę miejsc pracy w obszarze.
- Liczbę podróży biznesowych, jako liczbę połączeń komunikacyjnych z innymi miastami i/lub państwami.
- Liczbę podróży na zakupy, jako powierzchnię sklepów w danym obszarze.
- Liczbę podróży do ośrodków opieki zdrowia, jako liczbę lekarzy i łóżek w szpitalu w danym obszarze.
- Liczbę podróży do miejsc edukacji, jako liczbę uczniów i studentów w danym obszarze.

$$CVC_i = \sum_{k=1}^n A_k I_{A_k} + \sum_{l=1}^m P_l I_{P_l}$$

gdzie:

CVC_i – współczynnik atrakcyjności destynacji i-tego pola podstawowego,

A_k – znormalizowany obszar obiektu wielokąta (znajdującego się w polu podstawowym i) z klasy obiektów wielokątów k BDOT (Baza Danych Obiektów Topograficznych),

I_{A_k} – znormalizowana atrakcyjność klasy obiektów k BDOT,

P_l – znormalizowana liczba punktów obiektu (znajdującego się w polu podstawowym i) z klasy punktów obiektów m BDOT,

I_{P_l} – znormalizowana atrakcyjność klasy obiektów m BDOT.

Wartości te następnie znormalizowano wykorzystując wzór:

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

gdzie:

x' – wartość znormalizowana,

x – wartość wejściowa (poddana normalizacji),

x_{\min} – wartość minimalna w zbiorze danych,

x_{\max} – wartość maksymalna w zbiorze danych.

4. Przeprowadzono analizę czasu podróży. Dane zebrano w dni powszednie, w pięciu chwilach czasowych w ciągu dnia – komunikacja miejska i podróże samochodem oraz w jednym oknie dla podróży pieszych i rowerem. W ciągu dnia dokonano łącznie 3000 pomiarów, tj. dla każdego z 600 punktów wykonano 5 pomiarów dla komunikacji miejskiej, tyle samo pomiarów dla podróży realizowanych samochodem oraz po 600 pomiarów dla podróży pieszych i rowerem. Łącznie zebrano 7200 pomiarów dla jednego punktu (obszaru) pomiarowego, a dla wszystkich punktów pomiarowych – ok. 4,5 mln.
Dla każdego punktu wyznaczono wartość średnią czasu podróży. Z uwagi na to uśrednienie (uproszczenie rozważań), sprawdzono prędkość podróży.
5. Przeprowadzono analizę prędkości podróży. Wyznaczono ją jako minimalną odległość pomiędzy dwoma punktami pomiarowymi mierzoną w linii prostej i podzielono przez czas podróży.

Prędkość podróży określono dla transportu publicznego i podróży samochodem, w pięciu chwilach czasowych w ciągu dnia, a następnie otrzymane wartości uśredniono z wykorzystaniem wagi atrakcyjności otrzymując wartości dla każdego obszaru:

$$\bar{v}_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^{601} CVC_j \sum_{k=1}^5 \frac{\bar{v}_{jk}}{5}}{\sum_{j=1, j \neq i}^{601} CVC_j}$$

$$\bar{v}_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^{601} CVC_j \bar{v}_{ij}}{\sum_{j=1, j \neq i}^{601} CVC_j}$$

gdzie:

CVC_j – atrakcyjność obszaru j ,

V_{ijk} – nominalna prędkość podróży z obszaru i do obszaru j w czasie k .

Autorzy sprawdzili korelację pomiędzy prędkością (im wyższa, tym krótszy czas podróży, tym wyższa jakość środka transportu) i populacją danego obszaru.

Dodatkowe informacje dotyczące komunikacji miejskiej i podmiejskiej w Warszawie są następujące:

- częstotliwość kursowania metra – w godzinach szczytu komunikacyjnego co 2-3 min, w godzinach poza szczytem komunikacyjnym co 6-10 min,
- częstotliwość kursowania Szybkiej Kolei Miejskiej – średnio co 30 min (dla porównania częstotliwość kursowania podmiejskiej kolei paryskiej wynosi 3-10 min).

Jeden z wniosków autorów – brak korelacji pomiędzy prędkością podróży i liczbą mieszkańców w danym obszarze; wzrost atrakcyjności transportu publicznego poprzez zwiększenie prędkości podróży w obszarach o wysokiej populacji.

3.1.2. Czas dojazdu

Sposoby do wyznaczania składowej WK czasu dojazdu bazują na algorytmach wykorzystywanych do obliczania czasu podróży. W ogólności można tutaj wyróżnić cztery grupy takich algorytmów:

- Grafowe – są używane do znajdowania najkrótszej ścieżki między dwoma punktami w sieci transportowej. Uwzględniają one wagę krawędzi (czas przejazdu, odległość) i znajdują optymalną trasę. Przykładami mogą być algorytmy Dijkstry, Bellmana-Forda lub A^* (Cormen i in., 2012).
- Przepływu – służą najczęściej prognozowaniu czasu podróży w ruchu ulicznym na podstawie danych historycznych o ruchu pojazdów w sieci transportowej. Przykładem może być algorytm przepływu maksymalnego (Papacostas & Prevedouros, 1993).
- Uczenia maszynowego – używane są do prognozowania czasu podróży na podstawie wielu czynników takich jak np. dane historyczne o ruchu pojazdów w sieci transportowej, warunki pogodowe, pora dnia (szczyty i okresy

międzyszczytowe), a także dane z systemów telematycznych opartych o GPS, czujniki ruchu, czy inne źródła danych.

- Symulacyjne – umożliwiają przewidywanie czasu podróży na podstawie symulacji scenariuszy uwzględniających np. wypadki i zdarzenia drogowe, prace remontowe czy inne wydarzenia.

Wskazane powyżej podejście, w przypadku obliczania czasu podróży publicznym transportem zbiorowym jest modyfikowane ze względu na specyfikę tego rodzaju transportu. W algorytmach grafowych uwzględnia się rozkłady jazdy. Uwzględniają one wówczas różne połączenia między przystankami i czasy oczekiwania na przesiadki. Można też zauważyć, że ze względu na dużą ilość danych stosowane są algorytmy heurystyczne np. genetyczne lub rojowe.

Warto również zauważyć, że implementacje poszczególnych algorytmów są kombinacjami wielu podejść, przykładowo OTP łączy algorytmy grafowe z heurystykami.

Ponadto czas dojazdu może być pojęciem równoznacznym z czasem podróży (Fatima i in., 2022) mierzonym od momentu wyjść ze źródła, aż do osiągnięcia celu.

Zestawienie miar czasu dojazdu przedstawiono w tab. 1.

Tab 1. Zestawienie miar czasu dojazdu na podstawie przeglądu literatury

Miara	Sposób wyznaczania (wzór)	Uwagi/komentarze/wady i zalety	Źródło
Czas dojazdu do kluczowych POI	Odsetek populacji danego obszaru mogącej dotrzeć do kluczowych POI w czasie 30 min (45 min w przypadku miejsc pracy) pod warunkiem, że różnica czasu dojazdu samochodem i	Miara obliczana dla pojedynczych obszarów z uwzględnieniem 4 kluczowych POI, tj. miejsc pracy, edukacji, ochrony zdrowia i podstawowych usług oraz wszystkich rodzajów transportu publicznego	(Transport for the North, 2022)

	transportem publicznym jest mniejsza niż 120 min		
Dostęp do miejsc pracy	Liczba miejsc pracy dostępna w 30 minut	Miara liczona jako, obliczając średnia liczba miejsc pracy, do których można dotrzeć transportem publicznym w obrębie 30-minutowego progu czasu podróży (ważoną liczbą pracowników w każdym obszarze)	(Verbich i in., 2017)
Czas oczekiwania na przystanku	Połowa czasu częstotliwości odjazdu danego środka transportu do miejsca docelowego, np. jeśli częstotliwość pojazdu wynosi 10 minut, to średni czas oczekiwania na przystanku wynosi 5 minut	Badania dotyczyły czasu podróży osób starszych; miara wydaje się być racjonalna niezależnie od wieku pasażera	(Fatima i in., 2022)
Całkowity czas transportu	Jako suma czasu dojścia do przystanku, czasu oczekiwania na środek transportu, czasu jazdy	Wyznaczony dla każdego POI (centra handlowe, ośrodki zdrowia, ośrodki edukacji i miejsca rekreacji); miara uwzględnia populację - w analizowanym przypadku są to osoby starsze	(Fatima i in., 2022)

3.1.3. Koszt dojazdu

Jak podaje (Verbich i in., 2017), badania dotyczące dostępności kosztowej (ang. *affordability*) były i są przedmiotem zainteresowania naukowców na całym świecie. Pierwsza istotna wzmianka na ten temat pojawiła się w opracowaniu z 1987 r. dla Banku Światowego autorstwa A. Armstrong-Wright i S. Thiriez (Armstrong-Wright & Thiriez, 1987). W publikacji tej autorzy wśród zaleceń dotyczących oceny wydajności i standardów transportu zbiorowego podają, że wydatki gospodarstwa domowego na transport w krajach rozwijających się nie powinny przekraczać 10% dochodów tegoż gospodarstwa, natomiast w krajach rozwiniętych próg ten powinien oscylować w granicach 3-5%. Potwierdzenie i doprecyzowanie tych wartości znajdujemy w kolejnej publikacji Banku Światowego (Carruthers i in., 2005), poświęconej już tylko zagadnieniom dostępności kosztowej transportu publicznego w krajach rozwijających się. Autorzy zaproponowali prosty i wygodny wskaźnik służący do oceny dostępności kosztowej dojazdów transportem publicznym. Przyjęli, że przeciętna osoba wykonuje 60 10-kilometrowych podróży w miesiącu (według taryfy właściwej dla biletów jednorazowych), a następnie obliczyli wskaźnik dostępności kosztowej (ang. *"affordability index"*) jako udział procentowy sumy kosztów dla tych wszystkich podróży w stosunku do średnich dochodów na mieszkańca w analizowanym mieście. Na tej podstawie ustalili, że mieszkańcy Ameryki Południowej wydają na dojazdy transportem publicznym średnio 4-11% swoich dochodów, natomiast mieszkańcy Europy Zachodniej mniej niż 5% (m.in. dla Krakowa było to 6%, a dla Warszawy 4%). Podobna analiza przeprowadzona z wykorzystaniem najniższego kwintyla zarobków mieszkańców, wykazała że o ile dla mieszkańców Europy Zachodniej poziom wydatków na transport zbiorowy był w granicach 10% dla osób najmniej zarabiających (dla Krakowa 17%, dla Warszawy 11%), tak w przypadku mieszkańców Ameryki Południowej poziom ten przekraczał już 25% (Carruthers i in., 2005). W późniejszych publikacjach powyższa metoda oceny dostępności kosztowej uznawana była za zbyt uproszczoną, a autorzy w różny sposób próbowali ją modyfikować lub określać na nowo. W kilku publikacjach oprócz kosztów transportu do określenia wskaźnika brane pod uwagę były także koszty związane z utrzymaniem mieszkania (Center for Transit-Oriented Development (CTOD), 2006; Hickey i in., 2012; Isalou i in., 2014; Litman, 2023), co wpisuje się w trend łączenia rozpatrywania aspektów transportowych i związanych z zagospodarowaniem przestrzennym, jako wzajemnie na siebie oddziałujących (np. ceny nieruchomości

często są powiązane z dostępnością transportową dla danego punktu adresowego). Przykładowo (Litman, 2023) wskazuje próg 45% łącznych wydatków gospodarstwa domowego na mieszkalnictwo i transport, z czego 1/3 (tj. 15% całości wydatków) przypisuje transportowi. Inne podejście zakładało urealnienie wskaźnika dostępności kosztowej (tzw. wskaźnik potencjalnej dostępności kosztowej) o te podróże, które nie mogą się odbyć ze względu na to, że najbiedniejszych osób nie stać na przejazd transportem zbiorowym i muszą korzystać z "tańszych" rozwiązań jak dojścia pieszo czy przejazd rowerem (Falavigna & Hernandez, 2016).

W pracy (Serebrisky i in., 2009) wykorzystane zostały współczynniki Giniego opierające się na skumulowanym rozkładzie korzyści transportowych, w celu określenia, w jaki sposób różne grupy, takie jak studenci lub osoby starsze, zyskują lub tracą na różnych politykach subsydiowania transportu (występowania ulg dla różnych grup osób). Współczynniki Giniego były też wykorzystane przez (Gómez-Lobo, 2011) do oceny, w jakim stopniu polityka taryfowa wspiera osoby najbiedniejsze. Nieco inne podejście zastosowali autorzy w publikacji (Neff & Pham, 2007), ponieważ w sposób szczególnie zainteresowali się tą grupą osób, która jest zmuszona do korzystania z transportu publicznego, czyli otrzymujących najniższe wynagrodzenie. Założyli, że osoby korzystające na co dzień z transportu publicznego posiadają bilety miesięczne, a nie jednorazowe. W ten sposób określili dla badanych miast ile godzin musi pracować osoba zarabiająca minimalną stawkę, aby kupić bilet miesięczny.

Analizy dostępności kosztowej odnoszące się do stosowania różnych polityk taryfowych i subsydiowania transportu są zresztą częstym przedmiotem analiz w USA (por. np. (Geurs i in., 2009; Nuworsoo i in., 2009)), co ma związek z obowiązującymi w tym kraju od 1964 r. przepisami antydyskryminacyjnymi, które nakazują ocenę działalności finansowanych ze środków publicznych, w tym PTZ, pod kątem dyskryminacji ze względu na rasę, kolor skóry czy pochodzenie (Zmuda-Trzebiatowski i in., 2017). Od 1994 r. analizy te rozszerzono o osoby o niskich dochodach (Farber i in., 2014). Warto zauważyć jednak, że kwestie te są poruszane także dla przypadków miast zlokalizowanych w innych krajach, jak np. Paryża (Bureau & Glachant, 2011), Hajfy (Nahmias-Biran i in., 2014), Bogoty (Bocarejo & Oviedo Hernandez, 2012), Medellín (Bocarejo i in., 2014), Karaczi czy Pekinu (Ahmed i in., 2008). Analizy te wskazują, że

określone polityki taryfowe w zróżnicowany sposób wpływają na osoby w zależności od ich statusu materialnego czy pochodzenia.

Trochę odmienne, jakkolwiek warte rozważenia w polskich warunkach, podejście do analizy dostępności kosztowej przedstawił (Parol, 2024). Dostępność ta była liczona, jako liczba różnych taryf (oferowanych przez różnych przewoźników) dostępnych dla analizowanych par punktów źródłowych i docelowych³. Na jeszcze inny aspekt uwagę zwrócili (Golub i in., 2022). Mianowicie wskazali, że bezgotówkowe systemy płatności są niedostępne dla części populacji, która nie posiada konta bankowego, względnie nie dysponuje nowoczesnymi smartfonami. Stanowi to pewien - odrębny od samych kosztów - wektor wykluczenia komunikacyjnego. W przypadku Stanów Zjednoczonych grupa osób potencjalnie wykluczonych została oszacowana na 10% społeczeństwa, z czego około połowa tylko z tytułu braku posiadania konta bankowego.

Zestawienie miar kosztu dojazdu/podróży przedstawiono w tab. 2.

Tab. 2. Zestawienie miar kosztu dojazdu/podróży na podstawie przeglądu literatury

Miara	Sposób wyznaczania (wzór)	Uwagi/komentarze/wady i zalety	Źródło
Dostępność kosztowa biletu miesięcznego	Liczba godzin pracy z wynagrodzeniem minimalnym, która jest niezbędna do zakupu biletu miesięcznego	Miara w artykule obliczana dla pojedynczych organizatorów. Jednak możliwa do zastosowania w projekcie w kontekście wielu organizatorów pod warunkiem doszczegółowienia, np. obliczana dla podróży dla stolicy gminy	(Verbich i in., 2017)
Dostępność kosztowa biletu jednorazowego	Średnia cena biletu jednorazowego lub 60-120 takich biletów	Można np. policzyć, jako procent minimalnej stawki godzinowej, lub w	(Zmuda-Trzebiatowski i in., 2017)

³ W celu zapewnienia porównywalności w różnych miejscach można rozważyć stosowanie modyfikacji metryki np. do formy "liczba różnych taryf na połączenie".

		relacji do dolnego kwintyla dochodowego (dochód do dyspozycji); szczegółowe dane dotyczące powiatów mogą być nieosiągalne	
Dostępność kosztowa przejazdów (wskaźnik)	Miesięczny koszt przejazdów jako udział w przeciętnych miesięcznych dochodach rozporządzalnych na osobę	Wskaźnik prosty w obliczeniu na podstawie ogólnodostępnych danych; wadą jest odniesienie do średniej wysokości dochodów, a nie dla osób najbiedniejszych; konieczność arbitralnego przyjęcia wartości progowej dostępności kosztowej	(Armstrong-Wright & Thiriez, 1987)
Dostępność kosztowa przejazdów (wskaźnik)	Miesięczny koszt 60 10-kilometrowych podróży jako udział w średnich dochodach na mieszkańca w analizowanym mieście		(Carruthers i in., 2005)
Dostępność ekonomiczna transportu publicznego (wskaźnik)	Liczba dostępnych taryf, oferowanych przez różnych przewoźników, dla analizowanych par źródeł i celów podróży	Zaletą jest uwzględnianie i premiowanie taryf zintegrowanych. Przy pewnych założeniach miara może być uproszczona do liczby przewoźników oferujących swoje usługi dla wybranej relacji	(Parol, 2024)

3.1.4. Częstość kursowania

Zagadnienie częstości kursowania transportu zbiorowego jest dość często podejmowane w literaturze, jako ważna miara wskazująca na atrakcyjność publicznego transportu zbiorowego czy wykluczenie komunikacyjne np. (Baran & Augustyn, 2021; Loader & Stanley, 2009; Verbich i in., 2017; Zmuda-Trzebiatowski, 2016). Pozycje te wskazują zazwyczaj miarę, jako oczekiwaną liczbę kursów na godzinę lub dobową liczbę kursów.

(Baran & Augustyn, 2021) wskazali, że oczekiwana liczba kursów powodująca brak wykluczenia komunikacyjnego powinna wynosić przynajmniej 15 dziennie. Wartości z przedziału 1-14 były uznawane, jako częściowe, a brak kursów, jako pełne wykluczenie komunikacyjne. Wartość 15 kursów na dobę została określona dla obszarów pozamiejskich na podstawie wyników badań maksymalnego czasu oczekiwania na kurs przez pasażerów wynoszącego jedną godzinę oraz przy założeniu 15 godzin aktywności w ciągu doby. Warto jednak zauważyć, że inni autorzy, jak np. (Loader & Stanley, 2009), na podstawie badań w aglomeracji Melbourne wskazali, że kursy nocne także są ważne z perspektywy niektórych grup społecznych, jak np. osoby młode, poniżej 30 r.ż.. Stąd wskazywana jest nawet potrzeba zapewnienia podaży transportowej na poziomie kursów w interwale półgodzinnym przez wszystkie dni tygodnia. Z drugiej strony wartości te powinny być weryfikowane kosztami zapewnienia określonej podaży transportowej przy określonym potencjale popytowym danego obszaru, włączając w to potencjalne alternatywy w postaci rozwiązań typu "demand responsive transport".

W wymienionych wyżej pracach stosuje się zazwyczaj dość proste algorytmy do wyznaczania i oceny częstości kursowania. (Baran & Augustyn, 2021) poziom wykluczenia mierzą w skali $\langle -100\%, 0\% \rangle$, gdzie -100% oznacza pełne wykluczenie, a 0% brak wykluczenia. Do obliczeń wykorzystują parametry dziennej liczby podróży oraz oczekiwanej dziennej liczby podróży z ewentualnym rozbięciem na określone rodzaje dni (dni robocze, soboty, niedziele, w obu przypadkach z podziałem na okres wakacyjny i pozawakacyjny). Z kolei (Verbich i in., 2017) w przeprowadzonej analizie porównawczej systemów ptz w różnych miastach brali pod uwagę uśrednioną częstość kursowania w dzień roboczy w godzinach 7-9 oraz 21-22 dla 500 losowo wybranych przystanków.

Warto zauważyć, że autorzy wykorzystywali dane udostępniane w formacie GTFS, aktualne dla okresu jesienno, by uniknąć rozbieżności wynikających z okresów urlopowych. Wskazali także, że pewne rozbieżności wynikały z tego, że niektóre GTFSy zawierały także informacje o transporcie kolejowym aglomeracyjnym), co mogło przeszacować wyniki niektórych operatorów. Zasugerowali także możliwość stosowania wag podczas uśredniania częstości kursowania w różnych porach dnia, tak by zróżnicować ich względną wagę.

Zestawienie miar częstości kursowania przedstawiono w tab. 3.

Tab. 3. Zestawienie miar częstości kursowania na podstawie przeglądu literatury

Miara	Sposób wyznaczania (wzór)	Uwagi/ komentarze/wady i zalety	Źródło
Liczba kursów na dzień	Minimalna: 15, podróże w ciągu dnia realizowane od 7:00 do 22:00; dopuszczalny max. interwał = 1h. Pomiar przekształcony do zakresu <-100%, 0%> z wykorzystaniem parametru oczekiwanej dobowej liczby kursów	Miara wyznaczona dla obszarów o niskiej gęstości zaludnienia; założono max. akceptowalny czas oczekiwania na środek transportu = 1h; informacje oparte na badaniach w USA, Szwajcarii i Australii	(Baran & Augustyn, 2021)
Interwał kursów (liczba kursów na godzinę)	Zalecany interwał 30 minutowy przez 7 dni w tygodniu	Wnioski na podstawie badań w Melbourne, Australia	(Loader & Stanley, 2009)
Średni interwał kursowania w systemie	Pod uwagę brano 500 losowo wybranych przystanków oraz dwa przedziały godzinowe (7-9 i 21-22) w dni robocze na jesieni	Miara wykorzystywana do porównania systemów ptz w różnych miastach, bazująca na GTFS	(Verbich i in., 2017)

3.1.5. Dostępność przestrzenna przystanku

(Pittman & Day, 2015) wskazali następujące oczekiwania co do dostępności do przystanków, które determinowały ich atrakcyjność: 400 metrów dla linii zwykłych i LRT; 600 metrów dla linii ekspresowych kursujących w szczytach; 800-1000 metrów dla linii ekspresowych o dużej częstotliwości kursów i kolei (HRT). Odległość była mierzona w linii prostej (metryka euklidesowa). Jednak podobne obliczenia można prowadzić po sieci drogowej (w metryce miejskiej) jednak z uwzględnieniem tego, że iloraz tych odległości (wskaźnik wydłużenia) wynosi zazwyczaj 1,25-1,32, więc granica odległości mierzonej po sieci drogowej powinna być niższa. Wartość wydłużenia dla obszarów zurbanizowanych Gadziński i Beim (2009) obliczyli dla Poznania na poziomie 1,18-1,29, przy czym mniejszy wskaźnik dotyczył zabudowy kwartałowej, a większy jednorodzinnej. Średnia tego wskaźnika wynosiła przy uwzględnieniu liczby ludności 1,22. W przypadku posiadania odpowiednich danych, pomiarów można dokonywać nawet dokładniej z uwzględnieniem innych czynników zniechęcających lub zachęcających do przemieszczania się pieszo ("niebezpieczna okolica", wartość wskaźnika "walkability").

Należy podkreślić, że powyższa charakterystyka obszaru dostępności jest pewną idealizacją tego pojęcia. W praktyce, wskaźnik wydłużenia rzeczywistej trasy między dwoma punktami może stanowić 5-cio lub nawet 10-cio krotność dystansu w linii prostej. Możliwość prawidłowego uwzględnienia takich przypadków zależy wprost od jakości danych o lokalizacji przystanków oraz danych o charakterystyce przestrzeni wokół przystanku.

Zestawienie miar dostępności przestrzennej przystanków przedstawiono w tab. 4.

Tab. 4. Zestawienie miar dostępności przestrzennej przystanków na podstawie przeglądu literatury

Miara	Sposób wyznaczania (wzór)	Uwagi/ komentarze/wady i zalety	Źródło
Czas dojścia do punktu dostępu transportu	Odsetek punktów adresowych, tj. z kodem pocztowym	Jest to dostępność mierzona czasem nie odległością, miara	(Lechowski, 2022; Transport for

publicznego	w każdym z obszarów, które znajdują się w odległości 10 min pieszo od punktu dostępu do transportu publicznego, niezależnie od jego rodzaju	pomija godziny i częstotliwość kursowania	the North, 2022)
Czas dojścia do przystanku w sieci transportu zbiorowego	Wyznaczenie obszarów z których dostęp do przystanku osiągalny jest z miejsc odległych o 5 min pieszo od przystanków transportu drogowego i 10 min pieszo dla transportu szynowego.	Miara dostępności czasowej (przeliczana również na przestrzenną - np. w uproszczeniu zakładając prędkość przemieszczania 4 km/h, a bardziej szczegółowo, np. z uwzględnieniem oczekiwania na przejściach dla pieszych czy zmian poziomu podróży (np. schody))	(Bok & Kwon, 2016)
Odległość od przystanku mierzona w linii prostej	Odległość nie większa niż 400-1000m w zależności od charakteru przystanku Korekta odległości poprzez jej pomnożenie przez współczynnik wydłużenia drogi (Poznań: 1,26; Londyn: 1,32; Fryburg: 1,25)	Możliwość przeliczenia na miarę czasową. Możliwość uszczegółowienia: odległość po rzeczywistej drodze plus dodatkowe czynniki takie jak walkability (por. (S. Liu i in., 2022)). Wyznaczenie współczynnika wydłużenia drogi może być trudne z uwagi na zróżnicowanie zabudowy różnych obszarów (miasta, wsie itp.)	(Pittman & Day, 2015), (Gadziński & Beim, 2009)
Rzeczywista maksymalna	Najczęściej wynosi 400 m;	W przypadku osób starszych, ze specjalnymi	(Gadziński & Beim, 2009),

odległość do przystanku	przystanki autobusowe - od 300 do 640 metrów; przystanki tramwajowe - od 400 do 960 metrów; stacje kolejowe, metro - od 500 do 960 metrów	potrzebami, osób z małymi dziećmi itp. odległość ta może znacznie się skrócić - nawet do przedziału zmienności od 18 do 360 metrów	(Xia i in., 2016)
X2SFCA - two step floating catchment area	Wskaźnik s_i obliczany jest w dwóch krokach. Krok 1.: $r_j = \frac{w_j}{\sum_{k: d(a_k, p_j) < d_0} G(a_k, p_j) P(a_k)}$ gdzie: w_j - liczba przystanku lub pewna jej funkcja, $d(a_k, p_j)$ - miara odległości np. odległość w metrach, długość podróży w czasie, $P(a_k)$ - waga danego punktu adresowego $G(a_k, p_j)$ - funkcja oporu przestrzeni, domyślnie $G \equiv 1$. Krok 2.: $s_i = \sum_{k: d(p_k, a_i) < d_0} r_k$	Jako funkcję oporu przestrzeni G wykorzystuje się m.in. funkcję wykładniczą, potęgową, funkcję gęstości rozkładu normalnego lub inne funkcje jądrowe np. Epanechnikowa, trójkątna.	(Lechowski, 2022), (Transport for the North, 2022)
Dystans podróży pieszych w mieście	Najczęściej wynosi 400-900 m; podstawowy dystans pieszy - do 900 m; standardowy dystans pieszy - od 900 do 1800 m; maksymalny dystans pieszy - od 1800 do 2900 m	Autor zakłada, że w przypadku miast odległość do przystanków kolei, metra i tramwaju nie powinna być większa niż podstawowy dystans pieszy (900 m); dla przystanku autobusowego odległość ta nie powinna przekraczać 450 m.	(Wiśniewski, 2021)

3.1.6. Dostępność dla osób ze szczególnymi potrzebami

Osoby ze szczególnymi potrzebami, a więc z niepełnosprawnością bądź niepełną sprawnością, są jedną z grup najbardziej narażonych na wykluczenie komunikacyjne (Baran & Augustyn, 2021). Wielkość tej grupy stanowi według (GUS, 2019) 13,0% populacji, w tym 10,4% populacji ma orzeczenie o niepełnosprawności, a 6,5% populacji ma niepełnosprawność w stopniu poważnym. W Unii Europejskiej, według (EGUM, 2022), 27,0% ludzi w wieku powyżej 16 lat ma jakąś formę niepełnosprawności / specjalnej potrzeby. Wykluczenie transportowe tych osób jest osobnym zagadnieniem, gdyż różne formy niepełnosprawności dodatkowo utrudniają dostęp do transportu publicznego. Szczególne znaczenie ma dostępność transportowa w skali mikro, co jest uzależnione od szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych pojazdów i infrastruktury (Zmuda-Trzebiatowski, 2016), (Pawłowski i in., 2023). Na przykład (Grisé i in., 2019) wskazali istotne różnice dostępności do miejsc pracy w dwóch kanadyjskich miastach, spowodowane ograniczeniami dostępu dla wózków inwalidzkich do niektórych stacji i przystanków transportu szynowego. Innym problemem, pominiętym w podanej publikacji, jest ograniczenie zasięgu (odległości dojścia) przystanku dla osoby na wózku inwalidzkim w porównaniu z osobą w pełni sprawną (Tyler, 2002) podaje, że nawet 180 m może być zbyt daleką odległością dla osób na wózkach inwalidzkich czy niewidomych, podczas gdy dla osób w pełni sprawnych przejście 500 m zwykle nie stanowi problemu. Na tej podstawie (Gadziński & Beim, 2009), analizując dostępność przystanków w Poznaniu, przyjęli zasięg przystanku na poziomie 400 m jako uwzględniający również potrzeby osób z niepełnosprawnością.

Polska przez ratyfikację Konwencji Organizacji Narodów Zjednoczonych z 13 grudnia 2006 r. jest zobowiązana do zapewnienia dostępności zgodnie z zasadami projektowania uniwersalnego. Konwencja ta określa osoby z niepełnosprawnością jako mające długotrwale "naruszoną sprawność fizyczną, psychiczną, intelektualną lub w zakresie zmysłów, co może, w oddziaływaniu z różnymi barierami, utrudniać im pełny i skuteczny udział w życiu społecznym na zasadzie równości z innymi osobami." O ile więc należy zadbać o osoby chwilowo nie w pełni sprawne, o tyle zjawisko wykluczenia

osób z niepełnosprawnością można ograniczyć do osób, które miały czas na przystosowanie się do swojej niepełnosprawności, np. mają już pewne doświadczenie w jeździe wózkiem inwalidzkim bądź znają alfabet Braille'a. Zasady projektowania uniwersalnego w transporcie dotyczą przede wszystkim (Boratyńska-Karpiel & Engel, 2019), (Kowalski, 2014), (Kowalski, 2013), (Kowalski, 2018), (Pawłowski i in., 2021), (Achuthan i in., 2010), (Pawłowski i in., 2023) :

- Infrastruktury dojścia na teren przystanku, w tym:
 - możliwości dojścia (w tym brak schodów, obniżone krawężniki, twarda nawierzchnia, małe otwory w ewentualnych kratkach ściekowych i nawadniających, szerokie chodniki – min. 2 m – umożliwiające mijanie się wózków),
 - bezpieczeństwa dojścia (w tym barierki kierujące, wypustki i prowadnice dla niewidomych, jaskrawe oznaczenie miejsc niebezpiecznych, ławki umożliwiające wypoczynek),
 - percepcji dojścia (w tym logiczny układ dojścia, czytelna, zauważalna i zrozumiała informacja),
 - krótkiej i czytelnej trasy, w tym częstych przejść przez jezdnię (np. co 100 m).
- Infrastruktury przystanku – wejścia na peron, wyposażenia peronu (ławki, prowadnice dla niewidomych), dostosowania peronu do wysokości podłogi taboru oraz systemów informacji pasażerskiej (wizualnej i głosowej).
- Taboru, w szczególności:
 - wyposażenia wejść do pojazdów (rampy, niska podłoga),
 - wyznaczenia i oznakowania miejsc uprzywilejowanych lub dostosowanych do potrzeb osób z różnymi niepełnosprawnościami,
 - oznakowania jaskrawo słupków wewnątrz pojazdu,
 - informacji pasażerskiej.

Podróże osób z niepełnosprawnością i niepełną sprawnością dzielone są również na stałe (np. dom-praca), gdzie trasa jest takiej osobie dobrze znana (stanowią one zdecydowaną większość podróży), i na sporadyczne, gdzie osoba z niepełnosprawnością poznaje nową trasę, musi więc korzystać z informacji pasażerskiej i odpowiedniego znakowania przejść.

Należy jednak zauważyć, że niektóre wymogi mogą zależeć od konkretnej sytuacji, np. w mieście mogą być potrzebne skomplikowane układy prowadnic dla niewidomych, podczas gdy na wsi typu ulicówka wystarczy czytelne dla osoby niewidomej wyróżnienie chodnika od innych elementów drogi publicznej. Ponadto ocena wielu ze wspomnianych elementów wymaga precyzyjnej informacji przestrzennej w skali mikro, co może utrudniać wdrożenie takich kryteriów w skali całego kraju.

Problemy osób z niepełnosprawnością można podzielić ze względu na typ niepełnosprawności (Boratyńska-Karpiel & Engel, 2019), (Pawłowski i in., 2021). Z punktu widzenia zagadnień transportowych wydzielić można cztery istotne niepełnosprawności fizyczne i dwie intelektualne:

- Niepełnosprawność ruchową – poruszanie się na wózku, o kulach, z wózkiem dziecięcym, ale też problemy z wejściem do pojazdu.
- Niepełnosprawność wzrokową – brak widzenia lub ograniczone widzenie.
- Niepełnosprawność słuchową – problemy w odczytaniu zapowiedzi głosowych oraz zagrożenie bezpieczeństwa ruchu, niepełnosprawność ta w znacznie mniejszym stopniu niż dwie poprzednie ogranicza mobilność, więc ma mniejszy wpływ na wykluczenie.
- Niskorosłość i wysokorosłość.
- Niepełnosprawność mentalną – różne choroby umysłowe i związane z wiekiem (zarówno osoby bardzo młode, jak też stare) ograniczenia intelektualne.
- Niepełnosprawność percepcyjną – kłopoty w orientacji w terenie, w zrozumieniu informacji transportowych (np. rozkładu jazdy), np. w badaniach FRAME 26% respondentów w wieku starszym uznało systemy biletowe za zbyt skomplikowane lub niejasne w obsłudze.

W zakresie dojścia do przystanku niepełnosprawność ruchowa wymaga likwidacji barier typu krawężniki, schody, czy brak twardej nawierzchni, a wzrokowa odpowiedniego prowadzenia poprzez odpowiednie wypustki w nawierzchni, ale też różnice w nawierzchni czy odpowiednie barierki. W obu przypadkach następuje jednak zmniejszenie prędkości przejścia i w związku z tym ograniczenie zasięgu przystanku. Niepełnosprawności te wymagają też odpowiedniego dostosowania samych peronów i

pojazdów – podłogi na poziomie peronu i miejsc dla wózków (inwalidzkich, dziecięcych), a przy ograniczeniach widzenia oznaczenia miejsca gdzie należy oczekiwać na pojazd.

Niepełnosprawność słuchowa i mentalna stawiają infrastrukturze znacznie mniej wymagań, ograniczając się głównie do zapewnienia bezpieczeństwa – osoba niesłysząca nie będzie bowiem wiedzieć o pojeździe nadjeżdżającym z tyłu lub zza przeszkody. Istotną kwestią jest natomiast przekazywanie informacji, zarówno przy normalnym funkcjonowaniu transportu, jak też w sytuacjach awaryjnych, uwzględniające ograniczenia w zakresie wzroku, słuchu i percepcji.

Niepełnosprawność percepcyjna oznacza problemy ze zorientowaniem się w systemie transportowym. Obejmuje przede wszystkim dobre odczytywanie komunikatów, ale może też dotyczyć zauważenia tablicy informacyjnej czy zrozumienia wskazówek dojścia. Przykładami problemów związanych z niepełnosprawnością percepcyjną na poznańskim głównym dworcu kolejowym są (Pawłowski i in., 2021):

- Nieintuicyjna numeracja peronów (zarówno stara, jak i nowa).
- Brak możliwości zejścia z budynku dworca na wszystkie perony, brak wejścia od strony wschodniej do jedyne go przejścia (tunelu) łączącego wszystkie perony.
- Lokalizacja wind do budynku dworca obok schodów na wiadukt, schody do budynku dworca zlokalizowane są nieco dalej.
- Odjazd pociągów z tej samej krawędzi peronowej, bądź różnych pociągów w tym samym kierunku z tego samego peronu.
- Nieintuicyjny system informowania pasażerów w razie opóźnień przyjazdu pociągów.

Niskorosłość powoduje problemy opisywane łącznie z niepełnosprawnością ruchową – nie tylko problemy z poruszaniem się, ale też z obsługą różnego rodzaju urządzeń, które, dostosowane do statystycznego wzrostu osób, są zlokalizowane zbyt wysoko. Są to okienka kasowe (w tym w pojazdach), automaty biletowe, kasowniki biletów, poręcze, tablice informacji pasażerskiej itp. Osoby wysokorosłe z kolei muszą często schylać się, co może stanowić dużą uciążliwość. Potrzeba schylania występuje w miejscach problemowych dla osób niskorosłych, ale też w niskich drzwiach i schodach

czy pod podsufitowymi poręczami. Ważne jest w takich sytuacjach spełnianie norm, np. ISO 21542.

Istnieją też ograniczenia dotyczące nie tyle samej dostępności transportu publicznego, co czasu podróży. Osoby o pewnych schorzeniach mogą wymagać dostępu do ubikacji lub źle znosić drgania pojazdu na drodze, więc czas jazdy pojazdem bez odpowiedniego wyposażenia jest dla nich ograniczony.

Adresowanie problemu wykluczenia osób z niepełnosprawnościami może być realizowane przez dostosowanie infrastruktury dla osób pełnosprawnych bądź dedykowanie specjalnych rozwiązań. Przykładem specjalnych rozwiązań mogą być systemy wypożyczania pojazdów bądź motorowych wózków inwalidzkich, stosowane od 1978 r. (Motability UK), bądź możliwość zamówienia mikrobusa (autobusu na żądanie, taksówki) spełniającego wymagania osób z niepełnosprawnością lub niepełną sprawnością, dowożącej taką osobę do odpowiednio wyposażonego przystanku lub węzła transportu publicznego (Mediate good practice guide) np. w ramach systemu Ring&Ride. Istotna jest też rola Internetu: stacjonarnych aplikacji pozwalających sprawdzić rozkład jazdy i przesiadki, aplikacji podających w czasie rzeczywistym lokalizację pojazdu oraz aplikacji odczytujących dane z przystanku (rozkład jazdy, obsługiwane linie, miejsce w którym pasażer powinien stanąć) i z pojazdu który nadjechał (numer linii, kierunek jazdy, możliwość przesiadki itp.).

W przypadku większości ze wskazanych szczególnych potrzeb duże znaczenie ma też dostępność do wiarygodnej informacji o infrastrukturze transportowej, najlepiej w czasie rzeczywistym, co podkreśla (*Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/882 z dnia 17 kwietnia 2019 r. w sprawie wymogów dostępności produktów i usług*, 2019) w sprawie wymogów dostępności produktów i usług. Współczesne standardy wymiany informacji pasażerskiej, takie jak NeTEx czy GTFS mają możliwość zapisywania tego rodzaju informacji, np. o liczbie schodów prowadzących na peron czy wyposażenia toalety. Zastosowanie standardu pozwala na wykorzystanie informacji w różnego rodzaju aplikacjach, z których korzystają poszczególne grupy osób i dostosowanych do ich potrzeb. Problemem może być jednak dostępność danych. Jej zapewnienie może wymagać zmian legislacyjnych.

W 2024 zespół (EGUM, 2022) pod auspicjami Unii Europejskiej opracował raport opisujący jak zagwarantować dostępny transport publiczny uwzględniając wiek (starzenie się), płeć i ograniczenia sprawności (specjalne potrzeby, niepełnosprawność). Problemy dla osób ze specjalnymi potrzebami zespół podzielił na następujące kategorie:

- Bariery fizyczne, obejmujące:
 - niedostosowanie peronów,
 - niewłaściwe lub niepełne oznakowanie,
 - odstęp między peronem i pojazdem,
 - niedostosowanie dojeżdżać na perony.
- Wyposażenie pojazdów, obejmujące:
 - brak odpowiednio dostosowanych miejsc siedzących,
 - brak lub niedostosowanie miejsc dla wózków, bagażu i innych urządzeń wspomagających,
 - wąskie przejścia i drzwi,
 - słabe utrzymanie pojazdów.
- Złej jakości projekty infrastruktury, obejmujące:
 - zły (nieczytelny dla osób słabowidzących) dobór kolorów,
 - brak konsekwencji w stosowaniu kodu nawierzchni,
 - tzw. potykanie utrudniające dostęp, np. kosze na śmieci, słupy,
 - terminale systemów płatności umiejscowione na niekorzystnej wysokości.
- Nieodpowiedni dostęp do informacji, obejmujący:
 - kłopot ze znalezieniem informacji,
 - niedostateczną ilość lub jakość informacji,
 - brak informacji w wielu językach.
- Problemy dostępności cyfrowej
 - niedostępne lub niedostosowane do specjalnych potrzeb kanały informacji,
 - skomplikowane procedury zakupu biletów,
 - uzależnienie od standardu cyfrowego wykluczające osoby pozbawione dostępu do danych cyfrowych bądź obawiające się z nich skorzystać.

- Bariery socjoekonomiczne, obejmujące:
 - drogie bilety, konieczność przedpłaty,
 - drogie bilety dla nieregularnych przejazdów,
 - różnice w dostępności przestrzennej transportu.
- Problemy bezpieczeństwa:
 - problemy (rzeczywiste bądź obawy) bezpieczeństwa osobistego,
 - brak odpowiedniego oświetlenia.

Nie wszystkie z powyższych problemów są w warunkach Polski istotne, niemniej wiele z nich pokrywa się z ustaleniami z literatury polskiej.

W poniższej tabeli (tab. 5) zestawiono miary obsługi osób z niepełnosprawnością lub specjalnymi potrzebami określone w oparciu o przegląd literatury. Jest to propozycja docelowej oceny dostępności, gdyż część z podanych parametrów nie jest dostępna cyfrowo, ponadto wymagałaby niekiedy, ze względu na istotną rolę szczegółów rozwiązań infrastrukturalnych, iście mrówczej pracy. Parametry te zaleca się zestawiać w formie cyfrowej przy realizacji nowych projektów według założeń systemu BIM.

Inne podejście do oceny dostępności obejmuje algorytmy stosowane w planerach podróży. Przykładem jest tutaj IBI accessibility score⁴ zaimplementowany w OpenTripPlanner. Wskaźnik ten ocenia każdy segment podróży (pieszy, PTZ) pod względem jej dostępności na podstawie danych pozyskanych z pliku GTFS (dostępność przystanków i pojazdów) oraz OpenStreetMap (dostępność podróży pieszych, np. rodzaj nawierzchni czy nachylenie terenu). Ostatecznie każda podróż jest oceniana w zakresie od 0 (niedostępne) do 1 (w pełni dostępna).

Zestawienie miar obsługi osób z niepełnosprawnością przedstawiono w tab. 5.

⁴ <https://docs.opentripplanner.org/en/v2.2.0/sandbox/IBIAccessibilityScore/>

Tab. 5. Zestawienie miar obsługi osób z niepełnosprawnością na podstawie przeglądu literatury (dla danej miary w razie kilku kryteriów jej wyznaczania podano ich udział procentowy w ocenie)

Miara	Sposób wyznaczania (wzór)	Uwagi/komentarze/ wady i zalety	Źródło
Wypożyczenie pojazdów	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pojazd umożliwiający samodzielny wjazd wózkami (80%) lub w rampę wymagającą pomocy kierowcy lub pasażera (60%). Możliwy częściowy udział w zależności od ilości peronów dostosowanych wysokością do pojazdu. 2. Pojazd wyposażony w miejsce dedykowane wózkom (10%). 3. Pojazd wyposażony w zapowiedzi głosowe i informację pasażerską (10%). 	Miara obliczana na podstawie deklaracji przewoźników lub operatorów bądź w oparciu o warunki przetargowe.	(Boratyńska-Karpel & Engel, 2019), (Kowalski & Starzyńska, 2014), (Kowalski, 2013), (Kowalski, 2018), (Zmuda-Trzebiatowski, 2016)
Wypożyczenie peronów	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peron co najmniej na wysokości chodnika, osobny dla każdego przystanku (10%). 2. Peron dostępny dla wózków inwalidzkich bez pomocy innych osób (20%). 3. Peron z nawierzchnią dostosowaną do osób niewidomych i niedowidzących (wypustki, jaskrawe pasy) (20%). 	Problemem jest zróżnicowanie peronów i konieczność szczegółowego analizowania każdego peronu osobno – w skali kraju bez dobrego systemu informacji przestrzennej może być niewykonalne.	(Tyler, 2002), (Pawłowski i in., 2021), (Zmuda-Trzebiatowski, 2016)

	<ol style="list-style-type: none"> 4. Peron z zapowiedziami głosowymi (10%). 5. Peron z ławką i wiatą (20%). 6. Dobra (wiarygodna, czytelna, rozpoznawalna) informacja pasażerska (20%). 		
Węzły przesiadkowe	<p>Dodatkowo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Logiczny układ dojść, czytelne instrukcje dojścia (30%). 2. Stała informacja o planowanych odjazdach pojazdów – czas i lokalizacja (20%). 3. Aktualna (online) informacja o przydziale peronów i opóźnieniach (30%).* 4. System unikania sytuacji wymagających dobrej orientacji w bieżącej sytuacji (20%). 	Węzły przesiadkowe są istotnym elementem włączenia społecznego przy dłuższych podróżach, w codziennych sytuacjach mogą być pomijalne	(Pawłowski i in., 2021), (Rychlewski, 2015)
Odległość	Długość drogi dojścia	Liczona jak dla osób pełnosprawnych, ale przy zmniejszonych wartościach granicznych.	(Tyler, 2002), (Gadziński & Beim, 2009), (Rychlewski i in., 2016), (Mackett i in., 2008)

Dojście na perony	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dojście po twardej nawierzchni, bez schodów, krawężników > 2 cm, wąskich przejść (40%). 2. Dojście bezpieczne dla osoby niewidomej – chroniące przed wejściem na jezdnię lub w inne miejsce niebezpieczne (30%). 3. Logiczna droga dojścia (15%). 4. Dojście i obsługa odpowiednie dla osób niskorosłych i wysokorosłych (10%). 5. Dla dojść dłuższych niż 300 m po drodze ławki i możliwość skorzystania z toalety (5%). 	<p>Problemem jest konieczność szczegółowego analizowania dojścia w mikroskali, co w całości należy uznać za niewykonalne.</p> <p>Można natomiast sprawdzić czy nie występują duże utrudnienia w postaci konieczności korzystania ze schodów czy „schowania” przystanku w strukturze urbanistycznej.</p>	<p>(Tyler, 2002), (Gadziński & Beim, 2009), (Pawłowski i in., 2021), (Grisé i in., 2019), (Mackett i in., 2008), (Šimunović i in., 2012)</p>
Informacja internetowa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dostępna informacja stała o rozkładach jazdy (30%), włączona w planery połączeń (kolejne 20%). 2. Dostępna informacja dynamiczna o rzeczywistym położeniu pojazdu (30%). 3. Aplikacje V2U (10%) i I2U (10%) pozwalające za pomocą urządzenia 	<p>Problemem może być sprawdzenie wiarygodności informacji online.</p>	<p>(Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/882 z dnia 17 kwietnia 2019 r. w sprawie wymogów dostępności produktów i usług, 2019), (EGUM, 2022)</p>

	mobilnego odczytać informacje podawane na przystanku lub dotyczące konkretnego pojazdu.*		
--	--	--	--

* W miejscach o mało skomplikowanym układzie linii można zrezygnować z aplikacji V2U i I2U zakładając przekazywanie informacji przez kierowcę – założenie to można przyjąć jeżeli kierowca sprzedaje lub kontroluje bilety przy wejściu, natomiast należy odrzucić w ruchu kolejowym i miejskim.

3.1.7. Niezawodność czasu podróży

Niezawodność jest rozumiana w transporcie publicznym jako pewność, jaką mają podróżni co do poziomu obsługi, jakiej doświadczają podczas podróży. Czas podróży, czas oczekiwania lub poziom komfortu, jakiego doświadczają w pojeździe, to jedne z najważniejszych atrybutów niezawodności (Baran & Augustyn, 2021), (Loader & Stanley, 2009), (Verbich i in., 2017), (Zmuda-Trzebiatowski, 2016), (Soza-Parra i in., 2022).

Niezawodność definiowana jest jako zmienność poziomu obsługi doświadczanej przez pasażera w trakcie odbywania tej samej podróży w różnych dniach. Zaś jej głównego źródła upatruje się w braku zmienności (małej wariancji) interwałów ruchu, co wpływa na czas oczekiwania i nierównomiernie rozkłada pasażerów w pojazdach, a to obniża wygodę podróży i satysfakcję (Baran & Augustyn, 2021), (Loader & Stanley, 2009), (Verbich i in., 2017), (Zmuda-Trzebiatowski, 2016), (Soza-Parra i in., 2022).

Poza interwałem ruchu wskazywany jest szereg innych miar, czynników, których zmienność (zawodność) lub jej brak (niezawodność) ma tu znaczenie, w tym: czas trwania podróży, czas przyjazdu (punktualność), czas oczekiwania, czas odjazdu, czas wsiadania/wysiadania, dostępność miejsc w pojeździe, niezrealizowane połączenia, pewność realizacji podróży w zaplanowanym czasie i inne. Generalnie w literaturze dominuje jednak odniesienie niezawodności transportu publicznego do domeny czasu (Alkubati i in., 2023).

A wśród powszechnie używanych miar niezawodności wskazywane są punktualność względem rozkładu jazdy (w przypadku usług o niskiej częstotliwości) oraz współczynnik zmienności odstępów między pojazdami/interwału kursowania (w przypadku usług o wysokiej częstotliwości). I jakkolwiek miary te związane są z czasem oczekiwania podróżnych, oceniają jednak niezawodność przede wszystkim z punktu widzenia przewoźnika, a nie pasażerów.

Głównymi sposobami przedstawiania niezawodności czasu podróży są (De Jong i in., 2014), (Dullaert & Zamparini, 2013), (Li i in., 2010): 1) odchylenie standardowe czasu podróży, 2) procentowy udział podróży opóźnionych, 3) stopień przyspieszenia lub opóźnienia według modelu harmonogramowania Vickreya-Smalla, 4) średnia wielkość opóźnienia. Wskazuje się, że niezawodność czasu podróży ma szczególne znaczenie w przypadku rozpatrywania podróży pasażerskich z przesiadkami (Li i in., 2010), (Starowicz & Ciastoń, 2006). Wpływ ten może być monetaryzowany. Wartość zwiększenia niezawodności czasu podróży może być prezentowana w jednostkach czasu (godzina, dzień) lub względnie (procent, promil) i przypadać na osobę czy pojazd (De Jong i in., 2014), (Dullaert & Zamparini, 2013), (Li i in., 2010). Niepewność czasu podróży kompensowana jest zazwyczaj przez jej wcześniejsze rozpoczęcie. Wskazuje się, że osoby często dojeżdżające są bardziej wrażliwe na opóźnione zakończenie podróży, natomiast podróżni okazjonalni na zbyt wczesne (Li i in., 2010). W przypadku osób korzystających z transportu zbiorowego punktualność przyjazdu środka transportu na przystanek ma znaczenie zarówno w kontekście opóźnień, jak i przyspieszeń (Starowicz & Ciastoń, 2006).

Niezawodność i punktualność transportu (a jak widać, są to różne kwestie) jest szczególnie istotna dla osób młodych (15-24 lata – 28%), natomiast stanowczo mniej istotna dla mieszkańców wsi (European Parliament. Directorate General for Internal Policies of the Union & Istituto per la Ricerca Sociale - IRS, 2015). Ponadto częstotliwość i niezawodność transportu publicznego jest szczególnie ważna dla kobiet, które częściej łączą dojazdy do pracy, szkoły, miejsc opieki nad dziećmi i zakupów (Social Exclusion Unit, 2003). I wreszcie niezawodność podróży ma także duże znaczenie w kontekście przesiadek oraz dojazdów do pracy.

Rozwiązania zwiększające niezawodność transportu to m.in. buspasy czy pierwszeństwo w sygnalizacji świetlnej. Zestawienie miar niezawodności czasu transportu podróży przedstawiono w tab. 6.

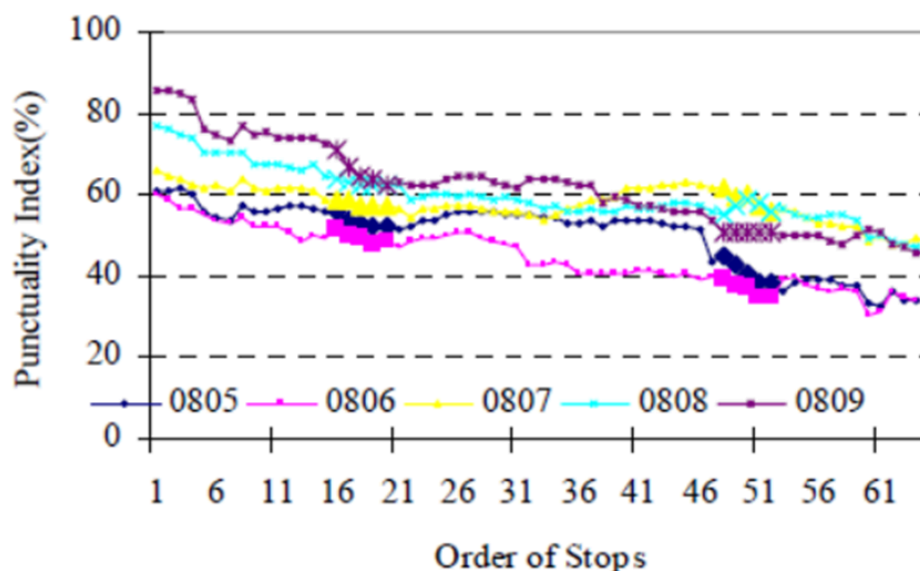
Tab. 6. Zestawienie miar niezawodności czasu podróży na podstawie przeglądu literatury

Miara	Sposób wyznaczania (wzór)	Uwagi/komentarze/wady i zalety	Źródło
Zmienność czasu podróży (łącznie, w pojeździe, oczekiwania)	1. Średnia 2. Współczynnik zmienności 3. Odsetek przypadków większych od wartości średniej	–	(Cham, 2006)
Przestrzeganie rozkładu jazdy	1. Średnie odchylenie od czasu rozkładowego 2. Współczynnik zmienności odchylenia od czasu rozkładowego 3. Odsetek przypadków przyjazdu o X minut później niż średnie odchylenie od czasu rozkładowego	–	(Cham, 2006)
Zmienność interwału ruchu	1. Średnia 2. Współczynnik zmienności 3. Odsetek przypadków odstępów w których interwały były: a) dłuższe o X procent od wartości średniej lub rozkładowej	–	(Cham, 2006)

	b) krótsze o Y procent od wartości średniej lub rozkładowej		
Dostępność miejsc siedzących	Relacja popytu (pasażerów) do podaży (pojemności środków transportu)	–	(Cham, 2006)
Bufor czasowy niezawodności (RBT – Reliability Buffer Time)	$RBT = P_{Tn}^{-1}(x) - P_{Tn}^{-1}(50)$ gdzie $P^{-1}(x)$ oznacza x-ty percentyl	Definiowany dla określonej pary OD i czasu rozpoczęcia podróży jako różnica między górnym (np. 95.) percentylem czasu podróży a medianą tego czasu. Np. dla podróżnych, którzy dojeżdżają do pracy 20 dni roboczych w miesiącu, 95. percentyl oznacza, że równy medianie lub dłuższy czas podróży występuje tylko raz w miesiącu, podczas gdy 90. percentyl to raz na dwa tygodnie. Metrykę RBT można interpretować jako najmniejszy czas buforowy (niezbędna rezerwa) w stosunku do typowego czasu podróży potrzebnego podróżnemu na dotarcie do celu na czas przez x procent dni	(Jenelius, 2018), (Uniman i in., 2010)

Postrzegany niedobór niezawodności podróży (ESRG – Experienced Service Reliability Gap)	$ESRG = P_{TP}^{-1}(x) - P_{TP}^{-1}(50)$ gdzie x oznacza pożądaną poziom niezawodności (np. 95%)	Definiowany dla określonej pary OD i czasu rozpoczęcia podróży jako różnica postrzeganego czasu podróży w dni typowe i dni z zakłóceniami podróży. Metryka ESRG jest uogólnieniem RBT i oparta jest na postrzeganym, a nie nominalnym czasie podróży. Termin niedobór niezawodności jest używany zamiast bufor czasowy niezawodności, ponieważ metryka nie ma tej samej i bezpośredniej interpretacji marginesu niezawodności podróży	(Jenelius, 2018), (Uniman i in., 2010)
---	---	--	--

Jak wskazano powyżej, definiując niezawodność czasu podróży jest ona zależna od wielu czynników, w tym głównie czasu. Powstaje zatem pytanie, jak owa zależność wygląda? Generalnie, można tu wskazać na następującą konstatację płynącą z literatury i badań, a mianowicie najczęściej obserwowaną zależnością jest zależność liniowa. Potwierdzają to badania niezawodności podróży w świetle czasu, a dokładniej punktualności transportu publicznego w zależności od ulokowania przystanku na trasie lub inaczej, jego odległości od przystanku początkowego, tzw. końcówki czy pętli. Dla przykładu można przytoczyć badania (Kho i in., 2006) – rys. 2.



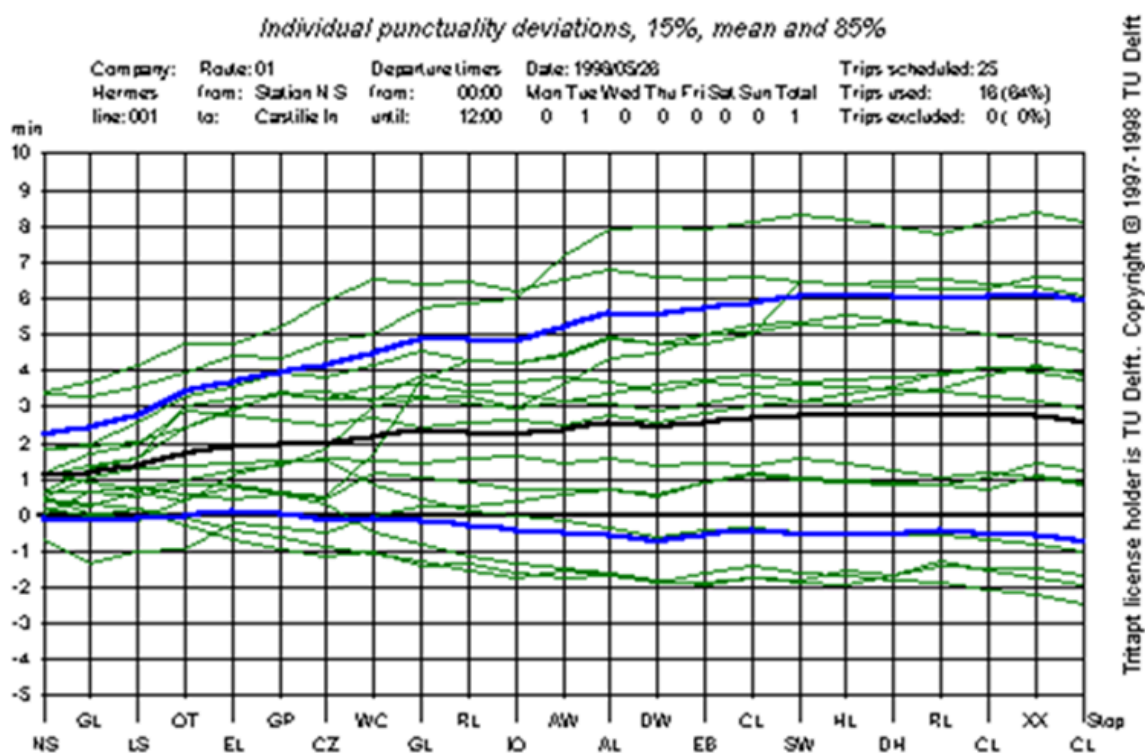
Rys. 2. Punktualność autobusów zależna od przystanku na danej linii (przykład dla pięciu linii autobusowych rozpoczynających się na pętli Gangnam, Seul, Korea Południowa) (Kho i in., 2006)

Zaprezentowany na rys. 2 indeks punktualności definiowany jest generalnie jako przeciętna różnica rzeczywistych i planowanych interwałów ruchu autobusów odniesiona do wartości średniej tych drugich. Jak widać prezentowana zależność jest liniowa. Autorzy badania wskazują, że analizowany indeks punktualności dla przystanku początkowego wynosi przeważnie około 80%, natomiast dla ostatniego jest bardzo zmienny w granicach 20 do 80%. Autorzy wskazują na następujące czynniki wpływające na punktualność kursowania autobusów:

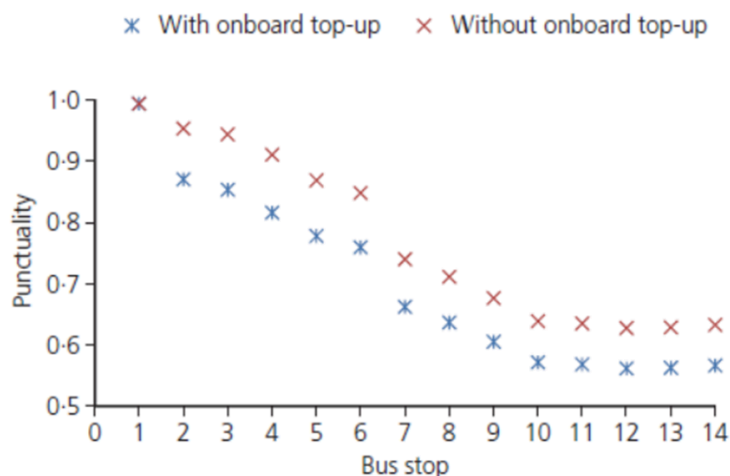
- warunki ruchu,
- warunki drogowe,
- długość trasy (linii) i liczba przystanków,
- zmienność popytu ze strony pasażerów,
- preferencyjne traktowanie środków komunikacji miejskiej,
- strategię kontroli ruchu,
- dostępność pojazdów i personelu,
- różnice w umiejętnościach kierowcy/motorniczego.

Odnosząc się do trzeciego ze wskazanych wyżej czynników, wykorzystanego w dalszej części projektu, autorzy przywołanego badania wskazują co następuje: punktualność kursowania autobusów maleje wraz z długością trasy (linii) i liczbą przystanków. Im dłuższy jest czas przejazdu trasy, który jest silnie powiązany z jej długością, tym niższy indeks punktualności.

Podobne, tj. liniowe zależności punktualności środków komunikacji miejskiej od lokalizacji przystanków na liniach prezentują badania (Muller & Knoppers, 1999) oraz (Qu i in., 2014) odpowiednio rys. 3 i 4. W tym drugim przypadku liniowość ta występuje przedziałami, ale jest ewidentnie zachowana.



Rys. 3. Punktualność autobusów mierzona odchyleniem w minutach do planu zależna od przystanku na danej linii (przykład dla jednej linii autobusowej, Eindhoven, Holandia) (Muller & Knoppers, 1999)



Rys. 4. Punktualność autobusów zależna od przystanku na danej linii z możliwością doładowania biletu elektronicznego/karty w pojeździe – niebieskie znaczniki, i bez takiej możliwości – czerwone znaczniki (przykład dla jednej linii autobusowej Queensland, Australia) (Qu i in., 2014)

3.2. Przegląd stanu wiedzy w zakresie algorytmów pomocniczych

3.2.1. Przesiadki

W literaturze zjawisko występowania przesiadek w transporcie publicznym, ang. public transport transfer, jest szeroko analizowane. Istnieją również prace przeglądowe w tym zakresie. Przykładowo (T. Liu i in., 2021) dokonali przeglądu blisko 150 publikacji z tego zakresu, które do 2021 roku włącznie dotyczyły zjawiska planowania przesiadek. Autorzy postrzegają zjawisko przesiadek pomiędzy środkami transportu publicznego jako czynnik występujący w sposób nieuchronny i negatywnie wpływający na poziom obsługi. Analizują go z uwagi na koordynację przesiadek, uważając, że odpowiednia koordynacja może wpłynąć na redukcję czasu oczekiwania pasażerów przesiadających się i zwiększenie liczby możliwych połączeń. Osiągnięcie tego celu możliwe jest dzięki rozwiązaniu problemu projektowania koordynacji przesiadek, ang. *transfer coordination design problem* - TCDP, który na podstawie przeprowadzonego przeglądu stanu wiedzy pozwala zastosować:

- specjalizowane heurystyki bazujących na regułach,
- modelowanie analityczne,

- programowanie matematyczne,
- symulację.

Mając na uwadze, że celem prac projektowych nie jest optymalizacja rozkładów jazdy lecz uwzględnienie samego zjawiska występowania przesiadek, poniżej przedstawiono kilka wybranych sposobów modelowania samego zjawiska występowania przesiadek, bazując na pracach ujętych w publikacji (T. Liu i in., 2021) i koncentrując się na relatywnie najnowszych i metodycznie zróżnicowanych opracowaniach.

Zestawienie miar pomocniczych w zakresie przesiadek przedstawiono w tab. 7.

Tab. 7. Zestawienie miar pomocniczych w zakresie przesiadek, na podstawie przeglądu literatury

Miara	Sposób wyznaczania (wzór)	Uwagi/komentarze/wady i zalety	Źródło
Czas pomiędzy przyjazdem przyjazdem a odjazdem środków transportów	$\min Z = \sum_{i,j} \sum_m x_{i(m),j(m)}$ <p>gdzie $x_{i(m),j(m)}$ oznacza całkowity czas oczekiwania na przystanku pomiędzy godziną odjazdu j-relacji a godziną przyjazdu i-relacji, w ramach utworzonej m-pary relacji.</p>	Praca dotyczy koordynacji przesiadek na wybranym obszarze małej konurbacyjnym w rejonie Nowego Jorku, USA. Autorzy zwracają uwagę, że nieliczne prace dotyczą koordynacji przesiadek w obszarach o mniejszej częstotliwości połączeń. Tu rozważany jest przypadek, w którym przesiadka następuje w obrębie tego samego przystanku.	(Zhang & Wang, 2016)
Łączny odstęp czasu pomiędzy przyjazdem i odjazdem w ramach przesiadki, z uwzględnieniem czasu przemieszczenia pomiędzy peronami	$t_{m'l',ml,s} = \lambda_{m'l',mls'}$ $= (D_{msl} - A_{m'sl'} - t_{l's})$ <p>gdzie: $t_{m'l',ml,s}$ - czas na przesiadkę ze środka transportu m' na linii l' do środka transportu m na linii l w ramach stacji s;</p>	Praca dotyczy koordynacji przesiadek w ramach systemu transportowego metra. Uwzględnia zarówno czas pomiędzy przyjazdem i odjazdem środków transportu z różnych przystanków, jak i czas przemieszczenia się	(X. Liu i in., 2018)

przyjazdu i odjazdu	D_{msl} - czas odjazdu środka transportu m na linii l w ramach stacji s ; $A_{m's'l'}$ - czas przyjazdu środka transportu m' na linii l' w ramach stacji s ; $t_{l'ls}$ - czas przemieszczenia pomiędzy peronami przyjazdu linii l' i odjazdu linii l , w ramach stacji s ; $\lambda_{m'l',mls'}$ - dostępność połączenia.	<p>pomiędzy tymi przystankami.</p> <p>Uwzględnia przesiadkę w obrębie jednego przystanku, pomija czas przejazdu środka transportu odcinkami od stacji początkowej linii pomiędzy którymi następuje przesiadka a stacją przesiadkową.</p>	
Czas przesiadki z uwzględnieniem całkowitego czasu przejazdu na liniach pomiędzy którymi następuje przesiadka	$WT_{ij}^s = (X_j + t_j^s + dt_j^s) - (X_i + t_i^s + dt_{ij}^s)$ gdzie: WT_{ij}^s - czas oczekiwania pasażerów przesiadających się z linii i na j , na stacji s ; X_j - godzina odjazdu z pierwszego przystanku na linii j ; t_j^s - czas przejazdu śr. transp. na linii j z przyst. początkowego do przyst. przesiadki s ; dt_j^s - czas postoju śr. transp. linii j na przyst. s ; X_i - godzina odjazdu z pierwszego przyst. na linii i ; t_i^s - czas przejazdu śr. transp. na linii i z	<p>Zależność uwzględnia przesiadkę w obrębie jednego przystanku, uwzględnia czas przejazdu środka transportu odcinkami od stacji początkowej linii pomiędzy którymi następuje przesiadka a stacją przesiadkową.</p>	(Abdolmaleki i in., 2020)

	przyst. początkowego do przyst. przesiadki s ; tt_{ij}^s - czas przejścia pasażera pomiędzy pojazdem linii i a pojazdem linii j na przystanku s .		
Czas pomiędzy przyjazdem a odjazdem z uwzględnieniem czasu przesiadki	$t = TD_{jl'}^v - TA_{il}^v - e_{ll'}^v$ gdzie: t - czas przesiadki; $TD_{jl'}^v$ - godzina odjazdu pojazdu j na stacji v dla linii l' ; TA_{il}^v - godzina przyjazdu pojazdu i na stacji v dla linii l ; $e_{ll'}^v$ - czas przemieszczenia się pasażerów z linii l na l' na stacji v .	Zależność uwzględnia przesiadkę w obrębie jednego przystanku, nie uwzględnia czasu przejazdu środka transportu odcinkami od stacji początkowej linii pomiędzy którymi następuje przesiadka a stacją przesiadkową.	(Tian & Niu, 2019)

3.2.2. Rozróżnianie charakteru badanego obszaru

W rozpatrywanych miarach przyjmowane wartości progowe mogą być uzależnione od charakteru analizowanego obszaru. W szczególności dotyczy to podziału miasto-wieś (urban-rural).

W literaturze prezentowane są różne podejścia związane z rozróżnieniem charakteru badanego obszaru w kontekście wykluczenia komunikacyjnego. (Baran & Augustyn, 2021) koncentrują rozważania na obszarach najbardziej narażonych na wykluczenie komunikacyjne, tj. peryferyjnych obszarach przygranicznych, w szczególności tych z licznymi naturalnymi ograniczeniami geograficznymi blokującymi rozwój sieci drogowej (np. obszary górskie), i charakteryzujących się niską gęstością zaludnienia.

(Currie i in., 2010) zwracają uwagę na ścisłą relację występującą pomiędzy brakiem dostępu do komunikacji zbiorowej i własnych środków transportu a dobrostanem i ubóstwem czasowym. Zdaniem autorów obszary najbardziej narażone na wykluczenie komunikacyjne znajdują się na obrzeżach miast, ponieważ tam osiedlają się osoby o niskim poziomie zamożności. Jest to związane z niższymi niż w centrach miast kosztami utrzymania. Na obrzeżach miast organizacja transportu zbiorowego jest także na niższym poziomie niż w pozostałych częściach miast.

W kontekście rozróżnienia charakteru badanego obszaru w literaturze prezentowane jest także podejście, w którym wyróżnia się różne strefy miast oraz obszary poza miastami, a także obszary wiejskie.

(Yigitcanlar i in., 2007) proponują metodykę badań, w której analizowane są obszary metropolitalne i dostęp ich mieszkańców do punktów usługowych (sklepy, szkoły, szpitale, miejsca pracy) w dwóch wymiarach, tj. podróże piesze oraz podróże z wykorzystaniem środków publicznego transportu zbiorowego. W kategoriach rozróżnienia obszarów autorzy przedstawiają podział na miejsca o różnych poziomach zaludnienia, wskazując na konieczność wyłączenia z badań rejonów niezamieszkałych, np. parki.

(Ivan i in., 2019) wyróżniają obszary miejskie i podmiejskie do określenia odległości do preferowanych przystanków środków transportu publicznego. (Xia i in., 2016) wyszczególniają wielopoziomową skalę przestrzenną, taką jak wewnętrzne obszary miejskie, obszary środkowe (ang. middle areas), zewnętrzne obszary miasta oraz całe miasta. Biorąc pod uwagę podejście przestrzenne autorzy koncentrują swoją uwagę na stronie podażowej, w ramach której wyróżniają jakość świadczonych usług transportowych, dostęp do transportu publicznego oraz przestrzenne luki w podaży transportu w oparciu o potrzeby mieszkańców. (Xia i in., 2016) prezentują wskaźnik podaży transportu publicznego zwracając uwagę na jego oczekiwaną wartość, tym samym rozróżniając obszary większych miast i mniejszych miejscowości. Precyzyjne miary odnoszące się do gęstości zaludnienia obszarów, a tym samym ich podziałów na miejskie, podmiejskie i wiejskie przedstawiają (Beckers & Verhetsel, 2021). Autorzy wzorują się na siatce populacji o powierzchni 1 km², dla której określenie „miejski”

odnosi się do sąsiadujących komórek siatki o gęstości zaludnienia 1500 mieszkańców na 1 km². W przypadku stref podmiejskich lub małych miejscowości gęstość ta wynosi 300 mieszkańców na 1 km², a dla terenów wiejskich jest znacznie niższa (słabo zaludniona).

(Guzik & Kołoś, 2021) przedstawiają badania dotyczące dostępności obszarów wiejskich środkami publicznego transportu zbiorowego do miast powiatowych. Autorzy zwracają uwagę na wspólne ujęcie obszarów wiejskich i miejscowości wiejskich (w tym miejscowości strefy podmiejskiej miast metropolitalnych).

(Beim i in., 2020) analizują dostępność transportu publicznego w podregionie pilskim, który podzielono na powiaty, na gminy wiejskie, gminy miejskie i gminy miejsko-wiejskie. Badania przeprowadzono w każdym z wyróżnionych obszarów.

Połączenie obszarów miejskich i wiejskich prowadzących do usprawnienia systemu transportowego Amsterdamu i jego przedmieść prezentują (Brand i in., 2017). Autorzy dążą do integracji systemu transportowego funkcjonującego w mieście z systemem transportowym na przedmieściach, obszarach wiejskich i miastach leżących w pobliżu Amsterdamu.

(Berg & Ihlström, 2019) rozróżniają w badaniach dotyczących wykluczenia komunikacyjnego w Szwecji obszary miejskie i wiejskie. Koncentrują swoją uwagę na obszarach wiejskich oraz o niskiej gęstości zaludnienia. Argumentują swoje podejście tym, że w tych rejonach najczęściej organizacja publicznego transportu zbiorowego jest na znacznie niższym poziomie niż w przypadku komunikacji w miastach. Tym samym prawdopodobieństwo wykluczenia komunikacyjnego na obszarach wiejskich i obszarach o niskiej gęstości zaludnienia jest znacznie wyższe niż na obszarach miejskich.

Podział obszarów na wiejskie i miejskie w kontekście wykluczenia komunikacyjnego prezentują również (Żukowska i in., 2023), przedstawiając badania dotyczące wykluczenia komunikacyjnego w północnej części Polski. Autorzy prezentują wyniki analiz dla obszarów wiejskich, również w kontekście wykluczenia społecznego.

(Hai & Quang, 2022) przedstawiają wykluczenie komunikacyjne (w ujęciu społecznym) wyróżniając obszary wysp miejskich odgradzonych różnymi barierami (w tym np. drogami ekspresowymi, rzekami) od miejsc pracy, rozrywki itp. oraz braku transportu lub zbyt wysokich kosztów (lub zbyt długiego czasu) transportu do tych miejsc. Ujęcie społeczne jako wyróżnik badanego obszaru jest także prezentowane przez (Lizárraga i in., 2020). Autorzy charakteryzują dwie grupy społeczne, zakładając ich równomierny rozkład na analizowanym terenie, tj. pierwszą - studentów, osoby starsze i bez wsparcia socjalnego; drugą – osoby ze specjalnymi potrzebami, osoby bezrobotne, bez własnych środków transportu, dzieci w wieku przedszkolnym i młodsze (do 5 lat), osoby bez dostępu do lodówki i analfabetów.

Warto podkreślić, że często spotykane rozróżnienie obszarów na miejskie, podmiejskie i wiejskie, nie jest jednoznaczne dla każdego kraju, czy też regionu. (S. Liu i in., 2022) stwierdzają, że wykorzystanie wskaźników przestrzennych używanych na całym świecie stanowi wyzwanie, ponieważ na ich działanie mogą wpływać specyficzne konteksty lokalne, takie jak klimat, lokalna kultura i historia oraz stan rozwoju. Autorzy dodają, że pomiar wskaźników przestrzennych dla miast na całym świecie stwarza dodatkowe wyzwania, takie jak różnice w skali przestrzennej, zasięg geograficzny, przeprowadzone pomiary oraz dostępność i jakość danych. Wskaźniki mogą być mierzone w różnych skalach agregacji przestrzennej, na przykład dla dzielnic, gmin czy szerzej rozumianego obszaru metropolitalnego.

Reasumując, autorzy licznych publikacji rozróżniają charakter badanego obszaru koncentrując się na analizie wykluczenia komunikacyjnego w miastach (niektórzy wyszczególniają części centralne i peryferyjne) oraz na wsiach. W badaniach dotyczących sytuacji w Polsce są także wyróżniane obszary miejsko-wiejskie. W wielu opracowaniach brany jest pod uwagę poziom zamożności mieszkańców różnych rejonów (najczęściej z wyraźnym wskazaniem na obrzeża miast) i na tej podstawie prowadzone są badania wykluczenia społecznego, którego jednym z aspektów jest wykluczenie komunikacyjne. Inne podejście prezentowane w literaturze oparte jest na wyróżnieniu grup społecznych najbardziej narażonych na wykluczenie komunikacyjne, np. osoby starsze, dzieci, studenci, osoby z niepełnosprawnościami. W takich

przypadkach sprawdzane są obszary, w których tych grup społecznych jest najwięcej i jaki jest poziom ich wykluczenia społecznego (w tym komunikacyjnego, lub szerzej - transportowego).

Zestawienie miar różnicujących charakter badanego obszaru przedstawiono w tab. 8.

Tab. 8. Zestawienie miar różnicujących charakter badanego obszaru na podstawie przeglądu literatury

Miara	Sposób wyznaczania	Uwagi/komentarze/ wady i zalety	Źródło
Podział administracyjny (granice miejscowości, gmin)	Na podstawie dokumentów	Podział łatwy do wdrożenia, ale może być błędny (np. obszary miejskie wpisane, jako gminy wiejskie). Innym przykładem jest najludniejsza wieś w Polsce, która ma 36 razy więcej mieszkańców niż najmniej ludne miasto. Problem charakteru obszaru może dotyczyć zarówno całej jednostki administracyjnej, jak też jej części.	(Guzik & Kołoś, 2021)
Ocena łącząca podział administracyjny z informacją o gęstości zaludnienia	Na podstawie dokumentów, zbiorów danych	Podziały łatwy do wdrożenia, jednak obarczony błędem (j.w.)	(Berg & Ihlström, 2019)
Ocena na podstawie zabudowy i innych parametrów	Zróżnicowany na podstawie dostępnych zbiorów danych, jak BDOO, Urban Atlas, Global Human Settlement Layer czy OpenStreetMap	Można skorzystać z gotowych granic wyznaczonych w różnych opracowaniach lub wyznaczać samodzielnie. Niweluje się pewne wady sztywnego podziału administracyjnego, ale	(S. Liu i in., 2022), (Currie i in., 2010)

		tu wadą jest problematyczność korzystania z różnych danych obliczanych na poziomie JST (np. poziom zamożności)	
GHSL - Global human Settlement Layer	Jak wyżej metodyka opracowana przez Komisję Europejską		
MOF Miejski Obszar Funkcjonalny	Jak wyżej - miara czasem stosowana przez GUS i polskich geografów		
Poziom urbanizacji	Gęstość zaludnienia w oczku siatki	Łatwiej pozyskać dane dot. zaludnienia, jednak występuje problem z wykorzystaniem danych przygotowanych na poziomie JST. Może wystąpić problem z określeniem wielkości oczka siatki, np. z uwagi na ukształtowanie terenu.	(Beckers & Verhetsel, 2021), (S. Liu i in., 2022)

3.2.3 Rozdzielczość zagregowanej prezentacji WK

Istnieje kilka dobrze zdefiniowanych poziomów agregacji przestrzennej dla których reprezentacja zjawiska wykluczenia transportowego może być interesująca z perspektywy zamawiającego. Takimi poziomami agregacji są punkty adresowe i kolejne poziomy agregacji przestrzennej określane centralnie przez Państwowy Rejestr Granic - m.in. poziom gminy, poziom powiatu. Prezentacja wskaźnika na poziomie punktu adresowego może być ograniczona w związku z ochroną prywatności. Zasadne jest zatem rozważanie pośrednich poziomów agregacji lub innych metod konstrukcji obszarów agregacji przestrzennej wskaźnika wykluczenia transportowego.

Naturalnie można oczekiwać, że zjawisko wykluczenia transportowego nie będzie się rozkładało równomiernie w odpowiednio dużym obszarze. Na przykład zagregowany wskaźnik wykluczenia transportowego dla całej gminy mógłby faktycznie maskować istnienie tego zjawiska na przykład na peryferiach tej gminy. Pewnym sposobem na rozwiązanie tego jest wykorzystanie do agregacji odpowiednio zdefiniowanych obszarów funkcjonalnych (np. (Gajda i in., 2023)). Mimo wspomnianych niedostatków prezentacja tych danych ma pewien poglądowy walor i badacze z niej korzystają (np. analiza na poziomie dzielnic – (Pittman & Day, 2015); reprezentacja na poziomie regionów NUTS – (Stępnia i in., 2013)).

Problem miarodajności zagregowanych statystyk sprowadza się do wykorzystania systemu geokodowania przestrzeni tak aby, rozmiar odpowiedniego obszaru niejako “wymuszał” spójność zagregowanych danych. Idąc dalej pojedynczy obszar w systemie geokodowania będziemy nazywali komórką. Spójność danej komórki rozumiemy jako niskie zróżnicowanie pod względem badanych statystyk punktów należących do danej komórki którą można mierzyć współczynnikiem Giniego lub w inny sposób (przykłady innych miar zmienności znajdują się w tab. 10).

Klasycznym sposobem geokodowania obszarów nie odnoszącym się do żadnych granic administracyjnych jest prostokątna siatka oparta o pewien system współrzędnych, gdzie pojedyncza komórka to np. kwadrat o boku 1 km lub 100 m. W taki sposób są podawane m.in. dane o liczebności populacji w skali świata (Bondarenko i in., 2020). Z kolei GUS w swojej prezentacji wyników NSP korzysta z kwadratowych komórek o boku 1km. Zastosowanie siatki prostokątnej wymusza traktowanie danego obszaru jako płaskiego i leżącego na jednej płaszczyźnie. Często konkretne geokodowanie jest specyficzne np. dla danego kraju lub regionu. Natomiast jeżeli takie geokodowanie zastosowane jest do obszaru znacznie wykraczającego poza obszar pierwotnego przeznaczenia, to tracimy kontrolę na pożądanymi własnościami komórek. W szczególności, może pojawić się znaczna różnica w polu powierzchni komórek. Odpowiedzią na ten oraz pewne inne problem są systemy współrzędnych sferycznych (np. (Sahr i in., 2003) oraz <http://s2geometry.io>).

Innym aspektem spójności komórki jest relacja punktu centralnego i innych punktów należących do komórki a w szczególności skrajnych. Z tego punktu widzenia niedostatkami siatki prostokątnej jest to, że wierzchołki prostokąta są istotnie dalej od środka niż inne punkty. Zauważyć należy, że w siatce prostokątnej wierzchołki komórki są analogicznie izolowane przez wszystkie sąsiadujące komórki. Figurą nie obciążoną tym defektem jest oczywiście koło jednak koła o ustalonym promieniu nie pozwalają na pokrycie przestrzeni o ile koła mają się co najwyżej stykać brzegami. Pośrednim rozwiązaniem jest zastosowanie innych wielokątów a w szczególności siatki heksagonalnej. Systemy geokodowania tego typu są znane i stosowane w badaniach (m.in. (Birch i in., 2007), (Burdziej, 2019), (Stough i in., 2020)).

Zestawienie standardów agregacji przestrzennej przedstawiono w tab. 9 natomiast w tab. 10 znajdują się przykładowe miary zmienności możliwe do wykorzystania do oceny spójności danej komórki.

Tab. 9. Standardy agregacji przestrzennej

Rozdzielczość	Uwagi/komentarze/ wady i zalety	Źródło
punkty adresowe, podział administracyjny (granice miejscowości, gmin)	Podział łatwy do wdrożenia, podział jest regularnie aktualizowany i utrzymywany.	https://www.geoportal.gov.pl/dane/panstwowy-rejestr-granic
Obwód spisowy, Rejon statystyczny	Podział oparty o aktualne dane o populacji	GUS: https://portal.geo.stat.gov.pl/aktualnosci/aktualny-zbiór-rejonów-statystycznych-i-obwodów-spisowych-2/
NUTS (Klasyfikacja Jednostek Terytorialnych do Celów Statystycznych)	Klasyfikacja pozwala dokonywać porównań między różnymi państwami należącymi do Unii Europejskiej	https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/pl/FTU_3.1.6.pdf
Siatka prostokątna	Nie posiada wprost struktury hierarchicznej. GUS czasem przedstawia dane (np. demograficzne) na siatce 1km	https://en.wikipedia.org/wiki/Equirectangular_projection

Siatka heksagonalna	Hierarchiczna metoda indeksacji przestrzennej	Przykładowa implementacja https://h3geo.org/
Siatka sferyczna		Przykładowa implementacja https://s2geometry.io/

Tab. 10. Wybrane miary zmienności możliwe do wykorzystania do oceny spójności komórki

Miara	Sposób wyznaczania (wzór)	Uwagi/komentarze/ wady i zalety	Źródło
Współczynnik zmienności	$c_v = \frac{\sigma}{\mu} [-]$ gdzie μ - średnia (arytmetyczna) wartość współczynnika wykluczenia komunikacyjnego σ - odchylenie standardowe wartości współczynnika wykluczenia komunikacyjnego	-	https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_variation
Kwartylowy współczynnik rozrzutu	$V_q = \frac{Q_3 - Q_1}{Q_3 + Q_1} 100 [\%]$ gdzie: Q_i - i'ty kwartył współczynnika wykluczenia komunikacyjnego	-	https://en.wikipedia.org/wiki/Quartile_coefficient_of_dispersion
Współczynnik Giniego	$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i - x_j }{2n^2 \bar{x}}$ gdzie n przebiega punkty adresowe, znajdujące się w danej jednostce przyjętej rozdzielczości, x_i - wartość współczynnika wykluczenia komunikacyjnego dla i tego punktu adresowego	Kwantyfikuje dysproporcje w rozkładzie badanej wielkości	https://en.wikipedia.org/wiki/Gini_coefficient

	\bar{x} - średnia wartość współczynnika wykluczenia komunikacyjnego w danej jednostce przyjętej rozdzielczości.		
Rozstęp	$x_{max} - x_{min}$	-	https://en.wikipedia.org/wiki/Range_(statistics)

3.2.4 Sposoby agregacji wskaźnika WK

Uzupełnieniem miary wykluczenia komunikacyjnego na poziomie punktów adresowych jest prezentacja tego zjawiska w różnych skalach obejmujących wiele punktów adresowych jednocześnie. Funkcje zdefiniowane na zbiorach punktów adresowych mają za zadanie syntetyczną prezentację pewnych aspektów charakterystyki dostępności usług komunikacyjnych danego obszaru. Zanim przejdziemy do przeglądu sposobów agregacji oraz literatury należy poczynić pewne wstępne zastrzeżenia.

Zadanie znalezienia syntetycznej prezentacji może być rozumiane dwojako. Po pierwsze, możemy być de facto skonfrontowani z zadaniem wtórnej klasyfikacji czyli zdaniem zaklasyfikowania pewnego obszaru na podstawie jego składowych. Przykładem takiej sytuacji jest syntetyzowanie informacji o powiecie tylko na podstawie syntetycznych informacji dotyczących gmin składowych. Po drugie, syntetyczna prezentacja może być również rozumiana jako konstrukcja pewnej reprezentacji zbioru punktów pokazująca pewne wypadkowe charakterystyki wynikające z charakterystyk poszczególnych punktów. Przykładem takiej konstrukcji jest średnia arytmetyczna zastosowana do dochodów w danej komórce (Basarbowicz i in., 2020). Dodajmy, że obie perspektywy są równo uprawnione i mogą być użyteczne.

Rozważając pewną hierarchię agregacji (np. hierarchię wynikającą z podziału administracyjnego) musimy zdecydować, czy agregacja na każdym poziomie będzie odbywała się bezpośrednio z danych o największej rozdzielczości (czyli w naszym

przypadku punktów adresowych) czy też będziemy korzystali z już wykonanych agregatów jako podstawy reprezentacji na kolejnym poziomie. Z racji, że wykluczenie komunikacyjne będzie reprezentowane na poziomie punktu adresowego a więc dysponujemy pełną informacją - mamy dowolność w wyborze między tymi ścieżkami.

Problematyka konstrukcji złożonych wskaźników i w szczególności ich agregacji jest tematem dobrze rozpoznanym (OECD i in., 2008), (Maggino, 2017), (Langhans i in., 2014). W literaturze rozróżnia się dwie główne rodziny metod agregacji wskaźników - arytmetyczną i geometryczną. Obie metody dopuszczają zastosowanie ważenia a zasadnicza różnica między nimi to podstawowa operacja. Mianowicie dla metod arytmetycznych to dodawanie natomiast dla metod geometrycznych to mnożenie. Ponadto zauważyć należy, że obie operacje na specyficzny dla siebie sposób dokonują "uśrednienia" zagregowanych wielkości co nie zawsze jest pożądane. W związku z tym, wyróżnia się dodatkowo rodzinę miar, które nie posiadają tej własności (non-compensatory aggregation methods za (Gan i in., 2017).

Przydatność poszczególnych proponowanych metod jest zależna od kontekstu badawczego, kompletności i źródła danych oraz celu. Omówienie technicznej strony agregacji wskaźników można znaleźć w pracy (Pollesch & Dale, 2015). Problematyka związana doбором metod do szczególnego przypadku jest omówiona w (Langhans i in., 2014), (Gan i in., 2017) i (Maggino, 2017) - zwłaszcza rozdział Dealing with Syntheses in a System of Indicators).

Zestawienie metod agregacji współczynnika WK przedstawiono w tab. 11.

Tab. 11. Wybrane metody agregacji współczynnika wykluczenia komunikacyjnego

Miara	Uwagi/komentarze/ wady i zalety	Źródło
Wartości skrajne: min, max	-	(Maggino, 2017; OECD i in., 2008; Pollesch & Dale, 2015)
Kwantyle	Przykłady: mediana, kwartyle, n-ty percentyl	
Miary tendencji centralnej:	- najpopularniejsza i najłatwiej interpretowalna średnia, to średnia	

średnia arytmetyczna, mediana i in.	arytmetyczna - istnieje kilka sposobów wyznaczania średniej - dodatkowo można zastosować mechanizm ważenia (np. ilością punktów adresowych w danej komórce składowej)	
Dominanta	Dominanta nie zawsze jest wyznaczona jednoznacznie	-
Agregacja oparta na regule	Przykład: jeżeli w danej gminie mniej niż 10% punktów adresowych, jest wykluczonych komunikacyjnie uznajemy, że gmina nie jest dotknięta tym zjawiskiem.	-

3.2.5 Sieciowe miary

Miary sieciowe opierają się na modelu sieci transportowej jako grafu i następnie badaniu i interpretowaniu jego własności w kontekście WK. Miary sieciowe znajdują bezpośrednie zastosowanie do elementów infrastruktury sieci transportowej takiej jak np. przystanki. Zastosowanie miar tego typu do obiektów innych niż należące do sieci transportowej (takich jak np. adresy) wymaga przyjęcia sposobu, w jaki te elementy integrują się z siecią transportową. Należy zauważyć, że meta-parametrem potrzebnym do wykorzystania niektórych z tych miar w skali np. województwa lub kraju jest określenie otoczenia danego punktu sieci transportowej. Efekty takich interakcji może być modelowany w naturalny sposób przez przyporządkowania elementów infrastruktury transportowej do odpowiednio dobranych kategorii reprezentujących zasięg oddziaływania danego typu obiektu. Oczywiście takie kategorie nie byłyby rozłączne - np. dworzec kolejowy jest elementem zarówno infrastruktury lokalnej jak infrastruktury w skali krajowej.

Na potrzeby poniższego przeglądu miar sieciowych przyjmujemy, że dysponujemy reprezentacją sieci transportowej w formie grafu G , gdzie wierzchołki reprezentują przystanki natomiast krawędzie łączą wierzchołki, jeżeli między reprezentowanymi przystankami istnieje połączenie publicznymi środkami transportu. Ponadto, krawędzie mogą posiadać wagi reprezentujące np. czas podróży między danymi.

Pomijamy tutaj zatem kwestie doboru skali oraz budowy reprezentacji przystanków. Dodatkowo w sieci transportowej można uwzględnić jako wierzchołki POI. Wreszcie, niektóre miary sieciowe mogą być wykorzystane jako miary tzw. oporu przestrzeni. W takim przypadku, miary byłyby liczone na grafie reprezentującym np. siatkę ulic.

Zestawienie miar sieciowych przedstawiono w tab. 12.

Tab. 12. Miary sieciowe na podstawie przeglądu literatury

Miara	Sposób wyznaczania (wzór)	Uwagi/ komentarze/wady i zalety	Źródło
Stopień wierzchołka	Ilość krawędzi incydentnych z danym wierzchołkiem ozn. $deg(v)$.	Ile tras krzyżuje się w na danym przystanku. Na podstawie miary obliczonej dla wierzchołków możliwe jest obliczenie wartości tej miary dla całej sieci (tzn. grafu).	https://www.w..org/gro ups/4808785/gospos trateg/ite ms/RG884TF8 https://www.w..org/gro ups/4808785/gospos trateg/ite ms/C9XXU7CK/attach ment/JXKRS4VM
Średnia długość ścieżki charakterystycznej	$l_m(v_i) = (N - 1)^{-1} \sum_{j \neq i} d(v_i, v_j)$ gdzie N liczba wierzchołków w grafie, $d(v, w)$ odległość w grafie G między wierzchołkami $v, w \in G$ np. ilość przesiadek, czas przejazdu.	- W charakterze metryki $d(v, w)$ może być wykorzystane: ilość przesiadek, czas przejazdu, koszt przejazdu. - Na podstawie miary obliczonej dla wierzchołków możliwe jest obliczenie wartości tej miary dla całej sieci (tzn. grafu).	Narzędzia do obliczeń: https://networkx.org/documentation/stable/index.html
Globalna średnia wydajność przystanku	$E_g(v_i) = (N - 1)^{-1} \sum_{j \neq i} d(v_i, v_j)^{-1}$ gdzie N liczba wierzchołków w grafie, $d(v, w)$ odległość w grafie G między wierzchołkami $v, w \in G$	Na podstawie miary obliczonej dla wierzchołków możliwe jest obliczenie wartości tej miary dla całej	https://osmnx.readthedocs.io/en/stable/

	np. ilość przesiadek, czas lub koszt przejazdu.	sieci (tzn. grafu).	
Lokalna średnia wydajność przystanku	$E_l(v_i) = (N(v_i) - 1)^{-1} \sum_{j \in N(v_i)} E_g(v_j)$ <p>gdzie $N(v)$ oznacza zbiór wierzchołków sąsiednich z wierzchołkiem v, $E_g(v)$ globalna średnia wydajność przystanku z odpowiednimi zastrzeżeniami.</p>		
Centralność przystanku - aspekt dostępności	$C_a(v_i) = (N - 1)^{-1} D_{tf}(v_i)$ <p>gdzie N oznacza ilość wierzchołków w sieci $D_{tf}(v_i)$ oznacza ilość wierzchołków dostępnych z v_i bez przesiadek.</p>		
Centralność przystanku - aspekt istotności przystanku	$C_p(v_i) = (N(N - 1))^{-1} \sum_{j,k \neq i} P_{j,k}(v_i)$ <p>gdzie $P_{j,k}(v_i)$ jest liczbą wszystkich ścieżek między wierzchołkami v_j i v_k przechodzącymi przez v_i.</p>		
Strukturalna centralność przystanku	$C_s(v_i) = - \left(1 - \frac{\sum_{j,k} (d(P_{j,k}(v_i))^{-1})}{\sum_{j,k} d(P_{j,k}(-v_i))} \right)$ <p>gdzie $d(P_{j,k}(v_i))$ oznacza "długość" ścieżki między wierzchołkami v_j a v_k przechodzącej przez v_i, $d(P_{j,k}(-v_i))$ oznacza "długość" ścieżki między wierzchołkami v_j a v_k w sieci powstającej przez usunięcie wierzchołka v_i. Przy tym w sytuacji, gdy sieć jako graf traci spójność i wierzchołki v_j oraz v_k są wzajemnie nieosiągalne przyjmujemy, że $d(P_{j,k}(-v_i))^{-1} = 0$.</p>		

3.2.5 Transport na życzenie

Usługi typu "Transport na Życzenie" (Demand Responsive Transit) zyskują na popularności, szczególnie w obsłudze miejsc o mniejszym popycie, dla których organizacja transportu regularnego jest nieefektywna ekonomicznie i środowiskowo (niskie napełnienia środków transportu, duża liczba pustych przebiegów). Usługi tego typu zazwyczaj obejmują wybraną strefę. Ich cena może być wyższa od ceny publicznego transportu regularnego, ale jest zazwyczaj niższa od tradycyjnych usług taksówkowych. Transport tego typu jest obsługiwany m.in. przez standard GTFS-flex. Standard ten pozwala na wyznaczanie podróży składających się z segmentów "na życzenie" oraz tradycyjnych usług regularnych. Jednak standard ten stał się oficjalną składową GTFS dopiero w marcu 2024⁵.

Szczególną odmianą transportu na życzenie jest transport społeczny, np. taksówki dla seniorów. Zazwyczaj jego ceny są niskie lub jest on dostępny bezpłatnie, ale jednocześnie mogą występować ograniczenia dotyczące tego jak często można korzystać z tych usług.

3.3. Propozycje algorytmów składowych wykluczenia komunikacyjnego i pomocniczych

3.3.1. Algorytm składowy czasu dojazdu

Algorytmy wykluczenia komunikacyjnego opierające się o czas dojazdu mogą bazować na kilku zasadniczych założeniach:

- czas podróży obliczany jest jako suma czasów dojścia do przystanku, czasu oczekiwania, jazdy, przesiadek i odejścia z przystanku;
- zakłada pewien maksymalny/racjonalny czas podróży;
- uwzględnia liczbę dostępnych POI w zadanym czasie;
- uwzględnia teren, w jakim znajduje się rozpatrywany punkt adresowy;
- uwzględnia rodzaje POI, jakie należy uwzględnić.

⁵ <https://gtfs.org/community/extensions/flex/>

Wykluczenie komunikacyjne pod względem czasu dojazdu może być określone na dwa sposoby:

- po przekroczeniu granicznej wartości czasu dojazdu punkt adresowy zostanie sklasyfikowany jako wykluczony,
- wykluczenie będzie klasyfikowane w zależności od wartości czasu dojazdu.

Warto też zauważyć, że przy obliczaniu czasu dojazdu należy określić maksymalną długość oczekiwania na rozpoczęcie podróży na pierwszym przystanku oraz godzinę i datę rozpoczęcia podróży.

3.3.1.1. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie czasu dojazdu – Algorytm 1

Opis

Algorytm wykluczenia bazuje na założeniu, że wykluczenie powoduje brak możliwości dotarcia w racjonalnym czasie z przystanku początkowego do przystanku końcowego.

Sposób wyznaczania

Dane wejściowe:

- parametr określający maksymalny czas oczekiwania na rozpoczęcie podróży,
- godzina i data rozpoczęcia podróży,
- graf odwzorowujący sieć PTZ,
- rozkłady jazdy.

Kroki:

1. Określ przystanek początkowy.
2. Wyznacz najkrótsze (najszybsze) ścieżki od przystanku początkowego do przystanków docelowych.
3. Wybierz ścieżkę najlepszą ze znalezionych.
4. Sprawdź czy dla rozpatrywanego punktu adresowego istnieje co najmniej 1 przystanek początkowy z listy przystanków niewykluczonych komunikacyjnie.
5. Sprawdź, czy całkowity czas podróży nie decyduje o wykluczeniu

komunikacyjnym punktu.

Uwagi i ograniczenia

Algorytm wymaga wykorzystania pomocniczego algorytmu do obsługi przesiadek. W proponowanym rozwiązaniu wystarczy zastosowanie algorytmu poszukiwania najkrótszej ścieżki w grafie Dijkstry. Przy odpowiednim sparametryzowaniu algorytmu można będzie sporządzić mapę przystanków nie rozwiązujących problemu wykluczenia komunikacyjnego.

3.3.1.2. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie czasu dojazdu – Algorytm 2

Opis

Algorytm bazuje na obliczaniu czasu dojazdu z punktu początkowego (punktu adresowego) do punktu docelowego (punktu adresowego). Jego istotą jest obliczenie czasu dojazdu od przystanku początkowego do punktu docelowego POI. Składowa podróż od źródłowego punktu adresowego do przystanku początkowego jest wskazana w algorytmie dostępności przestrzennej przystanku źródłowego. Do wyznaczania czasu można wykorzystać oprogramowanie służące planowaniu podróży np. OpenTripPlanner.

Sposób wyznaczania

Dane wejściowe:

- Rozkłady jazdy i informacje o sieci PTZ w standardzie GTFS.
- Okno czasowe (będą w nim poszukiwane podróże pomiędzy przystankami źródłowymi oraz POI).
- Wartości progowe czasu dojazdu WK dla podróży do siedziby gminy i siedziby powiatu.
- Punkty określające siedziby gmin i powiatów (celów podróży).

Kroki:

1. Na podstawie danych o przystankach i sieci skonstruuj graf odwzorowujący PTZ.

2. Na podstawie danych o rozkładzie jazdy wygeneruj podróże pomiędzy przystankami źródłowymi oraz punktami docelowymi POI.
3. Jeśli w zbiorze wygenerowanych podróży nie istnieje podróż o czasie mniejszym niż zadana wartość progowa dla gminy i powiatu to przypisz wartości $WK=1$, w przeciwnym przypadku $WK=0$.

Uwagi i ograniczenia

Istotą podejścia jest właściwe skonfigurowanie narzędzia generującego podróże. Należy zwrócić uwagę na istotne aspekty tj. ustawienie maksymalnego czasu przesiadki i maksymalnego czasu przejścia pieszego.

3.3.2. Algorytm składowy kosztu dojazdu

Jak wynika z analizy literatury przedstawionej w rozdziale 3.1., określenie akceptowalnego poziomu dochodów przeznaczanych na transport nie jest sprawą prostą. Celem dużej części badań związanych z dostępnością kosztową przejazdów transportem publicznym była ocena skuteczności polityki taryfowej skierowanej dla osób najuboższych lub porównanie wskaźnika dostępności w różnych krajach. Z punktu widzenia Projektu najistotniejsze w zakresie wykluczenia transportowego ze względu na koszty przejazdu wydają się dwa aspekty: określenie sposobu określania wskaźnika dostępności kosztowej oraz na jego podstawie ustalenie progu akceptacji kosztowej, powyżej którego można mówić, że nastąpiło wykluczenie. Jak wskazano rozdziale 3.1., w publikacjach pojawia się wiele metod określania wskaźnika dostępności kosztowej, jednak na potrzeby Projektu istotne jest również to, o czym była mowa w Rozdziale 2, czyli aby wskaźnik charakteryzował się transparentnością, ekonomicznością (łatwością pozyskania danych), ale też aby jak najprecyzyjniej odnosił się do obszaru, którego dotyczy. Z tego względu należy odrzucić te metody określania wskaźnika, które bazują na zbyt ogólnych powszechnie udostępnianych danych odnoszących się do całego województwa lub kraju (np. granice ubóstwa, sfery niedostatku, wydatki na transport). Dlatego też, autorzy Projektu zaproponowali najprostszą i najczęściej pojawiającą się w literaturze metodę wyznaczania tego wskaźnika, zgodnie z poniższym wzorem:

$$Aff = \frac{E_{gPT}}{y_g} \cdot 100\%,$$

gdzie:

Aff – wskaźnik dostępności kosztowej,

E_{gPT} – miesięczne wydatki gospodarstwa domowego g na transport zbiorowy,

y_g – miesięczne dochody gospodarstwa domowego g

Powyższy wzór należy jednak dostosować do danych, które publikowane są regularnie przez Główny Urząd Statystyczny w Banku Danych Lokalnych, które są ogólnodostępne. W tym celu proponuje się, aby przyjął on postać:

$$Aff_p = \frac{E_{PT}}{y_w} \cdot \frac{D_w}{D_p} \cdot 100\%,$$

gdzie:

Aff_p – wskaźnik dostępności kosztowej właściwy dla punktu adresowego znajdującego się w powiecie p ,

E_{PT} – miesięczne wydatki osoby na transport zbiorowy,

y_w – przeciętny miesięczny dochód rozporządzalny na 1 osobę w województwie w (dane GUS: kategoria K3 Ludność, Grupa G10 Gospodarstwa domowe, Podgrupa P1869 Przeciętny miesięczny dochód rozporządzalny na 1 osobę); dane dostępne dla województw,

D_w – przeciętne miesięczne wynagrodzenie brutto w województwie w (dane GUS Bank Danych Lokalnych: kategoria K40 Wynagrodzenia i świadczenia społeczne, Grupa G403 Wynagrodzenia, Podgrupa P2497 Przeciętne miesięczne wynagrodzenia brutto); dane dostępne dla powiatów i województw,

D_p – przeciętne miesięczne wynagrodzenie brutto w powiecie p (dane GUS bank Danych Lokalnych: kategoria K40 Wynagrodzenia i świadczenia społeczne, Grupa G403 Wynagrodzenia, Podgrupa P2497 Przeciętne miesięczne wynagrodzenia brutto); dane dostępne dla powiatów i województw.

Zamiast przeciętnego miesięcznego wynagrodzenia brutto w powiecie p , można alternatywnie stosować przeciętne miesięczne wynagrodzenie brutto w gminie, które wprawdzie nie są publikowane w Banku Danych Lokalnych, ale są publikowane cyklicznie przez GUS dla danego miesiąca i roku w postaci tabel pn. "Rozkład wynagrodzeń w gospodarce narodowej w ...", z dokładnością do gminy.

Natomiast większy problem pojawia się przy określeniu progu akceptacji kosztowej, powyżej którego można mówić, że nastąpiło wykluczenie. Trudno znaleźć w literaturze jednoznaczne wskazanie konkretnej wartości procentowej lub pieniężnej. Najczęściej przytaczane wartości wskaźnika Aff z publikacji (Carruthers i in., 2005), odnoszą się do konkretnych przykładów z różnych miast i dotyczą pewnej średniej wartości dochodów gospodarstwa domowego lub dochodów 20% najmniej zarabiających gospodarstw domowych. Wartości te mogą być również nieco zawyżone ponieważ odnoszą się do dużych miast i metropolii, gdzie zarobki są z pewnością wyższe niż na obszarach wiejskich. Mając to na uwadze, ale także dążąc do pewnego uproszczenia wynikającego z przesłanek wspomnianych wcześniej oraz w rozdziale 2, autorzy proponują przyjęcie progu akceptacji kosztowej na poziomie 15% przeciętnych miesięcznych dochodów rozporządzalnych na 1 osobę, skorygowanych wskaźnikiem wysokości przeciętnych miesięcznych wynagrodzeń brutto w danym powiecie w stosunku do przeciętnych miesięcznych wynagrodzeń brutto w województwie.

$$\frac{E_{PT}}{y_w} \cdot \frac{D_w}{D_p} \cdot 100\% \leq 15\%$$

Wówczas poziom maksymalnych miesięcznych wydatków na transport zbiorowy na osobę można będzie określić ze wzoru:

$$E_{max} = \frac{y_w \cdot D_p}{D_w} \cdot 0,15$$

3.3.2.1. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie kosztu dojazdu – Algorytm 1

Opis

Na podstawie cenników biletów jednorazowych poszczególnych przewoźników, algorytm oblicza sumaryczny koszt przejazdu do wybranych punktów docelowych i porównuje z przyjętym standardem. W pierwszej propozycji algorytmu koszty przejazdu obliczane są wyłącznie na podstawie cen biletów jednorazowych, a następnie uzyskane wartości są mnożone przez liczbę przejazdów odpowiadającą liczbie biletów jednorazowych jaką można kupić za równowartość biletu miesięcznego (średnia dla kilkudziesięciu miast i regionów).

Sposób wyznaczania

Kroki:

1. Dla każdego punktu docelowego określ czas przejazdu, odległość przejazdu i przewoźnika na każdym z odcinków podróży.
2. Dla każdego odcinka podróży oblicz koszt przejazdu według cennika biletów jednorazowych, obowiązującego u danego przewoźnika (w zależności od rodzaju stosowanej taryfy: czasowej – na podstawie czasu przejazdu, kilometrowej – na podstawie przebytej drogi).
3. Oblicz sumaryczny koszt podróży jako sumę kosztów na poszczególnych odcinkach podróży. Jeżeli kolejne odcinki odbywają się u tego samego przewoźnika stosującego taryfę czasową, uwzględnij możliwość przesiadki w ramach tego samego biletu.
4. Pomnóż otrzymany koszt jednej podróży przez zakładaną liczbę podróży w ciągu miesiąca (ekwiwalent ceny biletu miesięcznego).
5. Każdorazowo zweryfikuj, czy uzyskana sumaryczna wartość kosztu podróży nie przekracza standardu E_{max} dla danego powiatu (alternatywnie gminy) właściwego dla przystanku początkowego podróży. Przypisz wartość jeden, jeśli jest zgodna lub iloraz obliczonej wartości i standardu, jeśli jest mniejsza od standardu.

Uwagi i ograniczenia

W związku z tym, że koszt przejazdu obliczany jest dla pojedynczej podróży, a wartość graniczna (standard) dostępności kosztowej odnosi się do miesiąca, należy pomnożyć uzyskany za pomocą algorytmu koszt podróży przez liczbę 28, która została wyznaczona jako średnia liczba biletów jednorazowych jaką można kupić za równowartość biletu miesięcznego, na podstawie analizy cenników obowiązujących u różnych przewoźników miejskich i regionalnych. Otrzymaną w ten sposób wartość kosztu podróży będzie można traktować jako ekwiwalent biletu miesięcznego. Zastosowanie dla każdej podróży cen biletów jednorazowych zamiast miesięcznych wynika z ograniczeń związanych ze strefami taryfowymi, które obowiązują w części dużych aglomeracji dla biletów miesięcznych i dla których ze względu na brak danych (przypisanie przystanków do stref taryfowych) nie byłoby możliwości określenia rodzaju biletu miesięcznego, który dla danej podróży byłby właściwy.

Problemem przy wyznaczaniu wartości kosztu przejazdu jest brak cyfrowych danych z cennikami i taryfami dla większości przewoźników. W przypadku, gdy nie uda się uzyskać cennika dla danego przewoźnika, ceny biletów zostaną obliczone jako średnia wartość z cen stosowanych przez innych przewoźników, dla których uzyskano cenniki i którzy stosują ten sam rodzaj taryfy jak przewoźnik na analizowanym odcinku z brakującym cennikiem (czasowa lub kilometrowa).

3.3.2.2. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie kosztu dojazdu – Algorytm 2

Opis

Na podstawie cenników biletów miesięcznych i jednorazowych poszczególnych przewoźników, algorytm oblicza sumaryczny koszt przejazdu do wybranych punktów docelowych i porównuje z przyjętym standardem. W drugiej propozycji algorytmu koszty przejazdu obliczane są na podstawie dostępnych cen biletów miesięcznych dla odcinków, na których przewoźnik stosuje taryfy kilometrowe oraz miast stosujących taryfę strefową, jeżeli strefy obejmują miasto-rdzeń oraz maksymalnie jedną strefę podmiejską. Natomiast w przypadku komunikacji miejskiej z większą liczbą stref

taryfowych koszt przejazdu określany jest na podstawie cen biletów jednorazowych czasowych. W tym drugim przypadku, obliczony koszt podróży jest mnożony przez liczbę przejazdów odpowiadającą liczbie biletów jednorazowych jaką można kupić za równowartość biletu miesięcznego (średnia dla kilkudziesięciu miast i regionów).

Sposób wyznaczania

Kroki:

1. Dla każdego punktu docelowego określ czas przejazdu, odległość przejazdu, gminę początku i końca podróży oraz przewoźnika na każdym z odcinków podróży.
2. Dla każdego odcinka podróży oblicz koszt przejazdu według:
 - a) cennika biletów miesięcznych dla odcinków, na których przewoźnik stosuje taryfę kilometrową dla biletów miesięcznych (na podstawie przebytej drogi).
 - b) cennika biletów miesięcznych (lub 30-dniowych) dla odcinków, na których obowiązuje taryfa strefowa w komunikacji miejskiej obejmująca miasto-rdzeń i maksymalnie jedną strefę podmiejską (na podstawie gminy początku i końca podróży - jeżeli ta sama wówczas zastosuj taryfę dla strefy miejskiej, jeżeli różna wówczas zastosuj taryfę dla strefy łączonej miejsko-podmiejskiej).
 - c) cennika biletów jednorazowych czasowych dla odcinków, na których przewoźnik stosuje taryfę strefową dla biletów miesięcznych z większą niż jedną strefą podmiejską (na podstawie czasu przejazdu). Jeżeli kolejne odcinki odbywają się u tego samego przewoźnika stosującego taryfę czasową, uwzględnij możliwość przesiadki w ramach tego samego biletu. Pomnóż otrzymany koszt jednej podróży przez zakładaną liczbę podróży w ciągu miesiąca (ekwiwalent ceny biletu miesięcznego).
3. Oblicz sumaryczny koszt podróży jako sumę kosztów na poszczególnych odcinkach uzyskanych w kroku 2.
4. Każdorazowo zweryfikuj, czy uzyskana sumaryczna wartość kosztu podróży nie przekracza standardu E_{max} dla danego powiatu właściwego dla przystanku

początkowego podróży. Przypisz wartość jeden, jeśli jest zgodna lub iloraz obliczonej wartości i standardu, jeśli jest mniejsza od standardu.

Uwagi i ograniczenia

W przypadku odcinków, na których brane pod uwagę są ceny biletów jednorazowych czasowych, należy pomnożyć uzyskany za pomocą algorytmu koszt podróży przez liczbę 28, która została wyznaczona jako średnia liczba biletów jednorazowych jaką można kupić za równowartość biletu miesięcznego, na podstawie analizy cenników obowiązujących u różnych przewoźników miejskich i regionalnych. Otrzymaną w ten sposób wartość kosztu podróży można traktować jako ekwiwalent biletu miesięcznego. Natomiast w przypadku pozostałych odcinków, na których obowiązuje taryfa kilometrowa, brana pod uwagę jest cena biletu miesięcznego według długości pokonanego odcinka.

Zastosowanie dla części podróży cen biletów jednorazowych zamiast miesięcznych wynika z ograniczeń związanych ze strefami taryfowymi, które obowiązują w części dużych aglomeracji dla biletów miesięcznych i dla których ze względu na brak danych (przypisanie przystanków do stref taryfowych) nie byłoby możliwości określenia rodzaju biletu miesięcznego, który dla danej podróży byłby właściwy.

Problemem przy wyznaczaniu wartości kosztu przejazdu jest brak cyfrowych danych z cennikami i taryfami dla większości przewoźników. W przypadku, gdy nie uda się uzyskać cennika dla danego przewoźnika, ceny biletów mogą być obliczone jako średnia wartość z cen stosowanych przez innych przewoźników, dla których uzyskano cenniki i którzy stosują ten sam rodzaj taryfy jak przewoźnik na analizowanym odcinku z brakującym cennikiem (jednorazowa czasowa lub miesięczna kilometrowa).

3.3.3. Algorytm składowy częstości kursowania

3.3.3.1. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie częstości kursowania – Algorytm 1

Opis

Pierwszy algorytm bada potencjał wszystkich przystanków, które znajdują się "wystarczająco blisko" punktu adresowego. Pod uwagę brana jest całkowita liczba kursów wszystkich linii, które zatrzymują się na każdym z przystanków. W celu uwzględniania różnych pór doby czy dni tygodnia, obliczana jest średnia ważona określonych przedziałów czasu. Pod uwagę brane są oba kierunki kursowania linii.

Sposób wyznaczania

Kroki:

1. Odnajdź wszystkie przystanki znajdujące się "wystarczająco blisko" punktu adresowego, np. w oparciu o maksymalną odległość lub w efekcie działania algorytmu dostępności przestrzennej przystanku.
2. Wybierz wszystkie linie przechodzące przez te przystanki, dla każdej linii wybierz pierwszy w kolejności przystanek z będących w zasięgu.
3. Wybierz pierwszy przedział czasu (np. dzień roboczy, godz. 6-8).
4. Dla wybranego przedziału zsumuj wszystkie kursy wybranych linii, zatrzymujące się na każdym z wybranych przystanków.
5. Jeśli uzyskana suma jest większa od założonego standardu przypisz 1. W przeciwnym przypadku podziel otrzymany wynik przez oczekiwaną liczbę kursów w danym przedziale czasu dla danego punktu adresowego.
6. Jeżeli są do sprawdzenia kolejne przedziały czasu, wybierz kolejny przedział czasu i wróć do pkt.4. W przeciwnym razie przejdź do 7.
7. Zsumuj (z ewentualnymi wagami) wyniki dla wszystkich przedziałów i podziel przez liczbę przedziałów.

Uwagi i ograniczenia

Jeśli w punkcie 7 suma wag będzie wynosić 1, to uzyskany wynik przyjmie wartość w przedziale $<0, 1>$.

Różnym punktom adresowym można przypisywać różną oczekiwaną częstość kursowania, w zależności np. od gęstości zaludnienia lub zagospodarowania przestrzeni (obszar miejski/wiejski, por. algorytmy pomocnicze). Podobnie można w różny sposób

oceniać czy przystanki są wystarczająco blisko.

Przy braniu pod uwagę obu kierunków linii, niedoceniane będą linie kołowe (jednokierunkowe). W razie potrzeby można wprowadzić dodatkowe współczynniki.

Algorytm w tej postaci jest dość czasochłonny, gdyż dla każdego punktu adresowego niezależnie wybierane są przystanki i są dla nich ponawiane obliczenia. Ma to na celu uniknięcie wielokrotnego zliczania kursów dla jednej linii, która przechodzi przez wiele przystanków znajdujących się wystarczająco blisko. Można jednak zmodyfikować algorytm w taki sposób, by w pierwszej kolejności policzyć wartości dla każdego przystanku, a potem uśredniać wartości ze wszystkich przystanków znajdujących się wystarczająco blisko. Uproszczenie to będzie powodować, że linie przechodzące przez wiele przystanków w pobliżu będą miały większą wagę od linii przechodzących tylko przez wybrane przystanki. Pewną alternatywą jest tu też wybór tylko jednego przystanku z największą liczbą kursów – kosztem tego, że częstość będzie zazwyczaj niedoszacowana względem rzeczywistości.

Przy obliczaniu końcowego wskaźnika oprócz sumy iloczynów można przyjąć minimalną obliczoną wartość cząstkową, w zależności od oceny możliwości kompensacji oferty w niektórych przedziałach czasu, lepszą ofertą w innych przedziałach.

3.3.3.2. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie częstości kursowania – Algorytm 2

Opis

Algorytm sprawdza częstość kursowania do wybranych punktów docelowych w wybranych przedziałach czasu.

Sposób wyznaczania

Kroki:

1. Dla każdego punktu docelowego i każdego przedziału czasu oblicz sumaryczną liczbę podróży między źródłem a celem, która rozpoczyna się w określonym przedziale czasu i trwa nie dłużej niż (lub zaczyna się nie wcześniej niż i kończy

nie później niż).

2. Każdorazowo zweryfikuj, czy uzyskana wartość jest zgodna ze standardem przyjętym dla danego punktu adresowego, przedziału czasu i charakteru punktu docelowego. Przypisz wartość jeden, jeśli jest zgodna lub zero (względnie iloraz obliczonej wartości i standardu), jeśli jest mniejsza od standardu.
3. Wybierz minimalną wartość z obliczonych.

Uwagi i ograniczenia

Zamiast minimalnej wartości można wziąć pod uwagę wartość średnią, w zależności od oceny możliwości kompensacji oferty w niektórych przedziałach czasu, lepszą ofertą w innych przedziałach.

Szybkość działania tego algorytmu uzależniona jest od szybkości działania algorytmów wyznaczających trasy między punktami źródłowymi i docelowymi.

3.3.4. Algorytm składowy dostępności przestrzennej przystanku

3.3.4.1. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie dostępności przestrzennej przystanku – Algorytm 1

Opis

Wskaźnik uwzględnia możliwą do wyliczenia trudność pokonania pewnych barier przestrzennych w dostępie do przystanku oraz atrakcyjność przystanku rozumianą jako dostępność częstych kursów “dobrych” linii komunikacyjnych.

Sposób wyznaczania

Argument:

a – punkt adresowy

Parametry:

N – maksymalna liczba sąsiednich przystanków do uwzględnienia przy obliczaniu wskaźnika, domyślnie $N = \infty$,

r – promień geodezyjny koła, wyrażony w metrach, w jakim poszukujemy sąsiednich przystanków,

$t(c)$ – czas potrzebny na przekroczenie ulicy wyrażony w minutach,

$\delta(a)$ – referencyjna maksymalna dopuszczalna długość podróży pieszej z adresu na przystanek wyrażona w minutach,

$\mu(w)$ – referencyjna maksymalna średnia przerwa między kolejnymi odjazdami w danym oknie czasowym wyrażona w minutach,

$\alpha(w)$ – waga okna czasowego (szczegóły niżej),

$\lambda(l)$ – waga linii komunikacyjnej (szczegóły niżej).

Kroki:

1. $P(a)$ – znajdujemy co najwyżej N najbliższych zagregowanych przystanków po odległości geodezyjnej w ustalonym promieniu r . W przypadku, kiedy N jest skończone wybieramy N najbliższych przystanków.
2. Komponent odległości. Dla każdego przystanku $p \in P(a)$:

a) Wyznaczamy odległość pieszą z adresu do punktu przystankowego $d(a, p)$ w minutach.

b) Znajdujemy trasę między adresem a i przystankiem p i na znalezionej trasie zliczamy przejścia przez ulice z rozróżnieniem na typ (pasy+sygnalizacja świetlna, pasy) oraz typ przekraczanej drogi. Liczbę przejść przez drogę można znaleźć licząc punkty przecięcia trasy między adresem a przystankiem i siatką ulic wzdłuż trasy.

Każdy punkt przejścia przez ulicę oznaczony jako c jest traktowany jako niedogodność i przyjmujemy, że przedłuża czas podróży o $t(c)$ minut potrzebnych na bezpieczne pokonanie przeszkody. Można przyjąć, że $t(c) \in [0.5, 3]$ oraz, że wielkość ta jest stała i zależy od rodzaju przejścia i/lub kategorii przekraczanej drogi.

Uwaga: Wartość $t(c)$ można także dodatkowo uzależnić od np. pory dnia lub rozróżnić sytuacje, gdy osoba, która próbuje dostać się do danego przystanku, ma jakąś niepełnosprawność lub specjalną potrzebę.

Komponent odległości:

$$\Delta(a, p) = \min(0, 1 - \frac{d(a, p) + \sum_{c \in C} t(c)}{\delta(a)})$$

gdzie $\delta(a)$ jest referencyjną długością podróży pieszej dla adresu a . Zauważmy, że $\Delta(a, p) \in (-\infty, 0]$ oraz jeżeli czas potrzebny do pokonania trasy z adresu a do przystanku p przekracza przyjętą referencyjną wartość $\delta(a)$ tzn.

$d(a, p) + \sum_{c \in C} t(c) > \delta(a)$, wówczas $\Delta(a, p) < 0$. Natomiast w przeciwnym

przypadku $\Delta(a, p) = 0$ co jest też pożądaną wartością tego komponentu.

Uwaga: Referencyjna odległość podróży pieszej $\delta(a)$ jest zależna od kategorii miejscowości lub otoczenia (np. typu zabudowy), w którym znajduje się adres a .

3. Komponent częstotliwości kursów. Konstrukcja komponentu częstotliwości wskaźnika jest przeprowadzona w trzech etapach. Przyjmujemy, że doba jest podzielona na W okien czasowych korespondujących z różnym zapotrzebowaniem na dostęp do usług transportowych. Dla każdego przystanku $p \in P(a)$ i dla danego okna czasowego w_j oraz dla każdej linii l dostępnej na przystanku obliczamy średni czas między kolejnymi kursami w danym oknie oznaczony jako $m(p, l, w_j)$ min.

Uwaga: Komponent częstotliwości jest cechą przystanku i jest niezależny od wyjściowego punktu adresowego.

Uwaga: W sytuacji kiedy jest dostępny dokładnie jeden kurs na dobę w danym oknie możemy przyjąć, że $m(p, l, w_j) = 1440$ lub przyjąć bardziej skomplikowaną logikę zależną na przykład od badanego otoczenia (miasto, wieś) lub dostosować okna do otoczenia.

Komponent częstotliwości kursów dla okna w_j , linii l na przystanku p :

$$\Phi(p, l, w_j) = \min(0, 1 - \frac{m(p, l, w_j)}{\mu(w_j)}) [-]$$

przy tym $\mu(w_i)$ oznacza referencyjną wartość średniej długości czasu między kursami w danym oknie. Zauważmy, że $\Phi(p, l, w_j) \in (-\infty, 0]$ i ponadto, gdy kursy danej linii l na przystanku p w oknie w_i nie odbywają się wystarczająco często tzn. $m(p, l, w_j) > \mu(w_j)$, to $\Phi(p, l, w_j) < 0$ natomiast w przeciwnym przypadku $\Phi(p, l, w_j) = 0$.

Komponent częstotliwości dla linii l na przystanku p_i :

$$\Phi(p, l) = 1 - \prod_w \exp(\phi(p, l, w))^{\alpha(w)} = 1 - \exp(\sum_w \alpha(w) \phi(p, l, w))$$

gdzie wykładnik $\alpha(w) \in (0, 1]$ reprezentuje wagę okna w . Przy tym $\Phi(p, l) \in [0, 1)$ oraz w przypadku, gdy $\phi(p, l, w_j) = 0$ dla wszystkich, to $\Phi(p, l) = 0$, co jest pożądaną wartością tego komponentu.

Komponent częstotliwości dla przystanku p :

$$\Phi(p) = \Lambda^{-1} \sum_l \lambda(l) \Phi(p, l)$$

gdzie $\Lambda = \sum_l \lambda(l)$ i $\lambda(l)$ oznacza wagę danej linii.

Uwaga: W zakresie wartości wag, domyślnie można przyjąć, że $\lambda(l) = 1$ – wówczas komponent częstotliwości dla danego przystanku sprowadza się do średniej arytmetycznej komponentu częstotliwości dla wszystkich linii dostępnych dla danego przystanku. Natomiast w ogólności, wagi mogą być dobrane na podstawie innych kryteriów (np. na podstawie kryteriów sieciowych obliczonych dla danej linii) przy zachowaniu warunku $\Phi(p) \in [0, 1]$.

Uwaga: Pożądaną sytuacją jest, gdy $\Phi(p) = 0$.

4. Wskaźnik wykluczenia komunikacyjnego na podstawie przestrzennej dostępności przystanków:

$$I(a) = \prod_{p \in P(a)} (\gamma(1 - \exp(\beta \Delta(a, p))) + (1 - \gamma) \Phi(p))$$

gdzie $\gamma \in (0, 1)$ oraz $\beta \in (0, \infty)$. Współczynnik β modeluje atrakcyjność przystanku p ze względu na długość podróży pieszej z adresu a . Jest to znane i przebadane zagadnienie i konkretną wartość tego współczynnika można dobrać na podstawie literatury.

Analiza zachowania $I(a)$:

- a) $I(a) \in [0, 1]$.

- b) $I(a) = 0$ oznacza brak wykluczenia - tzn. przynajmniej jeden przystanek w dogodnej odległości i zapewniający wystarczający poziom obsługi potrzeb transportowych.
- c) $I(a) \approx 1$ oznacza, że dany punkt adresowy uznamy za wykluczony transportowo.
- d) Zakładając, że dla wszystkich $p \in P(a)$ mamy $\Delta(a, p) = 0$ wskaźnik wykluczenia możemy oszacować następująco:

$$I(a) = (1 - \gamma)^{\#P(a)} \prod_{p \in P(a)} \Phi(p) \leq (1 - \gamma)^{\#P(a)}.$$

- e) Zakładając, że dla wszystkich $p \in P(a)$ mamy $\Phi(p) = 0$ wskaźnik wykluczenia możemy oszacować następująco:

$$I(a) = \gamma^{\#P(a)} \prod_{p \in P(a)} (1 - \exp(\beta \Delta(a, p))) \leq \gamma^{\#P(a)}.$$

Uwagi:

1. Cecha konstrukcji wskaźnika polega na tym, że charakterystyki przystanków są potraktowane osobno co oznacza, że dla dwóch bliskich punktów adresowych różnica między ich wskaźnikami wykluczenia komunikacyjnego będzie w głównej mierze zależna od komponentu odległości. Zatem dla bliskich adresów wartość wskaźnika będzie zbliżona.
2. Funkcja zastosowana do połączenia komponentów tzn. kombinacja liniowa komponentów może być w prosty sposób zastąpiona inną funkcją zachowującą logikę wskaźnika.
3. Wskaźnik może być łatwo zmodyfikowany tak, aby uwzględniał inne komponenty niż komponent częstotliwości - na przykład komponent kwantyfikujący jakość dostępu do usług transportowych dla osób ze specjalnymi potrzebami lub inne.
4. We wskaźniku łatwo uwzględnić relacje porządkowe między dostępnymi przystankami wynikające z ich dystansu od danego adresu na przykład przez dodatkowe uzależnienie wykładników $\alpha(w)$ na przykład od odległości do przystanku. Należy przy tym jednak pamiętać, że może to mieć wpływ na własność wskaźnika wymienioną w pierwszym punkcie powyżej.
5. Powyższa konstrukcja jest łatwa do uogólnienia uwzględniającego rozróżnienie na zapotrzebowanie na usługi transportowe w dni powszednie i weekendy:

$$I(a) = qI_{\text{weekday}}(a) + (1 - q)I_{\text{weekend}}(a)$$

gdzie $q \in (0, 1)$, $I_{\text{weekday}}(a)$ oraz $I_{\text{weekend}}(a)$ są wskaźnikami wykluczenia transportowego odpowiednio dla dni powszednich oraz weekendów (z odpowiednio dobranymi parametrami).

3.3.4.2. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie dostępności przestrzennej przystanku – Algorytm 2

Opis

Algorytm bazuje na wyznaczeniu odległości po wielkim kole między adresem a przystankiem.

Sposób wyznaczania

Na podstawie listy współrzędnych wszystkich przystanków budujemy indeks w postaci drzewa 2-wymiarowego korzystając np. ze wzoru Haversine'a oznaczonego jako T .

Parametr:

r_0 - odległość po wielkim kole wyrażona w metrach.

Wejście:

a - punkt adresowy przy czym: (a_x, a_y) - współrzędne punktu adresowego.

Kroki:

1. Kwerendujemy T w promieniu r_0 metrów wokół (a_x, a_y) . W wyniku czego dostajemy listę sąsiadujących przystanków P .
2. Jeżeli lista jest pusta, adres a jest wykluczony komunikacyjnie.
3. Wyznaczamy warianty wskaźnika.
 - a) Wariant dyskretny wskaźnika

$$I(a) = 1 \text{ jeżeli } \#P = 0$$

$$I(a) = 0 \text{ w p.p.}$$

W powyższym wariacie, aby uznać, że dany punkt adresowy nie jest wykluczony komunikacyjnie (tzn. $I(a) = 0$) wystarczy, aby w zadanym promieniu znajdował się co najmniej jeden przystanek.

b) Wariant wymierny wskaźnika

$$I(a) = \min(0, 1 - \frac{\#P}{N})$$

gdzie N jest dodatkowym parametrem oznaczającym minimalną liczbę przystanków znajdujących się w zadanym promieniu, wymaganą, aby uznać, że dany adres nie jest wykluczony komunikacyjnie. Przy tym wskaźnik uwzględnia sytuację pośrednią a mianowicie, że zapotrzebowanie na usługi komunikacyjne może być zaspokojone częściowo.

c) Wersja ciągła wskaźnika

Jeżeli lista jest niepusta, to dla każdego elementu $p \in P$ na liście oblicz odległość między $d(a, p)$ w metrach.

$$I(a) = 1 - \exp(-\alpha \min_{p \in P} d(a, p))$$

gdzie $\alpha \in (0, \infty)$ jest współczynnikiem spadku atrakcyjności przystanku w zależności od odległości.

Uwagi:

1. Zależność atrakcyjności przystanku od odległości jest wielkością dobrze przebadaną w literaturze. Konkretną wartość współczynnika można dobrać na przykład na podstawie wyników (Sundquist i in., 2021).
2. Współczynnik $I(a) \in [0, 1]$, przy czym $I(a) = 0$ oznacza brak wykluczenia komunikacyjnego, natomiast $I(a) = 1$ oznacza wykluczenie komunikacyjne. Wartości pośrednie oznaczają stopień zagrożenia wykluczeniem komunikacyjnym.

Uwaga ogólna:

W razie potrzeb, w powyższej konstrukcji można łatwo zastąpić odległość po wielkim kole przez geodezyjną (tj. "w linii prostej" wg metryki euklidesowej, np. w przypadku

stosowania Państwowego Układu Współrzędnych Geodezyjnych 1992 lub 2000) lub np. czas potrzebny do pokonania trasy między adresem a przystankiem pieszo.

3.3.4.3. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie dostępności przestrzennej przystanku – Algorytm 3

Algorytm ten stanowi rozwinięcie algorytmu 2. Odległość nie jest w nim wyznaczana po wielkim kole, lecz po (pieszej) sieci drogowej. Założono wyznaczanie identycznej ekwidystanty (r_0), przy czym odległość obliczana jest jako sumaryczna długość odcinków dróg między punktem początkowym, a docelowym.

Uwagi ogólne:

- Podobnie, jak w przypadku algorytmu 2, także i tu, ekwidystantę można przekształcić w izochronę przy założeniu typowej, przeciętnej prędkości podróży pieszej. Ponadto, podobnie jak poprzednio ważne jest dostosowanie sposobu obliczeń odległości oraz przyjętego układu odniesienia i współrzędnych.
- W przypadku, gdy lokalizacje przystanków nie leżą dokładnie na odcinkach sieci drogowej, wymagane jest wyznaczanie ekwidystanty/izochrony w formie warstwy poligonowej, np. poprzez wyznaczenie dodatkowego buforu wokół sieci drogowej lub zastosowanie innej, zbliżonej metody.

3.3.4.4. Rekomendacje w zakresie dalszych prac nad algorytmami

Analiza wypracowanych algorytmów wskazała, że w przypadku algorytmu 1 mogą wystąpić problemy z jego praktyczną implementacją w skali całego kraju przez wzgląd na jego zapotrzebowanie na dane. W szczególności problematyczne może być określenie charakteru przejścia przez jezdnię (np. czy występuje sygnalizacja), a nawet samej dopuszczalności przejścia (np. czy ulica znajduje się w strefie zamieszkania, względnie czy przejście występuje w odległości większej niż 100 metrów od istniejącego przejścia dla pieszych). Stąd do dalszych analiz zarekomendowano algorytm 2 oraz 3.

3.3.5. Algorytm składowy dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami

3.3.5.1. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami – Algorytm 1

Opis

Ocena dostępności transportowej dla osób ze szczególnymi potrzebami jest utrudniona ze względu na zróżnicowanie tych potrzeb, a także z powodu uzależnienia tej dostępności od szczegółowych rozwiązań. Konieczne okazało się więc poszukiwanie kryteriów pośrednich, np. uwzględnienie że osoby o dużym stopniu niepełnosprawności jednocześnie mają uprawnienia do korzystania z ulgowych (a niekiedy bezpłatnych) biletów, a także że utrudnienia np. podczas przesiadania się mogą być kompensowane gotowością odbycia dłuższej podróży.

O dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami często decydują szczegółowe rozwiązania, które z jednej strony wymagają wnikliwej analizy, z drugiej zaś mogą się często zmieniać. Dane te nie są podawane w dostępnych zasobach cyfrowych, a niekiedy dostępne dane są mało wiarygodne. Z tej racji znacząca część kryteriów musiała zostać pominięta.

Potrzeby osób ze szczególnymi potrzebami różnią się. Między innymi osoby z niepełnosprawnością ruchową dopuszczają dłuższą podróż na miejscu siedzącym o ile dzięki temu skróci się dojście do przystanku, bądź unikną konieczności przesiadki. Jednocześnie pewne dolegliwości gastryczne mogą z kolei wymagać ograniczenia czasu podróży lub dostępu do toalety, ale rzadko wiążą się z problemami z poruszaniem się.

W rezultacie powyższych uwarunkowań do oceny wykluczenia komunikacyjnego osób ze szczególnymi potrzebami wybrano, jako wartości kompromisowe i jednocześnie z dostępnymi danymi, następujące kryteria:

1. Kryteria stosowane przy ocenie dostępności dla osób w pełni sprawnych, ale ze zmienionymi parametrami granicznymi. Zmniejszono dopuszczalną odległość do przystanku, oraz ograniczono liczbę przesiadek do 0 (w drugim wariancie –

- do 1). W ramach rekompensaty zmniejszonej liczby przesiadek założono dwukrotne wydłużenie czasu podróży. Z drugiej strony przyjęto że osoby o dużych ograniczeniach sprawności będą miały odpowiednią grupę inwalidzką zapewniającą ustawowe ulgowe przejazdy (Dz.U. 2018 poz. 295) – ulgi ustawowe są na różnym poziomie, ale podstawową ulgą dostępną dla wszystkich osób z I stopniem niepełnosprawności jest ulga 49% – stąd do obliczeń przyjęto wartość zaokrągloną: 50%.
2. Dostępność rozkładów jazdy w Internecie. Przyjęto, że przystanek jest dostępny dla osoby ze szczególnymi potrzebami, jeżeli może ona uzyskać informację stałą o rozkładach jazdy oraz informację w czasie rzeczywistym o realnym czasie dojazdu pojazdu transportu zbiorowego. Założono, że jeżeli operator lub organizator umieszczą taką informację z wykorzystaniem systemu GTFS lub NeTEx, to umożliwią dostawcom usług Internetowych uwzględnienie tych kursów w planerach podróży, z których mogą korzystać osoby z niepełnosprawnością ruchową i wzrokową, a osobom z niepełnosprawnością intelektualną daje to więcej czasu na analizę połączeń.

Rozważano również zastosowanie kryterium fizycznej dostępności – uznania za niedostępne tych peronów, na które trzeba wchodzić za pomocą schodów bez alternatywy w postaci pochylni, windy lub innych udogodnień. Dane takie są cyfrowo dostępne dla peronów zarządzanych przez PKP PLK oraz przez ZTM Warszawa, a dla jednojezdniowych dróg publicznych można z dużym prawdopodobieństwem założyć taką dostępność, problemem jednak była dostępność danych dla przystanków autobusowych zlokalizowanych przy drogach dwujezdniowych, zarówno ekspresowych, jak też niższych klas.

Sposób wyznaczania

Przyjęto następujące kryteria oceny wykluczenia:

1. Zmniejszenie o połowę odległości wyznaczającej dostępność przystanku.
2. Dostępność informacji w Internecie i na urządzeniach mobilnych. Przyjęto że przystanek jest dostępny dla osoby ze szczególnymi potrzebami jeżeli w systemie GTFS lub NeTEx jest dostępna informacja o rozkładzie jazdy i informacja o rzeczywistym czasie przejazdu. Przyjęto że przystanek jest

częściowo dostępny dla osoby ze szczególnymi potrzebami jeżeli w systemie GTFS lub NeTeX jest dostępna informacja o rozkładzie jazdy. Dane powinny obejmować informację na który przystanek lub peron przyjedzie dany pojazd, przy czym w prostych systemach może być pominięta.

3. Ograniczenie liczby przesiadek. Przyjęto, że pełna dostępność oznacza brak przesiadki, natomiast częściowa dostępność występuje przy pojedynczej przesiadce.
4. Założenie, że dojście do przystanku i sam przystanek nie powinny zawierać barier architektonicznych.

Jednocześnie założono złagodzenie niektórych kryteriów wykluczenia:

1. Dopuszczono dwukrotnie większy koszt podróży, wynikający z ustawowych ulg, które przyjęto na poziomie 50% (zazwyczaj ulga wynosi 49%, ale w różnych taryfach występowały korzystniejsze ulgi).
2. Przyjęto że o wykluczeniu decyduje najgorsza ocena, niezależnie od poziomu ocen pozostałych kryteriów.

Uwagi i ograniczenia

Dużym ograniczeniem dla oceny dostępności jest konieczność sprawdzania szczegółów realizacji, które dla osób ze szczególnymi potrzebami są istotne. Dostępność może ograniczyć pojedynczy wysoki krawężnik bądź bezrefleksyjnie umieszczony kosz na śmieci. Zalecamy jednak, aby niektóre parametry związane z oceną dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami były odnotowywane systemowo w ramach odbioru prac budowlanych bądź rozliczania dotacji. W szczególności parametry te obejmowałyby:

1. Ocenę kursującego taboru. Przyjmuje się, że pojazd dostępny to pojazd mający podłogę na wysokości peronu przy progu nierozróżnialności 5 cm, mający bezpieczne miejsce dla wózka, a także mający głosowe zapowiedzi przystanków i kierunku jazdy. Jako częściową dostępność można przyjąć jeżeli osoba z niepełnosprawnością wymaga pomocy, ale pomoc ta nie jest wymagająca fizycznie (np. rampa wysuwana przez kierowcę, różnica wysokości do 15 cm). Ocena wymaga danych o pojazdach przeznaczonych do obsługi oraz danych o wysokości peronów przystanków leżących na trasie danego pojazdu.

2. Ocenę wyposażenia przystanku, przede wszystkim pod kątem osób niewidomych i niedowidzących, czyli w odpowiednie oznaczenia w nawierzchni oraz informację głosową. Ważne jest też pozostawienie strefy niebezpiecznej i strefy ruchu bez przeszkód. Ocena wymaga szczegółowych danych dotyczących wyposażenia i kształtu peronu. W wyniku dalszych analiz stwierdzono jednak, że kryterium to będzie możliwe do stosowania dopiero po uporządkowaniu systemu informacji pasażerskiej - sposób funkcjonowania tego systemu w trakcie trwania cechował tak duży poziom niepewności informacji, że sam z siebie mógł wpływać na zwiększanie poziomu wykluczenia, także dla osób pełnosprawnych.
3. Ocenę dostępności przystanku. W odniesieniu do osób z niepełnosprawnością ruchową, dostępność wymaga braku schodów oraz wysokich krawężników (ponad 2 cm), bądź możliwości ich ominięcia. Konieczne jest także zapewnienie twardej i równej nawierzchni oraz szerokości minimum 2,0 m (z dopuszczeniem lokalnych zawężeń do 1,2 m). W odniesieniu do osób z niepełnosprawnością wzrokową dostępność wymaga zapewnienia prostego, łatwego do zapamiętania dojścia, a także ochrony przed nieplanowanym wejściem w obszar niebezpieczny.
4. Ocenę węzłów przesiadkowych – na tyle dużych że osoba z niepełnosprawnością może pomylić kierunek dojścia, bądź może się zmieniać przydział peronów dla poszczególnych linii lub tras. Przyjęto że przystanek jest dostępny, jeżeli jest logiczny układ dojść, dobra informacja (w tym alfabetem Braila) o lokalizacji peronów i liniach obsługiwanych przez poszczególne perony, oraz jest stała i aktualna informacja o pojazdach transportu zbiorowego. Przyjęto że przystanek jest częściowo dostępny jeżeli osoba z niepełnosprawnością ma dobrą informację pozwalającą czekać na pojazd transportu zbiorowego na właściwym peronie.
5. Dopuszczenie wydłużonego czasu podróży rodzi wątpliwości natury etycznej w przypadku, gdy akceptowalna długość podróży osób bez niepełnosprawności też jest długa. Przykładowo oznaczać może to akceptację 4 godzin w podróży dziennie dla osób z niepełnosprawnościami, w przypadku gdy dla osób bez niepełnosprawności akceptowalny czas podróży w jedną stronę wynosi 60

minut.

W związku z powyższym algorytm ten nie był rekomendowany do dalszych prac.

3.3.5.2. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami – Algorytm 2

Opis

Algorytm składowy w zakresie wykluczenia osób ze szczególnymi potrzebami zakłada, że wykluczenie komunikacyjne może być rozpatrywane scenariuszowo, gdzie kolejne scenariusze reprezentują różne grupy pasażerów. Grupy te są zróżnicowane poprzez wartości parametrów, które przyjęto dla wyznaczania pozostałych składowych WK. W tym przypadku, zakładając, że wartości podstawowe dotyczą pasażerów bez ograniczeń mobilności, to w scenariuszu "pasażer z ograniczoną mobilnością" autorzy sugerują wprowadzenie następujących zmian:

- Wartość graniczna odległości dojścia do przystanku wynosi 50% wartości przyjmowanych dla osób bez niepełnosprawności.
- Wartość graniczna ceny przejazdu zostaje zwiększona o 100 % w celu uwzględnienia biletu ulgowego.
- Przyjmuje się ograniczenie liczby dopuszczalnych przesiadek do maksimum 1 (względem 3 w scenariuszu bazowym).

Uwagi i ograniczenia

Algorytm będzie można rozszerzyć jeżeli poprawi się zakres informacji dostępnej cyfrowo o szczegółowych rozwiązaniach w pojazdach, na przystankach i na dojściu do przystanków. W momencie analizy uznano jednak, że takie rozszerzenia są niemożliwe przez niewystarczającą dostępność informacji. W obecnej postaci jest on jednak rekomendowany do dalszych prac.

3.3.5.3. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami – Algorytm 3

W podejściu tym zakłada wykorzystanie wskaźnika IBI accessibility score ("wskaźnik dostępności dla osób z ograniczeniami mobilności"), który stanowi element składowy

pakietu OpenTripPlanner. Do wyznaczania wartości wskaźnika pod uwagę brane są zarówno segmenty podróży wykonywane transportem zbiorowym, jak i piesze. Wskaźnik przyjmuje wartości od 0 (podróż niedostępna) do 1 (podróż dostępna), a decydujący wpływ ma najniższa wyznaczona wartość dla poszczególnych segmentów. Podróż jest uznana jako dostępna, jeżeli wskaźnik ten jest większy lub równy założonej wartości progowej, np. 0,67. Algorytm ten rekomendowano do dalszych analiz.

3.3.6. Algorytm składowy niezawodności czasu podróży

3.3.6.1. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie niezawodności czasu podróży – Algorytm 1

Opis

Zmienność interwału ruchu mierzona współczynnikiem zmienności w punktach przystankowych punktów adresowych.

Sposób wyznaczania

Kroki:

1. Na zbiorze linii PTZ dla punktu adresowego początku podróży ustal podzbiór:

P : i – linie PTZ przebiegające w (pobliżu) punktu adresowego początku pap.

2. Dla każdej z linii $i \in P$ wybierz punkty przystankowe k w liczbie K w odległości od punktu adresowego:

najmniejszej, wówczas liczba $K = 1$

lub

mniejszej niż K_{max} , wg.:

$$|x_{ik} - x_{pap}| \leq K_{max}$$

wówczas liczba $K \geq 1$

3. Oblicz odstępy czasu (» interwał ruchu) IR_{kp} lub o , w których w ciągu doby do

punktu przystankowego k przyjeżdżają – p (lub odjeżdżają – o) po sobie kolejne środki transportu (obsługujące wszystkie linie i \hat{P}) zaczynając od drugiego środka transportu (przyjazdu $p = 2$ /odjazdu $o = 2$) danego dnia, wg:

$$IRkp = t_{kp} - t_{kp-1}, p \geq 2$$

lub

$$IRko = t_{ko} - t_{ko-1}, o \geq 2$$

gdzie: t_{kp} , t_{ko} odpowiednio czas przyjazdu p -tego lub odjazdu o -tego do/z punktu przystankowego k środka transportu w minutach liczonych od godziny 0:00 danego dnia.

4. Oblicz współczynnik zmienności interwału ruchu punktu przystankowego k punktu adresowego początku podróży $vIRk_{pap}$, wg:

$$vIRk_{pap} = \sigma IRk_{pap} / IRk_{pap} \text{ \u015b\u0142.}$$

gdzie:

σIRk_{pap} – odchylenie standardowe populacji odst\u0119p\u00f3w czasu (\gg interwa\u0142\u00f3w ruchu) przyjazdu na/odjazdu z punktu przystankowego k ;

$IRk_{pap} \text{ \u015b\u0142.}$ – \u015brednia arytmetyczna odst\u0119p\u00f3w czasu (\gg interwa\u0142\u00f3w ruchu) przyjazdu na/odjazdu z punktu przystankowego k .

5. Oblicz \u015bredni wsp\u00f3\u0142czynnik zmienno\u015bci interwa\u0142u ruchu dla wszystkich punkt\u00f3w przystankowych k punktu adresowego początku podr\u00f3\u017cy $v_{\u015b\u0142.}IR_{pap}$, wg:

\u015brednia arytmetyczna

$$v_{\u015b\u0142.a}IR_{pap} = \sigma IRk_{pap} / K$$

lub

\u015brednia wa\u017cona liczb\u0105 przyjazd\u00f3w P_k lub odjazd\u00f3w O_k z przystanku k , wg:

$$v_{\u015b\u0142.w}IR_{pap} = \sum_k (\sigma IRk_{pap} \times P_k \text{ lub } O_k) / \sum_k (P_k \text{ lub } O_k)$$

Uwagi i ograniczenia

Algorytm A1 daje wyniki w przedziale wartości (0, 1), przynajmniej dla rozkładu normalnego.

3.3.6.2. Propozycja algorytmu składowego WK w zakresie niezawodności czasu podróży – Algorytm 2

Opis

Niezawodność czasu podróży (z K przystanków w promieniu K_{\max} wokół punktu adresowego):

Przyjęto, że niezawodność czasu podróży z danego punktu adresowego zależy wprost (liniowo i addytywnie) od dwóch czynników:

- lokalizacji przystanków k na liniach i mierzona liczbą przystanków je poprzedzających (generalnie, wg literatury, czym przystanek k znajduje się bliżej początku linii i , a zatem czym owa liczba jest mniejsza, tym niezawodność czasu podróży większa) [-];
- długości linii i , na której znajduje się przystanek k (generalnie, wg literatury, czym owa długość jest mniejsza, tym niezawodność czasu podróży większa) [km lub liczba przystanków].

Sposób wyznaczania

Kroki:

1. Na zbiorze linii PTZ dla punktu adresowego ustal podzbiór:

I : i - linie PTZ przebiegające w (pobliżu) punktu adresowego pa .

2. Dla każdej z linii $i \in I$ wybierz punkty przystankowe k w liczbie K w odległości od punktu adresowego pa :

najmniejszej, wówczas liczba $K = 1$

lub

mniejszej niż K_{max} , wg.:

$$|x_{ik} - x_{pa}| \leq K_{max}$$

wówczas liczba $K \geq 1$.

3. Oblicz wartość wskaźnika L_{pa} lokalizacji przystanków k wokół punktu adresowego pa na liniach $i \in I$, wg:

$$L_{pa} = \text{średnia po liniach } i \in I \text{ i przystankach } k \in K \text{ z } \text{Max}\{L_{ik_przed}, L_{ik_po}\} / (L_{max} - 1)$$

lub

$$L_{pa} = \text{średnia po liniach } i \in I \text{ i przystankach } k \in K \text{ z liczby przystanków poprzedzających przystanek } k \text{ (licząc bez tego przystanku) na linii } i \text{ w kierunku od wybranego POI (np. kluczowego, jak miasto powiatowe)} / (L_{max} - 1)$$

gdzie:

L_{ik_przed}, L_{ik_po} – odpowiednio, liczba przystanków poprzedzających i następujących po przystanku k (licząc bez tego przystanku) na linii i ,

L_{max} – maksymalna liczba przystanków na wszystkich analizowanych liniach i (nie tylko $i \in I$).

4. Oblicz wartość wskaźnika D_{pa} średniej długości linii $i \in I$, na których znajdują się przystanki k wokół punktu adresowego pa , wg:

$$D_{pa} = \text{średnia po liniach } i \in I \text{ z } D_i / D_{max}$$

gdzie:

D_i – długość linii i [km lub liczba przystanków],

D_{max} – maksymalna długość wszystkich analizowanych linii i (nie tylko $i \in I$).

5. Oblicz wartość współczynnika NCP_{pa} niezawodności czasu podróży z danego

punktu adresowego pa , wg:

$$NCP_{pa} = (L_{pa} + D_{pa}) / 2$$

lub

$$NCP_{pa}^w = (L_{pa}^w * L_{pa} + D_{pa}^w * D_{pa}) / (L_{pa}^w + D_{pa}^w)$$

gdzie:

L_{pa}^w, D_{pa}^w – odpowiednio, wagi wskaźników L_{pa} i D_{pa} , przy założeniu, że $L_{pa}^w + D_{pa}^w = 1$.

Uwagi i ograniczenia

Algorytm A2 daje wyniki w przedziale wartości (0, 1), co wynika z tego, że takie wartości przyjmują też oba wskaźniki składowe.

Linie autobusowe (miejskie i podmiejskie), trolejbusowe i tramwajowe mogą być rozważane łącznie, natomiast linie autobusowe dalekobieżne i połączenia kolejowe należy analizować oddzielnie, zwłaszcza w aspekcie ich długości.

Algorytm 2 oparto m.in. na następujących źródłach: (Qu i in., 2014), (Kho i in., 2006), (Kathuria i in., 2020), (Teng & Jin, 2015).

3.3.7. Algorytm pomocniczy w zakresie przesiadek

3.3.7.1 Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie planowania przesiadek

– Algorytm 1

Opis

Przesiadki w punktach stanowiących wspólny zbiór przystanków dla dwóch zbiorów linii – mających przebieg w okolicach punktu początkowego i docelowego. Algorytm bazuje na założeniu występowania tylko jednej przesiadki (poszukiwany jest jeden punkt styku pomiędzy dwiema liniami PTZ).

Sposób wyznaczania

Kroki:

1. Na zbiorze linii PTZ dla punktu adresowego początku i końca podróży ustal 2 podzbiory:
P: i – linie PTZ przebiegające w (pobliżu) początkowego punktu adresowego,
K: j – linie PTZ przebiegające w (pobliżu) docelowego punktu adresowego.
2. Oceń koordynację przestrzenną na podstawie $lmax$; ze zbioru P i K wybierz linie i oraz j posiadające punkty przystankowe k w odległości mniejszej niż $lmax$, wg.:

$$|x_{ik} - x_{jk}| \leq lmax$$

gdzie:

x_{ik} – lokalizacja przystanku k należącego do i -tej linii,

x_{jk} – lokalizacja przystanku k należącego do j -tej linii.

3. Oceń koordynację czasową na podstawie $tmax$, tj. pomiędzy godziną odjazdu PTZ z przystanku na linii j oraz na linii i , wg:

$$t_{jk} - t_{ik} \leq tmax$$

gdzie:

t_{ik} – godzina przyjazdu na przystanek k należący do i -tej linii,

t_{jk} – godzina odjazdu z przystanku k należącego do j -tej linii.

4. Jeżeli trasa z wykorzystaniem pary linii (i, j) spełnia oba warunki z kroku 2 i 3, zapisz trasę przejazdu, w przeciwnym razie odrzuć tę parę.
5. Wróć do kroku 2 i wybierz linie $(i+1)$ oraz $(j+1)$, krok powtarzaj do sprawdzenia wszystkich kombinacji zapisując trasy spełniające warunek $lmax$ i $tmax$.
6. Ustal czas przejazdu t_{ij} z uwzględnieniem przesiadki pomiędzy linią i oraz j wg:

$$t_{ij} = (t_{ik} - t_{i0}) + (t_{jk} - t_{ik}) + (t_{jK} - t_{jk}) + td_i + td_j$$

gdzie:

t_{i0} – godzina odjazdu z przystanku początkowego na linii i ,

t_{jK} – godzina przyjazdu do przystanku końcowego na linii j ,

td_i – czas dojścia z punktu adresowego do przystanku początkowego na linii i ,

td_j – czas dojścia z przystanku końcowego na linii j do punktu docelowego.

7. Ze zbioru zbudowanych tras wybierz trasę o najkrótszym czasie przejazdu:

$$\min (t_{ij})$$

Uwagi i ograniczenia

Algorytm ten przeznaczony jest do zastosowania w przypadku braku możliwości ustalenia trasy bezpośredniej (bez przesiadek). Z założenia przeznaczony jest do budowy tras z pojedynczą przesiadką.

3.3.7.2 Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie planowania przesiadek – Algorytm 2

Opis

Algorytm bazuje na procedurze ustalenia najkrótszej ścieżki na sieci (na grafie) pomiędzy punktem początkowym i końcowym (docelowym). Algorytm zakłada dowolną skończoną liczbę przystanków przesiadkowych pomiędzy przystankiem początkowym a końcowym.

Sposób wyznaczania

Kroki:

1. Na zbiorze linii PTZ ustal przystanek p początku i końca podróży, przy czym $p \in P$; gdzie:
 p_p – przystanek początku podróży, $p_p \in r$,
 p_k – przystanek początku podróży, $p_k \in r$,
 r – trasa z p_p do p_k ,
 i, j – linie komunikacyjne PTZ.
2. Znajdź najkrótszą ścieżkę z p_p do p_k poprzez przystanki pośrednie p_m z wykorzystaniem algorytmu najkrótszej ścieżki na sieci wg kryterium odległości, np. wg algorytmu Dijkstry, przy czym $(p_p, p_k, p_m) \in P$,
gdzie:

P – zbiór wygenerowanych tras.

3. Na r -trasie z p_p od p_k znajdź pierwszy przystanek przesiadkowy p_m , tj. przystanek który należy do i -tej oraz j -tej linii PTZ; czyli spełniony jest warunek:

jeżeli $(p_p, p_m) \in i \wedge (p_m, p_m') \in j \Rightarrow p_m$ jest przystankiem przesiadkowym.

4. Wyznacz czas przejazdu T_{rpmij} na r -trasie z przystanku początku podróży (p_p) do przystanku pośredniego – przesiadkowego (p_m), realizowany na linii komunikacyjnej (i), wraz z czasem oczekiwania na odjazd z przystanku pośredniego – przesiadkowego (p_m), realizowanego na linii komunikacyjnej (j) wg wzoru:

$$T_{rpmij} = (t(p)_mi - t(o)_pi) + (t(o)_mj - t(p)_mi)$$

gdzie:

$t(p)_mi$ – godzina przyjazdu na przystanek przesiadkowy m należący do i -tej linii PTZ,

$t(o)_pi$ – godzina odjazdu z przystanku początkowego p należącego do i -tej linii PTZ,

$t(o)_mj$ – godzina odjazdu z przystanku przesiadkowego m należącego do j -tej linii PTZ.

5. Zidentyfikuj na trasie z p_m do p_k kolejny przystanek przesiadkowy p_m' , tj. przystanek, który należy do j -tej oraz j' -tej linii PTZ; czyli spełniony jest warunek:

jeżeli $(p_m, p_m') \in j \wedge (p_m', p_m'') \in j' \Rightarrow p_m'$ jest kolejnym przystankiem przesiadkowym (pośrednim) na r -trasie.

6. Wyznacz czas przejazdu $T_{rmm'jj'}$ na r -trasie z przystanku przesiadkowego (p_m) do kolejnego przystanku przesiadkowego (p_m'), realizowany na linii komunikacyjnej (j), wraz z czasem oczekiwania na odjazd z przystanku przesiadkowego (p_m'), realizowanego na linii komunikacyjnej (j') wg wzoru:

$$T_{rmm'jj'} = \sum_{mm' \in P} x_{mm'} \cdot ((t(p)_m'j - t(o)_mj) + (t(o)_m'j' - t(p)_m'j))$$

gdzie:

$t(p)_{mj}$ – godzina przyjazdu na kolejny przystanek przesiadkowy m' należący do j -tej linii PTZ,

$t(o)_{mj}$ – godzina odjazdu z poprzedniego przystanku przesiadkowego m należącego do j -tej linii PTZ,

$t(o)_{mj'}$ – godzina odjazdu z kolejnego przystanku przesiadkowego m' należącego do j' -tej linii PTZ,

$x_{mm'}$ – wielkość binarna określająca, czy w lokalizacji m' znajduje się przystanek pośredni, kolejny względem lokalizacji pośredniej m .

Warunki brzegowe:

- a) Jeżeli czas na wykonanie przesiadki w punkcie przesiadkowym m' jest krótszy od wartości granicznej $T^{\wedge}min_{m'}$ (wykonanie przesiadki pomiędzy odcinkami jj' nie będzie fizycznie możliwe), tj. nie będzie spełniony poniższy warunek, wówczas r -trasa powinna być odrzucona z dalszych rozważań.

$$t(o)_{mj'} - t(p)_{mj} \geq T^{\wedge}min_{m'}$$

- b) Jeżeli liczba kolejnych przystanków pośrednich jest większa od wartości granicznej, tj. poniższy warunek nie jest spełniony, należy przerwać poszukiwania i odrzucić r -trasę z dalszych rozważań, tj.:

$$\sum_{mm' \in P} x_{mm'} \leq n$$

- c) Jeżeli czas przejazdu na r -trasie pomiędzy przystankiem początkowym i pierwszym przystankiem przesiadkowym T_{rpmij} oraz czas przejazdu między kolejnymi przystankami pośrednimi $T_{rmm'jj'}$ jest dłuższy od wartości granicznej $T^{\wedge}max_{pk}$, tj. nie jest spełniony poniższy warunek, wówczas należy odrzucić r -trasę z dalszych rozważań. Jeżeli warunek jest spełniony przejdź do kroku 7.

$$T_{rpmij} + T_{rmm'jj'} \leq T^{\wedge}max_{pk}$$

gdzie:

$T^{\wedge}max_{pk}$ – maksymalny czas podróży pomiędzy przystankiem początkowym (p) i końcowym (k).

7. Wyznacz czas przejazdu $T_{rm'kj'}$ na r -trasie z ostatniego przystanku przesiadkowego (p_m') do przystanku końcowego (p_k), realizowany na linii komunikacyjnej (j'), wg wzoru:

$$T_{rm'kj'} = (t(p)_{kj'} - t(o)_{m'j'})$$

gdzie:

$t(p)_{kj'}$ – godzina przyjazdu na przystanek końcowy k należący do j' -linii PTZ,

$t(o)_{m'j'}$ – godzina odjazdu z przystanku przesiadkowego m' należącego do j' - linii PTZ.

Warunki brzegowe:

- a) Jeżeli czas przejazdu na r -trasie pomiędzy przystankiem początkowym i końcowym, z uwzględnieniem przesiadek na przystankach pośrednich, jest dłuższy od wartości granicznej $T^{\wedge}max_{pk}$, tj. nie jest spełniony poniższy warunek, wówczas należy odrzucić r -trasę z dalszych rozważań.

$$T_{rpmij} + T_{rmm'jj'} + T_{rm'kj'} \leq T^{\wedge}max_{pk}$$

- b) Jeżeli warunek (powyżej) jest spełniony, r -trasę należy przyjąć do dalszych rozważań.

Uwagi i ograniczenia

Algorytm uwzględnia możliwość dotarcia do punktu docelowego, ze wskazanego punktu początkowego, z uwzględnieniem wielokrotnych przesiadek. Jest algorytmem pomocniczym, tj. stosowanym w przypadku braku bezpośredniego połączenia; zakłada również zbiór warunków brzegowych, które ograniczają złożoność obliczeniową procedury. W razie potrzeby może być zastąpiony zbliżonymi algorytmami, np.

zaimplementowanymi w metodzie RAPTOR (Round-Based Public Transit Routing)⁶.

3.3.8. Algorytm pomocniczy w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru

3.3.8.1. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru – Algorytm 1

Opis

Algorytm uwzględnia podział na obszary miejskie i wiejskie oraz dostęp do najbliższego przystanku transportu publicznego zlokalizowanego w promieniu r względem punktu startowego (dowolnie wybrany punkt). Ponadto algorytm pozwala na sprawdzenie wykluczenia osób znajdujących się w punkcie startowym z uwagi na brak dostępu do szkoły średniej, ośrodka zdrowia i centrum miasta powiatowego/stolicy gminy bez wykorzystywania środków transportu publicznego. W celu rozróżnienia względem wykluczenia komunikacyjnego, zostało określone jako wykluczenie transportowe (podróże piesze).

Sposób wyznaczania

Indeksy:

m – obszar miejski,

n – rodzaj obiektu stanowiącego punkt docelowy,

w – obszar wiejski.

Parametry:

i – punkt startowy;

$MP(m)$ – parametr określający występowanie lub nie centrum miasta powiatowego w ustalonej odległości względem punktu startowego i (obszar miejski);

O_m – obszar miejski;

O_w – obszar wiejski;

$Oz(m)$ – parametr określający występowanie lub nie ośrodka zdrowia w ustalonej

6

https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2012/01/raptor_alenex.pdf

odległości względem punktu startowego i (obszar miejski);

$Oz(w)$ – parametr określający występowanie lub nie ośrodka zdrowia w ustalonej odległości względem punktu startowego i (obszar wiejski);

r_{nm} – promień określający dopuszczalną odległość z punktu startowego i do punktu docelowego n znajdującego się w obszarze miejskim m , dla której nie występuje wykluczenie komunikacyjne;

r_{nw} – promień określający dopuszczalną odległość z punktu startowego i do punktu docelowego n znajdującego się w obszarze wiejskim w , dla której nie występuje wykluczenie komunikacyjne;

$SG(w)$ – parametr określający występowanie lub nie centrum stolicy gminy w ustalonej odległości względem punktu startowego i (obszar wiejski);

$Sz(m)$ – parametr określający występowanie lub nie szkoły średniej w ustalonej odległości względem punktu startowego i (obszar miejski);

$Sz(w)$ – parametr określający występowanie lub nie szkoły średniej w ustalonej odległości względem punktu startowego i (obszar wiejski);

WT_{im} – potencjalne wykluczenie transportowe (podróże piesze) punktu startowego i znajdującego się w obszarze miejskim m ;

$x_{MP(m)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższego centrum miasta powiatowego $MP(m)$;

$x_n(m)$ – dopuszczalna odległość z punktu nadania i znajdującego się w obszarze miejskim m do punktu docelowego n , dla której nie występuje wykluczenie komunikacyjne;

$x_n(w)$ – dopuszczalna odległość z punktu nadania i znajdującego się w obszarze wiejskim w do punktu docelowego n , dla której nie występuje wykluczenie komunikacyjne;

$x_{Oz(m)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższego ośrodka zdrowia $Oz(m)$;

$x_{Sz(m)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższej szkoły średniej $Sz(m)$;

$y(m)$ – dopuszczalna odległość z punktu nadania i znajdującego się w obszarze miejskim m do najbliższego przystanku p , dla której nie występuje wykluczenie komunikacyjne.

Kroki:

1. Wybierz punkt startowy i .
2. Sprawdź, do jakiego obszaru należy punkt startowy i , tj. obszar miejski O_m , czy obszar wiejski O_w
 - jeśli O_m , to przejdź do kroku 3;
 - jeśli O_w , to przejdź do kroku 5.
3. Sprawdź, czy w promieniu $r_{nm} = x_n(m)$ [m] względem punktu startowego i_m znajduje się:

- **szkoła średnia $Sz(m)$, jeśli jest szkoła średnia to $Sz(m)=1$, w przeciwnym razie $Sz(m)=0$**

$$i_{m1} = \begin{cases} 0 & \text{dla } Sz(m) = 0, r_{1m} > x_{Sz(m)}[m] \\ 1 & \text{dla } Sz(m) = 1, r_{1m} \leq x_{Sz(m)}[m] \end{cases}$$

gdzie:

i_{m1} – lokalizacja punktu startowego i znajdującego się w obszarze miejskim m względem szkoły średniej $Sz(m)$,

$x_{Sz(m)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższej szkoły średniej $Sz(m)$.

- **ośrodek zdrowia $Oz(m)$, jeśli jest ośrodek zdrowia to $Oz(m)=1$, w przeciwnym razie $Oz(m)=0$**

$$i_{m2} = \begin{cases} 0 & \text{dla } Oz(m) = 0, r_{2m} > x_{Oz(m)}[m] \\ 1 & \text{dla } Oz(m) = 1, r_{2m} \leq x_{Oz(m)}[m] \end{cases}$$

gdzie:

i_{m2} – lokalizacja punktu startowego i znajdującego się w obszarze miejskim m względem ośrodka zdrowia $Oz(m)$,

$x_{Oz(m)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższego ośrodka zdrowia $Oz(m)$.

- **centrum miasta powiatowego $MP(m)$, jeśli jest centrum miasta powiatowego to $MP(m)=1$, w przeciwnym razie $MP(m)=0$**

$$i_{m3} = \begin{cases} 0 & \text{dla } MP(m) = 0, r_{3m} > x_{MP(m)}[m] \\ 1 & \text{dla } MP(m) = 1, r_{3m} \leq x_{MP(m)}[m] \end{cases}$$

gdzie:

i_{m3} – lokalizacja punktu startowego i znajdującego się w obszarze miejskim m względem centrum miasta powiatowego $MP(m)$,

$x_{MP(m)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższego centrum miasta powiatowego $MP(m)$.

4. Określ potencjalne wykluczenie transportowe (podróże piesze) WT punktu startowego i znajdującego się w obszarze miejskim m

$$WT_{im} = \begin{cases} 0 & \text{dla } I_m < 3, \text{ może występować potencjalne wykluczenie transportowe (podróże piesze) i komunikacyjne} \\ 1 & \text{dla } I_m = 3 \text{ brak potencjalnego wykluczenia transportowego (podróże piesze), może występować wykluczenie komunikacyjne} \end{cases}$$

gdzie:

WT_{im} – potencjalne wykluczenie transportowe (podróże piesze) punktu startowego i znajdującego się w obszarze miejskim m

$$I_m = \sum_{n=1}^3 i_{mn}$$

- Jeśli $WT_{im} = 1$, punkt startowy i nie jest wykluczony transportowo (podróże piesze), może być potencjalnie wykluczony komunikacyjnie.
- Jeśli $WT_{im} = 0$, punkt startowy i może być potencjalnie wykluczony transportowo (podróże piesze) i komunikacyjnie.

Przejdź do kroku 7 algorytmu.

5. Sprawdź, czy w promieniu $r_{nw} = x_n(w)$ [m] względem punktu startowego i_w znajduje się:

- **szkoła średnia $Sz(w)$, jeśli jest szkoła średnia to $Sz(w)=1$, w przeciwnym razie $Sz(w)=0$**

$$i_{w1} = \begin{cases} 0 & \text{dla } Sz(w) = 0, r_{1w} > x_{Sz(w)}[m] \\ 1 & \text{dla } Sz(w) = 1, r_{1w} \leq x_{Sz(w)}[m] \end{cases}$$

gdzie:

i_{w1} – lokalizacja punktu startowego i znajdującego się w obszarze wiejskim względem szkoły średniej $Sz(w)$,

$x_{Sz(w)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższej szkoły średniej $Sz(w)$.

- **ośrodek zdrowia $Oz(w)$, jeśli jest ośrodek zdrowia to $Oz(w)=1$, w przeciwnym razie $Oz(w)=0$**

$$i_{w2} = \begin{cases} 0 & \text{dla } Oz(w) = 0, r_{2w} > x_{Oz(w)}[m] \\ 1 & \text{dla } Oz(w) = 1, r_{2w} \leq x_{Oz(w)}[m] \end{cases}$$

gdzie:

i_{w2} – lokalizacja punktu startowego i znajdującego się w obszarze wiejskim względem ośrodka zdrowia $Oz(w)$,

$x_{Oz(w)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższego ośrodka zdrowia $Oz(w)$.

- **centrum stolicy gminy $SG(w)$, jeśli jest stolica gminy to $SG(w)=1$, w przeciwnym razie $SG(w)=0$**

$$i_{w3} = \begin{cases} 0 & \text{dla } SG(w) = 0, r_{3w} > x_{SG(w)}[m] \\ 1 & \text{dla } SG(w) = 1, r_{3w} \leq x_{SG(w)}[m] \end{cases}$$

gdzie:

i_{w3} – lokalizacja punktu startowego i znajdującego się w obszarze wiejskim m względem stolicy gminy $SG(w)$,

$x_{SG(w)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższej stolicy gminy $SG(w)$.

6. Określ potencjalne wykluczenie transportowe (podróże piesze) WT punktu startowego i znajdującego się w obszarze wiejskim w

$$WT_{iw} = \begin{cases} 0 & \text{dla } I_w < 3, \text{ może występować } WT(\text{piesze}) \text{ i } WK \\ 1 & \text{dla } I_w = 3, \text{ brak potencjalnego } WT(\text{piesze}), \text{ może występować } WK \end{cases}$$

gdzie:

WT_{iw} – potencjalne wykluczenie transportowe (podróże piesze) punktu startowego i znajdującego się w obszarze wiejskim w

$$I_w = \sum_{n=1}^3 i_{wn}$$

- Jeśli $WT_{iw} = 1$, punkt startowy i nie jest wykluczony transportowo (podróże piesze), może być potencjalnie wykluczony komunikacyjnie.
Jeśli $WT_{iw} = 0$, punkt startowy i może być potencjalnie wykluczony transportowo (podróże piesze) i komunikacyjnie.

Przejdź do kroku 8 algorytmu.

7. Sprawdź, czy w promieniu $r_{pm} = y(m)$ [m] względem punktu startowego i_m znajduje się przystanek p .

Proponowany promień $r_{pm} = 400$ [m].

Jeśli algorytm ma zakładać rozróżnienie ze względu na:

- Osoby ze specjalnymi potrzebami, to należy zróżnicować długość, np.: 180 m dla osób ze szczególną potrzebą lub potrzebami.
- Rodzaj przystanku, to można przyjąć przykładowe wartości: autobusowy – 400 m, tramwajowy i metro – 500 m, kolejowy – 600 m.

Jeśli $i_{mp} = 0$ $I_m = 3$ punkt startowy i_m jest wykluczony komunikacyjnie i nie jest wykluczony społecznie. **Koniec algorytmu.**

Jeśli $i_{mp} = 0$ $I_m < 3$ punkt startowy i_m jest wykluczony komunikacyjnie i jest wykluczony społecznie. **Koniec algorytmu.**

Jeśli $i_{mp} = 1$, przejdź do kroku 9 algorytmu. Należy sprawdzić, czy występuje wykluczenie komunikacyjne.

8. Sprawdź, czy w promieniu $r_{pw} = y(w)$ [m] względem punktu startowego i_w znajduje się przystanek p

Jeśli $i_{wp} = 0$ $I_w = 3$ punkt startowy i_w jest wykluczony komunikacyjnie i nie jest wykluczony społecznie. **Koniec algorytmu.**

Jeśli $i_{wp} = 0$ $I_w < 3$ punkt startowy i_w jest wykluczony komunikacyjnie i jest wykluczony społecznie. **Koniec algorytmu.**

Jeśli $i_{wp} = 1$, przejdź do kroku 9 algorytmu. Należy sprawdzić, czy występuje wykluczenie komunikacyjne.

9. Sprawdź, czy punkt startowy i jest wykluczony komunikacyjnie.

Algorytm sprawdzający możliwość dotarcia z przystanku do szkoły średniej, ośrodka zdrowia oraz centrum miasta powiatowego/ stolicy gminy.

Uwagi i ograniczenia

Algorytm zakłada występowanie punktów docelowych (ośrodki zdrowia, szkoły średnie, centrum miasta powiatowego/stolicy gminy oraz przystanków transportu publicznego) w zadanym promieniu względem punktu początkowego. Można rozszerzyć rozważania o np. urealnienie dojścia z punktu startowego do punktu docelowego z uwagi na występującą zabudowę (może mieć istotne znaczenie na obszarach miejskich) poprzez wskazanie współczynnika wydłużenia drogi (np. 1,26 dla Poznania).

3.3.8.2. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru – Algorytm 2

Opis

Algorytm uwzględnia podział na obszary miejskie i wiejskie oraz dostęp do najbliższego przystanku transportu publicznego zlokalizowanego w promieniu r względem punktu startowego (dowolnie wybrany punkt).

W przypadku obszarów miejskich sprawdzany jest dostęp z punktu startowego do przystanków autobusowych, tramwajowych, kolejowych i metro.

W obszarach wiejskich rozważane są przystanki autobusowe i kolejowe.

Sposób wyznaczania

Indeksy:

m – obszar miejski,

n – rodzaj przystanku ($n=1$ dla tramwajowego lub autobusowego, $n=2$ dla kolejowego lub metro),

w – obszar wiejski.

Parametry:

i – punkt startowy;

O_m – obszar miejski;

O_w – obszar wiejski;

$P(m)$ – parametr określający występowanie lub nie przystanku tramwajowego lub autobusowego lub kolejowego lub metro,

$Pa(w)$ – parametr określający występowanie lub nie przystanku autobusowego w ustalonej odległości względem punktu startowego i (obszar wiejski);

$Pkm(m)$ – parametr określający występowanie lub nie przystanku kolejowego lub metro w ustalonej odległości względem punktu startowego i (obszar miejski);

$Pk(w)$ – parametr określający występowanie lub nie przystanku kolejowego w ustalonej odległości względem punktu startowego i (obszar wiejski);

$Pta(m)$ – parametr określający występowanie lub nie przystanku tramwajowego lub autobusowego w ustalonej odległości względem punktu startowego i (obszar miejski);

$P(w)$ – parametr określający występowanie lub nie przystanku w ustalonej odległości względem punktu startowego i (obszar wiejski);

r_{mn} – promień określający dopuszczalną odległość z punktu startowego i do przystanku n znajdującego się w obszarze miejskim m , dla której nie występuje wykluczenie komunikacyjne;

r_{nw} – promień określający dopuszczalną odległość z punktu startowego i do przystanku n znajdującego się w obszarze wiejskim w , dla której nie występuje wykluczenie komunikacyjne;

$x_n(m)$ – dopuszczalna odległość z punktu nadania i znajdującego się w obszarze miejskim m do przystanku n , dla której nie występuje wykluczenie komunikacyjne;

$x_n(w)$ – dopuszczalna odległość z punktu nadania i znajdującego się w obszarze wiejskim w do przystanku n , dla której nie występuje wykluczenie komunikacyjne.

Kroki:

1. Wybierz punkt startowy i .
2. Sprawdź, do jakiego obszaru należy punkt startowy i , tj. obszar miejski O_m , czy obszar wiejski O_w
 - jeśli O_m , to przejdź do **kroku 3**;
 - jeśli O_w , to przejdź do **kroku 5**.
3. Sprawdź, czy w promieniu $r_{mn} = x_n(m)$ [m] względem punktu startowego i_m znajduje się przystanek $P(m)$ tramwajowy lub autobusowy lub kolejowy lub

metro

Jeśli jest przystanek tramwajowy lub autobusowy lub kolejowy lub metro to $P(m)=1$, w przeciwnym razie $P(m)=0$.

Proponowany promień $r_{m0} = 800$ [m], w przypadku rozróżnienia osób ze szczególnymi potrzebami powinien być skrócony do np. 360 [m].

- Jeśli $i_{m0} = 0$, koniec algorytmu.
- Jeśli $i_{m0} = 1$, przejdź do kroku 4.

4. Sprawdź, czy w promieniu $r_{mn} = x_n(m)$ [m] względem punktu startowego i_m znajduje się przystanek tramwajowy lub autobusowy ($Pta(m)$) oraz przystanek kolejowy lub metro ($Pkm(m)$)

- Jeśli jest przystanek tramwajowy lub autobusowy to $Pta(m)=1$, w przeciwnym razie $Pta(m)=0$

gdzie:

i_{m1} – lokalizacja punktu startowego i znajdującego się w obszarze miejskim m względem przystanku tramwajowego lub autobusowego,

$x_{1(m)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższego przystanku tramwajowego lub autobusowego.

Proponowany promień $r_{m1} = 400$ [m], w przypadku rozróżnienia osób ze szczególnymi potrzebami powinien być skrócony do np. 180 [m].

- Jeśli jest przystanek kolejowy lub metro to $Pkm(m)=1$, w przeciwnym razie $Pkm(m)=0$

gdzie:

i_{m2} – lokalizacja punktu startowego i znajdującego się w obszarze miejskim m względem przystanku kolejowego lub metro,

$x_{2(m)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższego przystanku kolejowego lub metro.

Proponowany promień $r_{m2} = 800$ [m], w przypadku rozróżnienia osób ze szczególnymi potrzebami powinien być skrócony do np. 360 [m].

Przejdź do kroku 7 algorytmu.

5. Sprawdź, czy w promieniu $r_{wn} = x_n(w)$ [m] względem punktu startowego i_w

znajduje się przystanek $P(w)$ autobusowy lub kolejowy.

- Jeśli jest przystanek autobusowy lub kolejowy to $P(w)=1$, w przeciwnym razie $P(w)=0$.

Proponowany promień $r_{w0} = 1000$ [m], w przypadku rozróżnienia osób ze szczególnymi potrzebami powinien być skrócony do np. 450 [m].

- Jeśli $i_{w0} = 0$, **koniec algorytmu**.
- Jeśli $i_{w0} = 1$, **przejdź do kroku 6**.

6. Sprawdź, czy w promieniu $r_{wn} = x_n(w)$ [m] względem punktu startowego i_w znajduje się przystanek autobusowy ($Pa(w)$) oraz przystanek kolejowy ($Pk(m)$).

- Jeśli jest przystanek autobusowy to $Pa(w)=1$, w przeciwnym razie $Pa(w)=0$ gdzie:

i_{w1} – lokalizacja punktu startowego i znajdującego się w obszarze wiejskim w względem przystanku autobusowego,

$x_{1(w)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższego przystanku autobusowego.

Proponowany promień $r_{w1} = 500$ [m], w przypadku rozróżnienia osób ze szczególnymi potrzebami powinien być skrócony do np. 225 [m].

- Jeśli jest przystanek kolejowy to $Pk(w)=1$, w przeciwnym razie $Pk(w)=0$ gdzie:

i_{w2} – lokalizacja punktu startowego i znajdującego się w obszarze wiejskim w względem przystanku kolejowego,

$x_{2(w)}$ – wartość maksymalnej dopuszczalnej odległości możliwej do pokonania pieszo z punktu startowego i do najbliższego przystanku kolejowego.

Proponowany promień $r_{w2} = 1000$ [m], w przypadku rozróżnienia osób ze szczególnymi potrzebami powinien być skrócony do np. 450 [m].

Przejdź do kroku 7 algorytmu.

7. Sprawdź, czy punkt startowy i jest potencjalnie wykluczony komunikacyjnie.

Algorytm sprawdzający możliwość dotarcia z przystanku do szkoły średniej, ośrodka zdrowia oraz centrum miasta powiatowego/ stolicy gminy.

Uwagi i ograniczenia

Algorytm zakłada występowanie przystanków transportu publicznego w zadanym promieniu względem punktu początkowego. Można rozszerzyć rozważania o np. urealnienie dojścia z punktu startowego do przystanku z uwagi na występującą zabudowę (może mieć istotne znaczenie na obszarach miejskich) poprzez wskazanie współczynnika wydłużenia drogi (np. 1,26 dla Poznania).

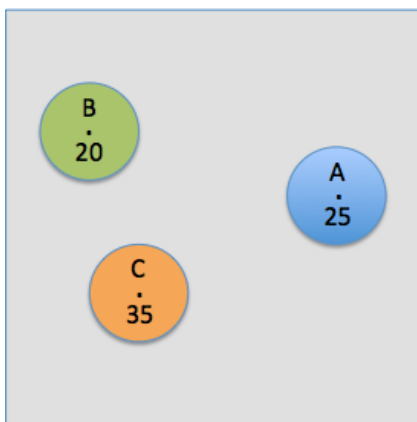
3.3.8.3. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru – Algorytm 3

Opis

Punktem startowym algorytmu jest każdy przystanek i względem niego wyznaczane są obszary całkowitego oraz potencjalnego wykluczenia komunikacyjnego. W algorytmie nie wyróżniono obszarów miejskich i wiejskich.

Sposób wyznaczania

Rozważany jest algorytm, w którym punktem startowym jest każdy przystanek i względem niego wyznaczany jest obszar wykluczenia komunikacyjnego. Na rys. 5 przedstawiono przykładowy obszar z przystankami transportu publicznego (zaznaczone jako A, B i C), częstotliwością odjazdów środków transportu (liczby w kolorowych kołach) oraz zasięgiem (polem) „oddziaływania” na potencjalne punkty startowe (granice kolorowych kół). Pozostały teren (poza kolorowymi kołami) oznacza zatem obszar o całkowitym wykluczeniu komunikacyjnym.



Rys. 5. Przykładowy obszar z rejonami wykluczenia komunikacyjnego (obszar poza kolorowymi kołami).

W kolejnych krokach algorytmu należy sprawdzić potencjalny stopień wykluczenia komunikacyjnego punktów, które znajdują się w kolorowych obszarach (np. dostęp do ośrodków zdrowia, szkół średnich, centrum powiatu/stolicy gminy).

Uwagi i ograniczenia

Sposób wyznaczania nie jest sformalizowany (brak zapisu matematycznego). W celu zwiększenia precyzji w określaniu dostępności przystanków, algorytm może być podzielony na obszary miejskie i wiejskie. W takim przypadku, parametrem różnicującym będzie promień obszaru dostępności z analizowanego przystanku.

3.3.8.4. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru – Algorytm 4

Opis

W algorytmie wyróżniono obszary miejskie i wiejskie. Obszar miejski jest dzielony na pola o jednakowej powierzchni, sprawdzana jest atrakcyjność tych pól (liczba miejsc pracy, ośrodków zdrowia, szkół średnich). Następnie sprawdzana jest dostępność z każdego pola (środku obszaru) do pola o największej atrakcyjności (środku obszaru).

W przypadku obszarów wiejskich sprawdzana jest dostępność z punktu startowego do najbliższego przystanku transportu publicznego (ograniczeniem jest określona długość promienia okręgu).

Sposób wyznaczania

Sprawdź do jakiego obszaru należy punkt startowy, tj. obszar miejski czy wiejski.

Obszary miejskie

Podział wybranego obszaru miejskiego na pola o powierzchni np. 1 km².

Opcja 1

Wyznaczenie w każdym obszarze:

- liczby miejsc pracy,
- liczby ośrodków zdrowia,
- liczby szkół średnich.

Sprawdzenie atrakcyjności każdego obszaru. Obszary o najwyższej atrakcyjności będą stanowiły punkt docelowy (środek obszaru).

Sprawdzenie połączeń transportem publicznym z każdego obszaru (punkt startowy jako środek tego obszaru) do obszaru docelowego (środka obszaru); jeśli jest ich kilka (o tej samej najwyższej atrakcyjności względem pozostałych) – poszukiwanie najbliższego obszaru względem punktu startowego.

W przypadku obszaru docelowego jako obszaru startowego – sprawdzenie połączenia transportem publicznym do obszaru o niższej atrakcyjności.

Opcja 2

Sprawdzenie w każdym obszarze, czy występuje:

- przynajmniej jedno miejsce pracy,
- przynajmniej jeden ośrodek zdrowia,
- przynajmniej jedna szkoła średnia.

Sprawdzenie atrakcyjności każdego obszaru. Obszary o najwyższej atrakcyjności (występują wszystkie 3 rodzaje punktów docelowych, kolejno w hierarchii tylko 2 lub tylko 1 rodzaj punktu docelowego) będą stanowiły punkt docelowy (środek obszaru).

Sprawdzenie połączeń transportem publicznym z każdego obszaru (punkt startowy jako środek tego obszaru) do każdego najbardziej atrakcyjnego obszaru docelowego (środka obszaru). W przypadku występowania kilku obszarów o najwyższej atrakcyjności, wybór tego obszaru, który jest najbliższy (czas, odległość) względem punktu startowego.

Obszary wiejskie

Określenie punktu startowego i sprawdzenie, czy w promieniu np. 1 km znajduje się przystanek transportu publicznego.

- Jeśli nie, punkt jest wykluczony komunikacyjnie. **Koniec algorytmu.**
- Jeśli tak, punkt nie jest potencjalnie wykluczony komunikacyjnie. Przejście do kolejnego kroku algorytmu.

Algorytm sprawdzający możliwość dotarcia z przystanku do szkoły średniej, ośrodka zdrowia oraz stolicy gminy.

Uwagi i ograniczenia

Sposób wyznaczania nie jest sformalizowany (brak zapisu matematycznego).

3.3.9. Algorytm pomocniczy w zakresie agregacji przestrzennej

Celem poniżej przedstawionych dwóch heurystyk jest budowa abstrakcyjnej i uproszczonej reprezentacji rzeczywistej, fizycznej sieci transportowej. Reprezentacja taka może być następnie wykorzystana do obliczeń w ramach innych składowych wskaźnika wykluczenia komunikacyjnego np. w miarach sieciowych. Warto zauważyć, że korzyść z budowania takiej abstrakcyjnej reprezentacji sieci będzie widoczna do skali aglomeracji miejskiej tzn. tam, gdzie reprezentowanie kilku przystanków przez jeden punkt rzeczywiście może uprościć obliczenia przy niewielkim wpływie na docelową wartość wskaźnika wykluczenia komunikacyjnego.

Uwagi ogólne

1. Zastosowanie obu heurystyk nie wyklucza się. W szczególności procedurę budowania reprezentacji można wykonać w dwóch krokach. Na przykład, w pierwszym stosujemy drugą heurystykę tak, aby wychwycić oczywiste przypadki a następnie pierwszą żeby wychwycić nietrywialne przypadki.
2. Obie heurystyki są agnostyczne względem typu przystanku (kolejowy, autobusowy, metro), jednak uwzględnienie przystanków różnych typów ma wpływ na interpretację otrzymanej reprezentacji.

3.3.9.1. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie agregacji przestrzennej badanego obszaru – Heurystyka 1

Wejście:

P – lista współrzędnych geograficznych przystanków.

Parametry:

r – promień wyrażony w metrach, w obrębie którego przystanki zostaną skonsolidowane.

Sposób wyznaczenia

Grupowanie wykonujemy poprzez zastosowania algorytmu przeszukiwania w głąb (BFS), przy czym wierzchołki sąsiadujące wyznaczone są poprzez relację sąsiedztwa w zadanym promieniu r .

Uwagi:

1. Algorytm jest wrażliwy na dobór parametru r . W szczególności, jeżeli r będzie zbyt duże, algorytm grupuje przystanki, które są od siebie zbyt oddalone, natomiast w przeciwnym skrajnym przypadku każda grupa będzie jednoelementowa.
2. Głównym problemem obliczeniowym związanym z tym algorytmem jest efektywność obliczania relacji sąsiedztwa. Istnieją bardzo wydajne struktury danych umożliwiające efektywne określenie, jakie punkty znajdują się w danym promieniu między sobą (np. drzewa k -wymiarowe).
3. Algorytm może być łatwo modyfikowany tak, aby zamiast odległości w metrach uwzględniał czas podróży między przystankami.

3.3.9.2. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie agregacji przestrzennej badanego obszaru – Heurystyka 2

W ramach jednej spójnej sieci transportowej, np. w skali aglomeracji miejskiej, do agregacji przystanków może zostać wykorzystane spójne nazewnictwo przystanków. Rozumiane jest jako kody lub nazwy. W takiej procedurze agregacji, grupujemy przystanki, które mają identyczny prefiks, natomiast na potrzeby graficznej reprezentacji, jako współrzędne takiego przystanku możemy wykorzystać średnią arytmetyczną po współrzędnych zagregowanych punktów.

Uwaga

Z racji, że przystanki o podobnych nazwach mogą występować np. różnych i oddalonych od siebie miastach, powyższa heurystyka może być "bezpiecznie" stosowana tylko w ramach sieci transportowej o ograniczonym zasięgu lub powinny zostać dodane dodatkowe ograniczenia (związane z odległością między przystankami) które wykluczają zagregowania przystanków zbyt od siebie oddalonych.

3.3.10. Algorytm pomocniczy w zakresie miar sieciowych

Obie opisane poniżej miary stanowią miary pomocnicze możliwe do uwzględnienia przy konstrukcji wskaźnika wykluczenia komunikacyjnego. W obu przypadkach kluczowym etapem jest budowa reprezentacji sieci transportowej. Na etapie konstrukcji takiej reprezentacji należy podjąć decyzję o skali przestrzennej, jaka ma być reprezentowana oraz o rodzajach transportu publicznego uwzględnionego oraz obiektów, jakie mają być włączone jako wierzchołki sieci. Ponadto należy zdecydować o logice budowania połączeń między przystankami czyli o tym, kiedy uznamy, że przesiadka między środkami transportu dostępnymi na dwóch przystankach będzie możliwa pomimo, że wymaga ona pokonania dodatkowej trasy pieszo.

Wreszcie osobnym, ale istotnym zagadnieniem w zastosowaniu miar sieciowych jest przyjęcie logiki "propagacji" miar, opierających się na własnościach sieciowych na punkty adresowe.

3.3.10.1. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie miar sieciowych – Algorytm 1

Opis

Celem algorytmu jest przyporządkowanie przystankowi liczby reprezentującej stopień skomunikowania tego przystanku w danej sieci komunikacyjnej.

Wejście:

G – graf reprezentujący sieć komunikacji publicznej.

Sposób wyznaczenia

Dla każdego przystanku $v \in G$ znajdujemy $l(v)$ – liczbę linii przechodzących przez dany przystanek.

Uwagi

1. W podstawowej wersji $l(v)$ jest liczbą całkowitą.
2. Łatwo uwzględnić dodatkowe parametry związane z charakterystyką konkretnych linii. Na przykład mając dane, z iloma innymi liniami krzyżuje się dana linia komunikacyjna, możemy przyjąć, że $l(v)$ będzie średnią, sumą bądź inną funkcją tych wartości.

3.3.10.2. Propozycja algorytmu pomocniczego w zakresie miar sieciowych – Algorytm 2

Wejście:

G – graf reprezentujący sieć komunikacji publicznej, o N wierzchołkach

Opis

Celem algorytmu jest przyporządkowanie przystankowi liczby reprezentującej stopień skomunikowania tego przystanku z innymi przystankami mierzoną przez podaną jako parametr miarę d . Taką miarą może być na przykład czas podróży, liczba przystanków na najkrótszej trasie, liczba przesiadek na najkrótszej trasie itp.

Parametry:

$d_\alpha(v_i, v_j)$ – miara odległości między przystankami, gdzie α reprezentuje parametry danej miary d – o ile ta miara takich wymaga.

Sposób wyznaczenia

Jako miarę skomunikowania przystanku v_i z innymi przystankami przyjmujemy:

$$E_g(v_i) = (N - 1)^{-1} \sum_{j \neq i} d(v_i, v_j)^{-1}$$

3.3.11. Transport na życzenie

Usługi transportu na życzenie są uwzględniane, jeśli są one otwarte dla każdego oraz w przypadku spełnienia założonego minimum możliwości skorzystania z tych usług w określonych porach dnia (np. minimum od rana do wieczora) oraz w roku (np. 104 podróże, tj. średnio dwie tygodniowo), do dowolnego celu podróży przy cenie usługi nie większej niż założona (bliżej cenom biletów niż przejazdów taksówką). Także czas wyprzedzenia złożenia zamówienia nie powinien być większy od przyjętego.

W przypadku usług kierowanych do wybranych grup osób o szczególnych potrzebach, transport na życzenie powinien wpływać tylko na wartość miary APD5 wyznaczanej dla tychże grup.

W przypadku braku możliwości zaimplementowania podróży transportem na życzenie na etapie wyznaczania tras (tj. braku wystarczająco rozwiniętych technologicznie rozwiązań w tym zakresie, które wykorzystywałoby np. standard GTFS-FLEX), można rozważyć nadpisywanie tradycyjnie wyznaczonej wartości wskaźnika WK dla punktów adresowych, które znajdują się w obszarze działania tych usług.

4. Opracowanie algorytmów integrujących składowe (algorytmy) wykluczenia komunikacyjnego – przegląd rozwiązań

4.1. Propozycja algorytmów integracji składowych wykluczenia

W niniejszym podrozdziale przedstawiono propozycje 4 algorytmów integracji składowych wykluczenia. W pierwszej części podrozdziału opisano hipotezy badawcze oraz zdefiniowano słownik pojęć, którymi posłużono się w obu podrozdziałach rozdziału czwartego. W dalszej części podrozdziału 4.1. przedstawiono dwa wykazy, tj. oznaczeń i symboli oraz indeksów, jak również założenia badawcze.

Algorytmy integracji zaprezentowano w postaci:

- Propozycja 1: procedura DYSKRETNA,
podróż z punktu adresowego początku podróży (*PAPP*) do punktu adresowego końca podróży (*PAKP*) „tam” i „z powrotem” do/z gminy/powiatu.
- Propozycja 2: procedura CIĄGŁA,
podróż z punktu adresowego początku podróży (*PAPP*) do punktu adresowego końca podróży (*PAKP*) „tam” i „z powrotem” do/z gminy/powiatu.
- Propozycja 3: procedura DYSKRETNA,
podróż *PAPP-PAKP* „tam” i „z powrotem” do/z gminy/powiatu, z uwzględnieniem *PAPP* i *PAKP*.
- Propozycja 4: procedura CIĄGŁA,
podróż *PAPP-PAKP* „tam” i „z powrotem” do/z gminy/powiatu, z uwzględnieniem *PAPP* i *PAKP*.

Hipotezy badawcze:

Integracja algorytmów składowych wykluczenia komunikacyjnego realizowana jest poprzez:

- H1: uwzględnienie różnych składowych (integracja podstawowych składowych wykluczenia komunikacyjnego);
- H2: zastosowanie procedur obliczeniowych generowanych z różnych punktów startowych (punkt adresowy vs. przystanek);
- H3: zastosowanie zróżnicowanych procedur przeliczeniowych (agregacja proceduralna).

Słownik pojęć:

Agregacja – łączenie parametrów i atrybutów poszczególnych obiektów (PA, St, itp.);

Centrum gminy / powiatu – centrum aktywności społecznych, gospodarczych, itp.;

Integracja – łączenie wyników obliczeń uzyskanych z wykorzystaniem algorytmów składowych WK;

Miejsce zamieszkania – PA, z którego realizowana jest podróż do centrum gminy / powiatu („tam”) oraz, do którego realizowana jest podróż z centrum gminy / powiatu („z powrotem”);

Możliwości transportowe – zbiór tras za pomocą środków transportu publicznego między PA a miejscami docelowymi z uwzględnieniem przejazdów jednoznacznie nieatrakcyjnych;

Podróż – zestaw działań podróżnego obejmujący: dotarcie z PAPP do StPP, pokonanie całej trasy od StPP do StKP, z uwzględnieniem przesiadek (StP), oraz dotarcie z StKP do PAKP;

Przejazd – pokonanie części trasy pomiędzy StPP a StP lub pomiędzy StP a StKP lub pomiędzy dwoma StP, np. jeśli na danej trasie konieczna jest jedna przesiadka, to trasa ta składa się z dwóch przejazdów i jednej przesiadki;

Przejazd jednoznacznie nieatrakcyjny – pokonanie części trasy pomiędzy StPP a StP lub pomiędzy StP a StKP lub pomiędzy dwoma StP obejmujące np. ponad 3

przesiadki, godzinny pieszy segment przejazdu, długi czas oczekiwania między przesiadkami itp.;

Relacja – potencjalne połączenie pomiędzy *PAPP* i *PAKP*, z uwzględnieniem *StPP* i *StKP*;

Trasa – relacja pomiędzy *StPP* i *StKP* złożona z jednego lub więcej przejazdów.

Wykaz oznaczeń i symboli (układ alfabetyczny):

AL – wskaźnik wielokrotności odległości referencyjnej [-];

CK – częstość kursowania [1/jednostkę czasu];

CKref – referencyjna częstość kursowania [1/jednostkę czasu];

CK^{rf_j(ref)} – wartość referencyjna (minimalna wartość graniczna) częstości kursowania w *r*-relacji z *f*-obszaru;

DN – dostępność dla osób ze specjalnymi potrzebami (z niepełnosprawnościami) [-];

DP – dostępność przestrzenna przystanku [m];

DPref – referencyjna dostępność przestrzenna przystanku [m];

GM – gmina miejska;

GMW – gmina miejsko-wiejska;

gt – relacja pomiędzy *PAPP* a *PAKP* leżącym w centrum gminy;

GW – gmina wiejska;

gz – relacja pomiędzy *PAPP* leżącym w centrum gminy a *PAKP*;

KP – koszt przejazdu [zł];

- $KPref$ – referencyjny koszt przejazdu [zł];
- $KP^{rf}_j(ref)$ – wartość referencyjna (maksymalna wartość graniczna) kosztu przejazdu w r -relacji dla j -przystanku początku podróży należącego do f -obszaru [zł];
- $L(...)_ref$ – odległość referencyjna pomiędzy danymi punktami [m];
- $L(DP_{ij})$ – odległość pomiędzy $PAPP_i$ a $StPP_j$, przy czym $L(DP_{ij}) \gg L^r(DP_{ij})$ [m];
- $L(PAKP-StKP)$ – odległość pomiędzy $PAKP$ a $StKP$ [m];
- $L(PAPP-PAKP)$ – odległość pomiędzy $PAPP$ a $PAKP$ [m];
- $L(PAPP-StPP)$ – odległość pomiędzy $PAPP$ a $StPP$ [m];
- $L(StP-StP)$ – odległość pomiędzy dwoma kolejnymi StP [m];
- $L^r(DP_{ij})$ – odległość pomiędzy $PAPP_i$ a $StPP_j$ dla podróży realizowanej w r -relacji [m];
- $L^{rf}(DP_{ij})$ – odległość pomiędzy $StPP_i$ a $PAPP_j$, w r -relacji, dla f -rodzaju obszaru z którego rozpoczynany jest przejazd [m];
- $L^{rf}(DP_{ij})_{max}$ – dostępność St , tj. maksymalna odległość dopuszczalna pomiędzy $StPP_i$ a $PAPP_j$ w r -relacji, dla f -rodzaju obszaru, z którego rozpoczynany jest przejazd [m];
- $L^{rf}(DP_{ij})_{ref}$ – dostępność St , tj. referencyjna odległość pomiędzy $StPP_i$ a $PAPP_j$ w r -relacji, dla f -rodzaju obszaru, z którego rozpoczynany jest przejazd [m];
- $MDSt^r_{ij}$ – zbiór dostępnych przystanków dla r -relacji utworzony pomiędzy $PAPP_i$ a $StPP_j$;
- $MDSt^{rf}_{ij}$ – zbiór dostępnych St dla r -relacji utworzony pomiędzy $PAPP_i$ a $StPP_j$ należących do f -obszaru;
- $MDSt_{ij}$ – zbiór dostępnych przystanków $StPP_j$ z punktu adresowego $PAPP_j$;

MDT^r_{tjn}	– lista dostępnych t -tras dla r -relacji, utworzony pomiędzy $StPP_j$ a $PAKP_n$;
MKP^r	– zbiór dopuszczalnych adresów końca podróży dla r -relacji;
MLP	– referencyjna liczba przesiadek [-];
MP	– zbiór dopuszczalnych przejazdów;
MP^r_{pjn}	– lista dostępnych p -przejazdów w r -relacji, utworzony pomiędzy $StPP_j$ a $PAKP_n$;
MSt^r_{ij}	– zbiór przystanków dla r -relacji utworzony pomiędzy $PAPP_i$ a $StPP_j$;
MT^r_{tjn}	– lista dostępnych t -tras dla r -relacji, utworzona pomiędzy $StPP_j$ a $PAKP_n$;
NP	– niezawodność czasu przejazdu [-];
$NPref$	– wartość referencyjna niezawodności czasu przejazdu [-];
$NP^{rf}_j(ref)$	– wartość referencyjna (maksymalna wartość graniczna) niezawodności czasu przejazdu w r -relacji dla j - $StPP$ należącego do f -obszaru [-];
PA	– punkt adresowy;
$PAKP$	– punkt adresowy końca podróży (docelowy);
$PAKPref$	– referencyjna liczba $PAKP$ (gmin/powiatów), do których realizowane są podróże z pojedynczego $PAPP$ [-];
$PAPP$	– punkt adresowy początku podróży (startowy);
pt	– relacja pomiędzy $PAPP$ a $PAKP$ leżącym w centrum powiatu;
pz	– relacja pomiędzy $PAPP$ leżącym w centrum powiatu a $PAKP$;
St	– przystanek;
$StKP$	– przystanek końca podróży;

$StKP_m$	– m -ty przystanek końca przejazdu;
StP	– przystanek przesiadkowy;
$StPP$	– przystanek początku podróży;
TP	– czas przejazdu [min];
$TPref$	– referencyjny czas przejazdu [min];
$TP^{rf}_j(ref)$	– wartość referencyjna (maksymalna wartość graniczna) czasu przejazdu w r -relacji dla j -przystanku początku podróży należącego do f -obszaru [min];
TW^r	– okno czasowe dla r -relacji podróży [-];
WK	– wykluczenie komunikacyjne [-];
$WK(...^r)$	– spełnienie warunku określonego w () dla r -relacji; $r = \{gt, gz, pt, pz\}$;
ZMR	– zintegrowany model ruchu.

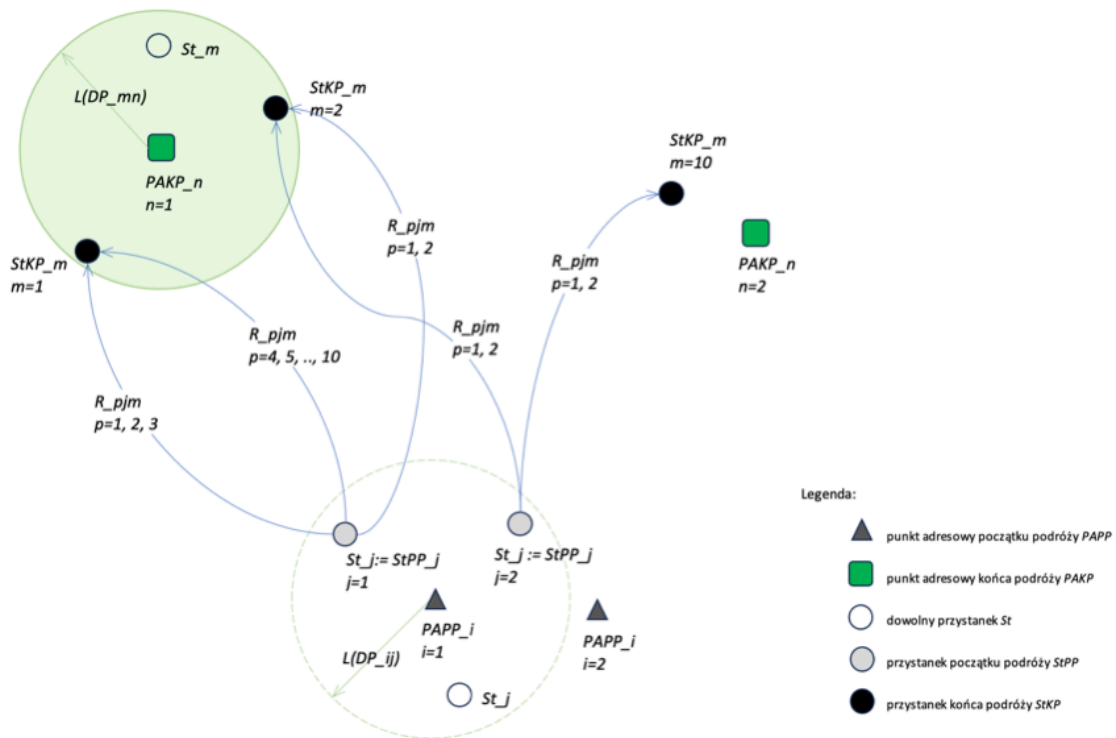
Wykaz indeksów:

f	– oznaczenie charakteru obszaru rozpoczęcia podróży (przejazdu), $f = 1, \dots, F$;
i	– numer porządkowy $PAPP$, $i = 1, \dots, I$;
j	– numer porządkowy $StPP$, $j = 1, \dots, J$;
k	– numer algorytmu składowego APD , $k = 1, \dots, K$;
m	– numer porządkowy $StKP$, $m = 1, \dots, M$;
n	– numer porządkowy $PAKP$, $n = 1, \dots, N$;
p	– numer przejazdu wykonywanego na trasie $StPP$ - $StKP$, $p = 1, \dots, P$;

r – numer relacji, $r = 1, \dots, R$;

t – numer trasy, $t = 1, \dots, T$.

Poglądowe oznaczenie poszczególnych elementów infrastruktury punktowej i relacji pomiędzy *PAPP* i *PAKP* zostało przedstawione na rys. 6.



Rys. 6. Oznaczenie poszczególnych elementów infrastruktury punktowej i relacji pomiędzy *PAPP* i *PAKP*.

Założenia badawcze:

- Lista algorytmów składowych *WK* jest skończona, znana i obejmuje:
 - podstawowe algorytmy składowe, w tym:

APD1: czas przejazdu do miejsca docelowego – *TP*,

APD2: dostępność przestrzenna przystanku – *DP*,

APD3: koszt przejazdu – *KP*,

APD4: częstość kursowania – *CK*,

APD5: niezawodność czasu przejazdu – *NP*,

APD6: dostępność dla osób ze specjalnymi potrzebami (niepełnosprawnościami) – *DN*;

b) pomocnicze algorytmy składowe, w tym:

APM1: uwzględnienie przesiadek,

APM2: rozróżnienie badanego obszaru,

APM3: agregacja przestrzenna (przystanków),

APM4: miary sieciowe.

2. Rozważane algorytmy składowe *WK* są zweryfikowane – przeprowadzono testy poprawności obliczeniowej na dostępnych danych.
3. Należy opracować min. 4 propozycje algorytmów integracji (algorytmów) składowych *WK*.
4. Reprezentacją podróży jest dotarcie do centrum co najmniej 1 gminy i co najmniej 1 powiatu.
5. Podróże realizowane są do centrów gmin i powiatów najbliższych względem punktów adresowych lub przystanków. Adresy (lokalizacje) pochodzą z Państwowego Rejestru Nazw Geograficznych – wskazywany jest rodzaj reprezentacji (punkt centralny). Opcje poszukiwania centrów gmin/powiatów:
 - a) *Opcja 1* – określany jest duży promień dostępności, zgodny z maksymalnym czasem podróży (rekomendowana).
 - b) *Opcja 2* – określany jest mniejszy promień dostępności oraz wskazywana jest stolica administracyjna gminy/powiatu.
 - c) *Opcja 3* – lista rankingowa lokalizacji centrów gmin/powiatów.

6. We wszystkich wariantach algorytmów integrujących wyznaczone są zarówno wartości uwzględnianych algorytmów składowych WK, jak i wynik integracji (pozwoli to na późniejsze analizy przyczyn wykluczenia).
7. W algorytmach integrujących analizowane są linia po linii komunikacyjnej; przystanki traktowane są jako punkty dostępu do linii komunikacyjnej.
8. W analizach uwzględniane są zarówno możliwości przemieszczania się „tam”, jak i „z powrotem”.
9. Przyjmuje się, że istnieją 2 przedziały czasowe, w których ustalane są dojazdy („tam”) i powroty („z powrotem”) do/z gminy/powiatu. Można przyjąć, że oba przedziały mogą się zawierać/nakładać.
10. W zakresie algorytmów cząstkowych przyjmuje się, że w przypadku oferty przewozowej wielu operatorów, wartość częstotliwości kursowania stanowi liczba przejazdów o koszcie nie większym i o czasie nie dłuższym niż wartość referencyjna.
11. Przyjmuje się, że wartości generowane przez algorytmy składowe interpretuje się jako: $0 < WK \leq 1 \Rightarrow$ oznacza niespełnienie warunku w porównaniu z wartością referencyjną, występuje WK według analizowanego algorytmu cząstkowego, czyli odpowiednio $WK(TP)$, $WK(DP)$, ...;

 $WK(...) = 0 \Rightarrow$ oznacza spełnienie warunku w porównaniu z wartością referencyjną, brak WK według analizowanego algorytmu cząstkowego, czyli odpowiednio $WK(TP)$, $WK(DP)$,
12. Wyznaczenie ostatecznej wartości interpretuje się zatem jako:
 $0 < WK \leq 1 \Rightarrow$ oznacza występowanie zjawiska wykluczenia komunikacyjnego (liczone jako: średnia z $WK(...)$),

 $WK = 0 \Rightarrow$ oznacza brak wykluczenia komunikacyjnego (liczone jw.).
13. Wartości referencyjne ustalane są odrębnie dla podróży powiatowych i gminnych, dla obszarów miejskich i wiejskich. Mogą się zmieniać w zależności od regionu występowania PAPP oraz rodzaju rozważanego środka transportu.

Propozycje algorytmów integrujących składowe wykluczenia komunikacyjnego są następujące:

Propozycja 1: procedura DYSKRETNA,
podróż *PAPP-PAKP* „tam” i „z powrotem” do/z gminy/powiatu.

Założenia:

1. Rozważane są podróże z *PAPP* do *PAKP*.
2. Warunek brzegowy – spełnienie kryterium *APD2* dla podróży bezpośrednich i wstępne spełnienie dla podróży z przesiadkami: wokół *PAPP* i *PAKP* wyznaczane są obszary (koła) o promieniu odpowiadającym, odpowiednio, referencyjnej odległości $L(DP_PAPP-StPP)_{ref}$ i $L(DP_PAKP-StKP)_{ref}$ [m] (w linii prostej) dotarcia do *StPP* i *StKP* – z uwzględnieniem *APM2*. Jeżeli liczba spełniająca warunek *StPP* lub *StKP* = 0, wówczas $WK(DP) = 1$.
3. Integracji podlega 5 podstawowych algorytmów składowych (*APD1-5*) z wykorzystaniem wybranych algorytmów pomocniczych (*APM1-APM3*).
4. Integracja każdego z podstawowych algorytmów składowych (*APD1-5*) dla danego *PAPP* polega na:
 - a) przeglądzie wszystkich kolejnych *StPP* w promieniu $L(DP_PAPP-StPP)_{ref}$, zaczynając od najbliższego (lub losowego);
 - b) przeglądzie kolejnych podróży bezpośrednich (liczba przejazdów = 1) i z przesiadkami ($1 < \text{liczba przejazdów} \leq MLP + 1$) zaczynających się na danym *StPP* (kolejność losowa), takich podróży, które prowadzą do *PAKP* (gmin/powiatów w promieniu $L(PAPP-PAKP)_{ref}$ i liczbie $\leq PAKPref$), a ich *StKP* znajduje się w promieniu $L(DP_PAKP-StKP)_{ref}$ i są realizowane różnymi liniami (podróże bez powtórzeń); w przypadku braku podróży bezpośrednich lub z przesiadką $WK() = 1$;
 - c) dla danej podróży, spełniającej warunek z podpunktu b, wyznaczane są wartości podstawowych algorytmów składowych (*APD1-3* oraz 5, bez 4) z uwzględnieniem *APM1* i *APM2* oraz ustalane jest spełnienie warunku wykluczenia (1 – punkt adresowy wykluczony, 0 – niewykluczony) – patrz „założenia badawcze”, punkt 11;

- d) gdy ani jedna podróż nie spełnia wszystkich analizowanych w podpunkcie c warunków (suma warunków wykluczenia dla danej podróży > 0) stanowi to przesłankę do uznania analizowanego *PAPP* jako wykluczonego komunikacyjnie ($WK = 1$) – koniec analiz dla danego *PAPP*;
 - e) w przeciwnym przypadku obliczana jest wartość algorytmu składowego *APD4*, jako suma wartości tej składowej dla wszystkich podróży spełniających wszystkie analizowane w podpunkcie c warunki (suma warunków wykluczenia dla danej podróży $= 0$); podróży realizowanych różnymi liniami;
 - f) gdy spełniony jest warunek określony przez algorytm składowy *APD4*, stanowi to przesłankę do uznania analizowanego *PAPP* jako niewykluczonego komunikacyjnie ($WK = 0$);
 - g) w przeciwnym przypadku analizowany *PAPP* uznawany jest jako wykluczony komunikacyjnie ($WK = 1$) – koniec analiz dla danego *PAPP*.
5. Integracja zakłada reagowanie/wrażliwość wskaźnika *WK* na brak spełnienia przynajmniej jednej składowej, tj.:
- a) *APD1*: sumaryczny czas przejazdu *TP* pomiędzy *StPP* i *StKP* w ramach danej podróży, przy czym:
 - jeżeli $TP \leq TP_{pref} [\text{min}]$, to $WK(TP) = 0$,
 - w przeciwnym przypadku $WK(TP) = 1$;
 - b) *APD2*: dostępność przestrzenna *DP* *StP*, przy czym:
 - jeżeli podróż bezpośrednia (liczba przejazdów $= 1$) to $WK(DP) = 1$,
 - jeżeli podróż z przesiadkami (liczba przejazdów > 1) oraz $L(DP_StP-StP) \leq L(StP-StP)_{ref} [\text{m}]$ dla wszystkich kolejnych par *StP*, to $WK(DP) = 0$,
 - w przeciwnym przypadku $WK(DP) = 1$;
 - c) *APD3*: sumaryczny koszt przejazdu *KP* w ramach danej podróży, przy czym:
 - jeżeli $KP \leq KP_{pref} [\text{zł}]$, to $WK(KP) = 0$,
 - w przeciwnym przypadku $WK(KP) = 1$;

- d) *APD4*: sumaryczna, dobowa częstość kursowania *CK* – liczba wszystkich unikatowych kursów wykonywanych w ramach wszystkich podróży (dla podróży z przesiadkami wartość minimalna), przy czym:
- jeżeli $CK \geq CK_{ref} [1/doba]$, to $WK(CK) = 0$,
 - w przeciwnym przypadku $WK(CK) = 1$;
- e) *APD5*: niezawodność czasu przejazdu *NP* – niezawodność przejazdu (odwrotność ryzyka) w ramach wszystkich podróży (dla podróży z przesiadkami wartość minimalna lub średnia), przy czym:
- jeżeli $NP \geq NP_{ref} [-]$, to $WK(NP) = 0$,
 - w przeciwnym przypadku $WK(NP) = 1$.

Propozycja 2: procedura CIĄGŁA,

podróż *PAPP-PAKP* „tam” i „z powrotem” do/z gminy/powiatu.

Założenia:

1. Rozważane są podróże z *PAPP* do *PAKP*.
2. Wokół *PAPP* wyznaczone są koła o promieniu $AL \cdot L(PAPP-StPP)_{ref} [m]$, z uwzględnieniem *APM2*.
3. Warunek brzegowy:
 - a) *PAPP* nieposiadający dostępu do żadnego przystanku *StPP* o niezerowej częstotliwości kursowania ($CK > 0$), znajdującego się w wyznaczonym w punkcie 2 kole, jest z definicji wykluczony komunikacyjnie ($WK = 1$),
 - b) W przypadku pozostałych *PAPP* sprawdzane są pozostałe warunki $WK()$ występowania WK .
4. Integracji podlega 5 podstawowych algorytmów składowych (*APD1-APD5*) z wykorzystaniem wybranych algorytmów pomocniczych (*APM1-APM3*).
5. Integracja zakłada reagowanie na stopień spełnienia składowych, tj.:
 - a) *APD1*: czas przejazdu do miejsca docelowego *TP* – czas przejazdu pomiędzy *StPP* i *StKP* odnoszony jest do wartości referencyjnej (połączenie bezpośrednie i przesiadki, wykorzystanie *APM1* i *APM2*), przy czym:

- jeżeli $TP > TPref [min]$, to $WK(TP) < 1$; (wartość stopniowana w zależności od stopnia przekroczenia wartości referencyjnej, przy czym $WP(TP) \in (0; 1)$,
 - jeżeli $TP \leq TPref [min]$, to $WK(TP) = 0$;
- b) *APD2*: dostępność przestrzenna przystanku DP – odległość $PAPP$ do przystanku $StPP$ odnoszona jest do wartości referencyjnej, przy czym:
- jeżeli $DP > DPref [m]$, to $WK(DP) < 1$; (wartość stopniowana w zależności od stopnia przekroczenia wartości referencyjnej; $WP(DP) \in (0; 1)$,
 - jeżeli $DP \leq DPref [m]$, to $WK(DP) = 0$;
- c) *APD3*: koszt przejazdu KP – koszt biletu jednorazowego, odnoszony jest do wartości referencyjnej, przy czym:
- jeżeli $KP > KPref [zł]$, to $WK(KP) < 1$; (wartość stopniowana w zależności od stopnia przekroczenia wartości referencyjnej; $WP(KP) \in (0; 1)$,
 - jeżeli $KP \leq KPref [zł]$, to $WK(KP) = 0$;
- d) *APD4*: częstość kursowania CK – liczba kursów wykonywanych z przystanku StP - odnoszona jest do wartości referencyjnej, przy czym:
- jeżeli $CK < CKref [1/doba]$, to $WK(CK) < 1$; (wartość stopniowana w zależności od stopnia przekroczenia wartości referencyjnej; $WP(CK) \in (0; 1)$,
 - jeżeli $CK \geq CKref [1/doba]$, to $WK(CK) = 0$;
- e) *APD5*: niezawodność czasu przejazdu NP – niezawodność (poziom ryzyka opóźnienia) realizacji podróży wg *APD1* odnoszona jest do wartości referencyjnej, przy czym:
- jeżeli $NP < NPref [-]$, to $WK(NP) < 1$; (wartość stopniowana w zależności od stopnia przekroczenia wartości referencyjnej; $WP(NP) \in (0; 1)$,
 - jeżeli $NP \geq NPref [-]$, to $WK(NP) = 0$.

6. Wartość wskaźnika WK wyznaczana jest jako średnia arytmetyczna (lub ważona) ze znormalizowanych wartości algorytmów składowych. Wskaźnik WK przyjmuje wartości z przedziału $[0, 1]$.

Propozycja 3: procedura DYSKRETNA,
podróż $StPP$ - $StKP$ „tam” i „z powrotem” do/z gminy/powiatu,
z uwzględnieniem $PAPP$ i $PAKP$.

Założenia:

1. Rozważane są przejazdy z każdego $StPP$ do $StKP$.
2. Uwzględniane są także $PAPP$ i $PAKP$ jako punkty niezbędne do określenia WK .
3. Procedura zakłada podział na obszary miejskie i wiejskie, co ma wpływ na wartości parametrów referencyjnych.
4. Dla każdego $PAPP$ określany jest $PAKP$ (stolica gminy/centrum powiatu). Oznacza to, że liczba par $PAPP - PAKP$ jest równa liczbie $PAPP$. W kolejnych etapach algorytmu te pary będą sprawdzane z uwagi na WK .
5. Wokół każdego St i $PAKP$ wyznaczone są obszary o promieniu odpowiadającym referencyjnej wartości dostępności przestrzennej przystanku $DPref$ [m], z uwzględnieniem $APM2$. W efekcie wokół każdego St powstaną okręgi obejmujące $PAPP$.

Wokół każdego $PAKP$ powstanie okrąg obejmujący różne St .

Tym samym znane są linie komunikacyjne przebiegające przez dane przystanki, zarówno te wokół których są określone dostępne $PAPP$ (czyli przystanki początku podróży $StPP$) oraz te, które są w pobliżu $PAKP$ (czyli przystanki końca podróży $StKP$).

6. Warunek brzegowy:
 - a) Punkty adresowe $PAPP$ znajdujące się w odległości większej niż $DPref$ [m] od przystanku $StPP$ o niezerowej częstotliwości kursowania są z definicji wykluczone komunikacyjnie.

- b) Punkty docelowe *PAKP*, wokół których nie znajdują się żadne przystanki, nie są brane pod uwagę; w ich miejsce wybierane są nowe punkty docelowe *PAKP*, tj. kolejna najbliższa względem *PAPP* stolica gminy lub centrum powiatu, dla których sprawdzana jest dostępność do przystanków.

W ten sposób wyznaczone nowe pary *PAPP-PAKP* wejdą do zbioru par określonego w punkcie 2.

- c) W przypadku pozostałych punktów adresowych *PAPP* sprawdzane są pozostałe warunki występowania *WK*.
7. Wybierany jest *PAKP* i sprawdzane są linie komunikacyjne przebiegające przez przystanki znajdujące się we wcześniej utworzonym okręgu (punkt 5).

Mając określone linie komunikacyjne, sprawdzane są przystanki przez które przebiegają te linie (w kierunku do *PAKP*).

Dla każdego przystanku na linii sprawdzane są składowe algorytmu (punkt 8).

Mając informacje o przejazdach pomiędzy *StPP* i *StKP* znajdującym się w okręgu *PAKP*, możliwe jest określenie zbioru *PAPP*, które nie są wykluczone komunikacyjnie, tj. $WK = 0$. Przy czym może się zdarzyć, że wyznaczony *PAKP* (jako punkt administracyjny) nie przynależy do *PAPP*. Zatem po sprawdzeniu wszystkich przystanków, z których możliwe jest dotarcie do *PAKP* spełniających parametry składowe algorytmu, a tym samym po określeniu wszystkich *PAPP*, które nie są wykluczone komunikacyjnie (znajdują się w okręgach *StPP* leżących na linii komunikacyjnej przebiegającej przez *StKP*), należy sprawdzić czy w ten sposób wyznaczone *PAPP* są parą z *PAKP*.

- Jeśli tak, wybierany jest kolejny *PAKP* i powtarzany algorytm. Warunkiem stopu jest sprawdzenie wszystkich *PAKP*. Pary *PAPP-PAKP*, dla których stwierdzono $WK = 0$, nie są brane pod uwagę w kolejnych etapach algorytmu.

- Jeśli nie, tj. dla niektórych wybranych *PAPP* parą jest inny *PAKP* niż już zweryfikowany, przy sprawdzaniu kolejnego *PAKP*, ten *PAPP* może być również rozważany (jeśli *PAPP* jest w okręgu *StPP* znajdującego się na analizowanej linii komunikacyjnej).
8. Integracji podlegają 4 algorytmy składowe (*APD1*, *APD3-5*) i wykorzystane wybrane algorytmy pomocnicze (*APM1-APM3*).
9. Integracja zakłada reagowanie (wrażliwość) na brak spełnienia przynajmniej jednej składowej, tj.:
- a) *APD1*: czas przejazdu *TP* do miejsca docelowego – istnieje połączenie pomiędzy *StPP* i *StKP* (przystanki znajdujące się w okręgach wyznaczonych w piątym punkcie algorytmu) o czasie przejazdu krótszym od wartości referencyjnej $TP \leq TPref$ [min] (połączenie bezpośrednio; przesiadki z zastosowaniem *APM1*, *APM2*), przy czym:
- jeżeli $TP \leq TPref$ [min], to $WK(TP) = 0$,
 - w przeciwnym przypadku $WK(TP) = 1$.

W pierwszym etapie *APD1* należy sprawdzić, które linie komunikacyjne przechodzą przez przystanki znajdujące się wokół *PAKP*, tj. tworzony jest zbiór linii komunikacyjnych.

Następnie wybierany jest pierwszy dowolny *StKP*, wybierana jest linia komunikacyjna, która przechodzi przez ten przystanek.

Sprawdzane są po kolei przystanki znajdujące się na tej linii (zaczynając od najbliższego względem *StKP*).

- Jeśli czas przejazdu z *StPP* do *StKP* spełnia ograniczenie (jest równy lub krótszy od wartości referencyjnej *TPref*), to sprawdzana jest kolejna składowa algorytmu.
- Jeśli czas przejazdu z *StPP* do *StKP* nie spełnia ograniczenia (jest dłuższy od wartości referencyjnej *TPref*), to należy sprawdzić pary *PAPP-PAKP* dla punktów *PAPP* leżących w okręgu analizowanego *StPP*. Wszystkie te, dla których *PAKP* jest zgodny z analizowanym, mogą oznaczać potencjalne *WK*. W przypadku brak zgodności,

pary *PAPP-PAKP* nie będą dalej analizowane (istnieje inna para *PAPP-PAKP*).

Sprawdzana jest kolejna linia przechodząca przez *StKP*, przystanki na niej i czas przejazdu.

Warunkiem stopu dla każdego *StKP* jest wyczerpanie zbioru linii komunikacyjnych przechodzących przez *StKP*.

Jeśli z danego *StPP* nie ma połączenia bezpośredniego, sprawdzane jest połączenie z przesiadką (zastosowanie algorytmów *APM1*, *APM2*). Jeśli również ono nie istnieje, to wszystkie *PAPP* leżące w okręgu wyznaczonym wokół *StPP* są wykluczone komunikacyjnie, czyli $WK = 1$.

b) *APD3*: sumaryczny koszt przejazdu *KP* w ramach danej podróży nie przekracza wartości referencyjnej $KP \leq KPref$ [zł] (z uwzględnieniem *APM1*, *APM2*), przy czym:

- jeżeli $KP \leq KPref$ [zł], to $WK(KP) = 0$,
- w przeciwnym przypadku $WK(KP) = 1$.

Obliczenia można podzielić na dwa etapy, tj. 1) sprawdzenie linii bezpośrednio łączących *StPP* z *StKP*; 2) sprawdzenie połączeń z przesiadką.

c) *APD4*: sumaryczna, dobowa częstość kursowania *CK* – liczba kursów wykonywanych z przystanku (relacją zgodną z *APD1*) jest nie mniejsza niż wartość referencyjna $CK \geq CKref$ [1/doba] (z uwzględnieniem *APM1*, *APM2*), przy czym:

- jeżeli $CK \geq CKref$ [1/doba], to $WK(CK) = 0$,
- w przeciwnym przypadku $WK(CK) = 1$.

d) *APD5*: niezawodność czasu przejazdu *NP* – niezawodność przejazdu (odwrotność ryzyka opóźnienia) relacją zgodną z *APD1* jest większa niż wartość referencyjna $NP \geq NPref$ [-], przy czym:

- jeżeli $NP \geq NPref$ [-], to $WK(NP) = 0$,
- w przeciwnym przypadku $WK(NP) = 1$.

10. Wartość wskaźnika *WK* wyznaczana jest jako wartość binarna:

- a) $WK = 0$; jeżeli spełnione są wszystkie warunki – punkt adresowy nie jest wykluczony.
- b) $WK = 1$; jeżeli niespełniony jest przynajmniej jeden warunek – punkt adresowy jest wykluczony.

Propozycja 4: procedura CIĄGŁA,
podróż *StPP-StKP* „tam” i „z powrotem” do/z gminy/powiatu,
z uwzględnieniem *PAPP* i *PAKP*

Założenia:

1. Rozważane są przejazdy z każdego *StPP* do *StKP*.
2. Uwzględniane są także *PAPP* i *PAKP* jako punkty niezbędne do określenia WK .

APD2: dostępność przestrzenna przystanku *DP* – odległość pomiędzy *PAPP* a *StPP* odnoszona jest do wartości referencyjnej, przy czym:

- jeżeli $DP > DP_{ref}$ [m], to $0 < WK(DP) \leq 1$; (wartość ciągła w zależności od stopnia przekroczenia wartości referencyjnej);
 - w przeciwnym przypadku $WK(DP) = 0$.
3. Procedura zakłada podział na obszary miejskie i wiejskie, co ma wpływ na wartości parametrów referencyjnych.
 4. Dla każdego *PAPP* określany jest *PAKP* (stolica gminy/centrum powiatu). Oznacza to, że liczba par *PAPP* – *PAKP* jest równa liczbie *PAPP*. W kolejnych etapach algorytmu te pary będą sprawdzane z uwagi na WK .
 5. Wokół każdego przystanku *St* wyznaczane są obszary o promieniu odpowiadającym wielokrotności referencyjnej wartości dostępności przestrzennej przystanku DP_{ref} [m], tj. $L(PAPP-StPP)_{max} = A \cdot L(PAPP-StPP)_{ref}$ oraz obszary o promieniu odpowiadającemu wielokrotności dopuszczalnej odległości dotarcia z *St* do *PAKP*, tj. $L(PAKP-StKP)_{max} = A \cdot L(PAKP-StKP)_{ref}$. W efekcie wokół każdego przystanku powstaną okręgi obejmujące *PAPP*.

Wokół każdego *PAKP* powstanie okrąg obejmujący różne przystanki. Tym samym znane są linie komunikacyjne przebiegające przez dane przystanki,

zarówno te wokół których są określone dostępne *PAPP* oraz te, które są położone w zasięgu *PAKP*, czyli *StKP*.

6. Warunek brzegowy:

- a) Punkty adresowe *PAPP* znajdujące się w odległości większej niż $L(PAPP-StPP)_{ref}$ [m] od wszystkich przystanków *StPP* o niezerowej częstotliwości kursowania są z definicji wykluczone komunikacyjnie.
- b) Punkty docelowe *PAKP* znajdujące się w odległości większej niż $L(PAKP-StKP)_{max}$ [m] od wszystkich przystanków *StKP*, nie są brane pod uwagę. W ich miejsce wybierane są nowe punkty docelowe *PAKP*, tj. kolejna najbliższa względem *PAPP* stolica gminy lub centrum powiatu, dla których sprawdzana jest dostępność do przystanków (punkt 5 algorytmu).

W ten sposób wyznaczone nowe pary *PAPP-PAKP* wejdą do zbioru par określonego w punkcie 4.

- c) W przypadku pozostałych punktów adresowych *PAPP* sprawdzane są pozostałe warunki występowania *WK*.

7. Wybierany jest *PAKP* i sprawdzane są linie komunikacyjne przebiegające przez przystanki znajdujące się we wcześniej utworzonym okręgu (punkt 5).

Mając określone linie komunikacyjne, sprawdzane są przystanki przez które przebiegają te linie w kierunku *PAKP*.

Dla każdego *St* linii komunikacyjnej sprawdzane są składowe algorytmu (pkt. 8).

Mając informacje o przystankach i ich połączeniach z każdym *StKP* znajdującym się w okręgu *PAKP*, możliwe jest określenie zbioru *PAPP*, które nie są wykluczone komunikacyjnie, tj. $WK = 0$. Przy czym może się zdarzyć, że wyznaczony *PAKP* (jako punkt administracyjny) nie przynależy do *PAPP*. Zatem po sprawdzeniu wszystkich przystanków, z których możliwe jest dotarcie do *PAKP* spełniające parametry składowe algorytmu, a tym samym określenie wszystkich *PAPP*, które nie są wykluczone komunikacyjnie (znajdują się w okręgach przystanków *StPP*

leżących na linii komunikacyjnej przebiegającej przez *StKP*), należy sprawdzić czy w ten sposób wyznaczone *PAPP* są parą z *PAKP*.

- Jeśli tak, wybierany jest kolejny *PAKP* i powtarzany algorytm. Warunkiem stopu jest sprawdzenie wszystkich *PAKP*.
Pary *PAPP-PAKP*, dla których stwierdzono brak wykluczenia komunikacyjnego, tj. $WK = 0$, nie są brane pod uwagę w kolejnych etapach algorytmu.
 - Jeśli nie, tj. dla niektórych wybranych *PAPP* parą jest inny *PAKP* niż już zweryfikowany, przy sprawdzaniu kolejnego *PAKP*, ten *PAPP* może być również rozważany (jeśli *PAPP* jest w okręgu *StPP* znajdującego się na analizowanej linii komunikacyjnej).
8. Integracji podlegają 4 algorytmy składowe (*APD1*, *APD3-APD5*), wykorzystane są wybrane algorytmy pomocnicze (*APM1-APM3*).
9. Integracja zakłada reagowanie na stopień spełnienia wszystkich składowych, tj.:
- a) *APD1*: czas przejazdu do miejsca docelowego *TP* – czas przejazdu pomiędzy *StPP* i *StKP* odnoszony jest do wartości referencyjnej (połączenie bezpośrednie i przesiadki, wykorzystanie *APM1* i *APM2*), przy czym:
 - jeżeli $TP > TP_{ref} [min]$, to $0 < WK(TP) \leq 1$; wartość ciągła w zależności od stopnia przekroczenia wartości referencyjnej;
 - w przeciwnym przypadku $WK(TP) = 0$.

W pierwszym etapie *APD1* należy sprawdzić, które linie komunikacyjne przechodzą przez przystanki znajdujące się wokół *PAKP*, tj. tworzony jest zbiór linii komunikacyjnych.

Następnie wybierany jest pierwszy dowolny *StKP*, wybierana jest linia komunikacyjna, która przechodzi przez ten przystanek.

Sprawdzone są po kolei przystanki znajdujące się na tej linii (zaczynając od najbliższego względem *StKP*).

Obliczany jest czas przejazdu TP z $StPP$ do $StKP$.

Sprawdzana jest kolejna linia przechodząca przez $StKP$, przystanki na niej i czas przejazdu.

Warunkiem stopu dla każdego $StKP$ jest wyczerpanie zbioru przechodzących przez niego linii.

Jeśli z danego $StPP$ nie ma połączenia bezpośredniego, sprawdzane są połączenia z przesiadką (zastosowanie $APM1$, $APM2$). Jeśli również one nie istnieją, to wszystkie $PAPP$ leżące w okręgu wyznaczonym wokół $StPP$ są wykluczone komunikacyjnie, czyli $WK = 1$.

- b) $APD3$: sumaryczny koszt przejazdu KP w ramach danej podróży nie przekracza wartości referencyjnej, przy czym:
- jeżeli $KP > KPref$ [zł], to $0 < WK(KP) \leq 1$; wartość ciągła w zależności od stopnia przekroczenia wartości referencyjnej;
 - w przeciwnym przypadku $WK(KP) = 0$.

Obliczenia można podzielić na dwa etapy, tj. i) sprawdzenie linii bezpośrednio łączących $StPP$ z $StKP$; ii) sprawdzenie połączeń z przesiadką. Z czego etap ii) może być realizowany warunkowo, gdy etap i) nie da pozytywnego efektu (brak połączeń bezpośrednich).

- c) $APD4$: sumaryczna, dobową częstość kursowania CK – liczba kursów wykonywanych z przystanku (relacją zgodną z $APD1$) odnoszona jest do wartości referencyjnej, przy czym:
- jeżeli $CK < CKref$ [1/doba], to $0 < WK(CK) \leq 1$; wartość ciągła w zależności od stopnia przekroczenia wartości referencyjnej;
 - w przeciwnym przypadku $WK(CK) = 0$.

Jeśli przez dany przystanek przebiega więcej niż jedna linia łącząca $StPP$ z $StKP$, to częstość kursowania jest sumą częstości kursowania tych linii.

- d) *APD5*: niezawodność czasu przejazdu *NP* – niezawodność przejazdu (odwrotność ryzyka opóźnienia) relacją zgodną z *APD1* odnoszona jest do wartości referencyjnej, przy czym:
- jeżeli $NP < NP_{ref} [-]$, to $0 < WK(NP) \leq 1$; wartość ciągła w zależności od stopnia przekroczenia wartości referencyjnej;
 - w przeciwnym przypadku $WK(NP) = 0$.
10. Wartość wskaźnika *WK* wyznaczana jest jako średnia ważona ze znormalizowanych wartości algorytmów składowych. Wskaźnik *WK* przyjmuje wartości z przedziału $<0, 1>$ przy czym:
- a) $WK = 0$ oznacza, że rozważany *PAPP* nie jest wykluczony komunikacyjnie;
 - b) $0 < WK \leq 1$ oznacza, że rozważany *PAPP* jest wykluczony komunikacyjnie, a wartość *WK* wskazuje w jakim stopniu (im wartość *WK* jest bliższa 1, tym stopień *WK* jest wyższy).

4.2. Wybrane algorytmy integracji składowych wykluczenia

W podrozdziale 4.2 zaprezentowano dwa wybrane algorytmy integracji składowych wykluczenia, oznaczone jako:

- Propozycja 5: procedura DYSKRETNA, podróż *PAPP-PAKP/StPP-StKP* „tam” i „z powrotem” do/z gminy i powiatu.
- Propozycja 6: procedura CIĄGŁA, podróż *PAPP-PAKP/StPP-StKP* „tam” i „z powrotem” do/z gminy i powiatu.

Każda z propozycji zawiera następujące elementy składowe:

- Założenia.
- Etapy procedury.
- Algorytmy etapów procedury.
- Meta-algorytm procedury.

Podrozdział 4.2 zakończono założeniami do algorytmu *APD6*, tj. procedury uwzględniającej osoby ze szczególnymi potrzebami (osoby z niepełnosprawnością).

Propozycje wybranych algorytmów integrujących składowe wykluczenia komunikacyjnego są następujące:

Propozycja 5: procedura DYSKRETNA,
podróż *PAPP-PAKP/StPP-StKP* „tam” i „z powrotem” do/z gminy i powiatu

Założenia:

1. Lista lokalizacji *PAKP* może być wybrana z puli adresów, np. poprzez rzutowanie centrów gmin na adresy lub na przykład na podstawie rzutowania „konektorów” ogniskujących ruch kołowy w modelach ZMR.
2. Analiza wrażliwości może być prowadzona na poziomie syntetycznych charakterystyk *PA*, przejazdów lub w trybie scenariuszowym – z uwzględnieniem przejazdów o pożądanym charakterystykach.

Etapy procedury:

Etap 1 – przygotowanie (cel: zbudowanie struktury relacji między *PAPP*, *StPP* i *PAKP*)

1. Dla każdego *PAPP* dobierana jest lista interesujących miejsc docelowych *PAKP*.
2. Dla każdego *PAPP* (zgodnie z jego specyfiką, tj. *GW*, *GM*, *GMW*) dobierana jest lista dostępnych *StPP* zgodnie z łatwym do obliczenia kryterium, np. *PA* leży w kole o zadany promieniu wokół *StPP*, przy czym promień dobrany jest tak, aby umożliwić efektywną analizę wrażliwości na dalszych etapach.
3. Lista *StPP* i *PAKP* jest łączona po *PA* i deduplikowana – tak powstaje lista relacji do zbadania.
4. Dla każdego *PAKP* (zgodnie z jego specyfiką tj. *GW*, *GM*, *GMW*) dobierana jest lista dostępnych *StPK* zgodnie z łatwym do obliczenia kryterium, np. *StKP* leżą w kole o zadany promieniu wokół *PAKP*.

Etap 2 – miary cząstkowe (cel: znalezienie reprezentacji możliwości transportowych dla danego *PA*)

1. Dla każdej trasy wyznaczana jest lista możliwych przejazdów w obu kierunkach w przyjętym oknie czasowym, np. dobie roboczej – dla wydajności obliczeniowej

na tym etapie w ramach możliwości transportowych nie są uwzględniane przejazdy jednoznacznie nieatrakcyjne.

2. Dla każdego przejazdu (i każdego segmentu przejazdu, jeżeli jest to konieczne) obliczane są odpowiednie miary, przyjęte jako warunkujące *WK*. W wyniku tej operacji, każdy przejazd jest reprezentowany przez zestaw wartości pewnych miar cząstkowych.
3. Przejazdy łączone są z *St* za pomocą tras.
4. *PA* oraz przejazdy są łączone ze sobą za pomocą *St*.

Etap 3 – agregacja i obliczenie *WK*

Dla każdego *PAPP* oraz korespondującego zbioru przejazdów obliczane jest *WK* poprzez agregację zebranych informacji i miar po przejazdach. W efekcie uzyskiwana jest odpowiedź, czy dany *PAPP* jest wykluczony komunikacyjnie, oraz syntetyczna lista informacji co warunkuje taką odpowiedź.

Algorytm etapu 1 – przygotowanie

START

pobierz listę MKP^r_{in} ; // przyporządkowanie *PAKP* do *PAPP*, patrz E1.1

dla $i = 1$; // ze zbioru i -punktów adresowych *PAPP*;

utwórz listę j -przystanków początku podróży $StPP_j$ dostępnych z $PAPP_i$, oznaczoną jako MSt_{ij} , przy czym $MSt_{ij} : L(DP_{ij}) \leq L(DP(StPP-PAPP))_{ref}$; // L wyznaczana jest na podstawie izochrony, w oparciu o **APD2**, patrz E1.2, L na tym etapie nie wynika jeszcze z dostępności dla r -relacji podróży;

dla $j = 1 : j \in MSt_{ij} \wedge n = 1 : n \in MKP^r_{in}$ // j jest dostępne, a n dla kierunku r jest znane;

utwórz

listę t -tras dostępnych w r -relacji, $r = \{gt, gz, pt, pz\}$ i w kierunku (jn),
oznacz jako MT^r_{tjn} ,

przypisz

listę MT^r_{tjn} do j -przystanku; // patrz E1.3

powtórz dla $n = 2, \dots, N$;

powtórz dla $j = 2, \dots, J$;

powtórz dla $i = 2, \dots, I$.

STOP

Algorytm etapu 2 - miary cząstkowe

START

dla $t = 1 : t \in MT^r_{tjn} \wedge r = \{gt\}$; // trasa dla podróży gminnych tam;

utwórz

listę p -przejazdów w r -relacji (jn), realizowanych w oknie czasowym TW – listę
oznacz jako MP^r_{pjn} , przy czym $MP^r_{pjn} : p \in TW^r$; // patrz E2.1, E2.3, przejazd
w oknie czasowym oznacza rozpoczęcie przejazdu w okresie zawartym w TW ;

dla $p = 1 \wedge r = \{gt\}$

wyznacz

wartość kryterium podst. – czas przejazdu TP^r_{pjn} ; przypisz do
 p -przejazdu; // wg **APD1**, E2.2;

wartość kryterium podst. – koszt przejazdu KP^r_{pjn} ; przypisz do
 p -przejazdu; // wg **APD3**, E2.2;

wartość kryterium podst. – niezawodność czasu przejazdu
 NP^r_{pjn} ; przypisz do p -przejazdu; //wg **APD5**, E2.2;

przypisz

p -przejazd do j -przystanku w postaci listy MP^r_{pjn} ; // dla
przystanku powstaje lista przejazdów wynikająca z tras, wg E2.3;

powtórz dla $p = 2, \dots, P \wedge r = \{gt\}$;

powtórz dla $t = 2, \dots, T : t \in MT^r_{tjn} \wedge r = \{gt\}$; // dla podróży gminnych tam;

powtórz dla $r = \{gz, pt, pz\}$

dla $i = 1 \wedge r = \{gt\}$; // ze zbioru i -punktów adresowych $PAPP$, dla podróży gminnych tam;

posortuj

listę MSt_{ij} i ogranicz ją do r -relacji, tj. $MSt^r_{ij} : L^r(DP_{ij}) \leq L^r(DP(StPP-PAPP))_{ref}$;
// MSt_{ij} wyznaczana jest na podstawie izochrony, w oparciu o **APD2**, patrz E1.2

przypisz listę MSt^r_{ij} do j -przystanku; // patrz E2.4

powtórz dla $i = 2, \dots, I \wedge r = \{gt\}$;

powtórz dla $r = \{gz, pt, pz\}$;

STOP

Algorytm etapu 3 – agregacja i obliczenie WK

START

dla $j = 1 \wedge r = \{gt\}$;

ocień

listę p -przejazdów $p = 1, \dots, P : p \in MP^r_{pjn}$;

jeżeli

$TP^r_{pjn} \leq TP^{rf}_j(ref)$; // kryterium czasu przejazdu APD1

to

$WK(TP^r_{pjn}) = 0$; //warunek czasu przejazdu **jest** spełniony, tj. nie została przekroczona wartość referencyjna

przeciwnie

$WK(TP^r_{pjn}) = 1$; //warunek nie jest spełniony

przypisz

wartość $WK(TP^r_{pjn})$ do j -przystanku i p -przejazdu w r -relacji;

jeżeli

$KP^r_{pjn} \leq KP^{rf}_j(ref)$; // kryterium kosztu przejazdu APD3;

to

$WK(KP^r_{pjn}) = 0$; //warunek kosztu przejazdu **jest** spełniony, tj. nie została przekroczona wartość referencyjna;

przeciwnie

$WK(KP^r_{pjn}) = 1$; //warunek nie jest spełniony

przypisz

wartość $WK(KP^r_{pjn})$ do j -przystanku i p -przejazdu w r -relacji;

jeżeli

$NP^r_{pjn} \geq NP^{rf}_j(ref)$; // kryterium niezawodności czasu przejazdu APD5

to

$WK(NP^r_{pjn}) = 0$; //warunek niezawodności czasu przejazdu **jest** spełniony, tj. nie została przekroczona wartość referencyjna

przeciwnie

$WK(NP^r_{pjn}) = 1$; //warunek nie jest spełniony

przypisz

wartość $WK(NP^r_{pjn})$ do j -przystanku i p -przejazdu w r -relacji;

jeżeli

$WK(TP^r_{pjn}) + WK(KP^r_{pjn}) + WK(NP^r_{pjn}) = 0$; // ocena dopuszczalności przejazdu

to

$WK(ZP^r_{pjn}) = 0$; //pomocniczy warunek zaliczenia przejazdu do ustalenia częstości kursowania **jest** spełniony

przeciwnie

$WK(ZP^r_{pjn}) = 1$; //warunek **nie jest** spełniony

przypisz

wartość $WK(ZP^r_{pjn})$ do j -przystanku i p -przejazdu w r -relacji;

utwórz

z listy MP^r_{pjn} listę dopuszczalnych p -przejazdów MDP^r_{pjn}

jeżeli

$WK(TP^r_{pjn}) + WK(KP^r_{pjn}) + WK(NP^r_{pjn}) + WK(ZP^r_{pjn}) = 0$

to

$p \in MP^r_{pjn}$; // p -przejazd należy do zbioru dopuszczalnego;

przeciwnie

$p \notin MP^r_{pjn}$

oblicz

liczbę p -przejazdów, tj. $\text{card}(MP^r_{pjn})$, przy czym $\text{card}(MP^r_{pjn}) = CK^r_{pjn}$; // liczność p -przejazdów określa częstość kursowania;

jeżeli

$CK^r_{pjn} \geq CK^{rf}_j(\text{ref})$; // kryterium częstości kursowania $APD4$;

to

$WK(CK^r_{pjn}) = 0$; //warunek częstości kursowania **jest** spełniony, tj. została przekroczona wartość referencyjna (minimalna wartość graniczna)

przeciwnie

$WK(CK^r_{pjn}) = 1$; //warunek nie jest spełniony

przypisz

wartość $WK(CK^r_{pjn})$ do j -przystanku i p -przejazdu w r -relacji;

powtórz dla $j = 2, \dots, J$;

powtórz dla $r = \{gz, pt, pz\}$;

z listy i -punktów adresowych

dla $i = 1 \wedge r = \{gt\}$

utwórz

listę j -przystanków dostępnych z i -punktu adresowego dla r -relacji $MDSt^{rf}_{ij}$, tj.

$i \in MDSt^{rf}_{ij}: L^{rf}(DP_{ij}) \leq L^{rf}(DP_{ij})_{ref}$; // oceń dostępność j -przystanku z i -punktu dla r -relacji wg APD2;

jeżeli

$MDSt^{rf}_{ij} \neq \emptyset$

to

$WK_i(DP^r) = 0$; //warunek dostępności z i -punktu adresowego **jest** spełniony;

przeciwnie

$WK_i(DP^r) = 1$; //warunek dostępności z i -PA nie jest spełniony;

przypisz

wartość $WK_i(DP^r)$ do i -punktu

oceń

łączne spełnienie kryteriów oceny dla j -przystanków dostępnych z i -punktów adresowych w r -relacji;

dla $j = 1 : j \in MDSt^{rf}_{ij} \wedge r = \{gt\}$

jeżeli

$\exists(ij) : WK(TP^r_{pjn}) + WK(KP^r_{pjn}) + WK(NP^r_{pjn}) + WK(CK^r_{pjn}) + WK_i(DP^r) = 0$; // spełnia jednocześnie kryteria $APD1$, $APD2$, $APD3$, $APD4$ i $APD5$, jeżeli istnieje takie (ij) ;

to

$WK^r_i = 0$; // brak wykluczenia i -PA w r -relacji

przeciwnie

$WK^r_i = 1$; // występuje wykluczenie i -punktu adresowego w r -relacji

przypisz

WK^r_i do i -punktu adresowego;

powtórz dla $j = 2, \dots, J$

powtórz dla $r = \{gz; pt, pz\}$

ocień

łączne spełnienie kryteriów oceny dla i -punktu adresowego we wszystkich r -relacjach

dla $i = 1 \wedge r = \{gt, gz; pt, pz\}$

jeżeli

$\sum_r (WK^r_i) = 0$; // suma wykluczenia i -punktu adresowego w poszczególnych r -relacjach

to

$WK_i = 0$; // brak wykluczenia i -punktu adresowego

przeciwnie

$WK_i = 1$; // występuje wykluczenie i -PA

powtórz dla $i = 2, \dots, l$;

STOP

Meta-algorytm integracji DYSKRETNEJ

Warunki brzegowe:

1. Oblicz wartość algorytmów cząstkowych dla warunków brzegowych – zgodnie z założeniami Wariantu.

Obliczenia dla podróży **do centrum gminy** – g :

2. Oblicz wartość WK^{gt} , na podstawie poszczególnych składowych podstawowych $k = 1, \dots, K$, dla przejazdów do gminy – „tam”, jako:

$$WK^{gt}O = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } \sum_{k=1}^K WK_k^{gt}O = 0 \\ 1 & \text{jeżeli } \sum_{k=1}^K WK_k^{gt}O \neq 0 \end{cases}$$

3. Oblicz wartość WK^{gz} , na podstawie poszczególnych składowych podstawowych $k = 1, \dots, K$, dla przejazdów z gminy – „z powrotem”, jako:

$$WK^{gz}O = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } \sum_{k=1}^K WK_k^{gz}O = 0 \\ 1 & \text{jeżeli } \sum_{k=1}^K WK_k^{gz}O \neq 0 \end{cases}$$

4. Wartość wynikowa wskaźnika WK^g dla podróży do gminy („tam” i „z powrotem”) wyznaczana jest jako:

$$WK^g O = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } WK^{gt} + WK^{gz} = 0 \\ 1 & \text{jeżeli } WK^{gt} + WK^{gz} \neq 0 \end{cases}$$

Obliczenia dla podróży **do centrum powiatu** – p:

5. Oblicz wartość WK^{pt} , na podstawie poszczególnych składowych podstawowych $k = 1, \dots, K$, dla przejazdów do powiatu – „tam”, jako:

$$WK^{pt} O = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } \sum_{k=1}^K WK_k^{pt} O = 0 \\ 1 & \text{jeżeli } \sum_{k=1}^K WK_k^{pt} O \neq 0 \end{cases}$$

6. Oblicz wartość WK^{pz} , na podstawie poszczególnych składowych podstawowych $k = 1, \dots, K$, dla przejazdów z powiatu – „z powrotem”, jako:

$$WK^{pz} O = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } \sum_{k=1}^K WK_k^{pz} O = 0 \\ 1 & \text{jeżeli } \sum_{k=1}^K WK_k^{pz} O \neq 0 \end{cases}$$

7. Wartość wynikowa WK^p dla podróży do powiatu („tam” i „z powrotem”) wyznaczana jest jako:

$$WK^p O = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } WK^{pt} + WK^{pz} = 0 \\ 1 & \text{jeżeli } WK^{pt} + WK^{pz} \neq 0 \end{cases}$$

Wynikowo dla podróży **do centrum gminy** – g oraz **do centrum powiatu** – p:

7. Ustalenie występowania wykluczenia komunikacyjnego WK lub jego brak dla pojedynczego PA , dla podróży do gminy i powiatu (w obu przypadkach „tam” i „z

powrotem”) wyznaczana jest dla PA jako:

$$WK = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } WK^g + WK^p = 0 \\ 1 & \text{jeżeli } WK^g + WK^p \neq 0 \end{cases}$$

gdzie:

$WK = 1$ oznacza wykluczenie PA ,

$WK = 0$ oznacza brak wykluczenia PA .

Propozycja 6: procedura CIĄGŁA,

podróż $PAPP-PAKP/StPP-StKP$ „tam” i „z powrotem” do/z gminy i powiatu

Założenia:

1. Lista lokalizacji $PAKP$ może być wybrana z puli adresów, np. poprzez rzutowanie centrów gmin na adresy lub na podstawie rzutowania „konektorów” ogniskujących ruch kołowy w modelach ZMR.
2. Analiza wrażliwości może być prowadzona na poziomie syntetycznych charakterystyk punktu adresowego PA , przejazdów lub w trybie scenariuszowym – z uwzględnieniem przejazdów o pożądanym charakterystykach.

Etapy procedury:

Etap 1 – przygotowanie (cel: zbudowanie struktury relacji między $PAPP$, $StPP$ i $PAKP$)

1. Dla każdego $PAPP$ dobierana jest lista interesujących miejsc docelowych $PAKP$.
2. Dla każdego $PAPP$ (zgodnie z jego specyfiką, tj. GW , GM , GMW) dobierana jest lista dostępnych $StPP$ zgodnie z łatwym do obliczenia kryterium, np. PA leży w kole o zadanym promieniu wokół $StPP$, przy czym promień dobrany jest tak, aby umożliwić efektywną analizę wrażliwości na dalszych etapach.
3. Lista $StPP$ i $PAKP$ jest łączona po PA i deduplikowana - tak powstaje lista relacji do zbadania.
4. Dla każdego $PAKP$ (zgodnie z jego specyfiką tj. GW , GM , GMW) dobierana jest lista dostępnych $StPK$ zgodnie z łatwym do obliczenia kryterium, np. $StKP$ leżą w kole o zadanym promieniu wokół $PAKP$.

Etap 2 – miary cząstkowe (cel: znalezienie reprezentacji możliwości transportowych dla danego punktu adresowego PA)

1. Dla każdej trasy wyznaczana jest lista możliwych przejazdów w obu kierunkach w przyjętym oknie czasowym, np. dobie roboczej – na tym etapie uwzględniane są również przejazdy jednoznacznie nieatrakcyjne.
2. Dla każdego przejazdu (i każdego segmentu przejazdu, jeżeli jest to konieczne) obliczane są odpowiednie miary, przyjęte jako warunkujące WK . W wyniku tej operacji, każdy przejazd jest reprezentowany przez zestaw wartości pewnych miar cząstkowych.
3. Przejazdy łączone są z przystankami za pomocą tras.
4. Punkty adresowe oraz przejazdy są łączone ze sobą za pomocą przystanków.

Etap 3 - agregacja i obliczenie WK

Dla każdego $PAPP$ oraz korespondującego zbioru przejazdów obliczane jest WK poprzez agregację zebranych informacji i miar po przejazdach. W efekcie uzyskiwana jest odpowiedź, czy dany $PAPP$ jest wykluczony komunikacyjnie (jeśli tak, to w jakim stopniu) oraz syntetyczną listę informacji co warunkuje taką odpowiedź.

Algorytm etapu 1 – przygotowanie

START

pobierz listę MKP^r_{in} ; // przyporządkowanie $PAKP$ do $PAPP$, patrz E1.1

dla $i = 1$; // ze zbioru i -punktów adresowych $PAPP$;

utwórz listę j -przystanków początku podróży $StPP_j$ dostępnych z $PAPP_i$, oznaczoną jako MSt_{ij} , przy czym $MSt_{ij} : L(DP_{ij}) \leq L(DP(StPP-PAPP))_{max}$; // L wyznaczana jest na podstawie izochrony, w oparciu o **APD2**, patrz E1.2, L na tym etapie nie wynika jeszcze z dostępności dla r -relacji podróży;

dla $j = 1 : j \in MSt_{ij} \wedge n = 1 : n \in MKP^r_{in}$ // j jest dostępne, a n dla kierunku r jest znane;

utwórz

listę t -tras dostępnych w r -relacji, $r = \{gt, gz, pt, pz\}$ i w kierunku (jn) ,
oznacz jako MT^r_{tjn} ,

przypisz

listę MT^r_{tjn} do j -przystanku; // patrz E1.3

powtórz dla $n = 2, \dots, N$;

powtórz dla $j = 2, \dots, J$;

powtórz dla $i = 2, \dots, I$.

STOP

Algorytm etapu 2 – miary cząstkowe

START

dla $t = 1 : t \in MT^r_{tjn} \wedge r = \{gt\}$; // trasa dla podróży gminnych tam;

utwórz

listę p -przejazdów w r -relacji (jn) , realizowanych w oknie czasowym TW – listę
oznacz jako MP^r_{pjn} , przy czym $MP^r_{pjn} : p \in TW^r$; // patrz E2.1, E2.3, przejazd
w oknie czasowym oznacza rozpoczęcie przejazdu w okresie zawartym w TW ;

dla $p = 1 \wedge r = \{gt\}$

wyznacz

wartość kryterium podst. – czas przejazdu TP^r_{pjn} ; przypisz do
 p -przejazdu; // wg **APD1**, E2.2;

wartość kryterium podst. – koszt przejazdu KP^r_{pjn} ; przypisz do
 p -przejazdu; // wg **APD3**, E2.2;

wartość kryterium podst. – niezawodność czasu przejazdu
 NP^r_{pjn} ; przypisz do p -przejazdu; //wg **APD5**, E2.2;

przypisz

p -przejazd do j -przystanku w postaci listy MP^r_{pjn} ; // dla
przystanku powstaje lista przejazdów wynikająca z tras, wg E2.3;

powtórz dla $p = 2, \dots, P \wedge r = \{gt\}$;

powtórz dla $t = 2, \dots, T : t \in MT^r_{tjn} \wedge r = \{gt\}$; // dla podróży gminnych tam;

powtórz dla $r = \{gz, pt, pz\}$

dla $i = 1 \wedge r = \{gt\}$; // ze zbioru i -punktów adresowych $PAPP$, dla podróży gminnych tam;

posortuj

listę MSt_{ij} i ogranicz ją do r -relacji, tj. $MSt^r_{ij} : L^r(DP_{ij}) \leq L^r(DP(StPP-PAPP))_{ref}$;
// MSt_{ij} wyznaczana jest na podstawie izochrony, w oparciu o **APD2**, patrz E1.2,

przypisz listę MSt^r_{ij} do j -przystanku; // patrz E2.4;

powtórz dla $i = 2, \dots, I \wedge r = \{gt\}$;

powtórz dla $r = \{gz, pt, pz\}$;

STOP

Algorytm etapu 3 – agregacja i obliczenie WK

START

dla $j = 1 \wedge r = \{gt\}$;

ocień

listę p -przejazdów $p = 1, \dots, P : p \in MP^r_{pjn}$;

jeżeli

$TP^r_{pjn} \leq TP^{rf}_j(ref)$; // kryterium czasu przejazdu APD1

to

$WK(TP^r_{pjn}) = 0$; //warunek czasu przejazdu **jest** spełniony, tj. nie została przekroczona wartość referencyjna

przeciwnie

$WK(TP^r_{pjn}) = TP^{rf}_j(ref)/TP^r_{pjn}$; //warunek **nie jest** spełniony i jednocześnie określony jest stopień niespełnienia tego warunku (iloraz)

przypisz

wartość $WK(TP^r_{pjn})$ do j -przystanku i p -przejazdu w r -relacji;

jeżeli

$KP^r_{pjn} \leq KP^{rf}_j(ref)$; // kryterium kosztu przejazdu APD3

to

$WK(KP^r_{pjn}) = 0$; //warunek kosztu przejazdu **jest** spełniony, tj. nie została przekroczona wartość referencyjna

przeciwnie

$WK(KP^r_{pjn}) = KP^{rf}_j(ref)/KP^r_{pjn}$; //warunek **nie jest** spełniony i jednocześnie określony jest stopień niespełnienia tego warunku (iloraz)

przypisz

wartość $WK(KP^r_{pjn})$ do j -przystanku i p -przejazdu w r -relacji;

jeżeli

$NP^r_{pjn} \geq NP^{rf}_j(ref)$; // kryterium niezawodności czasu przejazdu APD5

to

$WK(NP^r_{pjn}) = 0$; //warunek niezawodności czasu przejazdu jest spełniony, tj. nie została przekroczona wartość referencyjna

przeciwnie

$WK(NP^r_{pjn}) = NP^{rf}_j(ref)/NP^r_{pjn}$; //warunek **nie jest** spełniony i jednocześnie określony jest stopień niespełnienia tego warunku (iloraz)

przypisz

wartość $WK(NP^r_{pjn})$ do j -przystanku i p -przejazdu w r -relacji;

oblicz

liczbę p -przejazdów $p \in MP^r_{pjn}$, tj. $\text{card}(MP^r_{pjn})$, przy czym $\text{card}(MP^r_{pjn}) = CK^r_{pjn}$; // liczność p -przejazdów określa częstość kursowania

jeżeli

$CK^r_{pjn} \geq CK^{rf}_j(ref)$; // kryterium częstości kursowania APD4

to

$WK(CK^r_{pjn}) = 0$; //warunek częstości kursowania jest spełniony, tj. została przekroczona wartość referencyjna (minimalna wartość graniczna)

przeciwnie

$WK(CK^r_{pjn}) = CK^r_{pjn} / CK^{rf}_{j(ref)}$; //warunek nie jest spełniony i jednocześnie określony jest stopień niespełnienia tego warunku (iloraz)

przypisz

wartość $WK(CK^r_{pjn})$ do j -przystanku i p -przejazdu w r -relacji;

powtórz dla $j = 2, \dots, J$;

powtórz dla $r = \{gz, pt, pz\}$;

z listy i -punktów adresowych

dla $i = 1 \wedge r = \{gt\}$

utwórz

listę j -przystanków dostępnych z i -punktu adresowego dla r -relacji $MDSt^{rf}_{ij}$, tj.

$i \in MDSt^{rf}_{ij}: L^{rf}(DP_{ij}) \leq L^{rf}(DP_{ij})_{max}$; // oceń dostępność j -przystanku z i -punktu dla r -relacji wg APD2

jeżeli

$MDSt^{rf}_{ij} \neq \emptyset$

to

$$WK_i(DP^r) = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } L^{rf}(DP_{ij}) \leq L^{rf}(DP_{ij})_{ref} \\ \frac{L^{rf}(DP_{ij})_{ref}}{L^{rf}(DP_{ij})} & \text{jeżeli } L^{rf}(DP_{ij})_{ref} \leq L^{rf}(DP_{ij}) \leq L^{rf}(DP_{ij})_{max} \end{cases}$$

//warunek dostępności z i -punktu adresowego jest spełniony

przeciwnie

$WK_i(DP^r) = 1$; //warunek dostępności z i -punktu adresowego nie jest spełniony

przypisz

wartość $WK_i(DP^r)$ do i -punktu;

ocień

łączne spełnienie kryteriów oceny dla j -przystanków dostępnych z i -punktów adresowych w r -relacji;

dla $j = 1 : j \in MDSt^rf_{ij} \wedge r = \{gt\}$

jeżeli

$\exists (ij) : (WK(TP^r_{pjn}) + WK(KP^r_{pjn}) + WK(NP^r_{pjn}) + WK(CK^r_{pjn}) + WK_i(DP^r))/5 < 1$; // spełnia jednocześnie kryteria $APD1$, $APD2$, $APD3$, $APD4$ i $APD5$, jeżeli istnieje takie (ij)

to

$WK^r_j = (WK(TP^r_{pjn}) + WK(KP^r_{pjn}) + WK(NP^r_{pjn}) + WK(CK^r_{pjn}) + WK_i(DP^r))/5$; // brak całkowitego wykluczenia, tj. występuje częściowe wykluczenie lub brak jest wykluczenia i -punktu adresowego w r -relacji

przeciwnie

$WK^r_j = 1$; // występuje wykluczenie i -punktu adresowego w r -relacji

przypisz

WK^r_j do i -punktu adresowego;

powtórz dla $j = 2, \dots, J$

powtórz dla $r = \{gz; pt, pz\}$

ocen

stopień łącznego spełnienia kryteriów oceny dla i -punktu adresowego we wszystkich r -relacjach

dla $i = 1 \wedge r = \{gt, gz; pt, pz\}$

jeżeli

$(\sum_r (WK^r_i))/R = 1$; // średnia wykluczenia i -punktu adresowego brana pod uwagę ze wszystkich r -relacji

to

$WK_i = 1$; // występuje wykluczenie i -punktu adresowego

przeciwnie

$WK_i = (\sum_r (WK^r_i))/R$ //brak całkowitego wykluczenia i -punktu adresowego, tj. występuje częściowe wykluczenie lub brak jest wykluczenia i -PA

powtórz dla $i = 2, \dots, l$;

STOP

Meta-algorytm integracji CIĄGŁEJ

Warunki brzegowe:

1. Oblicz wartość algorytmów cząstkowych dla warunków brzegowych – zgodnie z założeniami Wariantu.

Obliczenia dla podróży **do centrum gminy** – g :

2. Oblicz wartość WK^{gt} , na podstawie poszczególnych składowych podstawowych $k = 1, \dots, K$, dla przejazdów do gminy – „tam”, jako:

$$WK^{gt}() = \sum_{k=1}^K WK_k^{gt}() / K; WK^{gt} \in [0, 1]$$

3. Oblicz wartość WK^{gz} , na podstawie poszczególnych składowych podstawowych $k = 1, \dots, K$, dla przejazdów z gminy – „z powrotem”, jako:

$$WK^{gz}() = \sum_{k=1}^K WK_k^{gz}() / K; WK^{gz} \in [0, 1]$$

4. Wartość wynikowa wskaźnika WK^g dla podróży do gminy („tam” i „z powrotem”) wyznaczana jest jako:

$$WK^g() = (WK^{gt} + WK^{gz}) / 2; WK^g \in [0, 1]$$

Obliczenia dla podróży **do centrum powiatu** – p :

5. Oblicz wartość WK^{pt} , na podstawie poszczególnych składowych podstawowych $k = 1, \dots, K$, dla przejazdów do powiatu – „tam”, jako:

$$WK^{pt}() = \sum_{k=1}^K WK_k^{pt}() / K; WK^{pt} \in [0, 1]$$

6. Oblicz wartość WK^{pz} , na podstawie poszczególnych składowych podstawowych $k = 1, \dots, K$, dla przejazdów z powiatu – „z powrotem”, jako:

$$WK^{pz}() = \sum_{k=1}^K WK_k^{pz}() / K; WK^{pz} \in [0, 1]$$

7. Wartość wynikowa WK^p dla podróży do powiatu („tam” i „z powrotem”) wyznaczana jest jako:

$$WK^p() = (WK^{pt} + WK^{pz}) / 2; WK^p \in [0, 1]$$

Wynikowo dla podróży **do centrum gminy** – g oraz **do centrum powiatu** – p :

8. Ustalenie występowania wykluczenia komunikacyjnego WK lub jego brak dla pojedynczego PA , dla podróży do gminy i powiatu (w obu przypadkach „tam” i „z powrotem”) wyznaczana jest dla PA jako:

$$WK = (WK^g() + WK^p())/2; WK \in [0, 1]$$

gdzie:

$WK = 1$ oznacza wykluczenie PA ,

$0 < WK < 1$ oznacza częściowe wykluczenie PA ,

$WK = 0$ oznacza brak wykluczenia PA .

Algorytm APD6: procedura uwzględniająca osoby ze szczególnymi potrzebami (osoby z niepełnosprawnością)

Założenia

1. Obliczenia wskaźnika wykluczenia komunikacyjnego dla osób ze szczególnymi potrzebami zostały podzielone na dwa scenariusze, tj. dyskretny i ciągły.
2. Oba scenariusze podzielono na dwa warianty, tj. w pierwszym skoncentrowano się na wyznaczeniu wskaźnika wykluczenia komunikacyjnego tylko dla osób ze szczególnymi potrzebami, a w drugim – na integracji wskaźników dla osób bez oraz ze szczególnymi potrzebami.

Scenariusz 1 wariant 1 (podejście dyskretne, tylko dla osób ze szczególnymi potrzebami)

Zakłada się sprawdzenie spełnienia warunków zadanych przez poszczególne składowe algorytmu, odrębnie dla podróży realizowanych przez osoby bez szczególnych potrzeb oraz przez osoby ze szczególnymi potrzebami. W przypadku analizowanego scenariusza oznacza to konieczność wyznaczenia wartości algorytmów cząstkowych dla pasażerów ze szczególnymi potrzebami, dla podróży do centrum gminy i z powrotem, oraz do centrum powiatu i z powrotem (zgodnie z propozycją 5 przedstawioną w podrozdziale 4.2.). Elementami różnicującymi algorytmy cząstkowe pasażerów ze szczególnymi potrzebami względem pozostałych pasażerów są charakterystyczne parametry, takie

jak referencyjna dostępność przestrzenna przystanku, referencyjny koszt przejazdu, oraz referencyjna liczba przesiadek.

W ramach scenariusza 1 wariantu 1 przyjęto, że wartość wskaźnika wykluczenia komunikacyjnego dla osób ze szczególnymi potrzebami, w poniższych zależnościach opisanego indeksem górnym (n), podróżującymi:

- z punktu adresowego do gminy, tj.

$$WK^{gt(n)}_O = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } \sum_{k=1}^K WK_k^{gt(n)}_O = 0 \\ 1 & \text{jeżeli } \sum_{k=1}^K WK_k^{gt(n)}_O \neq 0, \end{cases}$$

- z gminy do punktu adresowego, tj.

$$WK^{gz(n)}_O = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } \sum_{k=1}^K WK_k^{gz(n)}_O = 0 \\ 1 & \text{jeżeli } \sum_{k=1}^K WK_k^{gz(n)}_O \neq 0, \end{cases}$$

może przyjmować wartość 0 lub 1.

Wartość wynikowa wykluczenia komunikacyjnego dla podróży do gminy i z powrotem dla tej grupy pasażerów jest wyznaczana jako:

$$WK^{g(n)}_O = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } WK^{gt(n)}_O + WK^{gz(n)}_O = 0 \\ 1 & \text{jeżeli } WK^{gt(n)}_O + WK^{gz(n)}_O \neq 0 \end{cases}$$

W przypadku podróży powiatowych dla pasażerów ze szczególnymi potrzebami, wskaźnik wykluczenia komunikacyjnego jest wyznaczany w podobny sposób, jak w przypadku podróży gminnych. Wskaźnik ten dla podróży do powiatu, z powiatu oraz

wynikowy dla podróży do centrum powiatu i z powrotem jest oznaczony jako odpowiednio $WK^{pt(n)}$, $WK^{pz(n)}$ i $WK^{p(n)}$.

Ustalanie występowania wykluczenia komunikacyjnego $WK^{(n)}$ (1) lub jego brak (0) dla osób ze szczególnymi potrzebami, dla pojedynczego PA, dla podróży do gminy i powiatu (w obu przypadkach „tam” i „z powrotem”) wyznaczane jest dla PA jako:

$$WK^{(n)}_0 = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } WK^{g(n)} + WK^{p(n)} = 0 \\ 1 & \text{jeżeli } WK^{g(n)} + WK^{p(n)} \neq 0 \end{cases}$$

Scenariusz 1 wariant 2 (podejście dyskretne, dla osób bez i ze szczególnymi potrzebami)

Zakłada się integrację algorytmów dla osób bez szczególnych potrzeb oraz ze szczególnymi potrzebami. Ustalenie występowania wykluczenia komunikacyjnego WK^{pas} lub jego brak dla wszystkich grup pasażerów, dla podróży do gminy i powiatu (w obu przypadkach „tam” i „z powrotem”) wyznaczane jest dla PA jako:

$$WK^{pas}_0 = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } WK + WK^{(n)} = 0 \\ 1 & \text{jeżeli } WK + WK^{(n)} \neq 0 \end{cases}$$

Scenariusz 2 wariant 1 (podejście ciągłe, tylko dla osób ze szczególnymi potrzebami)

Zakłada się sprawdzenie spełnienia warunków zadanych przez poszczególne składowe algorytmu, odrębnie dla podróży realizowanych przez osoby bez szczególnych potrzeb oraz przez osoby ze szczególnymi potrzebami. W przypadku analizowanego scenariusza oznacza to konieczność wyznaczenia wartości algorytmów cząstkowych dla pasażerów ze szczególnymi potrzebami, dla podróży do centrum gminy i z powrotem, oraz do centrum powiatu i z powrotem (zgodnie z propozycją 6 przedstawioną w podrozdziale 4.2.). Elementami różnicującymi algorytmy cząstkowe pasażerów ze szczególnymi potrzebami względem pozostałych pasażerów są charakterystyczne parametry, takie

jak referencyjna dostępność przestrzenna przystanku, referencyjny koszt przejazdu, oraz referencyjna liczba przesiadek.

W ramach scenariusza 2 wariantu 1 przyjęto, że wartość wskaźnika wykluczenia komunikacyjnego dla osób ze szczególnymi potrzebami podróżującymi:

- z punktu adresowego do gminy biorąc pod uwagę składowe algorytmów podstawowych $k = 1, \dots, K$, wyrażana jest wzorem:

$$WK^{gt(n)}_O = \sum_{k=1}^K WK_k^{gt(n)}_O / K; WK^{gt(n)} \in [0, 1]$$

- z gminy do punktu adresowego biorąc pod uwagę składowe algorytmów podstawowych $k = 1, \dots, K$, wyrażana jest wzorem:

$$WK^{gz(n)}_O = \sum_{k=1}^K WK_k^{gz(n)}_O / K; WK^{gz(n)} \in [0, 1]$$

Wartość wynikowa wykluczenia komunikacyjnego dla podróży do gminy i z powrotem dla tej grupy pasażerów jest wyznaczana jako:

$$WK^{g(n)}_O = (WK^{gt(n)} + WK^{gz(n)})/2; WK^{g(n)} \in [0, 1]$$

W przypadku podróży powiatowych dla pasażerów ze szczególnymi potrzebami, wskaźnik wykluczenia komunikacyjnego jest wyznaczany w podobny sposób, jak w przypadku podróży gminnych. Wskaźnik ten dla podróży do powiatu, z powiatu oraz wynikowy dla podróży do centrum powiatu i z powrotem jest oznaczony jako odpowiednio $WK^{pt(n)}$, $WK^{pz(n)}$ i $WK^{p(n)}$.

Ustalenie występowania wykluczenia komunikacyjnego $WK^{(n)}$ lub jego brak dla osób ze szczególnymi potrzebami, dla pojedynczego PA, dla podróży do gminy i powiatu (w obu przypadkach „tam” i „z powrotem”) wyznaczane jest dla PA jako:

$$WK^{(n)}_O = (WK^{g(n)} + WK^{p(n)})/2; WK^{(n)} \in [0, 1]$$

Scenariusz 2 wariant 2 (podejście ciągłe, dla osób bez i ze szczególnymi potrzebami)

Zakłada się integrację algorytmów dla osób bez szczególnych potrzeb oraz ze szczególnymi potrzebami. Ustalenie występowania wykluczenia komunikacyjnego WK^{pas} lub jego brak dla wszystkich grup pasażerów, dla podróży do gminy i powiatu (w obu przypadkach „tam” i „z powrotem”) wyznaczana jest dla PA jako:

$$WK^{pas}() = (WK() + WK^{(n)}())/2; WK^{pas} \in [0, 1]$$

gdzie:

$WK^{pas} = 1$ oznacza wykluczenie PA,

$0 < WK^{pas} < 1$ oznacza częściowe wykluczenie PA,

$WK^{pas} = 0$ oznacza brak wykluczenia PA.

5. Opracowanie algorytmów agregujących wskaźnik wykluczenia komunikacyjnego do wyższego poziomu jednostki samorządu terytorialnego – przegląd rozwiązań

Analiza literatury wskazuje, że można wyróżnić trzy główne podejścia do agregacji wskaźnika wykluczenia z poziomu punktu adresowego do poziomu jednostki samorządu terytorialnego.

1. Agregacja na poziomie składowych wskaźników wykluczenia transportowego i wyznaczenie wartości tak zagregowanego wskaźnika na poziomie JST zgodne z zasadami integracji przedstawionymi w poprzedniej części.
2. Agregacja na poziomie już wyznaczonych wskaźników wykluczenia transportowego dla punktów adresowych.
3. Wykorzystanie wskaźników makro dostępnych dla danej JST, takich jak poziom bezrobocia, dochodów czy wskaźnik motoryzacji w zestawieniu z danymi makro dotyczącymi systemu transportu zbiorowego (liczba przystanków czy kursów ptz).

5.1. Agregacja na poziomie składowych wskaźników wykluczenia dla punktów adresowych

Zaletą agregacji na tym poziomie jest stosowanie jednolitej metodyki integracyjnej dla każdego punktu adresowego oraz zagregowanego do poziomu JST "dużego" punktu. Ponadto można wykorzystać wyniki obliczeń wykonanych na poprzednich etapach wyznaczania *WK*, a samą agregację można dokonać przez stosowanie znanych statystyk, takich jak mediana. Punktom adresowym można dodatkowo nadawać wagę, np. związaną z oczekiwaną liczbą gospodarstw domowych lub mieszkańców przypisanych do danego punktu.

Jednak do wad tego podejścia można zaliczyć to, że ostateczny wpływ na wyniki mogą mieć same charakterystyki JST, takie jak np. liczba dużych miast. Przykładowo analizy przeprowadzone przez zespół badawczy dla otwartych danych rozkładowych wskazują, że dominujący wpływ na wynik JST będzie miał stan transportu w stolicy JST oraz np. stopień pokrycia JST siecią kolejową (którą cechowała większa mediana dobowej częstotliwości kursów niż lokalny transport autobusowy), co może być postrzegane jako niekorzystne z perspektywy postrzeganej jakości wyników – zjawisko *WK* w powszechnym odbiorze występuje właśnie poza największymi miastami.

Pewnym rozwiązaniem powyższych problemów jest dokonanie klasyfikacji punktów adresowych względem ich charakteru (miasto/wieś) lub poziomu urbanizacji/gęstości zaludnienia – szczególnie jeśli wcześniej w sposób jednolity wykorzystywano taką klasyfikację przy ocenie *WK* z perspektywy poszczególnych składowych. Następnie można dla każdej grupy punktów niezależnie oceniać występowanie zjawiska *WK*. Samo *WK* na poziomie JST będzie występować, jeśli uznane zostanie, że występuje ono dla przynajmniej jednej kategorii punktów adresowych.

Ostatecznie zrezygnowano z rekomendacji stosowania takiego mechanizmu do dalszych prac. Uznano, że mechanizm ten jest w mniejszym stopniu kompatybilny z przyjętą filozofią wyznaczania składowych *WK* oraz ich integracji niż mechanizm przedstawiony poniżej.

5.2. Agregacja na poziomie wskaźników wykluczenia dla punktów adresowych

Podejście to cechują podobne zalety i wady oraz potencjalne sposoby wyznaczania, co w przypadku agregacji na poziomie składowych WK. Przy dość oczywistej różnicy, że w tym przypadku do oceny czy dana JST jest zagrożona WK, wymagane jest by występowało wystarczająco dużo punktów adresowych uznanych za wykluczone z dowolnego powodu, a w przypadku oceny na poziomie składowych musi istnieć wystarczająco wiele punktów wykluczonych, by można było stwierdzić WK po zintegrowaniu danych dla "dużego punktu". Agregacja na poziomie całych wskaźników wydaje się wręcz czytelniejsza, jednakże wymaga podania kryteriów dopuszczalnej liczby punktów wykluczonych w analizowanej kategorii, np. mniej niż 50%.

Podobnie jak w analizowanym wcześniej przypadku integracji składowych WK, również w tym przypadku zaproponowano dwa alternatywne podejścia:

- **algorytm 1** - agregacja dyskretna wskaźników WK dla punktów adresowych (PA) znajdujących się na terenie wyodrębnionej jednostki JST, wyrażony w postaci:

$$WK^{JST(d)} = \sum_i^I x(d)_i / |x(d)_i|$$
$$x(d)_i = \{0, 1\}$$

gdzie:

$x(d)_i$ - wartość wskaźnika WK dla i-tego punktu adresowego, $i = 1, \dots, I$;

$|x(d)_i|$ - liczność zbioru wyników (wartości wskaźników) $x(d)_i$

I - liczba punktów adresowych należących do analizowanego obszaru JST.

- **algorytm 2** - agregacji ciągła wskaźników WK dla punktów adresowych (PA) znajdujących się na terenie wyodrębnionej jednostki JST, wyrażony w postaci:

$$WK^{JST(c)} = \frac{1}{2} (x(d)_{\lfloor I/2 \rfloor} + x(d)_{\lfloor (I+2)/2 \rfloor})$$

$$x(d)_i \in \langle 0,1 \rangle$$

$$x(d)_1 \leq x(d)_2 \leq \dots \leq x(d)_I$$

gdzie, oznaczenia jak wcześniej.

Ostatecznie oba te algorytmy zostały rekomendowane do dalszych prac, gdyż wydają się być najbardziej kompatybilne z przyjętą filozofią wyznaczania składowych WK oraz ich integracji.

Można zaproponować tu także alternatywny wobec poprzedniego podrozdziału sposób wyznaczania WK, który zakłada pewną kompensowalność między poszczególnymi kategoriami punktów adresowych, np.:

$$WK^{JST} = \sum_i x_i \cdot l_i \cdot k_i / \sum_i l_i \cdot k_i$$

gdzie:

x_i – wynik obliczeń dla i -tego punktu adresowego;

l_i – modyfikator związany z liczbą ludności/gospodarstw przypisanych do danego punktu adresowego;

k_i – modyfikator związany z kategorią przypisaną do punktu adresowego.

Ostatecznie dane JST będzie uznane za wykluczone, jeśli uzyskana wartość WK^{JST} będzie mieściła się w założonym przedziale.

5.3. Wykorzystanie wskaźników makro dla JST do wyznaczenia wskaźnika WK dla JST

Zaletą takiego podejścia jest łatwa możliwość skorzystania z różnego rodzaju danych statystycznych, które są przygotowywane na poziomie JST. Podejście to ma również wady. Jedną z najważniejszych jest niezależność od wskaźników WK wyznaczanych na poziomie punktu adresowego. W efekcie może wystąpić sytuacja rozbieżności w ocenie na tych dwóch poziomach. Ponadto, podobnie jak miało to miejsce w przypadku agregacji na poziomie składowych WK, także i tu istnieje ryzyko, że wpływ na poziom WK w danej JST będą miały cechy JST, takie jak liczba miejscowości określonego typu. Dokonanie klasyfikacji punktów adresowych na różne kategorie powoduje, że niwelowane są zalety podejścia – często brak dostępnych statystyk w określonych przekrojach na poziomie JST.

Stąd ostatecznie zrezygnowano z rekomendacji tego podejścia do dalszych prac.

Warto jednak zauważyć, że pewien potencjał w określaniu regionów zagrożonych WK może mieć takie wskaźniki makro, jak:

- odsetek grup osób uznanych za szczególnie zagrożone WK (np. seniorów) w populacji. Należy przy tym zauważyć, że ten czynnik można uwzględnić także na etapie przekształcania wyników obliczanych na poziomie punktów adresowych do wyników prezentowanych jako wartości demograficznych;
- poziom dochodów społeczeństwa (np. medianę), co wpływa na ich zdolność do ponoszenia wydatków na transport, a zarazem pośrednio przez wpływy podatkowe na zdolności JST do organizacji PTZ. Podejście to zostało jednak zaproponowane w jednym z algorytmów wyznaczania składowej kosztowej wykluczenia.

6. Testy analityczne i rekomendacje w zakresie wyboru algorytmów do dalszych badań - kamienie milowe

6.1. Analiza porównawcza podstawowych algorytmów wyznaczania składowych WK

6.1.1. Założenia dotyczące analiz w zakresie wyboru podstawowych algorytmów wyznaczania składowych WK

Tworząc założenia koncepcyjne projektu przyjęto, że na podstawie przeglądu stanu wiedzy zostanie dokonany wstępny wybór podstawowych algorytmów pozwalających na odrębne wyznaczanie składowych WK i wytypowanie zbioru do dalszych analiz obliczeniowych. Przyjęto założenie, że wybór podstawowych algorytmów na tym etapie powinien uwzględniać takie kryteria, jak:

- **K1 - kompleksowość odzwierciedlenia** analizowanej składowej wykluczenia (odrębnie w odniesieniu do każdego APD),
- **K2 - komplementarność** ze sposobem wyznaczania innych kryteriów,
- **K3 - rodzaj i dostępność informacji** niezbędnej do wyznaczania wartości składowej, w tym: *prawa własności informacji*, tj. dostępna publicznie, w posiadaniu podmiotów biznesowych, dana osobowa,
- **K4 - postać wymaganych informacji**, tj. analogowa lub cyfrowa;
- **K5 - aktualność wymaganych informacji**, tj. częstotliwość jej aktualizacji (kilkukrotnie w skali roku, raz do roku, raz na kilka lat).

W analizie uwzględniono propozycje podstawowych algorytmów przedstawione w rozdz. 3.3. Przyjęto, że do dalszych etapów badań powinna zostać skierowana lista minimum 10 rekomendowanych podstawowych algorytmów wyznaczających składowe WK, w tym minimum po 2 składowe: czasu dojazdu, kosztu dojazdu, częstości kursowania, dostępności przestrzennej przystanku i dla osób ze specjalnymi potrzebami.

6.1.2. Rezultaty analiz w zakresie wyboru podstawowych algorytmów wyznaczania składowych WK

Wyniki przeprowadzonych analiz, zgodnie z założeniami zaprezentowanymi w poprzednim podrozdziale, przedstawiono w tablicy 13.

Tab. 13. Analiza w zakresie wyboru algorytmów wyznaczania składowych WK

Lp.	Nazwa algorytmu (rozdz.)	Argumenty za akceptacją/odrzućciem ¹
1	Czas dojazdu - Algorytm 1 (3.3.1.1)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża - uwzględnia wszystkie składowe czasu przejazdu z pkt. początkowego (PP) do końcowego (PK); wymaga zbudowania modelu- grafu sieci PTZ; • K2 - komplementarność algo.: pozwala wyznaczyć koszt wykonania podróży PP-PK, wymaga połączenia z algorytmem: pomocniczym w zakresie planowania przesiadek oraz rozróżnienia charakteru obszaru; wymaga utworzenia indywidualnych (z dokładnością do pkt. adresowego - PA) planu podróży (trasa, liczba przesiadek, uwzględnienie rozkładów jazdy); • K3 - rodzaj i dostępność inf.: 1) rozkłady jazdy - w postaci analogowej formalnie publicznie dostępne ale trudna do uzyskania (por. Zad. 6-9) , cyfrowa postać (w dużej części poza stand. GTFS) w posiadaniu podmiotów prywatnych, a publicznie dostępna tylko dla wybranych (dużych) organizatorów; 2) wskazanie PK jako POI - wymaga odrębnych i kosztownych badań (skala porównywalna ze spisem powszechnym), dana osobowa; 3) okna czasowe i max czas oczekiwania na przystanku - dane publiczne (publikacje, raporty) związane z badaniem zachowań komunikacyjnych; 4) graf sieci - wymaga przekształcenia i integracji istniejących modeli regionalnych (uzupełnienie braków) - publicznie dostępne; • K4 - postać inf.: 1) rozkłady jazdy - zróżnicowana postać: post. analogowa dominująca, cyfrowa (zgodna ze standardami GTFS i poza nim) w posiadaniu

		<p>podmiotów prywatnych, a publicznie dostępna tylko dla wybranych podmiotów (grupa dużych organizatorów); 2) wskazanie PK jako POI - postać analogowa; 3) okna czasowe i max czas oczekiwania na przystanku - postać analogowa (nie wymagająca postaci cyfrowej); 4) graf sieci - postać cyfrowa (w większości modele ruchu);</p> <ul style="list-style-type: none"> • K5 - aktualność inf.: 1) rozkłady jazdy - w postaci analogowej aktualizacja raz na rok lub rzadziej (bez rygoru weryfikacji zmian), w postaci cyfrowej: częsta aktualizacja (kilka razy w tygodniu) dla GTFS, rzadziej dla przypadków nie objętych standardem GTFS; 2) wskazanie PK jako POI - aktualizacja z częstotliwością tworzenia planów transp. - raz na kilka lat; 3) okna czasowe i max czas oczekiwania na przystanku - j.w.; 4) graf sieci - j.w. <p>Rekomendacja: Algorytm należy odrzuć z uwagi na niedostępność, niską aktualność i konieczność prowadzenia kosztownych i długotrwałych badań w celu pozyskania niezbędnych danych.</p>
2	Czas dojazdu - Algorytm 2 (3.3.1.2)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża - uwzględnia wszystkie składowe czasu przejazdu z pkt. początkowe- go (PP) do końcowego (PK); • K2 - komplementarność algo.: pozwala wyznaczyć koszt wykonania podróży PP-PK, wymaga połączenia z algorytmem: pomocniczym w zakresie planowania przesiadek oraz rozróżnienia charakteru obszaru; wymaga utworzenia indywidualnych (z dokładnością do pkt. adresowego - PA) planu podróży (trasa, liczba przesiadek, uwzględnienie rozkładów jazdy); • K3 - rodzaj i dostępność inf.: 1) rozkłady jazdy w postaci GTFS są dostępne w większości u podmiotów prywatnych, publicznie w stopniu znikomym (tu dominuje postać analogowa wymagająca prowadzenia cyfryzacji); 2) okna czasowe - dane publiczne, możliwe założenia analityczne dot. realizacji podróży dojazdowych i powrotnych na podstawie wyników badań dot. planów transp.; 3) wskazanie siedzib gminy i powiatów jako PK - nie wymaga dodatkowych badań

		<p>(należy wskazać kilka alternatywnych lokalizacji, dane publiczne); 4) wartości progowe czasu dojazdu - dane literaturowe - publiczne (wyniki badań);</p> <ul style="list-style-type: none"> • K4 - postać inf.: 1) rozkłady jazdy w postaci GTFS - postać cyfrowa (pozwala na odwzorowanie sieci połączeń PTZ), spora część danych cyfrowych nie jest zgodna z żadnym standardem (wymaga przekształcenia do GTFS); 2) okna czasowe - postać analogowa, nie wymagająca postaci cyfrowej i nie wymaga danych osobowych; 3) wskazanie PK - dane analogowe (wyniki badań w ramach planów transp.), wymaga zbudowania danych cyfrowych (macierz O-D); 4) wartości progowe czasu dojazdu - dane analogowe (nie wymagają cyfryzacji - stanowią parametr globalny); • K5 - aktualność inf.: 1) rozkłady jazdy w stand. GTFS aktualizowane są z dużą częstotliwością (w dużych ośrodkach kilka razy w tygodniu); 2) okna czasowe - informacje aktualizowane z częstotliwością tworzenia planów transp. - raz na kilka lat; 3) wskazanie PK - aktualizacja raz na kilka lat (z częstotliwością tworzenia planów transp./ badań mobilności); 4) wartości progowe czasu dojazdu - aktualizowane raz na kilka lat (w ramach badania zmian zachowań komunikacyjnych). <p>Rekomendacja: Algorytm należy przyjąć do dalszych rozważań i testów, przy założeniu konieczności uzyskania wszystkich rozkładów jazdy w postaci cyfrowej (GTFS)</p>
3	Koszt dojazdu - Algorytm 1 (3.3.2.1)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża - odzwierciedla rzeczywiste i całkowite koszty realizacji regularnych podróży z wykorzystaniem PTZ; • K2 - komplementarność algo.: wymaga ustalenia szczegółowego planu podróży (liczba przesiadek, liczba operatorów - taryf, czas podróży dla taryf czasowych); • K3 - rodzaj i dostępność inf.: 1) cena biletu jednorazowego - informacja jest publiczna i dostępna w dużych aglomeracjach, w mniejszych ośrodkach i w transporcie regionalnym jest niedostępna (standard GTFS nie jest dostosowany do wszystkich systemów taryfowych funkcjonujących w Polsce); 2) cena biletu

		<p>miesięcznego - j.w.; 3) próg akceptacji kosztowej - dane literaturowe - publiczne (wyniki badań); 4) przeciętne miesięczne wynagrodzenie brutto na terenie jedn. samorz. - JST (gmina, powiat) - dane statystyczne - publicznie dostępne;</p> <ul style="list-style-type: none"> • K4 - postać inf.: 1) cena biletu jednorazowego - w postaci cyfrowej w standardzie GTFS występuje sporadycznie, spora część cyfrowych danych taryfowych nie jest zgodna z żadnym standardem (wymaga przekształcenia do GTFS), dominują informacje analogowe (stanowiące załącznik do zaświadczeń) - wymaga cyfryzacji; 2) ceny biletów miesięcznych - j.w.; 3) próg akceptacji kosztowej - w postaci analogowej (nie wymaga cyfryzacji; stanowi globalny parametr); 4) przeciętne miesięczne wynagrodzenie brutto na terenie JST - dane cyfrowe powiązane z kodem TERYT; • K5 - aktualność inf.: 1) cena biletu jednorazowego - taryfikatory w stand. GTFS aktualizowane są przy każdej zmianie w rozkładzie - z dużą częstotliwością (w dużych ośrodkach kilka razy w tygodniu); taryfikatory analogowe - najczęściej wraz z aktualizacją zezwoleń/zaświadczeń (raz na rok lub rzadziej); 2) ceny biletów miesięcznych - j.w.; 3) próg akceptacji kosztowej - aktualizacja w związku ze zmianami w mobilności (monitorowanie raz na rok lub rzadziej); 4) przeciętne miesięczne wynagrodzenie brutto na terenie JST - aktualizowane kwartalnie; <p>Rekomendacja: Algorytm należy przyjąć do dalszych rozważań i testów, przy założeniu konieczności uzyskania wszystkich taryfikatorów biletów jednorazowych i miesięcznych w postaci cyfrowej (GTFS).</p>
4	Koszt dojazdu - Algorytm 2 (3.3.2.2)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - K5 j.w, z pominięciem biletów jednorazowych. <p>Rekomendacja: Algorytm należy przyjąć do dalszych rozważań i testów, przy założeniu konieczności uzyskania wszystkich taryfikatorów biletów miesięcznych w postaci cyfrowej (GTFS).</p>

5	Częstość kursowania - Algorytm 1 (3.3.3.1)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża - uwzględnia wszystkie przystanki na analizowanym terenie, poddając sumowaniu kursy dla wszystkich przystanków spełniających warunek dostępności przestrzennej tych przystanków; • K2 - komplementarność algo.: dla ograniczenia obszaru poszukiwań wymaga uwzględnienia składowej dostępności przestrzennej przystanków (3.3.4.1-3.3.4.3); • K3 - rodzaj i dostępność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - informacja publicznie dostępna, np. baza OSM, jednak nieustandaryzowana w zakresie nazewnictwa; 2) lokalizacja PA - publicznie dostępna, np. baza GUGiK, 3) rozkłady jazdy - w postaci analogowej formalnie publicznie dostępne ale trudna do uzyskania (por. Zad. 6-9) , cyfrowa postać (w dużej części poza stand. GTFS) w posiadaniu podmiotów prywatnych, a publicznie dostępna tylko dla wybranych (dużych) organizatorów; 4) przedziały czasowe - informacja dostępna publicznie (raporty, publikacje); • K4 - postać inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - postać cyfrowa (np. OSM) jednak nieustandaryzowana; 2) lokalizacja PA - cyfrowa; 3) rozkłady jazdy - zróżnicowana postać: post. analogowa dominująca, cyfrowa (zgodna ze standardami GTFS i poza nim) w posiadaniu podmiotów prywatnych, a publicznie dostępna tylko dla wybranych podmiotów (grupa dużych organizatorów); 4) przedziały czasowe - postać analogowa (nie wymaga cyfryzacji, parametr globalny); • K5 - aktualność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - nieregularnie aktualizowane (nie objęta rygiem ciągłej aktualizacji), 2) lokalizacja PA - nieregularna, ale częsta aktualizacja; 3) rozkłady jazdy - w postaci analogowej aktualizacja raz na rok lub rzadziej (bez rygoru weryfikacji zmian), w postaci cyfrowej: częsta aktualizacja (kilka razy w tygodniu) dla GTFS, rzadziej dla przypadków nie objętych standardem GTFS; 4) przedziały czasowe - aktualizacja nieregularna (badanie zachowań komunikacyjnych). <p>Rekomendacja:</p>
---	--	---

		Algorytm należy przyjąć do dalszych rozważań i testów, przy założeniu konieczności uzyskania wszystkich rozkładów jazdy w postaci cyfrowej (GTFS).
6	Częstość kursowania - Algorytm 2 (3.3.3.2)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża - uwzględnia wszystkie przystanki na analizowanym terenie, bez wskazywania (na tym etapie) dostępności przestrzennej przystanków; • K2 - komplementarność algo.: brak bezpośredniego powiązania z innymi składowymi WK (upraszcza algorytm ale zwiększa skalę obliczeń: każdy PK z każdym potencjalnym PP); • K3 - rodzaj i dostępność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - informacja publicznie dostępna, np. baza OSM, jednak nieustandaryzowana w zakresie nazewnictwa; 2) rozkłady jazdy - w postaci analogowej formalnie publicznie dostępna ale trudna do uzyskania (por. Zad. 6-9) , cyfrowa postać (w dużej części poza stand. GTFS) w posiadaniu podmiotów prywatnych, a publicznie dostępna tylko dla wybranych (dużych) organizatorów; 3) przedziały czasowe - informacja dostępna publicznie (raporty, publikacje); • K4 - postać inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - postać cyfrowa (np. OSM) jednak nieustandaryzowana; 2) rozkłady jazdy - zróżnicowana postać: post. analogowa dominująca, cyfrowa (zgodna ze standardami GTFS i poza nim) w posiadaniu podmiotów prywatnych, a publicznie dostępna tylko dla wybranych podmiotów (grupa dużych organizatorów); 3) przedziały czasowe - postać analogowa (nie wymaga cyfryzacji, parametr globalny); • K5 - aktualność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - nieregularnie aktualizowane (nie objęta rygiem ciągłej aktualizacji); 2) rozkłady jazdy - w postaci analogowej aktualizacja raz na rok lub rzadziej (bez rygoru weryfikacji zmian), w postaci cyfrowej: częsta aktualizacja (kilka razy w tygodniu) dla GTFS, rzadziej dla przypadków nie objętych standardem GTFS; 3) przedziały czasowe - aktualizacja nieregularna (badanie zachowań komunikacyjnych). <p>Rekomendacja:</p>

		Algorytm należy przyjąć do dalszych rozważań i testów, przy założeniu konieczności uzyskania wszystkich rozkładów jazdy w postaci cyfrowej (GTFS).
7	Dostępność przestrzenna przystanku - Algorytm 1 (3.3.4.1)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża, uwzględnia wiele czynników ilościowej oceny możliwości dotarcia do przystanku najkrótsza drogą; • K2 - komplementarność algo.: stanowi alternatywne uzupełnienie algo. ustalenia częstości kursowania (algo. 1 - por. 3.3.3.1); • K3 - rodzaj i dostępność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - informacja publicznie dostępna, np. baza OSM, jednak nieustandaryzowana w zakresie nazewnictwa; 2) lokalizacja PA - publicznie dostępna, np. baza GUGiK; 3) rozkłady jazdy - w postaci analogowej formalnie publicznie dostępna ale trudna do uzyskania (por. Zad. 6-9), cyfrowa postać (w dużej części poza stand. GTFS) w posiadaniu podmiotów prywatnych, a publicznie dostępna tylko dla wybranych (dużych) organizatorów; 4) zbiór parametrów - informacja dostępna publicznie (raporty, publikacje); • K4 - postać inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - postać cyfrowa (np. OSM) jednak nieustandaryzowana; 2) lokalizacja PA - cyfrowa; 3) rozkłady jazdy - zróżnicowana postać: post. analogowa dominująca, cyfrowa (zgodna ze standardami GTFS i poza nim) w posiadaniu podmiotów prywatnych, a publicznie dostępna tylko dla wybranych podmiotów (grupa dużych organizatorów); 4) zbiór parametrów - postać analogowa (nie wymaga cyfryzacji, parametry globalne); • K5 - aktualność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - nieregularnie aktualizowane (nie objęta rygiem ciągłej aktualizacji); 2) lokalizacja PA - nieregularna, ale częsta aktualizacja; 3) rozkłady jazdy - w postaci analogowej aktualizacja raz na rok lub rzadziej (bez rygoru weryfikacji zmian), w postaci cyfrowej: częsta aktualizacja (kilka razy w tygodniu) dla GTFS, rzadziej dla przypadków nie objętych standardem GTFS; 4) zbiór parametrów - aktualizacja nieregularna (badanie zachowań komunikacyjnych).

		<p>Rekomendacja: Algorytm można przyjąć do dalszych rozważań i testów, przy czym wymaga pozyskania danych rozkładowych w postaci cyfrowej i charakteryzuje się znaczną złożonością obliczeniową.</p>
8	<p>Dostępność przestrzenna przystanku - Algorytm 2 (3.3.4.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: względnie duża, uwzględnia odległość z PA do przystanków PP znajdujących się w obszarze wytyczonym promieniem; • K2 - komplementarność algo.: stanowi alternatywne uzupełnienie algo. ustalenia częstości kursowania (por. algo. 1, rozdz. 3.3.3.1); wymaga połączenia z algorytmem pomocniczym - rozróżnienie badanego obszaru • K3 - rodzaj i dostępność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - informacja publicznie dostępna, np. baza OSM, jednak nieustandaryzowana w zakresie nazewnictwa; 2) lokalizacja PA - publicznie dostępna, np. baza GUGiK; 3) promień okręgu (obszaru) - informacja dostępna publicznie (raporty, publikacje); • K4 - postać inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - postać cyfrowa (np. OSM) jednak nieustandaryzowana; 2) lokalizacja PA - cyfrowa; 3) promień okręgu (obszaru) - postać analogowa (nie wymaga cyfryzacji, parametr); • K5 - aktualność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - nieregularnie aktualizowane (nie objęta rygiem ciągłej aktualizacji); 2) lokalizacja PA - nieregularna, ale częsta aktualizacja; 3) promień okręgu (obszaru) - aktualizacja nieregularna (badanie zachowań komunikacyjnych). <p>Rekomendacja: Algorytm należy przyjąć do dalszych rozważań i testów - brak zastrzeżeń.</p>
9	<p>Dostępność przestrzenna przystanku - Algorytm 3 (3.3.4.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - K5 jak dla Algorytmu 2 (por. rozdz.3.3.4.2) <p>Rekomendacja: Algorytm należy przyjąć do dalszych rozważań i testów.</p>
10	<p>Dostępność dla osób ze szczególnymi potrzebami - Algorytm 1 (3.3.5.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: jest pochodną dokładności algorytmów składowych, tj.: podstawowego - przestrzennej dostępności przystanku, pomocniczego - uwzględnienie przesiadek; wymaga również ustalenia

		<p>szczegółowego planu podróży (przebieg trasy, liczba przesiadek);</p> <ul style="list-style-type: none"> • K2 - komplementarność algo.: j.w. (K1); • K3 - K5 wynika z analizy algorytmów składowych, a dodatkowa kluczowa informacja - dostępność przystanku (PP) dla osób ze szczególnymi potrzebami; informacja ta jest niedostępna w pełnym wymiarze (jedynie operator PKP PLK dysponuje takimi informacjami), brak jest informacji analogowej (wymagane przeprowadzenie dodatkowych badań inwentarzowych - ok. 250-300 tys. przystanków); bez rozwiązań systemowych aktualność niemożliwa do utrzymania (postulowana budowa referencyjnej bazy przystankowej). <p>Rekomendacja: Algorytm należy odrzuć z uwagi na brak informacji o dostosowaniu przystanków dla osób ze szczególnymi potrzebami.</p>
11	<p>Dostępność dla osób ze szczególnymi potrzebami - Algorytm 2 (3.3.5.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: jest pochodną dokładności algorytmów cząstkowych, tj.: podstawowych - czasu dojazdu i przestrzennej dostępności przystanku, pomocniczego - uwzględnienie przesiadek; • K2 - komplementarność algo.: j.w. (K1) • K3 - rodzaj i dostępność inf.: jak w przypadku algorytmów cząstkowych • K4 - postać inf.: jak w przypadku algorytmów cząstkowych; • K5 - aktualność inf.: jak w przypadku algorytmów cząstkowych. <p>Rekomendacja: Algorytm można przyjąć do dalszych rozważań i testów, przy czym wymaga: 1) zastosowania przyjętych algorytmów cząstkowych, 2) pozyskania danych niezbędnych do ich wyznaczenia.</p>
12	<p>Dostępność dla osób ze szczególnymi potrzebami - Algorytm 3 (3.3.5.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: musi zostać zweryfikowana na podstawie testów - eksperymentów obliczeniowych, niemniej z założenia obejmuje wszystkie składowe czasowe i przestrzenne realizowanych podróży regularnych;

		<ul style="list-style-type: none"> • K2 - komplementarność algo.: jest powiązany z algorytmami podstawowymi: czasu dojazdu i dostępności przestrzennej przystanków; • K3 - rodzaj i dostępność inf.: zgodnie z informacjami wymaganymi w perspektywie algorytmów składowych; dodatkowo: parametr <i>wheelchair accessibility</i> - informacja publicznie niedostępna w sposób systemowy; • K4 - postać inf.: zgodnie z informacjami wymaganymi w perspektywie algorytmów składowych; dodatkowo: parametr <i>wheelchair accessibility</i> - informacja niedostępna w sposób systemowy; • K5 - aktualność inf.: zgodnie z informacjami wymaganymi w perspektywie algorytmów składowych; dodatkowo: parametr <i>wheelchair accessibility</i> - informacja niedostępna w sposób systemowy; <p>Rekomendacja: Algorytm należy odrzucić z uwagi na brak informacji o dostosowaniu przystanków dla osób ze szczególnymi potrzebami (<i>wheelchair accessibility</i>).</p>
13	Niezawodność czasu podróży - Algorytm 1 (3.3.6.1)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża dokładność - pozwala na ocenę niezawodności w każdym punkcie adresowym PA; • K2 - komplementarność algo.: nie jest powiązany, ani nie wpływa na żaden z pozostałych analizowanych algorytmów - jest uzupełnieniem oceny zjawiska WK; • K3 - rodzaj i dostępność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - informacja publicznie dostępna, np. baza OSM, jednak nieustandaryzowana w zakresie nazewnictwa; 2) lokalizacja PA - publicznie dostępna, np. baza GUGiK; 3) rozkłady jazdy - w postaci analogowej formalnie publicznie dostępna ale trudna do uzyskania (por. Zad. 6-9), cyfrowa postać (w dużej części poza stand. GTFS) w posiadaniu podmiotów prywatnych, a publicznie dostępna tylko dla wybranych (dużych) organizatorów; 4) zbiór parametrów - informacja dostępna publicznie (raporty, publikacje); • K4 - postać inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - postać cyfrowa (np. OSM) jednak nieustandaryzowana; 2)

		<p>lokalizacja PA - cyfrowa; 3) rozkłady jazdy - zróżnicowana postać: post. analogowa dominująca, cyfrowa (zgodna ze standardami GTFS i poza nim) w posiadaniu podmiotów prywatnych, a publicznie dostępna tylko dla wybranych podmiotów (grupa dużych organizatorów); 4) zbiór parametrów - informacja analogowa (nie wymaga postaci cyfrowego zbioru);</p> <ul style="list-style-type: none"> • K5 - aktualność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - nieregularnie aktualizowane (nie objęta rygiem ciągłej aktualizacji); 2) lokalizacja PA - nieregularna, ale częsta aktualizacja; 3) rozkłady jazdy - w postaci analogowej aktualizacja raz na rok lub rzadziej (bez rygoru weryfikacji zmian), w postaci cyfrowej: częsta aktualizacja (kilka razy w tygodniu) dla GTFS, rzadziej dla przypadków nie objętych standardem GTFS; 4) zbiór parametrów - aktualizacja nieregularna (badanie zachowań komunikacyjnych). <p>Rekomendacja: Algorytm należy przyjąć do dalszych rozważań i testów, przy założeniu konieczności uzyskania wszystkich rozkładów jazdy w postaci cyfrowej (GTFS).</p>
14	Niezawodność czasu podróży - Algorytm 2 (3.3.6.2)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża dokładność - pozwala na ocenę niezawodności w każdym punkcie adresowym PA; • K2 - komplementarność algo.: nie jest powiązany, ani nie wpływa na żaden z pozostałych analizowanych algorytmów - jest uzupełnieniem oceny zjawiska WK; • K3 - K5: j.w. w zakresie Algorytmu 1 (por. 3.3.6.1). <p>Rekomendacja: Algorytm należy przyjąć do dalszych rozważań i testów, przy założeniu konieczności uzyskania wszystkich rozkładów jazdy w postaci cyfrowej (GTFS).</p>

¹ K1 - dokładność odzwierciedlenia składowej WK, K2 - komplementarność z innymi składowymi WK, K3 - rodzaj i dostępność wymaganych informacji (publiczna/prywatna/osobowa), K4 - postać wymaganych informacji (cyfrowa vs. analogowa), K5 - aktualność wymaganych informacji (częstotliwość aktualizacji).

Podsumowanie rekomendacji - W powyższej tablicy przedstawiono szczegółową analizę podstawowych algorytmów cząstkowych - APD, stanowiących zakładane składowe wskaźnika wykluczenia WK. Z 14 zaprezentowanych algorytmów:

- **11 algorytmów zostało rekomendowanych do dalszych analiz i testów** obliczeniowych, z czego w ramach poszczególnych składowych - 1 algo. z zakresu czasu dojazdu, 2 algo. z zakresu kosztu dojazdu, 2 algo. z zakresu częstotliwości kursowania, 3 algo. w zakresie dostępności przestrzennej przystanku, 1 algo. z zakresu dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami i 2 algo. z zakresu niezawodności czasu podróży;
- 3 zostały odrzucone z uwagi brak lub niewystarczającą dokładność informacji jakie stanowią kluczowe wielkości i parametry wejściowe.

Spełniony został zatem kamień milowy KM4.1 zakładający, że lista rekomendowanych algorytmów podstawowych powinna zawierać minimum 10 propozycji.

6.2. Analiza porównawcza pomocniczych algorytmów przy wyznaczaniu wykluczenia komunikacyjnego

6.2.1. Założenia dotyczące analiz w zakresie wyboru pomocniczych algorytmów przy wyznaczaniu WK

Podobnie jak w zakresie oceny podstawowych algorytmów, również w ocenie pomocniczych algorytmów wyznaczania składowych WK, przyjęto ten sam zbiór kryteriów, tj.: K1 - kompleksowość odzwierciedlenia analizowanej składowej, K2 - komplementarność z innymi algorytmami, K3 - rodzaj i dostępność informacji wejściowej niezbędnej do wyznaczania wartości składowej, K4 - postać wymaganych informacji wejściowych, K5 - aktualność wymaganych informacji wejściowych.

W analizie uwzględniono propozycje algorytmów przedstawione w rozdz. 3.3.7 - 3.3.8. Jako zakładany rezultat przyjęto, że do dalszych etapów badań powinna zostać

skierowana lista minimum 2 rekomendowanych algorytmów pomocniczych (KM4.4), uwzględniających możliwość przesiadek w ramach systemu PTZ.

6.2.2. Rezultaty analiz w zakresie wyboru algorytmów pomocniczych przy wyznaczaniu WK

Wyniki przeprowadzonych analiz w zakresie algorytmów pomocniczych, zgodnie z założeniami zaprezentowanymi w poprzednim podrozdziale, przedstawiono w tab. 14.

Tab. 14. Analiza w zakresie wyboru algorytmów pomocniczych przy wyznaczaniu WK

Lp.	Nazwa algorytmu (rozdz.)	Argumenty za akceptacją/odrzucaeniem ¹
1	Planowanie przesiadek - Algorytm 1 (3.3.7.1)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża dokładność, jednakże istotne ograniczenie zakresu zastosowania - do budowy tras z pojedynczą przesiadką; • K2 - komplementarność algo.: niezbędny do zastosowania w algorytmach podstawowych - czas dojazdu i koszt dojazdu; • K3 - rodzaj i dostępność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - informacja publicznie dostępna, np. baza OSM, jednak nieustandaryzowana w zakresie nazewnictwa; 2) rozkłady jazdy - w postaci analogowej formalnie publicznie dostępna ale trudna do uzyskania, cyfrowa postać (w dużej części poza stand. GTFS) w posiadaniu podmiotów prywatnych, a publicznie dostępna tylko dla wybranych (dużych) organizatorów; 3) zbiór parametrów - informacja dostępna publicznie (raporty, publikacje); • K4 - postać inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - postać cyfrowa (np. OSM) jednak nieustandaryzowana; 2) rozkłady jazdy - zróżnicowana postać: analogowa dominująca, cyfrowa (zgodna ze standardami GTFS i poza nim) w posiadaniu podm. prywatnych, a publicznie dostępna tylko dla wybranych podmiotów; 3) zbiór parametrów - postać analogowa (nie wymaga postaci cyfrowego zbioru); • K5 - aktualność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - nieregularnie aktualizowane (nie objęta rygiem

		<p>ciągłej aktualizacji); 2) rozkłady jazdy - w postaci analogowej aktualizacja raz na rok lub rzadziej (bez rygoru weryfikacji zmian), w postaci cyfrowej: częsta aktualizacja (kilka razy w tygodniu) dla GTFS, rzadziej dla niestandardyzowanych; 3) zbiór parametrów - aktualizacja nieregularna (badanie zachowań komunikacyjnych).</p> <p>Rekomendacja: Algorytm należy warunkowo przyjąć - z uwagi na istotne ograniczenie liczby przesiadek. Może znaleźć zastosowanie jako uzupełnienie wybranego algorytmu podstawowego - dostępność dla osób z specjalnymi potrzebami (max. 1 przesiadka)</p>
2	<p>Planowanie przesiadek - Algorytm 2 (3.3.7.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża dokładność oraz brak ograniczenia liczby przesiadek (skończona liczba przesiadek); • K2 - komplementarność algo.: niezbędny do zastosowania w algorytmach podstawowych - czas dojazdu i koszt dojazdu; • K3 - K5 jak wyżej (por. Algorytm 1, rozdz. 3.3.7.1) <p>Rekomendacja: Algorytm należy przyjąć do dalszych rozważań i testów, przy założeniu konieczności uzyskania wszystkich rozkładów jazdy w postaci cyfrowej (GTFS).</p>
3	<p>Rozróżnienie charakteru badanego obszaru - Algorytm 1 (3.3.8.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża - pozwala na kompleksową klasyfikację analizowanego obszaru w zależności od stwierdzonych warunków i rodzaju POI; • K2 - komplementarność algo.: stanowi uzupełnienie podstawowego algorytmu - dostępności przystanku; • K3 - rodzaj i dostępność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - informacja publicznie dostępna, np. baza OSM, jednak nieustandardyzowana w zakresie nazewnictwa; 2) lokalizacja PA - publicznie dostępna, np. baza GUGiK; 3) lokalizacja POI - publicznie dostępna w zakresie ośrodków użyteczności publicznej, ograniczona dostępność pozostałych POI (miejsca pracy); 4) zbiór parametrów - informacja dostępna publicznie (raporty, publikacje); 5) alokacja punktu docelowego (POI) dla każdego PA - wymaga dodatkowych badań;

		<ul style="list-style-type: none"> • K4 - postać inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - postać cyfrowa (np. OSM) jednak nieustandaryzowana; 2) lokalizacja PA - cyfrowa; 3) lokalizacja POI - dostępne zbiory - cyfrowa; 4) zbiór parametrów - informacja analogowa (nie wymaga postaci cyfrowego zbioru); 5) alokacja punktu docelowego (POI) dla każdego PA - wymaga dodatkowych badań (postać do ustalenia w ramach badań); • K5 - aktualność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - nieregularnie aktualizowane (nie objęta rygiem ciągłej aktualizacji); 2) lokalizacja PA - nieregularna, ale częsta aktualizacja; 3) lokalizacja POI - nieregularna, ale częsta aktualizacja; 4) zbiór parametrów - aktualizacja nieregularna (badanie zachowań komunikacyjnych); 5) alokacja punktu docelowego (POI) dla każdego PA - wymaga dodatkowych badań (aktualizacja na żądanie). <p>Rekomendacja: Algorytm należy warunkowo przyjąć do dalszych analiz i testów pod warunkiem eliminacji niezbędnej klasyfikacji POI (z uwagi na brak niezbędnych danych alokacji PA - POI) - np. zastąpienie siedzibą gminy lub powiatu.</p>
4	Rozróżnienie charakteru badanego obszaru - Algorytm 2 (3.3.8.2)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża - pozwala na kompleksową parametryzację analizowanego obszaru, niezależnie od rodzaju POI; • K2 - komplementarność algo.: stanowi uzupełnienie podstawowego algorytmu - dostępności przystanku; • K3 - K5 jak wyżej (dot. algorytmu 1, rozdz. 3.3.8.2), za wyjątkiem informacji o alokacji punktu docelowego (w tym algorytmie POI nie są rozróżniane). <p>Rekomendacja: Algorytm należy przyjąć do dalszych rozważań i testów, bez dodatkowych warunków i zastrzeżeń.</p>
5	Rozróżnienie charakteru badanego obszaru - Algorytm 3 (3.3.8.3)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: niska w zakresie rozróżnialności obszaru - pozwala na dyskretyzację analizowanego obszaru (dostępność do przystanków), nie uwzględnia POI i oceny, czy przystanek jest aktywny, czy nie; • K2 - komplementarność algo.: stanowi niezależny od algorytmów podstawowych klasyfikator wykluczenia; • K3 - rodzaj i dostępność inf.: 1) lokalizacja przystanków

		<p>PTZ - informacja publicznie dostępna, np. baza OSM, jednak nieustandaryzowana w zakresie nazewnictwa;</p> <p>2) lokalizacja PA - publicznie dostępna, np. baza GUGiK;</p> <p>3) parametr (promień) - publicznie dostępny (raporty, wyniki badań);</p> <ul style="list-style-type: none"> • K4 - postać inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - postać cyfrowa (np. OSM) jednak nieustandaryzowana; 2) lokalizacja PA - cyfrowa; 3) parametr (promień) - post. analogowa (nie wymagana cyfrowa); • K5 - aktualność inf.: 1) lokalizacja przystanków PTZ - nieregularnie aktualizowane (nie objęta rygiem ciągłej aktualizacji); 2) lokalizacja PA - nieregularna, ale częsta aktualizacja; 3) parametr (promień) - według zapotrzebowania, np. w ramach badań zachowań komunikacyjnych. <p>Rekomendacja: Algorytm należy odrzuć - pomimo dostępności i cyfrowej postaci niezbędnych danych algorytm stanowi niezależny od podstawowych algorytmów klasyfikator obszaru (nie stanowi uzupełnienia). Charakteryzuje się również niską precyzją względem całego analizowanego obszaru.</p>
6	<p>Rozróżnienie charakteru badanego obszaru - Algorytm 4 (3.3.8.4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - dokładność algo.: duża - pozwala na klasyfikację analizowanego obszaru w zależności od stwierdzonych warunków i rodzaju POI; • K2 - komplementarność algo.: stanowi niezależny od algorytmów podstawowych klasyfikator wykluczenia; • K3 - K5 jak wyżej, w przypadku Algorytmu 1 (por. 3.3.8.1). <p>Rekomendacja: Algorytm należy warunkowo przyjąć do dalszych analiz i testów pod warunkiem eliminacji niezbędnej klasyfikacji POI (z uwagi na brak niezbędnych danych alokacji PA - POI) - np. zastąpienie siedzibą gminy lub powiatu.</p>

¹ K1 - dokładność odzwierciedlenia składowej WK, K2 - komplementarność z innymi składowymi WK, K3 - rodzaj i dostępność wymaganych informacji (publiczna/prywatna/osobowa), K4 - postać wymaganych informacji (cyfrowa vs. analogowa), K5 - aktualność wymaganych informacji (częstotliwość aktualizacji).

Podsumowanie rekomendacji - W powyższej tablicy przedstawiono szczegółową analizę pomocniczych algorytmów cząstkowych, stanowiących uzupełnienie podstawowych algorytmów. Z sześciu zaprezentowanych algorytmów:

- 5 algorytmów zostało rekomendowanych do dalszych analiz i testów obliczeniowych, z czego w ramach poszczególnych składowych - 2 algo. z zakresu planowania przesiadek (w tym jeden warunkowo) i 3 algo. w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru (w tym 2 warunkowo);
- 1 został odrzucony, w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru, z uwagi na niewystarczającą precyzję klasyfikacji analizowanego obszaru,

Spełniony został zatem kamień milowy KM4.4 zakładający, że lista rekomendowanych algorytmów pomocniczych powinna zawierać minimum 2 propozycje uwzględniające możliwość przesiadek w ramach systemu PTZ.

6.3. Analiza porównawcza algorytmów integrujących składowe WK

W ramach niniejszego zadania przyjęto założenie, że wszystkie opracowane algorytmy integracji składowych WK (por. rozdz. 4) **należy przyjąć do dalszych testów** - przeprowadzenia eksperymentów obliczeniowych. W doborze konkretnych składowych WK należy kierować się wyłącznie rekomendowanymi rozwiązaniami (patrz rozdz. 6.1 i 6.2), które zostały przeanalizowane pod względem dokładności, komplementarności oraz dostępności, formy i postaci niezbędnych danych.

W ramach propozycji integracji algorytmów składowych WK z dokładnością do punktu adresowego (PA) przyjęto 4 podstawowe propozycje (1-4), oraz dodatkowe propozycje (5-6), a także odrębny wariantowy algorytm APD6, dedykowany przypadkowi badania wykluczenia przy uwzględnieniu osób z niepełnosprawnością. W sumie jest to 7 algorytmów, będących:

- propozycja 1 - dyskretną integracją składowych wykluczenia (niespełnienie jednego z pięciu kryteriów podstawowych APD1-APD5 powoduje uznanie PA za

wykluczony - podejście dyskryminacyjne), analizując łańcuch podróży od PA początku podróży (PAPP) do końca podróży (PAKP);

- propozycja 2 - ciągłą integracją składowych wykluczenia (WK dla PA stanowi uśrednienie składowych APD1-APD5 ocenianych w przedziale $(0,1)$), analizując łańcuch podróży PAPP-PAKP, jak w propozycji 1;
- propozycja 3 - dyskretną integracją składowych, jak w propozycji 1, analizując łańcuch podróży od przystanku początkowego (StPP) do końcowego (StKP);
- propozycję 4 - ciągłą integracją składowych WK, jak w propozycji 2, analizując łańcuch podróży StPP-StKP, jak w propozycji 3.
- propozycja 5 - dyskretną integracją składowych wykluczenia (dyskryminacyjne podejście na podstawie algorytmów APD1-APD5) i kombinacją podejścia PAPP-PAKP oraz StPP-StKP;
- propozycja 6 - ciągłą integracją składowych wykluczenia (uśredniona miara algorytmów APD1-APD5) i kombinacją podejścia PAPP-PAKP oraz StPP-StKP;
- opcjonalny algorytm APD6 - przy uwzględnieniu osób ze szczególnymi potrzebami, przy czym: scenariusz 1 stanowi podejście dyskretne, przy czym:
 - wariant 1 uwzględnia wyłącznie osoby ze szczególnymi potrzebami,
 - wariant 2 uwzględnia jednocześnie osoby bez i ze szczególnymi potrzebami,

oraz scenariusz 2 stanowiący podejście ciągłe, przy czym:

- wariant 1 uwzględnia wyłącznie osoby ze szczególnymi potrzebami,
- wariant 2 uwzględnia jednocześnie osoby bez i ze szczególnymi potrzebami.

Ostateczna rekomendacja - wobec braku fundamentalnych zastrzeżeń co do dostępności informacji stanowiących podstawę wyznaczenia algorytmów składowych (APD1-APD5, oraz APD6), tj. istnieje przynajmniej jedna propozycja algorytmu podstawowego rekomendowana do dalszych testów (eksperymentów obliczeniowych), do dalszej weryfikacji **zostało skierowanych 7 wymienionych algorytmów integracyjnych**. Z uwagi na ewolucję ich tworzenia, weryfikację należy rozpocząć od propozycji 5 i 6 oraz opcjonalnego algorytmu APD6, a w przypadku niepowodzenia

możliwe jest skorzystanie z pierwotnych propozycji (1-4). Rekomendacja ta spełnia założone parametry kamienia milowego, wskazujące, że do dalszych testów powinno być skierowanych minimum 4 algorytmy integracyjne (por. KM4.2).

6.4. Analiza porównawcza algorytmów agregujących składowe WK

6.4.1. Założenia dotyczące analiz w zakresie wyboru algorytmów agregacji przy wyznaczaniu wskaźnika WK dla JST

W zakresie wyboru algorytmów agregacji wskaźnika WK dla JST analizie poddano trzy koncepcje agregacyjne, tj.:

- agregację na poziomie składowych WK dla PA;
- agregację na poziomie WK dla PA, w tym algorytm dyskretny i ciągły;
- wykorzystanie makro wskaźników charakteryzujących JST oraz charakterystyki PTZ do wyznaczenia wskaźnika WK.

Rekomendacji algorytmów do dalszych analiz i testów dokonano na podstawie następujących założeń - kryteriów:

- **K1 - wpływ charakterystyki obszaru JST na wynik agregacji,**
- **K2 - związek algorytmu agregacji z algorytmami integracji składowych WK,**
- **K3 - rodzaj i dostępność dodatkowych informacji** stanowiących podstawę agregacji do poziomu JST, w tym: *prawa własności informacji*, tj. dostępna publicznie, w posiadaniu podmiotów biznesowych, dana osobowa,
- **K4 - postać wymaganych dodatkowych informacji** poddawanych agregacji, tj. analogowa lub cyfrowa;
- **K5 - aktualność dodatkowych informacji** poddawanych agregacji, tj. częstotliwość jej aktualizacji (kilkukrotnie w skali roku, raz do roku, raz na kilka lat).

Według założeń projektowych, do dalszych etapów badań powinny zostać skierowane minimum 2 algorytmy agregacyjne (por. KM4.3).

6.4.2. Rezultaty analiz w zakresie wyboru algorytmów agregacji przy wyznaczaniu wskaźnika WK dla JST

Wyniki przeprowadzonych analiz, zgodnie z założeniami zaprezentowanymi w poprzednim podrozdziale, przedstawiono w poniższej tab. 15.

Tab. 15. Analiza w zakresie wyboru algorytmów agregacji przy wyznaczaniu wskaź. WK dla JST

Lp.	Nazwa algorytmu (rozdz.)	Argumenty za akceptacją/odrzucaeniem
1	Agregacja na poziomie składowych WK dla PA (5.1)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - wpływ charakter. JST na wynik agregacji: występuje ryzyko, że na wynik agregacji dla JST wpływ będą miały cechy JST miejscowości wchodzących w skład JST - konieczne jest nadanie wag poszczególnym PA (np. liczba gospodarstw domowych per PA); • K2 - związek algo. agregacji z algo. integracji składowych WK: pełen - agregacja odbywa się na identycznej zasadzie jak integracja składowych WK; • K3 - rodzaj i dostępność dodatkowych inf.: 1) liczba gospodarstw domowych w ramach PA - informacja dodatkowa niewykorzystywana w algorytmach składowych WK - informacja dostępna publicznie; • K4 - postać dodatkowych inf.: 1) liczba gospodarstw domowych w ramach PA - analogowa; • K5 - aktualność dodatkowych inf.: 1) liczba gospodarstw domowych w ramach PA - bardzo rzadka aktualizacja (przy okazji spisu powszechnego (raz na 10lat). <p>Rekomendacja: Algorytm należy odrzucać z uwagi na wątpliwości w zakresie wpływu charakterystyki JST na wynik agregacji oraz postać i aktualność dodatkowych informacji.</p>
2	Agregacja dyskretna na poziomie WK dla PA (5.2)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - wpływ charakter. JST na wynik agregacji: brak wpływu charakterystyki (struktury) JST na wynik agregacji (wpływ specyfiki obszaru został uwzględniony na poziomie algorytmów składowych WK); • K2 - związek algo. agregacji z algo. integracji składowych WK: agregacji należy dokonywać w oparciu o wyniki dyskretnego integracji składowych WK;

		<ul style="list-style-type: none"> • K3 - rodzaj i dostępność dodatkowych inf.: nie dotyczy; • K4 - postać dodatkowych inf.: nie dotyczy; • K5 - aktualność dodatkowych inf.: nie dotyczy. <p>Rekomendacja: Algorytm agregacji należy przyjąć przy zastrzeżeniu jego wykorzystania do agregacji wskaźników WK dla PA, uzyskanych drogą integracji dyskretnej.</p>
3	Agregacja ciągła na poziomie WK dla PA (5.2)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - wpływ charakter. JST na wynik agregacji: brak wpływu charakterystyki (struktury) JST na wynik agregacji (wpływ specyfiki obszaru został uwzględniony na poziomie algorytmów składowych WK); • K2 - związek algo. agregacji z algo. integracji składowych WK: agregacji należy dokonywać w oparciu o wyniki dyskretnej integracji składowych WK; • K3 - rodzaj i dostępność dodatkowych inf.: nie dotyczy; • K4 - postać dodatkowych inf.: nie dotyczy; • K5 - aktualność dodatkowych inf.: nie dotyczy. <p>Rekomendacja: Algorytm agregacji należy przyjąć przy zastrzeżeniu jego wykorzystania do agregacji wskaźników WK dla PA, uzyskanych drogą integracji ciągłej.</p>
4	Wykorzystanie makro wskaźników JST i PTZ (5.3)	<ul style="list-style-type: none"> • K1 - wpływ charakter. JST na wynik agregacji: występuje ryzyko, że na wynik agregacji dla JST wpływ będą miały cechy JST miejscowości wchodzących w skład JST; • K2 - związek algo. agregacji z algo. integracji składowych WK: brak związku w zakresie makro wskaźników związanych z JST; • K3 - rodzaj i dostępność dodatkowych inf.: 1) poziom bezrobocia - niedostępne na poziomie gminy; 2) poziom dochodów - niedostępne na poziomie gminy; 3) wskaźnik motoryzacji - niedostępne na poziomie gminy; • K4 - postać dodatkowych inf.: 1) poziom bezrobocia - cyfrowa (wg kodu TERY); 2) poziom dochodów - cyfrowa (wg kodu TERYT); 3) wskaźnik motoryzacji - cyf; • rowa (wg kodu TERYT); • K5 - aktualność dodatkowych inf.: 1) poziom bezrobocia - co miesiąc; 2) poziom dochodów - co miesiąc; 3) wskaźnik motoryzacji - co rok.

		Rekomendacja: Algorytm należy odrzuć z uwagi na wielość dodatkowych danych nie wykorzystywanych na etapie wyznaczania składowych WK, oraz brak ich bezpośredniego związku ze składowymi WK.
--	--	--

* K1 - wpływ charakterystyki JST na wynik agregacji, K2 - związek algorytmu agregacji z algorytmami integracji składowych WK, K3 - rodzaj i dostępność dodatkowych informacji stanowiących podstawę agregacji do poziomu JST, K4 - postać wymaganych dodatkowych informacji poddawanych agregacji, K5 - aktualność dodatkowych informacji poddawanych agregacji.

Ostateczna rekomendacja - do dalszych analiz zostały rekomendowane dwa algorytmy, tj agregacja ciągła i dyskretna na poziomie WK dla PA. Rekomendacja ta spełnia założenia kamienia milowego, wskazujące, że do dalszych testów powinny być skierowane minimum 2 algorytmy agregacyjne (por. KM4.3).

7. Podsumowanie

Za cel Zadania 4 przyjęto wypracowanie, analizę i ocenę algorytmów oceny składowych WK oraz ich integracji i agregacji do wskaźnika WK na poziomie PA i JST. Z uwagi na przyjętą definicję zjawiska wykluczenia komunikacyjnego (WK), formalnie nazywanego wykluczeniem od transportowy zbiorowego (WTZ), we wszystkich działaniach Zad. 4 skoncentrowano się na algorytmach funkcjonowania publicznego transportu zbiorowego i jego zdolności do przeciwdziałania występowaniu zjawiska wykluczenia.

Wobec tak zdefiniowanego celu, w ramach Zad. 4 wykonano:

- przegląd stanu wiedzy w zakresie kwantyfikacji zjawiska WK (różne podejścia metodyczne, kryteria oceny i interpretacja zjawiska);
- przegląd stanu wiedzy w odniesieniu do podstawowych algorytmów (kryteriów) składowych WK; uwzględniono takie czynniki, jak: czas dojazdu do celu regularnych podróży, koszt dojazdu do celu regularnych podróży, częstość kursowania PTZ z przystanków w zasięgu dostępności pieszej, dostępność przestrzenną przystanków dostępność dla osób ze szczególnymi potrzebami, niezawodność czasu podróży;
- przegląd literatury w zakresie pomocniczych algorytmów, wspomagających funkcjonowanie algorytmów podstawowych, w tym: planowanie przesiadek, rozróżnienie charakteru badanego obszaru, agregację przestrzenną i miary sieciowe;
- opracowanie autorskich propozycji algorytmów składowych WK, w zakresie algorytmów podstawowych i pomocniczych;
- opracowanie autorskich algorytmów integrujących algorytmy składowe do wskaźnika WK dla punktu adresowego (PA);
- opracowanie autorskich algorytmów agregujących wskaźnik WK do wyższego poziomu, tj. do poziomu JST;
- dobór kryteriów oceny i przeprowadzenie oceny opracowanych algorytmów składowych WK (podstawowych i pomocniczych) zakończony rekomendacją algorytmów do testów obliczeniowych,

- przeprowadzenie oceny opracowanych algorytmów integrujących składowe WK, zakończony rekomendacją algorytmów do testów obliczeniowych,
- dobór kryteriów oceny i przeprowadzenie oceny opracowanych algorytmów agregujących wskaźnik WK dla PA do poziomu JST, zakończony rekomendacją algorytmów do testów obliczeniowych.

U podstaw przeglądu i oceny zaproponowanych algorytmów przyjęto założenie, że prace analityczne związane z identyfikacją zjawiska wykluczenia komunikacyjnego będą prowadzone z dokładnością do punktu adresowego (PA), których w przypadku Polski według Państwowego Rejestru Granic jest ponad 7,5 mln. Wymaga to przede wszystkim dużej szczegółowości prowadzonych obliczeń, a także dostępności niezbędnych danych. Przy ocenie zaproponowanych algorytmów kierowano się zatem nie tylko spójnością metodyczną (kompleksowością i komplementarnością oceny), ale również zapotrzebowaniem informacyjnym, w tym dostępnością danych, ich postacią i częstotliwością aktualizacji. W zamyśle autorów projektu jest bowiem założenie, aby przyjęte tu algorytmy i rozwiązania stanowiły kompromis szczegółowości identyfikacji zjawiska WK oraz powtarzalności i bezkosztowości stosowania tej metodyki. Aspekt bezkosztowości jest o tyle istotny, iż istnieją w literaturze metodyki oceny zjawiska wykluczenia, głównie testowane regionalnie, które do ich zastosowania wymagają bardzo szczegółowych, koszt- i czasochłonnych badań terenowych, często związanych z poznaniem bardzo indywidualnych zachowań komunikacyjnych. Takie podejście choć słuszne z metodycznego punktu widzenia i cenne z powodów poznawczych, w praktyce nie mają praktycznego zastosowania do ciągłej aktualizacji oceny zjawiska WK w skali całego kraju i dzięki temu monitorowania dynamiki zmian jego występowania.

Kluczową konkluzją projektową z tego etapu prac, jest w warstwie informacyjnej konieczność zapewnienia w przestrzeni publicznej dostępności ustandaryzowanej cyfrowej informacji o funkcjonowaniu publicznego transportu zbiorowego. Pozwoli to na analizę zjawiska WK przy uwzględnieniu przede wszystkim takich informacji, jak: przebieg linii i lokalizację przystanków PTZ, czas realizacji kolejnych kursów, koszt jednostkowy (odległościowy lub czasowy). Wszystkie te informacje są dostępne przy założeniu pełnego wdrożenia standardu rozkładu jazdy jakim jest GTFS (General Transit Feed Specification). Należy zauważyć, że przedstawione w tym raporcie metody

obliczania wskaźnika WK mogą być uaktualniane wraz ze zwiększaniem się dostępności danych o funkcjonowaniu transportu publicznego, wiąże się to z ewolucyjnym przejściem ze standardu GTFS do bardziej rozwiniętych rozwiązań typu NeTEx, czy SIRI. Przykładowo ocena poziomu niezawodności podróży może opierać się o analizę odchyień rzeczywistych przyjazdów na przystanki od założeń rozkładowych. Można też rozważyć uwzględnienie liczby różnych taryf przewozowych, w szczególności w przypadku zmiany analiz z biletów jednorazowych na miesięczne.

Zasadniczym rezultatem raportu Zad. 4 jest zbiór wypracowanych rozwiązań algorytmicznych w zakresie identyfikacji zjawiska WK, ocenionych w przestrzeni zarówno metodycznej, jak i informacyjnej. Dalsze prace, będące kontynuacją podjętych działań, polegają na:

- uzyskaniu niezbędnej wiedzy o funkcjonowaniu PTZ w Polsce (Zad. 6-9),
- rozwoju narzędzia gromadzenia i standaryzacji informacji o funkcjonowaniu PTZ (Zad. 10),
- opracowaniu, integracji i agregacji wskaźnika poziomu zagrożenia wykluczeniem komunikacyjnym (Zad. 11),
- opracowaniu podsystemu wizualizacji informacji o zagrożeniu WK (Zad. 12),
- opracowaniu cyfrowej mapy obszarów zagrożonych WK (Zad. 13),
- weryfikacji kompletności danych oraz opracowanie mechanizmu uzupełnienia brakujących danych (Zad. 14).

Bibliografia

- Abdolmaleki, M., Masoud, N., & Yin, Y. (2020). Transit timetable synchronization for transfer time minimization. *Transportation Research Part B: Methodological*, 131, 143–159.
- Achuthan, K., Titheridge, H., & Mackett, R. L. (2010). Mapping accessibility differences for the whole journey and for socially excluded groups of people. *Journal of Maps*, 6(1), 220–229. <https://doi.org/10.4113/jom.2010.1077>
- Ahmed, Q. I., Lu, H., & Ye, S. (2008). Urban transportation and equity: A case study of Beijing and Karachi. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(1), 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2007.06.004>
- Alkubati, M. A., Khalifa, N. A., & Al-barakani, H. A. (2023). An overview of public transport reliability studies using a bibliometric analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(3), 101908. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101908>
- Armstrong-Wright, A., & Thiriez, S. (1987). *Bus Services: Reducing Costs, Raising Standards*.
- Baran, M., & Augustyn, D. J. (2021). The Evaluation of Transport Exclusion in the Peripheral Cross-Border Areas of Central Europe in the Context of Applicability of Information-Based Carpooling. *Sustainability*, 13, 3440. <https://doi.org/10.3390/su13063440>
- Basarbowicz, K., Filas-Przybył, S., Kaźmierczak, M., Klimanek, T., Kowalewski, J., Kruszk, K., Siwiak, K., Stachowiak, D., Stawikowska, M., & Stępnia, A. (2020). *Stratyfikacja dochodowa mieszkańców miast*. GUS. <https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/6330/5/1/1/>

stratyfikacja_dochodowa_mieszkanow_miast._raport_koncowy.pdf

- Beckers, J., & Verhetsel, A. (2021). The sustainability of the urban layer of e-commerce deliveries: The Belgian collection and delivery point networks. *European Planning Studies*, 29(12), 2300–2319. <https://doi.org/10.1080/09654313.2021.1921118>
- Beim, M., Błazczek, A., Dąbrowska, A., Dębiak, P., & Olczyk, A. (2020). Badania dostępności publicznego transportu zbiorowego w podregionie pilskim. *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 95–118. <https://doi.org/10.4467/2543859XPKG.19.021.11542>
- Berg, J., & Ihlström, J. (2019). The Importance of Public Transport for Mobility and Everyday Activities among Rural Residents. *Social Sciences*, 8(2), 58. <https://doi.org/10.3390/socsci8020058>
- Birch, C. P. D., Oom, S. P., & Beecham, J. A. (2007). Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological Modelling*, 206(3–4), 347–359. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.041>
- Bocarejo, J. P., & Oviedo Hernandez, D. R. (2012). Transport accessibility and social inequities: A tool for identification of mobility needs and evaluation of transport investments. *Journal of Transport Geography*, 24, 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.12.004>
- Bocarejo, J. P., Portilla, I. J., Velásquez, J. M., Cruz, M. N., Peña, A., & Oviedo, D. R. (2014). An innovative transit system and its impact on low income users: The case of the Metrocable in Medellín. *Journal of Transport Geography*, 39, 49–61. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.06.018>
- Bok, J., & Kwon, Y. (2016). Comparable Measures of Accessibility to Public Transport Using the General Transit Feed Specification. *Sustainability*, 8(3).

<https://doi.org/10.3390/su8030224>

Bondarenko, M., Kerr, D., Sorichetta, A., & Tatem, A. (2020).

Census/projection-disaggregated gridded population datasets for 189 countries in 2020 using Built-Settlement Growth Model (BSGM) outputs [Dataset]. [object Object]. <https://doi.org/10.5258/SOTON/WP00684>

Boratyńska-Karpiel, E., & Engel, P. (2019). *Transport dla wszystkich*. Spółdzielnia Socjalna FADO.

Brand, J., Hoogendoorn, S., Van Oort, N., & Schalkwijk, B. (2017). Modelling multimodal transit networks integration of bus networks with walking and cycling. *2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)*, 750–755.

<https://doi.org/10.1109/MTITS.2017.8005612>

Burdziej, J. (2019). Using hexagonal grids and network analysis for spatial accessibility assessment in urban environments – a case study of public amenities in Toruń. *Miscellanea Geographica*, 23(2), 99–110.

<https://doi.org/10.2478/mgrsd-2018-0037>

Bureau, B., & Glachant, M. (2011). Distributional effects of public transport policies in the Paris Region. *Transport Policy*, 18(5), 745–754.

<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.01.010>

Carruthers, R., Dick, M., & Saurkar, A. (2005). *Affordability of Public Transport in Developing Countries*.

Center for Transit-Oriented Development (CTOD). (2006). *The Affordability Index: A New Tool for Measuring the True Affordability of a Housing Choice*. The Brookings Institution.

- Cham, L. C. (2006). *Understanding bus service reliability: A practical framework using AVL/APC data* [Massachusetts Institute of Technology].
<http://hdl.handle.net/1721.1/34381>
- Church, A., Frost, M., & Sullivan, K. (2000). Transport and social exclusion in London. *Transport Policy*, 7(3), 195–205. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(00\)00024-X](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(00)00024-X)
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2012). *Wprowadzenie do algorytmów* (Wyd. 7 (1 w PWN)). Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Currie, G., Richardson, T., Smyth, P., Vella-Brodrick, D., Hine, J., Lucas, K., Stanley, J., Morris, J., Kinnear, R., & Stanley, J. (2010). Investigating links between transport disadvantage, social exclusion and well-being in Melbourne e Updated results. *Research in Transportation Economics*, 29(1), 287–295.
<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2010.07.036>
- De Jong, G., Kouwenhoven, M., Bates, J., Koster, P., Verhoef, E., Tavasszy, L., & Warffemius, P. (2014). New SP-values of time and reliability for freight transport in the Netherlands. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 64, 71–87. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.01.008>
- Dullaert, W., & Zamparini, L. (2013). The impact of lead time reliability in freight transport: A logistics assessment of transport economics findings. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 49(1), 190–200.
<https://doi.org/10.1016/j.tre.2012.08.005>
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/882 z dnia 17 kwietnia 2019 r. W sprawie wymogów dostępności produktów i usług. (2019). European Parliament.
- EGUM. (2022). *How to guarantee public transport inclusiveness considering aging, gender, disabilities and reduced mobility*. Public Transport and Shared Mobility EGUM

Subgroup.

https://transport.ec.europa.eu/document/download/d19bd3a5-d5c8-4de9-a248-a035078f223f_en?filename=EGUM%20Recommendations_PT%20Subgroup_Topics%204A.pdf

European Parliament. Directorate General for Internal Policies of the Union & Istituto per la Ricerca Sociale - IRS. (2015). *Social inclusion in EU public transport*.

Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2861/75342>

Falavigna, C., & Hernandez, D. (2016). Assessing inequalities on public transport affordability in two latin American cities: Montevideo (Uruguay) and Córdoba (Argentina). *Transport Policy*, 45, 145–155.

<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.09.011>

Farber, S., Bartholomew, K., Li, X., Páez, A., & Nurul Habib, K. M. (2014). Assessing social equity in distance based transit fares using a model of travel behavior.

Transportation Research Part A: Policy and Practice, 67, 291–303.

<https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.07.013>

Fatima, K., Moridpour, S., & Saghapour, T. (2022). Development of a Public Transport Accessibility Index for Older Commuters: A Time-Based Approach. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/9636217>

Gadziński, J., & Beim, M. (2009). *Dostępność przestrzenna lokalnego transportu publicznego w Poznaniu*. 7.

Gajda, A., Kulig, M., & Ogórek, P. (2023). *Transport publiczny w miastach i miejskich obszarach funkcjonalnych* (Obserwatorium polityki miejskiej). IRMIR.

<https://obserwatorium.miasta.pl/biblioteka/transport-publiczny-w-miastach-i-miejskich-obszarach-funkcjonalnych/>

- Gan, X., Fernandez, I. C., Guo, J., Wilson, M., Zhao, Y., Zhou, B., & Wu, J. (2017). When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators. *Ecological Indicators*, 81, 491–502. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.068>
- Gent, C. E., & Symonds, G. (2005). *Advances in public transport accessibility assessments for development control – a proposed methodology*. Capita Symonds Ltd Transport Consultancy.
- Geurs, K. T., Boon, W., & Van Wee, B. (2009). Social Impacts of Transport: Literature Review and the State of the Practice of Transport Appraisal in the Netherlands and the United Kingdom. *Transport Reviews*, 29(1), 69–90. <https://doi.org/10.1080/01441640802130490>
- Golub, A., Brown, A., Brakewood, C., MacArthur, J., Lee, S., & Ziedan, A. (2022). Equity and exclusion issues in cashless fare payment systems for public transportation. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 15, 100628. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100628>
- Gómez-Lobo, A. (2011). Affordability of Public Transport: A Methodological Clarification. *Journal of Transport Economics and Policy*, 45.
- Grisé, E., Boisjoly, G., Maguire, M., & El-Geneidy, A. (2019). Elevating access: Comparing accessibility to jobs by public transport for individuals with and without a physical disability. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 125, 280–293. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.02.017>
- GUS. (2019). Stan zdrowia ludności Polski w 2019. *Raport GUS*.
- Guzik, R., & Kołoś, A. (2021). Dostępność obszarów wiejskich do miast powiatowych w Polsce transportem publicznym w 2019 r = The 2019 level of accessibility of Poland's county cities by public transport from rural areas. *Przegląd*

- Geograficzny*, 93(2), 181–206. <https://doi.org/10.7163/PrzG.2021.2.3>
- Hai, D. T., & Quang, N. N. (2022). Measuring Transport-Related Social Exclusion at the Meso-Level Using the Concept of Isolated Islands in the Big Cities. *Transport Problems. Problemy Transportu*, 17(2), 5–18. <https://doi.org/10.20858/tp.2022.17.2.01>
- Hickey, R., Lubell, J., Haas, P., & Morse, S. (2012). *Losing Ground: The Struggle of Moderate-Income Households to Afford the Rising Costs of Housing and Transportation*. Center for Neighborhood Technology.
- Isalou, A. A., Litman, T., & Shahmoradi, B. (2014). Testing the housing and transportation affordability index in a developing world context: A sustainability comparison of central and suburban districts in Qom, Iran. *Transport Policy*, 33, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.02.006>
- Ivan, I., Horák, J., Zajíčková, L., Burian, J., & Fojtík, D. (2019). Factors Influencing Walking Distance to the Preferred Public Transport Stop in selected urban centres of Czechia. *GeoScape*, 13(1), 16–30. <https://doi.org/10.2478/geosc-2019-0002>
- Jenelius, E. (2018). Public transport experienced service reliability: Integrating travel time and travel conditions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 117, 275–291. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.026>
- Kathuria, A., Parida, M., & Sekhar, Ch. R. (2020). A Review of Service Reliability Measures for Public Transportation Systems. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 18(2), 243–255. <https://doi.org/10.1007/s13177-019-00195-0>
- Kho, S.-Y., Park, J.-S., Kim, Y.-H., & Kim, E.-H. (2006). A development of punctuality index for bus operation. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6,

492–504.

Kowalski, K. (2013). Planowanie dostępności–polskie uwarunkowania prawne i praktyka. *Niepełnosprawność–zagadnienia, problemy, rozwiązania*, 1(6), 71–99.

Kowalski, K. (2014). *Projektowanie bez barier – wytyczne*. Stowarzyszenie Przyjaciół Integracji. https://www.power.gov.pl/media/13910/projektowanie_zus.pdf

Kowalski, K. (2018). *Włącznik projektowanie bez barier*. Fundacja Integracja.

Kowalski, K., & Starzyńska, D. (2014). *Projektowanie bez barier—Wytyczne* (Wyd. następne). Stowarzyszenie Przyjaciół Integracji.

Langhans, S. D., Reichert, P., & Schuwirth, N. (2014). The method matters: A guide for indicator aggregation in ecological assessments. *Ecological Indicators*, 45, 494–507. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.014>

Lechowski, Ł. (2022). Effects of choice of data aggregation method to a point on walking accessibility results using the G2SFCA method. *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 25(4), 74–93. <https://doi.org/10.4467/2543859XPKG.22.023.17147>

Li, Z., Hensher, D. A., & Rose, J. M. (2010). Willingness to pay for travel time reliability in passenger transport: A review and some new empirical evidence. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(3), 384–403. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2009.12.005>

Litman, T. A. (2023). *Evaluating Transportation Equity*. Victoria Transport Policy Institute.

Liu, S., Higgs, C., Arundel, J., Boeing, G., Cerdera, N., Moctezuma, D., Cerin, E., Adlakha, D., Lowe, M., & Giles-Corti, B. (2022). A Generalized Framework for Measuring Pedestrian Accessibility around the World Using Open Data. *Geographical Analysis*, 54(3), 559–582. <https://doi.org/10.1111/gean.12290>

- Liu, T., Cats, O., & Gkiotsalitis, K. (2021). A review of public transport transfer coordination at the tactical planning phase. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 133, 103450. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103450>
- Liu, X., Huang, M., Qu, H., & Chien, S. (2018). Minimizing Metro Transfer Waiting Time with AFCS Data Using Simulated Annealing with Parallel Computing. *Journal of Advanced Transportation*. <https://doi.org/10.1155/2018/4218625>
- Lizárraga, C., Grindlay, A. L., & Ochoa-Covarrubias, G. (2020). Evaluating Public Transport Social Exclusion in Guadalajara, Mexico. *WIT Transactions on The Built Environment*, 200, 195–203. <https://doi.org/10.2495/UT200161>
- Loader, C., & Stanley, J. (2009). Growing bus patronage and addressing transport disadvantage—The Melbourne experience. *Transport Policy*, 16(3), 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2009.02.001>
- Lucas, K. (2012). Transport and social exclusion: Where are we now? *Transport Policy*, 20, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.01.013>
- Mackett, R. L., Achuthan, K., & Titheridge, H. (2008). AMELIA: A tool to make transport policies more socially inclusive. *Transport Policy*, 15(6), 372–378. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2008.12.007>
- Maggino, F. (Ed.). (2017). *Complexity in Society: From Indicators Construction to their Synthesis* (T. 70). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60595-1>
- Mościcka, A., Pokonieczny, K., Wilbik, A., & Wabiński, J. (2019). Transport Accessibility of Warsaw: A Case Study. *Sustainability*, 11(19), 5536. <https://doi.org/10.3390/su11195536>
- Muller, T. H. J., & Knoppers, P. (1999). *Experiment with conditional bus-priority at*

controlled intersections in Eindhoven. Eindhoven.

Nahmias-Biran, B., Sharaby, N., & Shiftan, Y. (2014). Equity Aspects in Transportation Projects: Case Study of Transit Fare Change in Haifa. *International Journal of Sustainable Transportation*, 8(1), 69–83.
<https://doi.org/10.1080/15568318.2012.758525>

Neff, J., & Pham, L. (2007). *A Profile of Public Transportation Passenger Demographics and Travel Characteristics Reported in On-Board Surveys*. American Public Transportation Association.

Nuworsoo, C., Golub, A., & Deakin, E. (2009). Analyzing equity impacts of transit fare changes: Case study of Alameda-Contra Costa Transit, California. *Evaluation and Program Planning*, 32(4), 360–368.
<https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2009.06.009>

OECD, European Union, & Joint Research Centre - European Commission. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>

Papacostas, C. S., & Prevedouros, P. D. (1993). *Transportation engineering and planning* (2. ed). Prentice Hall.

Parol, A. (2024, maj 10). *Dostępność ekonomiczna transportu publicznego w Słupsku*. IX Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Problemy i Wyzwania Geografii Komunikacji”, Toruń.

Pawłowski, M., Plucińska, E., & Rychlewski, J. (2021). Zasady projektowania uniwersalnego a obsługa pasażerów na dworcu kolejowym Poznań Główny. W *Horyzont 2050 Lepszy transport & lepsze miasto* (s. 329–342). Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej. Oddział w

Poznaniu.

Pawłowski, M., Plucińska, E., & Rychlewski, J. (2023). Dobre przykłady projektowania uniwersalnego na dworcach kolejowych. W *Nowe środki transportu i nowe formy mobilności* (s. 113–128). Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej. Oddział w Poznaniu.

Pittman, N., & Day, J. E. (2015). Locating and quantifying public transport provision with respect to social need in Canberra, Australia. *Australian Planner*, 52(4), 326–336.
<https://doi.org/10.1080/07293682.2015.1101007>

Politechnika Warszawska, Warsaw University of Technology Wydział Architektury, Faculty of Architecture Katedra Projektowania Urbanistycznego i Krajobrazu Wiejskiego, Department of Urban Planning and Rural Landscape, & Wiśniewski, L. S. (2021). URBAN DISTANCES. DIMENSIONS OF URBAN UNITS AND DISTRIBUTION OF FUNCTIONS IN THE CITY IN CONTEXT OF WALKING, CYCLING AND PUBLIC TRANSPORT DISTANCES. *Space&FORM*, 2020(46), 211–237.
<https://doi.org/10.21005/pif.2021.46.C-08>

Pollesch, N., & Dale, V. H. (2015). Applications of aggregation theory to sustainability assessment. *Ecological Economics*, 114, 117–127.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.03.011>

Qu, X., Oh, E., Weng, J., & Jin, S. (2014). Bus travel time reliability analysis: A case study. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 167(3), 178–184.
<https://doi.org/10.1680/tran.13.00009>

Rychlewski, J. (2015). Integracja innych środków transportu na bazie linii kolejowych. W *Rewitalizacja linii kolejowych i włączenie ich do obsługi aglomeracji* (T. 3). Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP.

- Rychlewski, J., Bul, R., & Gadziński, J. (2016). Kierunki i standardy planowania metropolitalnego systemu transportu. W *Integracja planowania przestrzennego w Metropolii Poznań: Problemy, metody, osiągnięcia* (s. 87–111). Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Sahr, K., White, D., & Kimerling, A. J. (2003). Geodesic Discrete Global Grid Systems. *Cartography and Geographic Information Science*, 30(2), 121–134.
<https://doi.org/10.1559/152304003100011090>
- Serebrisky, T., Gómez-Lobo, A., Estupiñán, N., & Muñoz-Raskin, R. (2009). Affordability and Subsidies in Public Urban Transport: What Do We Mean, What Can Be Done? *Transport Reviews*, 29(6), 715–739.
<https://doi.org/10.1080/01441640902786415>
- Šimunović, L., Grgurević, I., & Pašagić Škrinjar, J. (2012). Selecting Optimal Pedestrian Crossing Using Multi-criteria Decision-making. *PROMET - Traffic&Transportation*, 22(2), 105–116. <https://doi.org/10.7307/ptt.v22i2.169>
- Social Exclusion Unit. (2003). *Making the Connections: Final Report on Transport and Social Exclusion*.
https://webapps.ilo.org/wcmstp5/groups/public/@ed_emp/@emp_policy/@invest/documents/publication/wcms_asist_8210.pdf
- Soza-Parra, J., Raveau, S., & Muñoz, J. C. (2022). Public transport reliability across preferences, modes, and space. *Transportation*, 49(2), 621–640.
<https://doi.org/10.1007/s11116-021-10188-2>
- Stanny, M., Rosner, A., & Komorowski, Ł. (2018). *2018_FEFRWP- Monitoring rozwoju obszarów wiejskich Etap III (report)*. Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa. <https://doi.org/10.7366/90066MROWIII>

- Starowicz, W., & Ciastoń, A. (2006). Punktualność kursowania pojazdów w ocenie mieszkańców różnych miast Polski. *Transport Miejski i Regionalny*, 6, 36–41.
- Stępnia, M., Rosik, P., & Komornicki, T. (2013). Accessibility patterns: Poland Case Study. *Europa XXI*, 24, 77–93. <https://doi.org/10.7163/Eu21.2013.24.6>
- Stough, T., Cressie, N., Kang, E. L., Michalak, A. M., & Sahr, K. (2020). Spatial analysis and visualization of global data on multi-resolution hexagonal grids. *Japanese Journal of Statistics and Data Science*, 3(1), 107–128. <https://doi.org/10.1007/s42081-020-00077-w>
- Štraub, D., & Mróz, K. (2023). *Transport bezpłatny i na żądanie jako alternatywne systemy kształtowania oferty przewozów pasażerskich*. Instytut Rozwoju Miast i Regionów. <https://doi.org/10.51733/opm.2023.12>
- Sundquist, E., McCahill, C., & Brenneis, M. (2021). *Measuring Accessibility: A GUIDE FOR Transportation and Land-Use PRACTITIONERS*. 71.
- Teng, J., & Jin, W. (2015). Development and Evaluation of Bus Operation Control System Based on Cooperative Speed Guidance. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2015/928350>
- Tian, X., & Niu, H. (2019). A bi-objective model with sequential search algorithm for optimizing network-wide train timetables. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 1259–1272.
- Transport for the North. (2022). *Transport-related social exclusion in the North of England*. Transport for the North. <https://transportforthenorth.com/strategy-and-evidence/>
- Tyler, N. (2002). *Accessibility and the Bus System: From Concepts to Practice*. Thomas Telford Ltd.

- Uniman, D. L., Attanucci, J., Mishalani, R. G., & Wilson, N. H. M. (2010). Service Reliability Measurement Using Automated Fare Card Data: Application to the London Underground. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2143(1), 92–99. <https://doi.org/10.3141/2143-12>
- Verbich, D., Badami, M. G., & El-Geneidy, A. M. (2017). Bang for the buck: Toward a rapid assessment of urban public transit from multiple perspectives in North America. *Transport Policy*, 55, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.12.002>
- Xia, J., Nesbitt, J., Daley, R., Najnin, A., & Litman, T. (2016). A Multi-Dimensional View of Transport-Related Social Exclusion: A Comparative Study of Greater Perth and Sydney. *Transport Research Part A: Policy and Practice*, 94, 205–221. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.09.009>
- Yigitcanlar, T., Sipe, N., Evans, R., & Pitot, M. (2007). A GIS-based land use and public transport accessibility indexing model. *Australian Planner*, 44(3), 30–37. <https://doi.org/10.1080/07293682.2007.9982586>
- Zhang, D., & Wang, X. (2016). Schedule optimization to improve trunk-local bus transfer efficiency in small conurbations: A case study of New York's capital region. *Journal of Central South University*, 23, 1817–1822. <https://doi.org/10.1007/s11771-016-3235-5>
- Zmuda-Trzebiatowski, P. (2016). *Partycypacyjna ocena miejskich projektów transportowych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Zmuda-Trzebiatowski, P., Kiciński, M., Fierek, S., & Bieńczak, M. (2017). Analiza dostępności kosztowej transportu zbiorowego w aglomeracji poznańskiej. *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej - Transport*, 119, 517–527.

Żukowska, S., Chmiel, B., & Połom, M. (2023). The Smart Village Concept and Transport Exclusion of Rural Areas—A Case Study of a Village in Northern Poland. *Land*, 12(1), 260. <https://doi.org/10.3390/land12010260>