

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

## **Zadanie 5**

**Opracowanie i ocena algorytmów do wyznaczenia  
składowych wykluczenia komunikacyjnego we  
współpracy z bazą danych**

---

**Testowanie i analiza porównawcza algorytmów służących do  
wyznaczania składowych wykluczenia komunikacyjnego po ich  
zintegrowaniu z systemem opracowanym w Zadaniu 3**

---

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](mailto: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
- Marek Łukaszczyk – IT
- Andrzej Markiewicz – IT
- 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 Wojtał – IT
- Paweł Zmuda-Trzebiatowski – IT, ZST (*kierownik projektu na PP*)

# Spis treści

<b>1. Wprowadzenie</b>	<b>4</b>
<b>2. Testy weryfikacyjne algorytmów wyznaczających składowe WK i pomocniczych</b>	<b>5</b>
2.1. Testy weryfikacyjne algorytmów składowych czasu dojazdu	7
2.2. Testy weryfikacyjne algorytmów składowych kosztów dojazdu	12
2.3. Testy weryfikacyjne algorytmów składowych częstości kursowania	16
2.4. Testy weryfikacyjne algorytmów składowych dostępności przestrzennej przystanku	21
2.6. Testy weryfikacyjne algorytmów składowych niezawodności czasu podróży	24
2.5. Testy weryfikacyjne algorytmów składowych dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami	26
2.5.1. Wstępne założenia	26
2.5.2. Ekspercka ocena przystanków aglomeracji poznańskiej	26
2.5.3. Testy z wykorzystaniem danych GTFS - z wykorzystaniem wskaźnika IBI	29
2.5.4. Testy z uwzględnieniem zmiany parametrów	30
2.7. Testy weryfikacyjne algorytmów pomocniczych w zakresie przesiadek	32
2.8. Testy weryfikacyjne algorytmów pomocniczych w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru	34
2.9. Algorytmy pomocnicze w zakresie agregacji przestrzennej i miar sieciowych	34
2.10. Testy weryfikacyjne algorytmów pomocniczych w zakresie transportu na życzenie	34
<b>3. Ocena uzyskanych wyników testów i rekomendacje w zakresie parametrów</b>	<b>39</b>
<b>4. Osiągnięcie kamieni milowych zadania</b>	<b>42</b>
4.1. Wstępne założenia	42
4.2. Analiza porównawcza funkcjonowania podstawowych algorytmów wyznaczających składowe WK w warunkach zbliżonych do rzeczywistych	42
4.3. Analiza porównawcza funkcjonowania algorytmów pomocniczych w warunkach zbliżonych do rzeczywistych	42
<b>5. Podsumowanie</b>	<b>44</b>

## 1. Wprowadzenie

Celem Zad. 5 jest wdrożenie i przetestowanie zaproponowanych w Zad. 4 algorytmów wyznaczających składowe WK, zarówno w zakresie algorytmów podstawowych, jak i pomocniczych. Ich implementacja w środowisku obliczeniowym ma zapewnić możliwie dużą automatyzację prac wraz z niezbędnymi danymi wymaganymi do ich funkcjonowania, a te wyspecyfikowano w Zad. 2. Istotą prac w ramach Zad. 5 jest również testowanie i weryfikowanie opracowanych algorytmów i ich implementacji na wybranych obszarach, dla których dostępna jest wiedza o funkcjonowaniu PTZ. W przypadku danych dodatkowych założono wykorzystywanie w możliwie dużym stopniu danych dostępnych na otwartych licencjach, np.: OpenStreetMap (OSM) - w zakresie sieci transportu pieszego, czy danych zarządzanych i udostępnianych przez polskie jednostki administracyjne, jak Główny Urząd Geodezji i Kartografii (np. Państwowy Zasób Geodezyjny i Kartograficzny - PZGiK, czy Państwowy Rejestr Granic - PRG) - w zakresie lokalizacji punktów adresowych. Jak wskazano w konkluzji testów analitycznych wykonanych w ramach Zad. 4, preferowane są źródła danych dostępne w standardzie ułatwiającym ich aktualizację, jak OSM czy BDOT10k.

Testowanie algorytmów ma pozwolić na osiągnięcie poziomu VI gotowości dla opracowywanego podsystemu. Efekty tych prac mają zapewnić szybkość i poprawność działania algorytmów w warunkach symulacyjnych oraz ocenę czy uzyskane wyniki testowe są satysfakcjonujące.



## 2. Testy weryfikacyjne algorytmów wyznaczających składowe WK i pomocniczych

Zgodnie z założeniami projektu do wyznaczania wartości WK starano się korzystać z rozwiązań typu OpenSource. Procedura obliczeniowa zakładała zazwyczaj trzy główne etapy:

- przyporządkowywania punktów adresowych do przystanków oraz punktów docelowych podróży,
- generowania planów podróży,
- oceny planów podróży

W ramach testowania algorytmów składowych przyjęto, że część z nich będzie bazować na rozwiązaniu OpenTripPlanner (OTP). Założono, że przy jego pomocy będą wyznaczone podróże między parami punktów źródło/cel. Dopiero pełne podróże będą oceniane z perspektywy algorytmów składowych, co pozwoli na ich późniejszą integrację w sposób zbliżony do perspektywy pasażera, tj. z perspektywy wielu składowych jednocześnie. Testy odbywały się wg schematu:

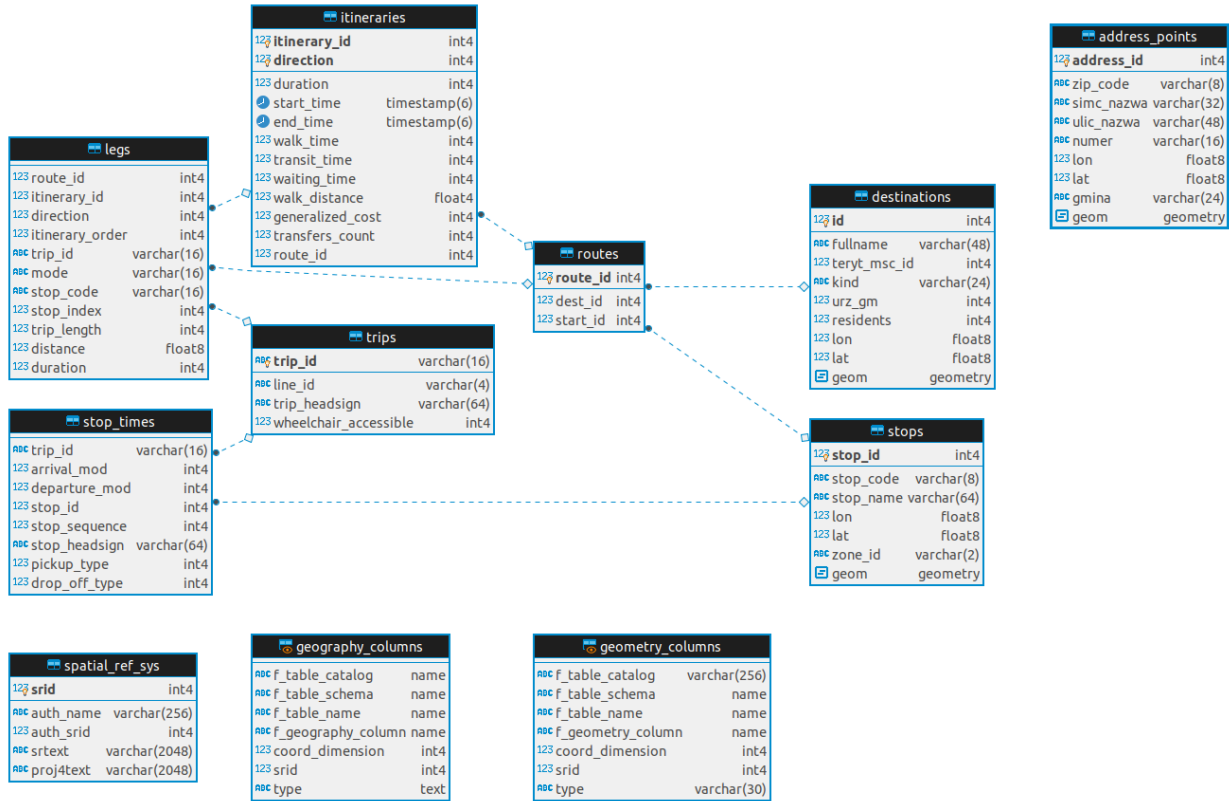
- wczytanie informacji o publicznym transporcie zbiorowym dla wybranego pliku/plików GTFS do OTP<sup>1</sup>,
- generowanie podróży z punktów początkowych (StPP) do punktów końcowych (PAPP) i zapisanie informacji o nich w bazie danych,
- analiza poprawności otrzymanych wyników, w tym możliwości wyznaczenia WK dla poszczególnych składowych.

Analizy działania algorytmów składowych odbywały się poprzez generowanie zapytań do bazy danych oraz późniejsze obliczenia na podstawie ich wyników. Dla ułatwienia prowadzonych prac (do wizualizacji) wykorzystywano również pakiet QGIS oraz MS Excel.

---

<sup>1</sup> Ponadto OTP wykorzystywał informacje dotyczące sieci transportu pieszego pozyskane z portalu OSM. Dane OSM były czasem wykorzystywane także na innych etapach testowych, np. z wykorzystaniem projektów OpenSource, takich jak OSRM czy ORS.

Schemat relacyjnej bazy danych, do której zapisywane były wyniki otrzymane z OTP przedstawiono na rysunku 1, poniżej.



Rys. 1. Schemat relacyjnej bazy danych przygotowanej do zapisu wyników obliczeń z OTP.

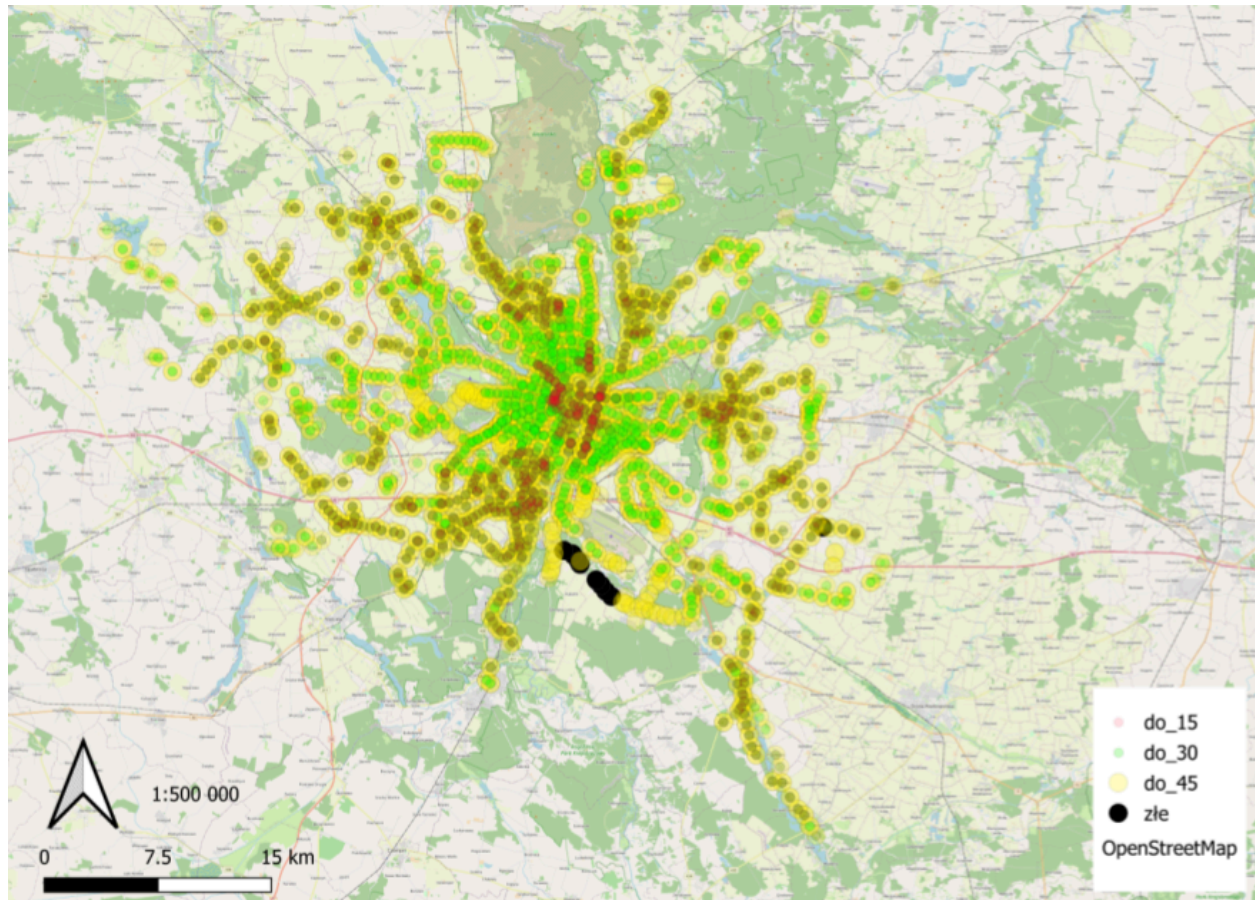
Dalsza analiza odbywała się poprzez odpowiednie selekcjonowanie wygenerowanych przez OTP planów podróży. Obliczenia te mogły być wspierane dodatkowymi algorytmami w celu zapewnienia wystarczającej szybkości obliczeń w skali całego kraju. W szczególności, podróż była obliczana dwuetapowo. W pierwszym etapie wyznaczano podróże z aktywnych (tj. takich, dla których dostępne były aktualne rozkłady jazdy dla określonego dnia i godzin sprawdzania) przystanków źródłowych do potencjalnych miejsc docelowych, tj. siedzib gmin i powiatów oraz podróży powrotnych. W drugim etapie łączono punkty adresowe z określonymi przystankami - zgodnie z kryterium dostępności przystanków. Selekcjonowanie podróży przyjmowało wstępnie formę zapytań do bazy danych SQL. W ramach prowadzonych optymalizacji najbardziej zasobochłonne procedury zostały przepisane do notebooków (stack Pythona) z wykorzystaniem takich bibliotek, jak Pandas, a w późniejszym etapie PolaRS.

## **2.1. Testy weryfikacyjne algorytmów składowych czasu dojazdu**

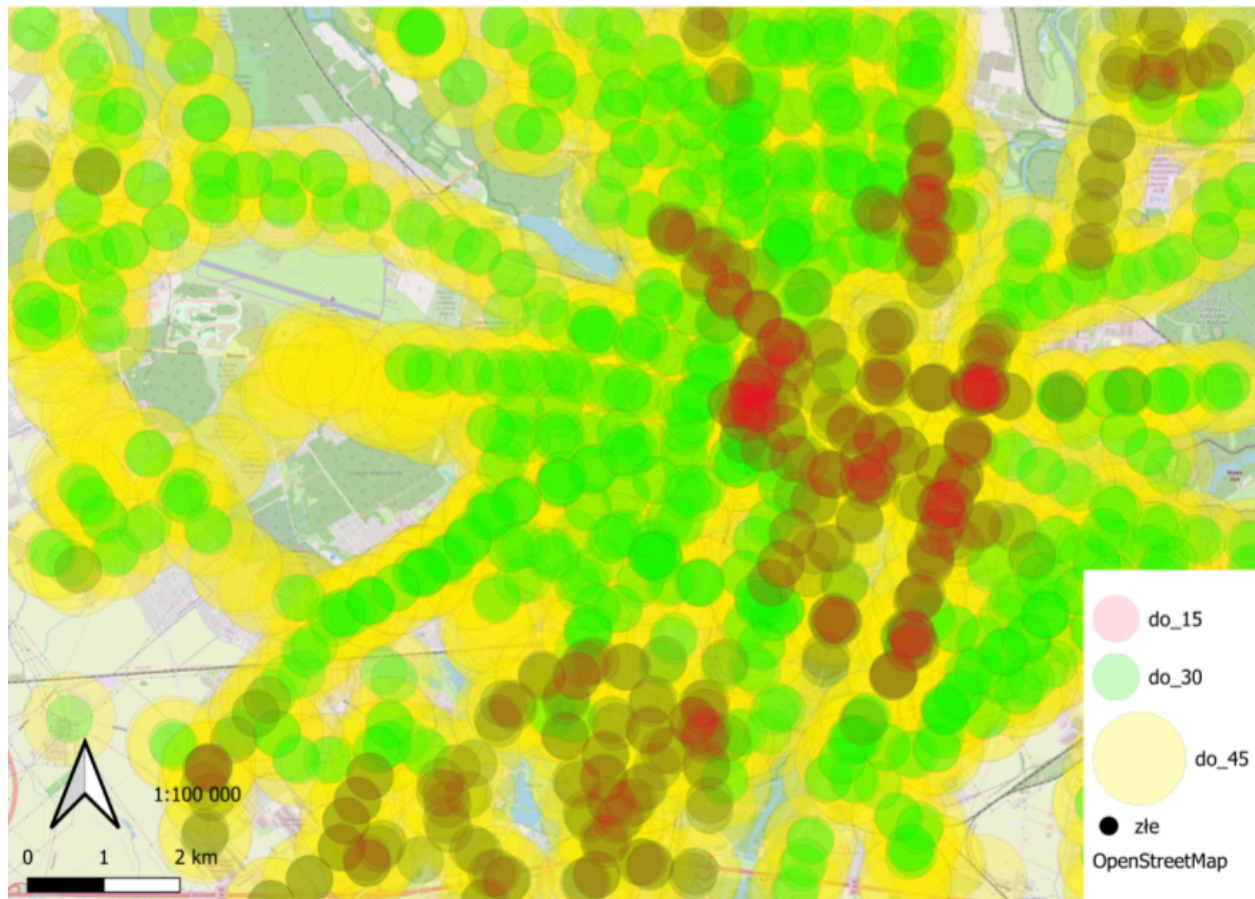
Wdrożenie pierwszego z algorytmów zaproponowanych w zad. 4 okazało się bardzo problematyczne w warunkach wielu operatorów (ZTM Poznań, PKS Poznań) oferujących dużą liczbę połączeń. W efekcie sieć publicznego transportu zbiorowego jest złożona, a na potrzeby obliczeniowe należy dodać jeszcze bardziej złożoną sieć drogową (chodników dla ruchu pieszego).

Testowanie drugiego zaproponowanego algorytmu oceniającego składową czasu dojazdu w swojej istocie polegało na weryfikacji poprawności działania pakietu OpenTripPlanner (OTP) do wyznaczania czasów dojazdów o zadanej maksymalnej wartości, która stanowiłaby o WK przy wykorzystaniu dostępnych pakietów danych w formie plików w standardzie GTFS. Analizy były prowadzone faktycznie dla czasów obliczanych od przystanków będących punktami początkowymi (StPP) do punktów końcowych (PAPP). Testy zaplanowano dla 3 zestawów danych: ZTM Poznań, ZTM Poznań wraz z PKS Poznań oraz ZTM Warszawa. Wyniki testów zwizualizowano w oprogramowaniu QGIS dla ułatwienia ich analizy.

Zestaw testów dla danych udostępnianych przez ZTM Poznań wykonano dla pliku zawierającego 1 369 unikatowych StPP i 19 PAKP (inaczej POI, które w testach stanowiły urzędy gmin, 10 miejskich i 9 wiejskich). W pierwszym etapie analizy wyznaczono StPP dla których czas jazdy, oczekiwania i dojścia do PAPP był nie większy niż 15, 40 oraz 45 min oraz pozostałe. Wizualizację analizy przedstawiono na rysunkach poniżej (2-5).

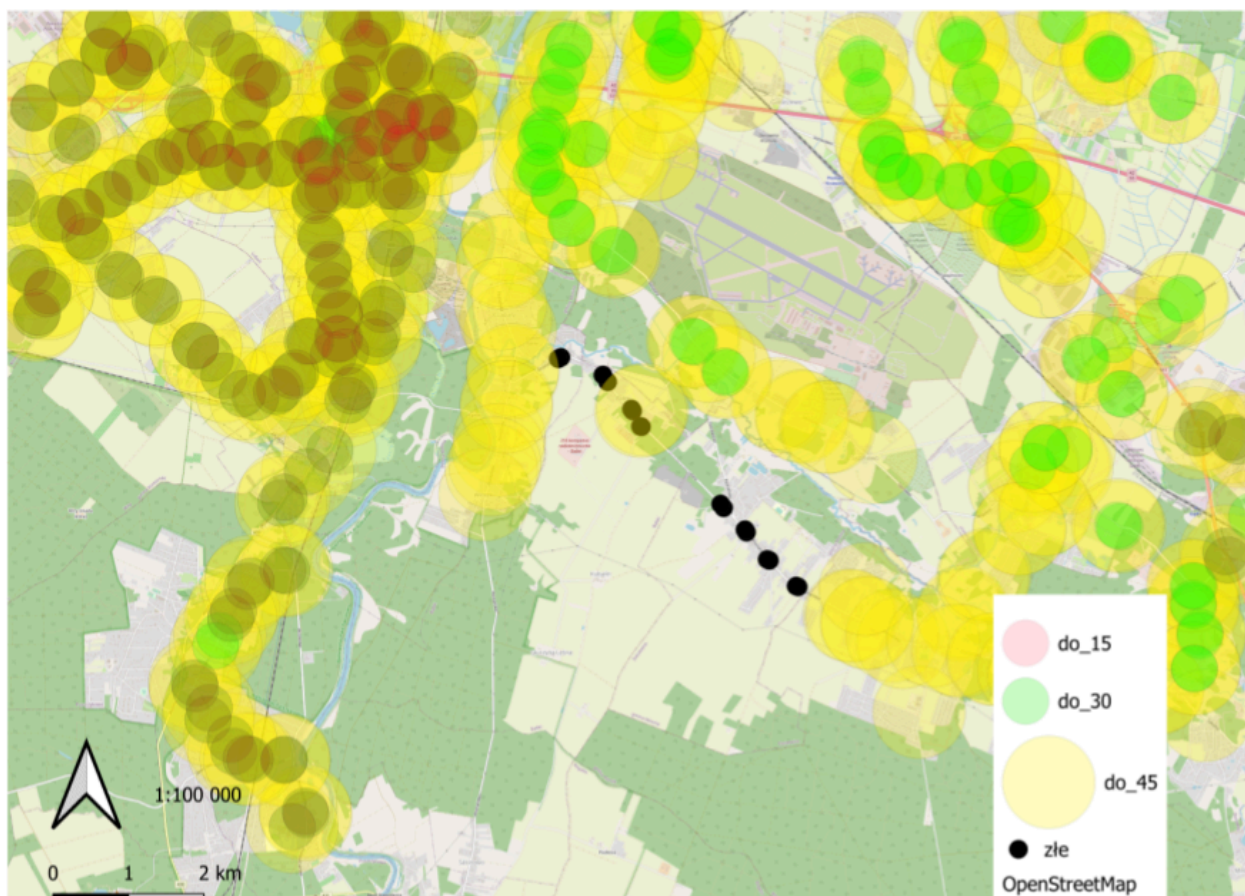


Rys. 2. StPP o czasie jazdy, oczekiwania i dojścia do POI do 15 min (czerwony), 30 min (zielony), 45 min (żółty), powyżej 45 min (czarny).



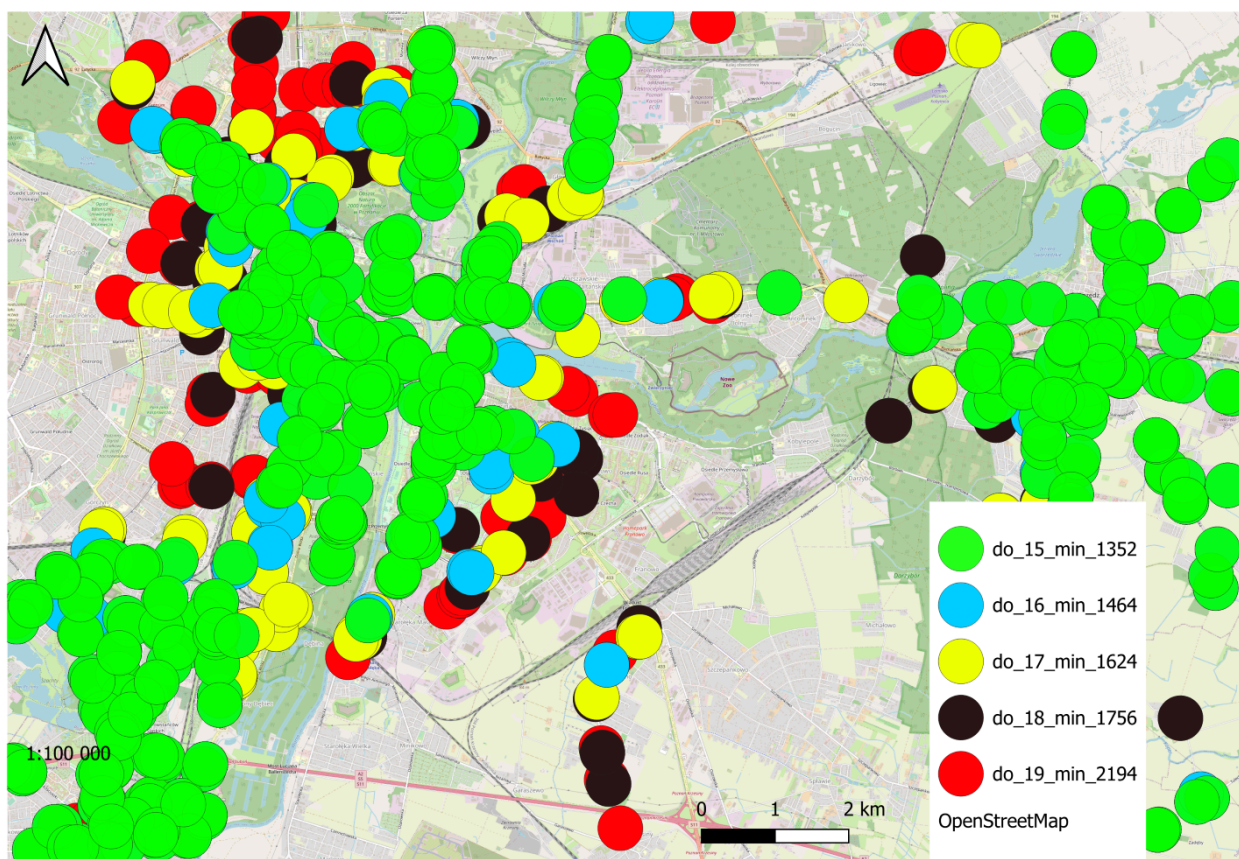
Rys. 3. StPP w centrum Poznania o czasie jazdy, oczekiwania i dojścia do POI do 15 min (czerwony), 30 min (zielony), 45 min (żółty), powyżej 45 min (czarny).





Rys. 4. StPP w gm. Mosina (oraz jej sąsiedztwie) o czasie jazdy, oczekiwania i dojścia do POI do 15 min (czerwony), 30 min (zielony), 45 min (żółty), powyżej 45 min (czarny).

Wątpliwości dotyczące poprawności działania algorytmów obliczania czasów podróży zaimplementowanych w OTP zwróciły dwie grupy przystanków - o czasach do 15 min oraz powyżej 45 min (rysunki X i X). Bardzo niewielka liczba przystanków o czasie poniżej 15 min, zwłaszcza w centrum Poznania, oraz istnienie przystanków o czasach dłuższych niż 45 min nie korespondowało z wiedzą ekspercką zespołu badawczego. W wyniku weryfikacji okazało się, że sytuacja nie świadczy o wadliwości obliczeń, bowiem testowany zestaw danych odzwierciedlał stan infrastruktury PTZ w trakcie wyłączenia z eksploatacji części sieci w ścisłym centrum. Ponadto przeprowadzono też testy dla czasów do 16 min, 17 min, 18 min i 19 min., co pokazało prawidłowe działanie algorytmu (patrz rysunek niżej). Długie czasy dojazdu z miejscowości Daszewice również poddano weryfikacji i potwierdzono poprawność obliczeń.



Rys. 5. StPP w Poznaniu (oraz gm. Luboń na pd. i Swarzędz na wsch.) o czasie jazdy, oczekiwania i dojścia do POI do 15 min (zielony), 16 min (niebieski), 17 min (żółty), 18 min (czarny), 19 min (czerwony).

Podsumowując, przedstawione w niniejszym podrozdziale testy, wykazały wysoką jakość i użyteczność obliczania czasów dojazdu zaimplementowanych w OTP dla pojedynczego zestawu danych w standardzie GTFS.

Jako drugą serię testów zaproponowano dla zestaw danych pochodzących od dwóch dostawców plików w formacie GTFS - ZTM Poznań oraz PKS Poznań. Sieci transportu obu podmiotów nakładają się obszarowo, umożliwiło weryfikację działania algorytmów wyznaczania czasów dojazdu zaimplementowanych w OTP. Testy obliczeniowe dla połączonych źródeł danych także przebiegły pomyślnie. W efekcie algorytm ten został zarekomendowany do dalszych prac.

## 2.2. Testy weryfikacyjne algorytmów składowych kosztów dojazdu

Testy algorytmu składowego WK APD3, tj. kosztów dojazdu przeprowadzono na danych ZTM w Poznaniu, dla którego obowiązuje taryfa czasowa oraz PKS w Poznaniu, dla którego zastosowanie ma taryfa kilometrowa. W celu przeprowadzenia testów, najpierw przygotowane zostały dodatkowe tabele ze zdefiniowanymi taryfami:

- dla testów algorytmu I-go: czasową ZTM w Poznaniu (przedziały czasowe w minutach i odpowiadające im ceny biletów jednorazowych) oraz taryfą odległościową PKS w Poznaniu (przedziały kilometrowe i odpowiadające im ceny biletów jednorazowych);
- dla testów algorytmu II-go: taryfę strefową ZTM w Poznaniu (4 strefy biletowe, które powiązano z kodem TERYT gmin) oraz taryfą odległościową dla PKS w Poznaniu (przedziały kilometrowe i odpowiadające im ceny biletów miesięcznych).

Dodane zostały także tabele z wartościami przeciętnego miesięcznego wynagrodzenia brutto dla powiatów (później zamienione na medianę wynagrodzeń w gminach).

Testy zostały przeprowadzone na 36 028 rekordach wygenerowanych za pomocą zapytania (kwerendy) do bazy danych zawierającej wyniki wyszukiwania tras przez Open Trip Planner. Poprzez odwołanie do tabel z cennikami biletów czasowych (dla odcinków realizowanych pojazdami ZTM w Poznaniu) i odległościowych (dla odcinków realizowanych pojazdami PKS w Poznaniu), możliwe było określenie kosztu przejazdu poszczególnych odcinków i zsumowanie ich dla całej podróży, jeżeli odcinki były realizowane z wykorzystaniem dwóch organizatorów (ZTM i PKS). Ponadto, próg wykluczenia w zakresie kosztów określany był dla każdej podróży na podstawie przeciętnych miesięcznych wydatków na osobę w województwie właściwym dla StPP, skorygowanych wskaźnikiem przeciętnego miesięcznego wynagrodzenia brutto w powiecie (a na późniejszych etapach - gminie) właściwym dla StPP w odniesieniu do przeciętnego miesięcznego wynagrodzenia brutto w danym województwie. Dane wygenerowane do przeprowadzenia testów zawierały informacje o podróżach zarówno z PAPP (a dokładniej StPP) do PAKP (18 283 podróży), jak i podróżach powrotnych, tj. z PAKP do PAPP (StPP) (17 745 podróży), co łącznie daje 36 028 podróży. Tabela z przykładowymi wynikami testów została przedstawiona na rysunku 6, poniżej.

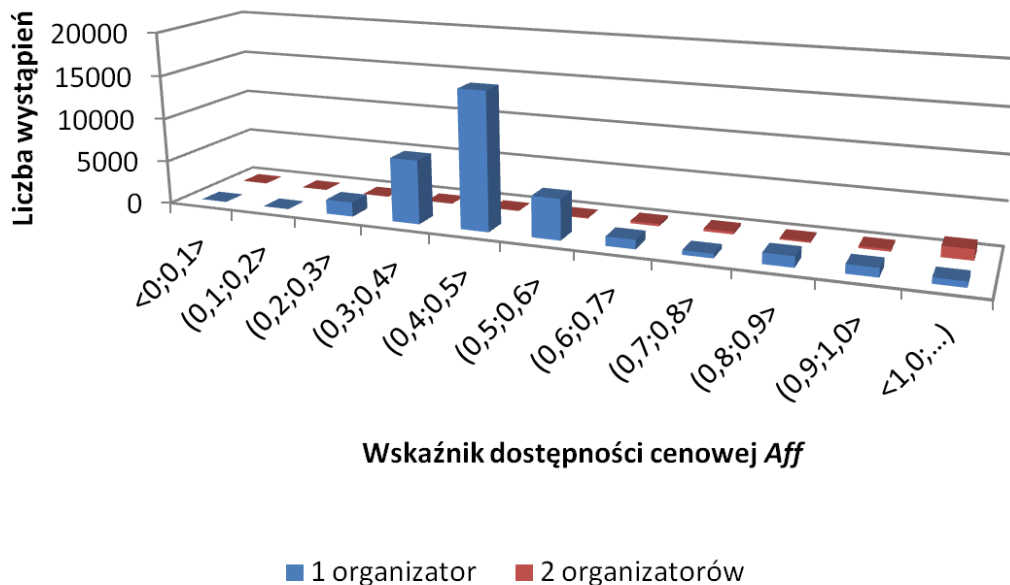


route_id	itinerary_id	direction	region	start_id	fullname	kind	no_of_carriers	start_time	end_time	total_distance_km	total_fare_pln	aff
66 071	83 723	-1	Poznań	675	Poznań	miasto	1	13:13:00	14:36:00	32,2	8,0	0,55
66 071	329 743	1	Poznań	675	Poznań	miasto	1	08:45:00	10:14:00	31,3	8,0	0,55
66 071	456 160	-1	Poznań	675	Poznań	miasto	1	17:39:00	19:03:00	26,6	8,0	0,55
66 072	170 864	1	Poznań	2 390	Poznań	miasto	1	06:55:00	08:08:00	25,8	8,0	0,55
66 073	224 461	-1	Poznań	2 457	Poznań	miasto	1	15:00:00	16:23:00	30,8	8,0	0,55
66 074	512 670	-1	Poznań	2 545	Poznań	miasto	1	18:27:00	19:44:00	31,3	8,0	0,55
66 075	679 860	-1	Poznań	2 130	Poznań	miasto	1	21:16:00	22:23:00	29,5	8,0	0,55
66 076	69 200	-1	Poznań	1 855	Poznań	miasto	1	12:58:00	14:05:00	23,4	8,0	0,55
66 076	785 085	1	Poznań	1 855	Poznań	miasto	1	15:00:00	16:28:00	28,7	8,0	0,55
66 078	91 986	-1	Poznań	3 871	Suchy Las	wies	1	13:17:00	13:41:00	12,9	6,0	0,41
66 079	1 297	-1	Poznań	1 868	Suchy Las	wies	1	12:02:00	12:26:00	12,9	6,0	0,41
66 079	456 343	1	Poznań	1 868	Suchy Las	wies	1	10:34:00	10:58:00	13,1	6,0	0,41
66 080	301 121	-1	Poznań	209	Suchy Las	wies	1	15:47:00	16:21:00	16,9	6,0	0,41
66 087	190 392	1	Poznań	1 868	Rokietnica	wies	1	07:08:00	07:48:00	16,5	6,0	0,41
66 088	191 664	1	Poznań	209	Rokietnica	wies	1	07:08:00	07:48:00	16,5	6,0	0,41
66 090	150 893	-1	Poznań	3 871	Czerwonak	wies	1	14:03:00	16:21:00	49,8	15,0	1,02
66 090	260 178	1	Poznań	3 871	Czerwonak	wies	1	07:55:00	09:37:00	36,5	12,0	0,82

Rys. 6. Wyniki testów wskaźnika dostępności cenowej Aff.

Dla testowanego zbioru liczba podróży dla których koszt był niższy niż obliczony dla StPP próg wykluczenia wyniosła 34 139 (wartości wskaźnika poniżej 1), z czego 33 108 odbywało się z wykorzystaniem pojazdów 1 organizatora (97%), a 1051 z wykorzystaniem pojazdów 2 organizatorów (3%). Natomiast w przypadku 1889 podróży koszt przejazdu przekroczył próg wykluczenia (wartości wskaźnika 1 i więcej), z czego 661 dotyczyło podróży z wykorzystaniem pojazdów 1 organizatora (35%), a 1228 z wykorzystaniem pojazdów 2 organizatorów (65%).

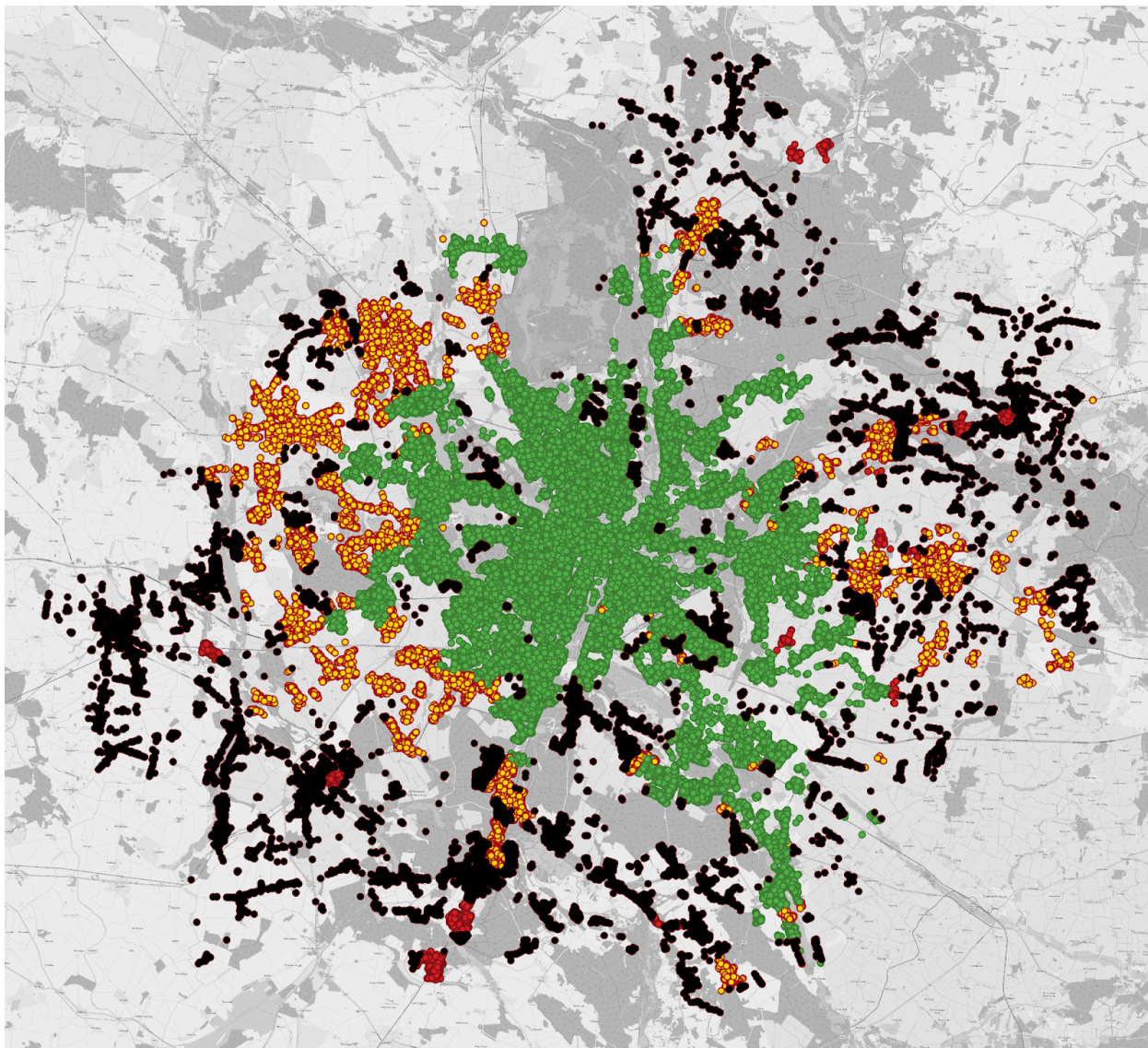
Uzyskane wyniki zaprezentowano na rysunku 7, poniżej, tj. histogramie częstości wystąpienia wartości wskaźnika dostępności cenowej z danego przedziału (przyjęto 10 przedziałów co wartość 0,1) dla danej pary PAPP (tj. StPP) i PAKP dla wszystkich podróży.



Rys. 7. Liczba podróży dla zbioru testowego, dla których odnotowano wartość wskaźnika dostępności cenowej Aff z podanego przedziału (dane dla aglomeracji poznańskiej).

Z przedstawionego wykresu (rysunek 7) wynika, że dla największej liczby podróży wskaźnik dostępności cenowej Aff mieścił się w przedziale między 0,4 a 0,5, czyli poniżej połowy wartości progowej.

W ramach testów przeprowadzono też obliczenia dla trzech wartości współczynnika dopuszczalnego udziału kosztów transportu względem dochodu rozporządzalnego na osobę w gminie. Przyjęto wartości progowe 10%, 13% i 15%, a test przeprowadzono na obszarze aglomeracji poznańskiej. Na rysunku 8, poniżej, kolorem czarnym oznaczono PA, które są wykluczone w każdym ze scenariuszy; kolorem zielonym PA uznane za niewykluczone w każdym ze scenariuszy; kolorem żółtym - niewykluczone w scenariuszach 13 i 15%, a kolorem czerwonym niewykluczone w scenariuszu 15% oraz wykluczone w pozostałych.



Rys. 8. Wynik testowania różnych wartości parametru *aff* dla aglomeracji poznańskiej.

Podsumowując, testy obu algorytmów składowych kosztowych podróży przebiegły pomyślnie. Warto jednak zauważyć, że w przypadku obydwu algorytmów pojawiły się pewne problemy. Część z organizatorów może nie oferować biletów okresowych. Z drugiej strony w części ofert, taryfy te są znacznie korzystniejsze dla pasażerów od stosowanych kilka razy dziennie taryf na pojedyncze przejazdy. Są one związane z dużym skomplikowaniem systemu taryfowego względem możliwości standardu GTFS. Standard ten w prostszej, pierwszej wersji, zakłada jedynie występowanie prostych taryf jednoprzejazdowych, z ewentualnym dopuszczeniem przesiadek (jednak niekoniecznie na

zasadach stosowanych w Polsce) oraz prostych taryf strefowych lub taryfy opartej na macierzach kosztów między wszystkimi przystankami. Natomiast druga wersja standardu była w trakcie realizacji projektu ciągle na etapie rozwojowym, co przekładało się na ograniczone wsparcie narzędziowe (w tym problemy z łączeniem w ramach jednej podróży kursów organizatorów, którzy stosują różne wersje standardu)<sup>2</sup>. W efekcie może wystąpić konieczność upraszczania niektórych taryf, przynajmniej do momentu rozpowszechnienia się w Polsce standardu NeTeX, który pozwala na dokładniejsze modelowanie taryf (kosztem dużego rozmiaru samego standardu - dedykowana taryfom część trzecia normy CEN/TS 16614 mieści się na około 620 stronach).

Ostatecznie do dalszych prac zarekomendowano algorytm II, który opiera się na biletach miesięcznych. Przy czym ostateczna decyzja powinna zostać podjęta w efekcie realizacji prac nad pozyskiwaniem danych.

### **2.3. Testy weryfikacyjne algorytmów składowych częstości kursowania**

Testy algorytmu 1, w którym pod uwagę brana była całkowita liczba kursów wszystkich linii, które zatrzymują się na każdym z przystanków zlokalizowanych wystarczająco blisko punktu adresowego dość szybko wykazały niską przydatność tego algorytmu do wyznaczania wskaźnika zagrożenia WK, pomimo uzyskiwania wartości deterministycznych. Duża liczba kursów na przystankach w sąsiedztwie PA nie musi przekładać się na dużą liczbę połączeń do oczekiwanych punktów docelowych. Ma to miejsce w szczególności w związku z koniecznością dokonywania przesiadek na usługi cechujące się dużo mniejszą częstotliwością kursów lub w sytuacji, gdy punkt docelowy wielu kursów jest odległy od poszukiwanych.

W przypadku algorytmu drugiego kluczowe jest określenie, które kursy są unikalne z perspektywy pasażera. Szczególnie ważna jest tu kwestia przesiadek. W przypadku częściowo wspólnych tras mogą odbywać się na wielu różnych przystankach pośrednich, w efekcie powodując zwielokrotnienie liczby połączeń, także w sytuacjach, gdy nie powoduje to zmian z perspektywy pozostałych składowych, tj. połączenie trwa tak samo długo, kończy

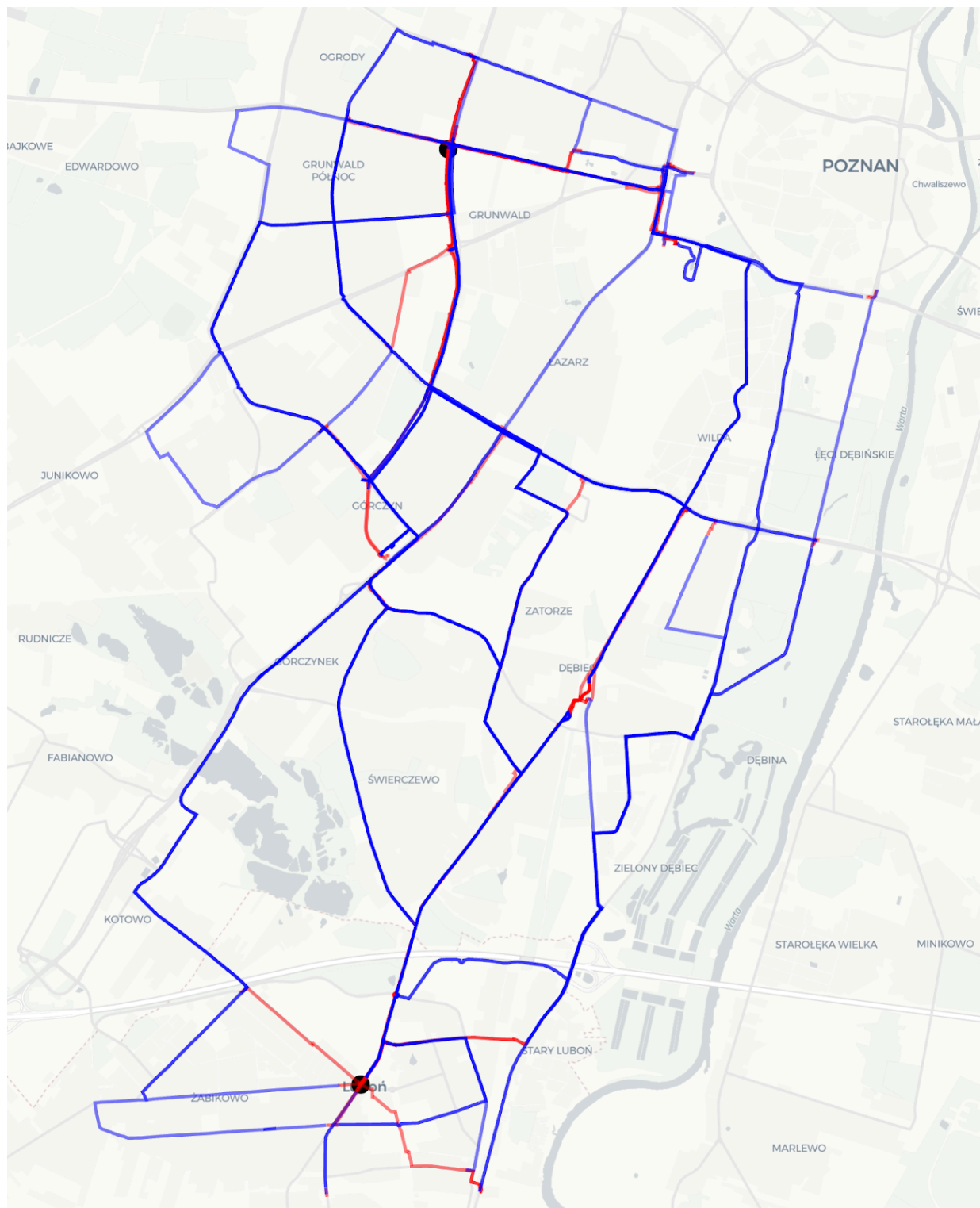
---

<sup>2</sup> Szerzej zagadnienia standaryzacji GTFS na potrzeby projektu opisano w raporcie z zad.10.

się o tej samej godzinie i kosztuje tyle samo przy zadowalającym poziomie niezawodności. Z perspektywy pasażera połączenia te są traktowane de facto jako jedno.

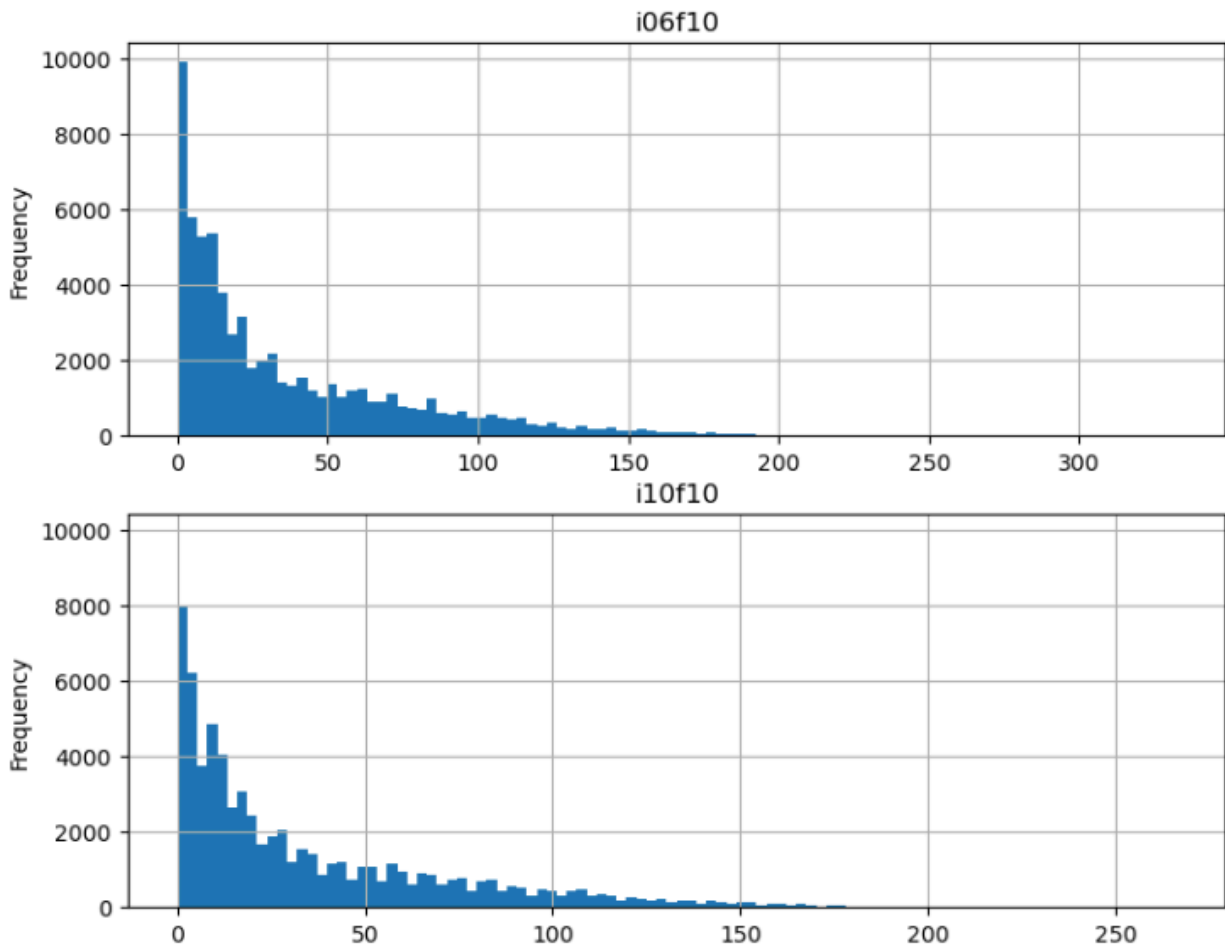
Ponadto wykorzystywany w OTP algorytm RAPTOR działa niedeterministycznie - nie musi wyznaczać wszystkich możliwych połączeń. W dużej mierze wynika to z samej charakterystyki planowania na sieci transportowej, gdzie w przypadku braku dodatkowych ograniczeń (np. co do czasu podróży czy dopuszczalnej liczby przesiadek) liczba możliwych wariantów podróży szybko osiąga bardzo duże wartości. Czasami jest to efekt wskazywania zbliżonych tras, szczególnie jeśli dwa kursy, między którymi występuje przesiadka, mają identyczny przebieg na fragmencie trasy (różnica może wtedy objawiać się zróżnicowaną ceną biletów, jeśli oba kursy nie są zintegrowane taryfowo). Czasami jest to jednak skutek bardzo bogatej oferty przewozowej na danym obszarze (rys. 8, poniżej). W efekcie OTP ma wbudowane warunki stopu, zatrzymujące dalsze obliczenia. W zakresie przesiadek oraz czasu podróży zostały one ustawione w taki sposób, by wyniki nie wpływały na wyniki innych składowych WK.



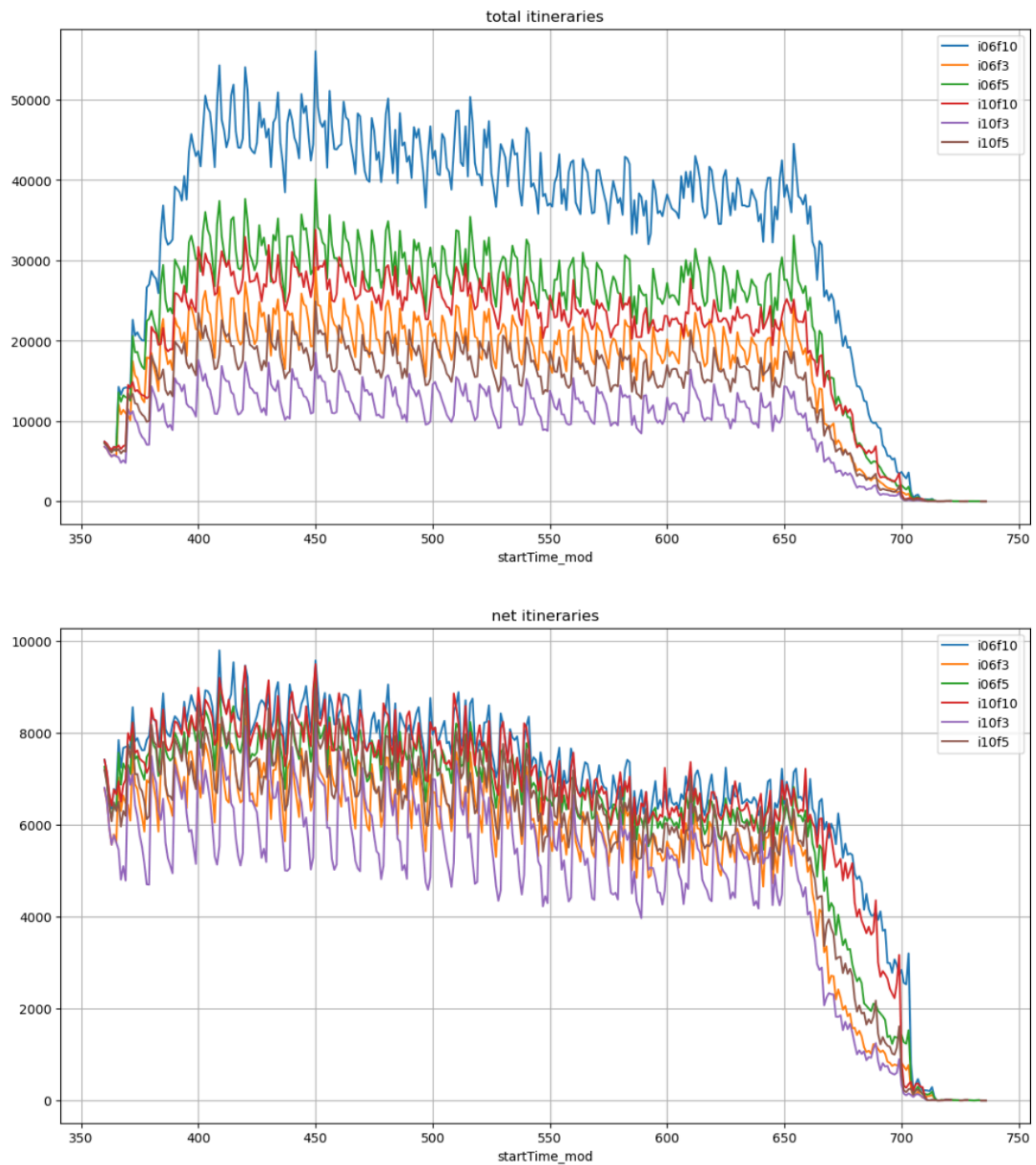


Rys. 8. Wizualizacja wygenerowanych przez OTP planów podróży dla przykładowego zapytania o trasę między Luboniem (skrzyżowanie Puławskiego / 11 listopada), a Poznaniem (ul. Przybyszewskiego). Kolorem niebieskim oznaczono segmenty PTZ, a czerwonym segmenty pokonywanie pieszo.

OTP cechuje się też różnymi parametrami, takimi jak "walking reluctance", które wpływają na chęć pasażera do korzystania z PTZ względem poruszania się pieszo. Domyślnie jest także parametryzowane do rozpoczęcia podróży w konkretnym momencie czasu, więc przegląd szerszych przedziałów czasu odbywa się przez zwiększenie liczby zapytań, które mogą przyjmować różne zagęszczenie. Wpływa to z jednej strony na dokładność poszukiwań, a z drugiej na ich czasochłonność. Stąd odpowiednia konfiguracja planera była istotna ze względu na pozyskiwany w ten sposób kluczowy materiał badawczy. Poniżej, na rys. 9 i 10 zaprezentowano przykładowe wyniki testów próbkowania OTP.



Rys. 9. Liczba połączeń z określoną liczbą wygenerowanych planów podróży dla różnych wartości parametrów OTP. Oznaczenia scenariuszy: "i" - szerokość interwału (minuty), "f" - maksymalna liczba planów podróży pozyskana dla zapytania w danym interwale.



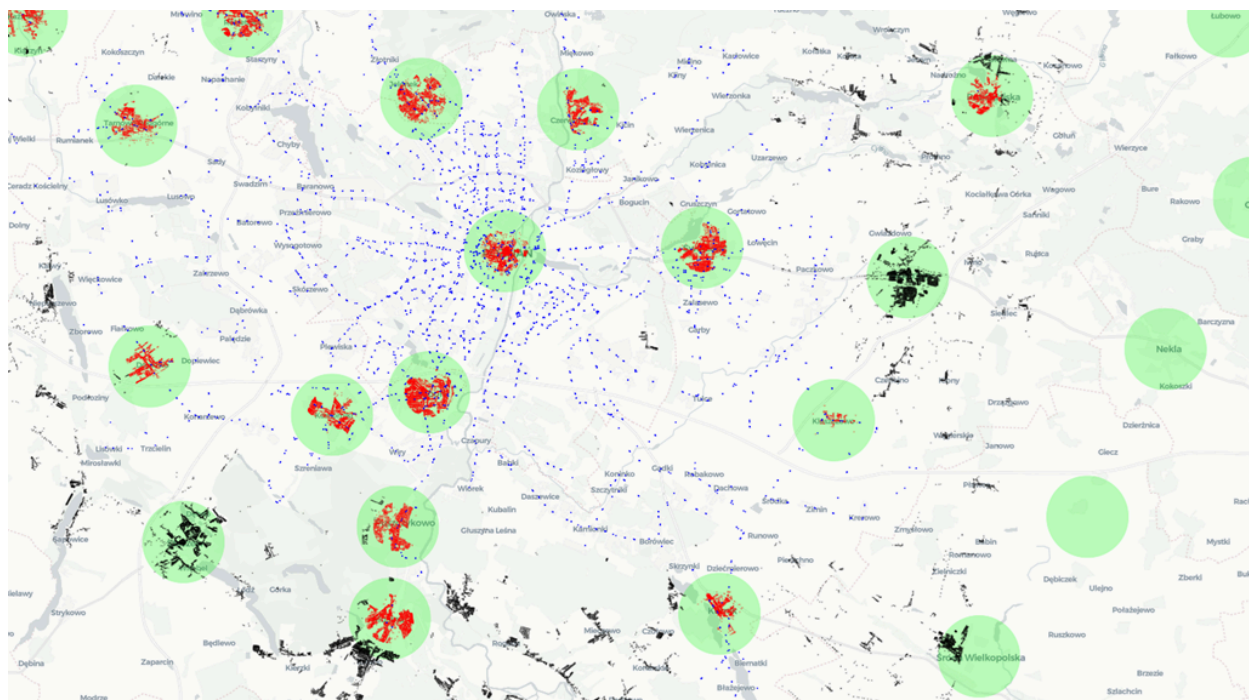
Rys. 10. Liczba generowanych tras podróży w ciągu doby w zależności od ustawień parametrów OTP. Góra - całkowita liczba, dół - liczba niepowtarzalnych planów podróży po deduplikacji. Oznaczenia scenariuszy: "i" - szerokość interwału (minuty), "f" - maksymalna liczba planów podróży pozyskana dla zapytania w danym interwale.



Ostatecznie przyjęto wariant, w którym zapytania o podróże odbywają się w interwałach półgodzinnych - godz. 5:00-14:00 dla podróży tam oraz 14:00-23:00 dla podróży powrotnych, każdorazowo z wykorzystaniem czterech różnych wartości walking reluctance - [2, 10, 30, 50]. Wariant ten zapewniał najlepszy kompromis uzyskiwanych efektów względem wymaganego czasu obliczeń (czas obliczeń na poziomie województwa wynoszący 1-2 dni na platformie sprzętowej pozyskanej do projektu). Kryterium uznaje się za spełnione w przypadku znalezienia minimum 4 połączeń TAM oraz minimum 4 połączeń powrotnych (które spełniałyby też pozostałe kryteria cząstkowe), zarówno do siedzib gmin, jak i powiatów. Udałe testy algorytmu II pozwoliły na jego rekomendację do dalszych prac.

### **2.4. Testy weryfikacyjne algorytmów składowych dostępności przestrzennej przystanku**

Pierwsza testowana metoda oceny dostępności do przystanku opierała się na wyznaczaniu dojścia do przystanku z punktu adresowego po wielkim kole ("w linii prostej"). Podejście to cechuje się łatwością implementacji i dużą efektywnością obliczeń przy względnie małym zapotrzebowaniu na dane, w tym brak potrzeby posiadania warstwy sieci drogowej dla ruchu pieszego. Wizualizację przeprowadzonego testu przedstawiono na rys. 11, poniżej.



Rys. 11. Graficzna prezentacja testu obszaru obsługi z wykorzystaniem metryki euklidesowej. Kolorem zielonym przedstawiono ekwidystanty 1,5 km wyznaczone dla centrów miejscowości będących siedzibami gmin i powiatów, tj. potencjalnych celów podróży. Kolorem niebieskim oznaczono przystanki.

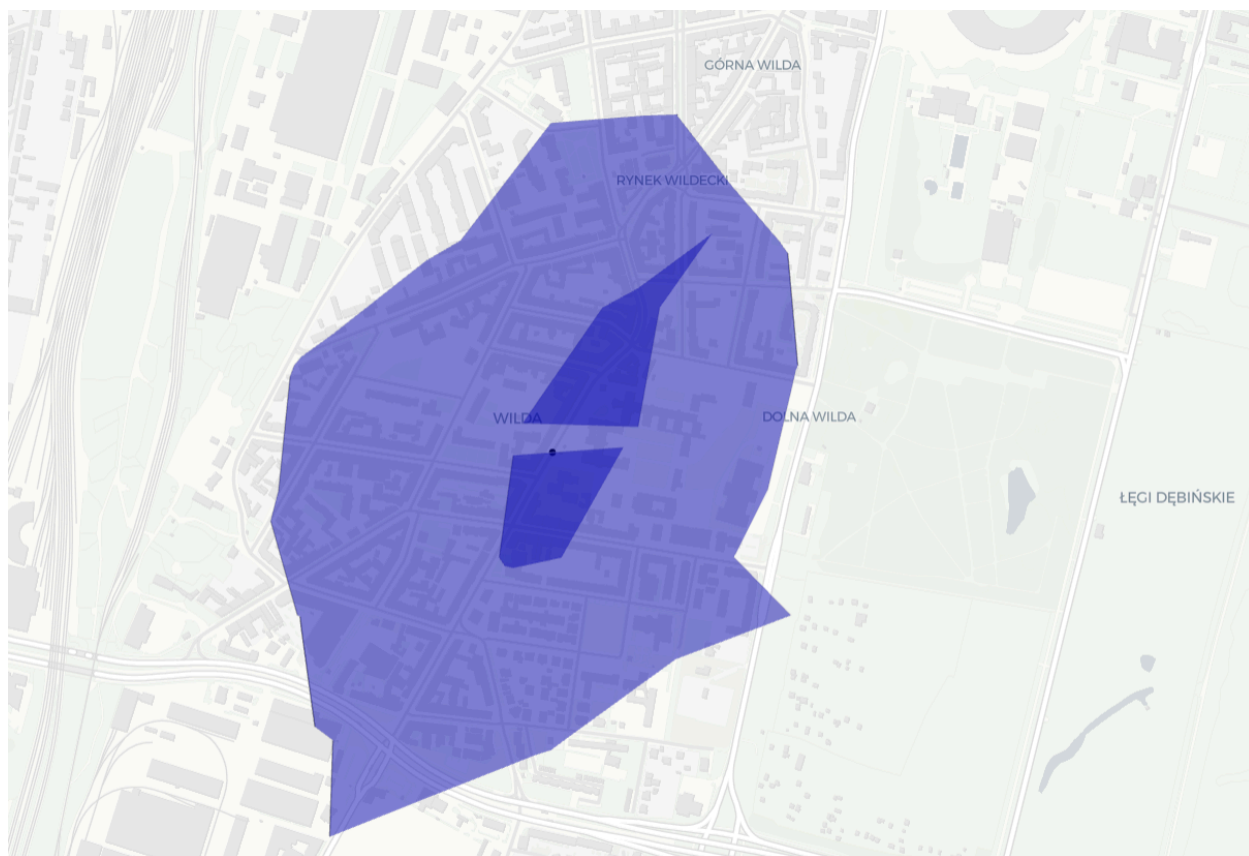
Ostatecznie podejście to zostało rekomendowane do dalszych prac, pomimo względnie małej odporności na występowanie barier takich jak rzeki czy jeziora<sup>3</sup>. Wartości graniczne ekwidystanty (600 metrów w miastach oraz 1 km na obszarach wiejskich - zwiększane dodatkowo o 50% w podejściu ciągłym) wyznaczono ekspercko w oparciu o literaturę (maksymalne akceptowalne czasy podróży pieszych) przy uwzględnieniu typowej gęstości przystanków w tych obszarach, w celu ograniczenia nadmiarowości obliczeń, np. tworzenia dodatkowych wariantów podróży, w których pasażer pieszo omija niektóre przystanki na danej linii.

Ponadto testowano też podejście, w którym dojście do przystanku obliczane jest z wykorzystaniem sieci drogowej. Po analizie potencjalnych rozwiązań - ORS, OSRM,

<sup>3</sup> Należy zauważyć, że wpływ takich barier jest ograniczany względnie niewielkimi wartościami poszukiwanych ekwidystant. Z drugiej strony pełne ich uwzględnienie wymaga dysponowania precyzyjnymi mapami ścieżek, kładek i przejść, także nieoficjalnych, co jest problematyczne do pozyskania w przypadku analiz prowadzonych w skali całego kraju.

GraphHopper i OTP wybrano ten ostatni przez wzgląd na to, że był wykorzystywany także do wyznaczania innych wartości APD oraz oferował zbliżoną wydajność co pozostałe. Rezultaty także były zbliżone, m.in. przez wzgląd na to, że wszystkie te narzędzia domyślnie wykorzystują sieć drogową udostępnioną w projekcie OpenStreetMap. Przy czym OTP uwzględniał też rodzaj nawierzchni ciągów pieszych, co było istotne z perspektywy APD6, tj. scenariusza “pasażera o ograniczonej mobilności”, patrz rys. 12.

Otrzymane rezultaty nie były jednak satysfakcjonujące zarówno pod względem wydajności obliczeniowej, jak i rezultatów, np. trudno wyjaśnianych nieciągłości. Podejście to także nie było w 100% odporne na występowanie barier, takich jak rzeki czy jeziora. Stąd nie zostało rekomendowane do dalszych prac. W efekcie zarekomendowano podejście pierwsze.



Rys. 12. Izochrona OTP wyznaczona dla scenariusza “osoba o ograniczonej mobilności”.

## 2.6. Testy weryfikacyjne algorytmów składowych niezawodności czasu podróży

Algorytmy składowe WK APD5, tj. niezawodność czasu podróży wymagały dopasowania do specyfiki rozwiązania OpenTripPlanner, które było już wykorzystywane do wyznaczania innych składowych WK. Po dostosowaniu składowa niezawodności była wyznaczana dla każdej podróży z osobna, a nie ich średniej, co w efekcie pozwoliło na uzyskanie bardziej precyzyjnych rezultatów. W związku z trudnością praktycznego wskazania, co oznacza „interwał ruchu” dla przystanków, które obsługują wiele różnych linii kursujących w wielu różnych kierunkach, co potęgowane jest dopuszczalnością przesiadek, nie udało się wdrożyć pierwszego zaproponowanego algorytmu.

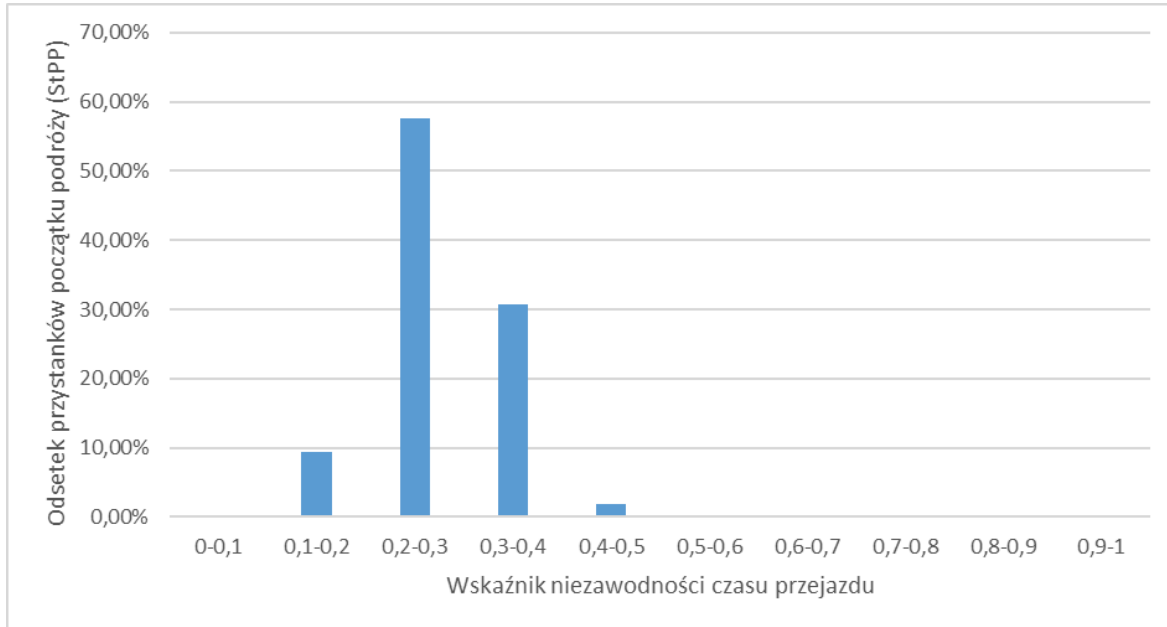
Testy drugiego algorytmu przeprowadzono na danych ZTM Poznań dla aglomeracji poznańskiej. W testach uwzględniono 17 174 podróże z PAPP (a dokładniej StPP) do PAKP i tyle samo podróży powrotnych, tj. z PAKP do PAPP (StPP), co łącznie daje 34 348 podróży. W zbiorze danych znalazło się 1 369 unikatowych StPP i 19 PAKP (inaczej POI, które w testach stanowiły stolice gmin, 10 miejskich i 9 wiejskich). Wyznaczenia wartości wskaźnika niezawodności czasu podróży dokonano na bazie dwóch składowych:

- lokalizacji przystanku początkowego podróży StPP definiowanej liczbą przystanków poprzedzających StPP na danej linii w kierunku od wybranego PAKP (podróż „tam”) lub PAPP (podróż „powrotne”),
- długość poszczególnych linii mierzonej całkowitą liczbą przystanków.

Obie składowe oparto o liczbę przystanków ze względu na dostępność tych danych. Opcja alternatywna zakładała definiowanie lokalizacji przystanków i długości linii w kilometrach. Dane odległościowe (rzeczywiste po sieci drogowej) były jednak niedostępne w przypadku wielu źródeł GTFS, a także w przypadku źródeł cyfryzowanych, gdzie zdarzało się, że przedstawiana była odległość na potrzeby taryfowe (np. kolejne przystanki w rozkładzie miały wskazaną tę samą odległość).

Uzyskane wyniki zaprezentowano na rys. 13, poniżej, tj. na histogramie częstości wystąpienia wartości wskaźnika niezawodności podróży z danego przedziału (przyjęto 10

przedziałów co wartość 0,1) dla danej pary PAPP (tj. StPP) i PAKP dla podróży „tam” i „z powrotem”.



Rys. 13. Odsetek przystanków StPP i łącznej liczby podróży „tam” i „z powrotem” dla których odnotowano wartość wskaźnika niezawodności podróży NP z podanego przedziału (dane dla aglomeracji poznańskiej).

Wartość referencyjna wskaźnika niezawodności podróży *NP* została ustalona na poziomie 0,8 [-]. Wartości powyżej oznaczają wykluczenie transportowe. Jak widać na powyższym rysunku żaden przystanek StPP (tym samym korzystający z niego PAPP) nie jest wykluczony transportowo. Testy wykazały jednak, że:

- wartości wskaźnika są możliwe do wyznaczenia na bazie posiadanych danych,
- wartości wskaźnika wykazują zmienność dla poszczególnych StPP.

Brak wykluczenia jakiegokolwiek StPP upatrywany jest w ograniczonym zakresie danych testowych o dość spójnych cechach, tj. podróże realizowane wyłącznie dzienną komunikacją autobusową w mocno zurbanizowanym terenie. Zakłada się, że “aktywację” składowej może spowodować uwzględnienie w analizach bardzo długich linii komunikacyjnych, co może mieć miejsce w przypadku niektórych “objazdowych” i okrężnych linii transportu gminnego lub w

niektórych liniach nocnych komunikacji miejskiej (w przypadku wystąpienia zapotrzebowania na badanie wykluczenia z transportu zbiorowego też w godzinach nocnych)<sup>4</sup>.

Algorytm ten, tj. modyfikacja algorytmu 2, z ograniczeniem do składowej odległości mierzonej, jako liczba przystanków, został rekomendowany do dalszych prac.

### **2.5. Testy weryfikacyjne algorytmów składowych dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami**

#### **2.5.1. Wstępne założenia**

Testy algorytmu składowego WK APD6, czyli dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami, przeprowadzono na danych z plików GTFS dla aglomeracji poznańskiej oraz eksperckiej oceny części przystanków w aglomeracji poznańskiej. Ocena ekspercka została przeprowadzona jako badanie uzupełniające i z uwagi na badawczy charakter tych prac została ograniczona obszaro.

#### **2.5.2. Ekspercka ocena przystanków aglomeracji poznańskiej**

Dane z plików GTFS odnoszą się jedynie do utrudnień dla osób z niepełnosprawnością ruchową, szczególnie korzystających z wózków inwalidzkich. Dostępność można określić niezależnie dla przystanków ("wheelchair\_boarding" w stops.txt) oraz pojazdów ("wheelchair\_accessible" w trips.txt). Dane te jednak bardzo rzadko były udostępniane przez dostawców. Jakikolwiek informacje o obu rodzajach dostępności zostały odnalezione przez zespół projektowy jedynie dla zbiorów Warszawskiej Kolei Dojazdowej oraz ZTM Warszawa. W przypadku zbioru danych ZTM Poznań udostępniono jedynie informacje o dostępności pojazdów. W związku z tym na potrzeby testów dostępność przystanków dla osób z niepełnosprawnością została ekspercko zweryfikowana dla części przystanków aglomeracji poznańskiej. Zbadano:

---

<sup>4</sup> Należy zauważyć też, że uwzględnienie różnych składowych w definicji może również pełnić funkcję prewencyjną przed stosowaniem rozwiązań niekorzystnych dla pasażerów.

- wszystkie przystanki tramwajowe,
- przystanki na wybranych 4 liniach autobusowych układu podstawowego,
- przystanki na wybranych 3 liniach autobusowych peryferyjnych (miejskich),
- przystanki na wybranych 4 liniach autobusowych podmiejskich,
- przystanki na wybranych 2 liniach mikrobusowych,
- przystanki na wybranej 1 linii autobusowej nocnej,
- wszystkie przystanki autobusowe w gminach Czerwonak (wewnętrzna gmina aglomeracji) i Murowana Goślina (zewnętrzna gmina aglomeracji).

Analizą objęto dostępność przystanków dla osób z niepełnosprawnością (pełną lub częściową) ruchową i wzrokową. Przyjęto następujące kryteria oceny:

- dostępność peronu dla osób niepełnosprawnych ruchowo:
  - wysokość peronu - od strony jezdni lub torowiska,
  - odsunięcie peronu od pojazdu z powodu lokalizacji przy łuku - problem wystąpił głównie przy peronach tramwajowych,
  - przeszkody dla dostępności peronu od strony chodnika (jeżeli nie ma chodnika - od strony jezdni lub innej drogi),
  - jeżeli peron jest niedostępny, czy występuje winda,;
- wyposażenie peronu dla osób niepełnosprawnych wzrokowo:
  - pasek w kontrastowym kolorze przy krawędzi peronu od strony jezdni / torowiska,
  - wypustki przy krawędzi peronu od strony jezdni / torowiska,
  - prowadnice dla osób niewidomych,
  - informacja głosowa o rozkładzie jazdy;
- dostępność przystanku dla osób niepełnosprawnych ruchowo - możliwość dojścia lub dojazdu z obszaru oddziaływania przystanku:
  - przeszkody dla dostępności przystanku (np. schody, gruntowa nawierzchnia),
  - jeżeli dostępności przeszkadzają schody - czy jest winda;
- dostępność przystanku dla osób niepełnosprawnych wzrokowo:
  - bezpieczeństwo dojścia - czytelność, przejścia dla pieszych, ograniczenia prędkości pojazdów,
  - prowadnice dla osób niewidomych.



Na podstawie eksperckiej oceny określono z jakimi problemami mogą borykać się osoby z niepełnosprawnością w zależności od obszaru aglomeracji bądź linii transportu zbiorowego:

- Wysokość peronu na większości przystanków została dostosowana do potrzeb osób z niepełnosprawnością ruchową, najgorsze wyniki (około 50% peronów spełniających wymagania) uzyskano dla gminy Murowana Goślina i dla lokalnych linii mikrobusowych. W pozostałych kategoriach wyniki zawierały się w zakresie 84-98%, najlepiej dla autobusów linii podstawowych.
- Dostępność peronu dla osób z niepełnosprawnością ruchową pogarszała się wraz z oddalaniem się od miasta - najgorsze wyniki uzyskano dla gminy Murowana Goślina (52% peronów spełniających wymagania), ale samo miasto uzyskało najlepszy wynik - 100%. W pozostałych kategoriach wyniki zawierały się w zakresie 86-100%.
- Wyposażenie peronu w wypustki, jaskrawe pasy bezpieczeństwa czy prowadnice, a więc elementy istotne dla osób z niepełnosprawnością wzrokową, oscylowało od 3 do 75%, najgorzej w gminie Murowana Goślina, najlepiej na peronach tramwajowych.
- Głosowa informacja pasażerska nie była stosowana w gminie Murowana Goślina, a w gminie Czerwonak oraz na liniach peryferyjnych miasta Poznania i liniach podmiejskich objęła mniej niż 10% peronów. Największy udział peronów z głosową informacją pasażerską miały tramwaje - 50%.
- Dojście z przyległego terenu w obszar przystanku stanowiło problem dla osób z niepełnosprawnością ruchową na 4-15% przystanków w Poznaniu i na liniach podmiejskich, natomiast nie było problemem w gminach Murowana Goślina i Czerwonak. Taka sytuacja wynika z trasowania autobusów i tramwajów wzdłuż dróg z rozwiązaniami dwupoziomowymi (niekiedy bezkolizyjnymi), a w pojedynczych lokalizacjach również z ukształtowania terenu w obszarze silnej urbanizacji.
- Prowadnice na dojściu do przystanków zainstalowano głównie przy przystankach tramwajowych (27%) i przy trasowanych podobnie do linii tramwajowych liniach nocnych (18%).
- Bezpieczeństwo dojścia w obszar przystanku, z uwzględnieniem możliwości zorientowania się w terenie, najlepiej wypadło dla linii mikrobusowych (95% dojść

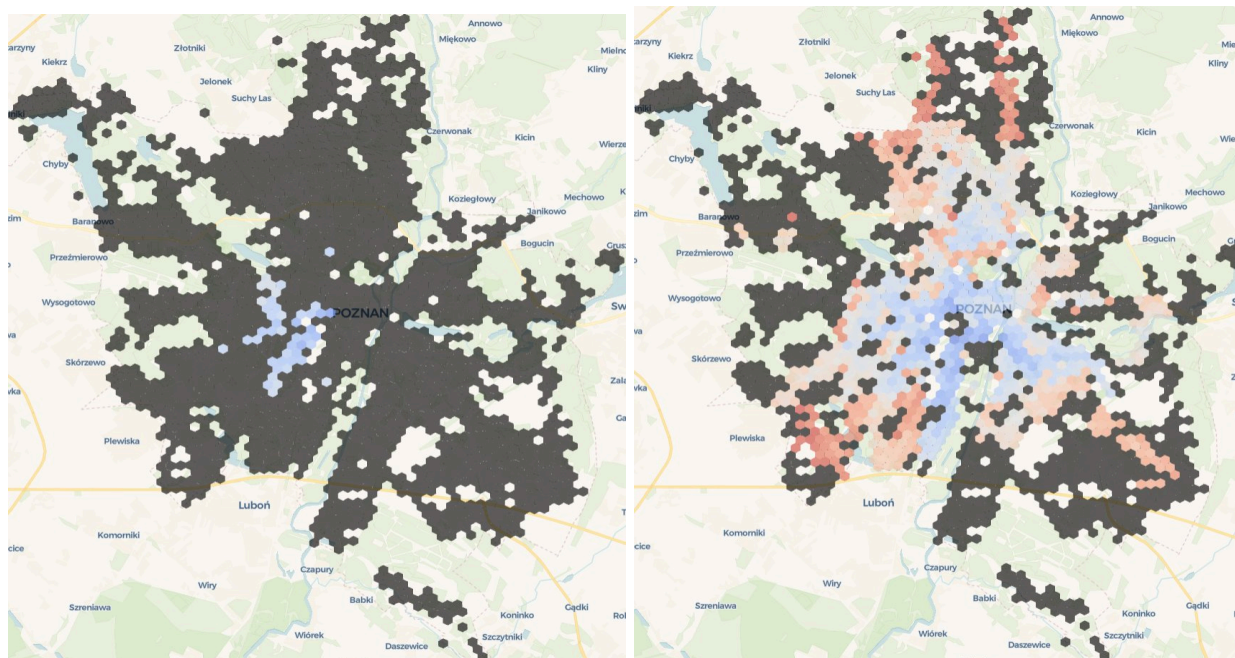


bezpiecznych), co wynika między innymi z ich trasowania ulicami niskich klas. Najgorsze wyniki uzyskano poza Poznaniem i na liniach peryferyjnych, gdzie problemem jest często brak chodnika. W Poznaniu (poza liniami peryferyjnymi) głównym problemem okazała się zaś czytelność skrzyżowań - osoba z niepełnosprawnością wzrokową mogła nieświadomie wejść na jezdnię bądź środek skrzyżowania.

Pozyskane dane zostały uproszczone i dodane do zbioru GTFS ZTM Poznań w celu przeprowadzenia dalszych testów.

### **2.5.3. Testy z wykorzystaniem danych GTFS - z wykorzystaniem wskaźnika IBI**

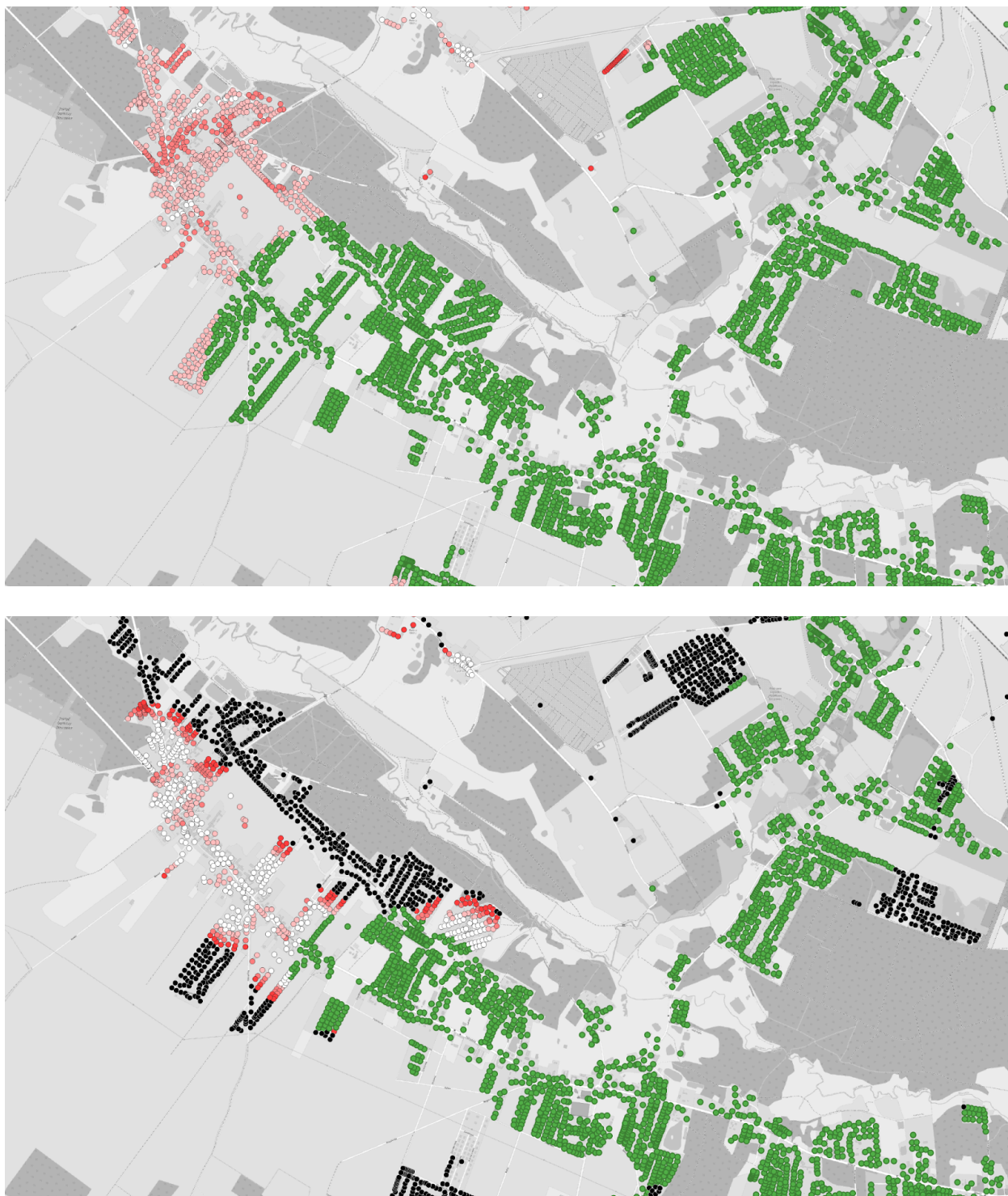
W pierwszej kolejności przetestowano podejście opierające się na wskaźniku IBI accessibility score. Przyjęto, że podróż nie wyklucza osoby z ograniczoną mobilnością, jeśli wskaźnik ten jest większy niż 0,66. Przeprowadzona dla miasta Poznań analiza pokazała, że na wyniki bardzo duży wpływ ma dostępność danych w zakresie dostępności infrastruktury oraz pojazdów. W przypadku Poznania w źródłowych plikach GTFS znajdowały się jedynie informacje o dostępności pojazdów. Przełożyło się to na znaczne zmniejszenie dostępności systemu PTZ dla osób o ograniczonej mobilności. W przypadku scenariusza, w którym nie uwzględniono wyników oceny dostępności do infrastruktury przygotowanej przez zespół autorski osoby z ograniczeniami mobilności miały dostęp jedynie do 18% podróży, które były dostępne dla osób bez tych ograniczeń. Uwzględnienie tej oceny skutkowało zwiększeniem udziału takich możliwości do 63% (por. rys. 14 poniżej). Biorąc pod uwagę, że przeprowadzona w zad. 3 oraz 6-9 analiza dostępnych źródeł informacji o PTZ wskazała, że deklaracje dostępności zarówno pojazdów, jak i infrastruktury przystankowej są rzadką praktyką, uznano iż podejście to nie powinno być rekomendowane do dalszych prac przynajmniej do momentu, w którym znacząco poprawi się dostępność informacji w tym zakresie.



Rys. 14. Porównanie względnej zmiany poziomu dostępności osób z ograniczeniami mobilności względem osób bez takich ograniczeń na przykładzie dostępu do dworca PKP w Poznaniu. Po lewej stronie wariant „dostępne dane”, po prawej stronie wariant „dane uzupełnione przez eksperta”. Kolorem czarnym oznaczono obszary określone, jako niedostępne dla osób z niepełnosprawnościami. Intensywność koloru czerwonego wskazuje na względne pogorszenie względem osób bez niepełnosprawności.

#### 2.5.4. Testy z uwzględnieniem zmiany parametrów

W drugim podejściu ocena dostępności dla osób z niepełnosprawnościami polegała na przygotowaniu dodatkowego scenariusza, w którym część parametrów, takich jak maksymalna odległość do przystanku, dopuszczalna liczba przesiadek czy koszt biletów, uległa zmianie. Testy te przebiegły pomyślnie dla dostępnych danych. Jedynym mankamentem był wzrost czasu obliczeń związany z dodatkowym scenariuszem. Na rys. 15, poniżej, przedstawiono porównanie wyników dla scenariusza bazowego „przeciętny pasażer” oraz „osoba z ograniczeniami mobilności”. Zgodnie z oczekiwaniami wykluczenie (czarny kolor punktów) pojawiło się dla PA bardziej oddalonych od przystanków.



Rys. 15. Porównanie wskaźnika zagrożenia WK dla podejścia hybrydowego obliczonego dla APD1-5 (góra) oraz APD6 (dół).

Podsumowując, zaproponowane w tym algorytmie podejście de facto scenariuszowe, tj. analiza poziomu WK z perspektywy różnych modeli pasażera (z ograniczeniami, bez ograniczeń), jest rekomendowane do dalszych prac, gdyż działa także w sytuacji ograniczonej dostępności informacji o dostępności dla osób z ograniczeniami mobilności. Przy czym scenariusz ten także wiąże się z pewnymi mankamentami, na co przykład przedstawiono w rozdz. 2.10 (algorytmy pomocnicze w zakresie transportu na życzenie/żądanie).

### **2.7. Testy weryfikacyjne algorytmów pomocniczych w zakresie przesiadek**

Poprzez zastosowanie OTP (algorytm RAPTOR) obliczanie możliwości i czasów przesiadek zostało zintegrowane i testowane razem z obliczeniem czasów podróży, który opisano w rozdz. 2.3. Rezultaty (przykład zaprezentowany na rys.16, poniżej) były satysfakcjonujące. Biorąc pod uwagę większą elastyczność względem drugiego zaproponowanego podejścia, tj. możliwość swobodnego ustalania maksymalnej dopuszczalnej liczby przesiadek (w tym trzech dla scenariusza osoby bez ograniczeń mobilności oraz 1 dla scenariusza osoby z występującymi ograniczeniami mobilności), opcja ta została rekomendowana do dalszych prac.

Drugie z proponowanych podejść pozwalało jedynie na dokonanie maksimum jednej przesiadki. W efekcie nie zostało rekomendowane.





Rys. 16. Zbliżenie na węzeł przesiadkowy Poznań Dębiec, w którym pasażerowie mogą przesiadać się z tramwaju na autobusy podmiejski. Kolorem niebieskim wskazano wyznaczone przez OTP segmenty PTZ a czerwonym łączące je segmenty pieszce. Przykład dla zapytania o trasę między Luboniem (skrzyżowanie Pułaskiego / 11 listopada), a Poznaniem (ul. Przybyszewskiego).

## **2.8. Testy weryfikacyjne algorytmów pomocniczych w zakresie rozróżnienia charakteru badanego obszaru**

Algorytmy pomocnicze w zakresie rozróżnienia obszarów polegają na sposobie wyznaczenia wartości progowych dla poszczególnych składowych WK i użyciu ich dla obszarów o różnym charakterze. Rekomendowano ich wykorzystanie w zakresie rozróżnienia badanego obszaru na wiejski oraz miejski.

## **2.9. Algorytmy pomocnicze w zakresie agregacji przestrzennej i miar sieciowych**

Testowane algorytmy składowych wykluczenia wykazały się wystarczającą efektywnością, by nie było potrzeby pomocniczego stosowania agregacji przestrzennej przystanków czy punktów adresowych. Podobnie nie było potrzeby testowania algorytmów w zakresie miar sieciowych.

## **2.10. Testy weryfikacyjne algorytmów pomocniczych w zakresie transportu na życzenie**

W ramach prac przeanalizowano dedykowane systemy taksówkowe dla osób o szczególnych potrzebach. Analizy dokonano poprzez kwerendę Internetową wyszukując hasła „taksówka dla seniora”, „taxi dla seniora”, „taksówka społeczna”, a także pokrewne.

Znalezione systemy oferowały obsługę dla osób starszych, których wiek definiowano jako zaczynający się między 60 a 80 rokiem życia. W ponad połowie gmin (55%) z usługi mogą skorzystać osoby z niepełnosprawnością, w części gmin ponadto osoby po osiągnięciu odpowiedniego wieku (niższego niż klasyfikującego na seniora).

Systemy zazwyczaj oferowały przejazdy w dni robocze w określonych godzinach: początek obsługi był w godzinach 6-9, a koniec 15-22, jedynie w 15% gmin limity czasowe nie występowały, bądź nie były podane. W większości gmin (60%) usługa była ograniczona ilościowo do 1-3 par podróży w miesiącu, w Koszalinie do 10 par podróży w miesiącu, a w

pozostałych sytuacjach ograniczeń nie podano – jedynie gmina Goleniów wprost napisała o braku tego ograniczenia. W 40% gmin cel podróży był ograniczony, dopuszczalnymi celami były dojazd do lekarza, często również urzędu, czasami cmentarza czy dworca kolejowego. Zasięg podróży był ograniczony do gminy, jedynie w 20% gmin można było wyjechać poza gminę. W 45% gmin przejazd trzeba było zamawiać 2-3 dni wcześniej.

Gminami oferującymi dedykowany system taksówkowy dla seniorów są miasta powiatowe oraz miasta i gminy w miejskich obszarach funkcjonalnych. W województwach kujawsko-pomorskim i świętokrzyskim niektóre gminy skorzystały ze współpracy z miastami wojewódzkimi tworząc wspólny system. Znalaziono też gminy, w tym miejsko-wiejskie w których system funkcjonował dopóki była dotacja z funduszy zewnętrznych, otwarte pozostaje więc pytanie czy system w województwie świętokrzyskim będzie kontynuowany po zakończeniu programu dofinansowanego przez PFRON.

Podsumowując, zarekomendowano algorytm, który jako czynnik ograniczający wykluczenie uznaje te systemy taksówki społecznej (i szerzej inne systemy transportu na życzenie), które:

- nie stawiają limitów w liczbie podróży (jako wartość graniczną można uznać zapewnienie pary podróży w każdy dzień roboczy),
- oferują szeroki zakres dopuszczalnych celów podróży (np. rodzina),
- są dostępne dla szerokiego grona osób (np. wszystkie osoby z niepełnosprawnością oraz wszyscy seniorzy 65+),
- cechują się ceną zbliżoną do przejazdu transportem regularnym (zgodnie z limitami przyjętymi w składowej kosztowej),
- cechują się wymaganym wyprzedzeniem zamówienia pojazdu nie większym niż 2 godziny,
- cechują się dostępnością przez większość doby (w godz. 6:00-22:00 w dni robocze)
- cechują się niezawodnością ocenianą jako poziom odchyień rzeczywistego czasu przyjazdu, względem zamówionego (np. mieszczanie się w oknie czasowym -5 i +10 minut).

Autorzy nie znaleźli żadnego systemu, który spełniałby wszystkie założone cele. Wśród gmin najbliższych spełnienia tych wymogów są:

- Goleniów – tylko do lekarza, urzędu lub na cmentarz dla osób w wieku 70+;
- Swarzędz – dla osób w wieku 60+, a dla osób z niepełnosprawnością bez limitu wieku;
- Katowice – dla osób z niepełnosprawnością, przy opłacie 3 zł za początek podróży i 1,2 zł za km;
- Nowy Sącz – dla osób z niepełnosprawnością;
- Żyrardów – dla osób w wieku 75+, a dla osób z niepełnosprawnością w wieku 60+;
- Starachowice – dla osób w wieku 70+, a dla osób z niepełnosprawnością bez limitu wieku;
- Wybrane gminy województwa kujawsko-pomorskiego – dla dorosłych osób z widoczną niepełnosprawnością.

W przypadku usług transportu na życzenie skierowanych do wszystkich użytkowników, ciekawy (w sensie względnie niewielkich ograniczeń w korzystaniu, np. możliwość korzystania dowolną ilość razy) przykład stanowi projekt wdrożony w gminie Wierzychowo (woj. zachodniopomorskie)<sup>5</sup>. Usługa ta nie jest ograniczona pod względem maksymalnej miesięcznej liczby podróży - nie spełnia natomiast przyjętego kryterium wyprzedzenia zamówienia (minimum dzień wcześniej), co jednak na potrzeby testu zignorowano. Usługa ta umożliwia poruszanie się dowolnym grupom pasażerów “od drzwi do drzwi” pod warunkiem, że punkty źródłowe i docelowe podróży znajdują się w różnych miejscowościach. Możliwe jest także zamówienie podróży do siedzib dwóch sąsiednich gmin, tj. Czaplinka i Złocieńca. Jednak w tym przypadku punktem początkowym/docelowym mogą być jedynie wybrane przystanki na terenie tych miejscowości. Obejmują one kluczowe punkty, jak np. dworzec PKP. Z perspektywy przyjętych w niniejszym projekcie składowych można uznać, że dla punktów adresowych zlokalizowanych w obrębie gminy Wierzychowo:

- kryterium dostępności do przystanku powinno być uznane za spełnione - pasażer praktycznie zawsze rozpoczyna podróż na “wirtualnym” przystanku,

---

<sup>5</sup> <https://wierzychowo.pl/transport-na-zyczenie.html> (dostęp: 2025.06.20)



- kryterium częstotliwości podróży powinno być uznane za spełnione - podróż można zamówić w dowolnej porze dnia roboczego, w godzinach 6:00-22:00 oraz w weekendy w godzinach 9:00-20:00,
- kryterium niezawodności podróży powinno być uznane za spełnione - podróż zawiera tylko przystanek początkowy i końcowy - nie zakłada występowania przystanków pośrednich oraz wcześniejszych (jednocześnie nieznane są parametry w zakresie dopuszczalnej szerokości okna czasowego przyjazdu względem zamówienia),
- w związku z realizacją transportu busem przy braku przystanków pośrednich, można przyjąć prędkość zbliżoną do samochodu osobowego, a w związku z tym spełnienie kryterium czasu podróży do siedziby gminy (i z przesiadką na pociąg w Żłocieńcu - stolicy powiatu).

Problematyczne do spełnienia może być kryterium kosztów podróży. Wyznaczona wartość miesięcznego dochodu rozporządzalnego na 1 osobę dla gminy Wierzchowo wyniosła 2569 PLN. 15% tej wartości wynosi zatem 385,35 PLN. Cennik transportu na życzenie w gminie nie obejmował planu miesięcznego. Przy założeniu odbywania podróży powrotnych w dni robocze (42 podróże w miesiącu) cennik przejazdów jednorazowych wskazywał na możliwość odbywania podróży o maksymalnej długości 25 km (cena przejazdu 8,6 PLN) w obrębie gminy lub 3-6 km (cena przejazdu 4,4-4,9 PLN) przy założeniu przesiadki w Żłocieńcu na pociąg do najbliższej stolicy powiatu - Drawska Pomorskiego (koszt biletu miesięcznego Polregio 181 PLN). Stąd usługa ta skutecznie redukuje wykluczenie komunikacyjne w obrębie gminy, jednak jest niewystarczająca z perspektywy zapewniania dostępności do miasta powiatowego - najbliższa Żłocieńcu miejscowość w gminie Wierzchowo (Osiek Drawski) znajduje się w odległości nieznacznie przekraczającej 6 km od dworca kolejowego w Żłocieńcu.

Biorąc pod uwagę brak jednoznacznej deklaracji dostępności pojazdu dla osób z niepełnosprawnościami (materiały zdjęciowe sugerowały nieprzystosowanie) oraz brak ulg dla tej grupy osób zarówno w przypadku usługi na życzenie, jak i usługi PolRegio, można uznać, że także w tym przypadku kryterium dostępności nie jest spełnione. Jednak formalnie w przypadku wykorzystania algorytmu nr 2 dostępności dla osób z niepełnosprawnościami (zmiana parametrów dojścia do przystanku, maksymalnej liczby

przesiadek oraz akceptowalnego budżetu na podróż) należałoby przyjąć brak wykluczenia tej grupy osób.

Jednocześnie warto zauważyć w tym miejscu, że dostępność do siedziby powiatu zakłada w tym przypadku odbycie mieszanej podróży - częściowo transportem na życzenie, częściowo z wykorzystaniem usług regularnych. Takie sytuacje powinny być uwzględnione algorytmicznie - zastosowane narzędzie (OTP) to umożliwia, podobnie jak obsługę usług transportu na życzenie, które nie posiadają z góry ustalonej i ograniczonej liczby miejsc zatrzymań (przystanków).

### **3. Ocena uzyskanych wyników testów i rekomendacje w zakresie parametrów**

Przeprowadzone testy pozwoliły na wyłonienie algorytmów rekomendowanych do dalszych prac. W ramach testów przeanalizowano m.in. możliwość zapewnienia algorytmom obliczeniowym odpowiednich danych, w tym w szczególności danych otwartych. Zapotrzebowanie to było wskazywane na bieżąco przy opisie procedur testowych oraz było elementem testów analitycznych prowadzonych w ramach Zad. 4. Algorytmy na tym etapie nie wymagały większych zmian względem propozycji przedstawionych w Zad. 4. Testy pozwoliły jednak na doprecyzowanie różnego rodzaju parametrów związanych z wyznaczaniem składowych wykluczenia. Parametry te podsumowano w poniższych tabelach, zarówno dla scenariusza bazowego (tab. 1), jak i scenariusza "ograniczona mobilność" (tab. 2). Zostały one dobrane na podstawie przeglądu stanu wiedzy i dobrych praktyk w zakresie projektowania rozwiązań transportowych przyjaznych pasażerom.

Tab. 1. Rekomendowane wartości parametrów algorytmów składowych WK - scenariusz bazowy.

Algorytm	Zakres	Relacja	Wartość		Jednostka
			gm. miejska	gm. wiejska	
APD1	czas przejazdu do miejsca docelowego lub powrotu	podróż gminna	45	45	minuty
		podróż powiatowa	70	70	minuty
przesiadki	maksymalna liczba przesiadek	podróż gminna	3	3	-
		podróż powiatowa	3	3	-
APD2	dostępność przestrzenna przystanku - dyskretny	podróż gminna	600	1000	m
		podróż powiatowa	600	1000	m
APD2	dostępność przestrzenna przystanku - ciągły	podróż gminna	900	1500	m
		podróż powiatowa	900	1500	m
APD3	maks. koszt biletów miesięcznych normalnych w relacji do dochodu rozporządzalnego na osobę w gminie	podróż gminna	15	15	%
		podróż powiatowa	15	15	%
APD4	częstość kursowania - zakres czasowy tam	podróż gminna	5:00-14:00	5:00-14:00	-
	częstość kursowania - zakres czasowy tam	podróż powiatowa	5:00-14:00	5:00-14:00	-
	częstość kursowania - zakres czasowy powrót	podróż gminna	14:00-23:00	14:00-23:00	-
	częstość kursowania - zakres czasowy powrót	podróż powiatowa	14:00-23:00	14:00-23:00	-
	częstość kursowania minimalna liczba kursów tam	podróż gminna	4	4	-
	częstość kursowania minimalna liczba kursów tam	podróż powiatowa	4	4	-
	częstość kursowania minimalna liczba kursów powrót	podróż gminna	4	4	-
	częstość kursowania minimalna liczba kursów powrót	podróż powiatowa	4	4	-
APD5	współczynnik niezawodności czasu podróży	podróż gminna	0,8	0,8	-
		podróż powiatowa	0,8	0,8	-

Tab. 2. Rekomendowane wartości algorytmów składowych WK - scenariusz "ograniczona mobilność".

Algorytm	Zakres	Relacja	Wartość		Jednostka
			gm. miejska	gm. wiejska	
APD1	czas przejazdu do miejsca docelowego lub powrotu	podróż gminna	45	45	minuty
		podróż powiatowa	70	70	minuty
przesiadki	maksymalna liczba przesiadek	podróż gminna	1	1	-
		podróż powiatowa	1	1	-
APD2	dostępność przestrzenna przystanku - dyskretny	podróż gminna	300	500	m
		podróż powiatowa	300	500	m
APD2	dostępność przestrzenna przystanku - ciągły	podróż gminna	450	750	m
		podróż powiatowa	450	750	m
APD3	maks. koszt biletów miesięcznych normalnych w relacji do dochodu rozporządzalnego na osobę w gminie	podróż gminna	30	30	%
		podróż powiatowa	30	30	%
APD4	częstość kursowania - zakres czasowy tam	podróż gminna	5:00-14:00	5:00-14:00	-
	częstość kursowania - zakres czasowy tam	podróż powiatowa	5:00-14:00	5:00-14:00	-
	częstość kursowania - zakres czasowy powrót	podróż gminna	14:00-23:00	14:00-23:00	-
	częstość kursowania - zakres czasowy powrót	podróż powiatowa	14:00-23:00	14:00-23:00	-
	częstość kursowania minimalna liczba kursów tam	podróż gminna	4	4	-
	częstość kursowania minimalna liczba kursów tam	podróż powiatowa	4	4	-
	częstość kursowania minimalna liczba kursów powrót	podróż gminna	4	4	-
	częstość kursowania minimalna liczba kursów powrót	podróż powiatowa	4	4	-
APD5	współczynnik niezawodności czasu podróży	podróż gminna	0,8	0,8	-
		podróż powiatowa	0,8	0,8	-

## 4. Osiągnięcie kamieni milowych zadania

### 4.1. Wstępne założenia

Realizacja zad. 5 zakładała osiągnięcie dwóch kamieni milowych, dotyczących analizy funkcjonowania podstawowych algorytmów wyznaczania składowych WK oraz algorytmów pomocniczych, w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Oba przypadki scharakteryzowano poniżej.

### 4.2. Analiza porównawcza funkcjonowania podstawowych algorytmów wyznaczających składowe WK w warunkach zbliżonych do rzeczywistych

Pierwszy kamień milowy dotyczył listy rekomendowanych podstawowych algorytmów wyznaczających składowe wykluczenia komunikacyjnego. W efekcie przeprowadzonych testów zarekomendowano do dalszych prac po jednym algorytmie w zakresie składowych:

- czasu dojazdu,
- kosztu dojazdu,
- częstości kursowania,
- dostępności przestrzennej przystanku,
- dostępności dla osób z niepełnosprawnościami (ograniczenia mobilności).

Należy zatem uznać, że **kamień milowy został osiągnięty**.

### 4.3. Analiza porównawcza funkcjonowania algorytmów pomocniczych w warunkach zbliżonych do rzeczywistych

Drugi kamień milowy dotyczył listy rekomendowanych algorytmów pomocniczych. Rekomendowano minimum po jednym algorytmie dla trzech algorytmów pomocniczych, tj:

- obsługa przesiadek,
- włączenie do analiz transportu na życzenie,



- rozróżnienie charakteru badanego obszaru.

Należy zatem uznać, że **kamień milowy został osiągnięty**.

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone w Zad. 5 testy pozwoliły na kontynuację prac projektowych w kolejnych zadaniach, w szczególności w Zad. 11, gdzie wyznaczone składowe wykluczenia będą integrowane do wskaźnika zagrożenia wykluczeniem z transportu zbiorowego, a następnie agregowane do poziomu jednostek samorządu terytorialnego lub innych poziomów agregacji przestrzennej.

Za kluczowe efekty wykonanych prac w Zad. 5 należy uznać następujące rezultaty:

- Testy wytypowanych wcześniej algorytmów zaimplementowanych w Zad. 5 w środowisku OpenTripPlanner, z wykorzystaniem danych cyfrowych (standard GTFS) dowodzą skuteczności obliczeniowej w zakresie pięciu podstawowych algorytmów składowych WK, w tym:
  - czasu dojazdu,
  - kosztu dojazdu,
  - częstości kursowania,
  - dostępności przestrzennej przystanku,
  - niezawodności czasu podróży.
- Testy przeprowadzone dla algorytmów składowych WK w zakresie dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami (szósta składowa WK):
  - dowodzą skuteczności obliczeniowej obu alternatywnych sposobów, tj. z zastosowaniem wskaźnika IBI oraz jako modyfikacja parametrów dla osób ze szczególnymi potrzebami,
  - z uwagi na brak dostępności ogólnokrajowej informacji o dostosowaniu punktowych elementów infrastruktury transportowej (przystanki i perony) do osób ze szczególnymi potrzebami, należy odrzucić dalsze wykorzystywanie algorytmu opartego na wskaźniku IBI i rozwijać sposób związany z modyfikacją parametrów.
- Wstępne testy obliczeniowe algorytmów bazujące na otwartych danych, w standardzie GTFS wskazują, że:
  - dla osiągnięcia zakładanego celu projektowego, kluczowe jest pozyskanie jak największego (reprezentatywnego) zbioru rozkładów;

- z uwagi na stwierdzone braki w zakresie cyfryzacji rozkładów w JST, konieczne jest jak najszybsze wypracowanie rozwiązań legislacyjnych, które zapewnią tworzenie, publiczne udostępnianie i skuteczne aktualizowanie cyfrowych rozkładów jazdy dla wszystkich przewozów pasażerskich w ramach PTZ/PR;
- standard GTFS choć jest relatywnie prosty w porównaniu do standardu NeTEx, charakteryzuje się ograniczeniami w zakresie odwzorowania cenników - nie jest w pełni dostosowany do wszystkich rozwiązań stosowanych w warunkach polskich.