

Analiza bezpiecznego dystansu epidemicznego w autobusach transportu publicznego: badanie symulacyjne przepływu pasażerów

Wongelawit Chema

wongelawit.petros.chema@polsl.pl
Politechnika Śląska, Gliwice

Rafał Burdzik

Rafal.Burdzik@polsl.pl
Politechnika Śląska, Katowice

Ireneusz Celiński

Ireneusz.Celinski@polsl.pl
Politechnika Śląska, Katowice

Ewa Dębicka

ewa.debicka@its.waw.pl
Instytut Transportu Samochodowego

Streszczenie

Podczas pandemii COVID-19 transport publiczny odegrał kluczową rolę w utrzymaniu podstawowych usług, zapewniając jednocześnie bezpieczeństwo zarówno pasażerów, jak i personelu. W miarę jak świat stopniowo wznawia działalność, oczekuje się, że skutki pandemii utrzymają się przez jakiś czas. Istniejące badania koncentrują się na przenoszeniu wirusów w pojazdach, przy ograniczonej wiedzy na temat przepływu pasażerów, bezpieczeństwa i satysfakcji po pandemii. W artykule przedstawiono model poruszania się pasażerów w transporcie publicznym, biorąc pod uwagę takie czynniki, jak czas wejścia do pojazdu, ruch w obrębie przystanków oraz wpływ zatłoczenia i opóźnień. Aby ograniczyć przekazywanie zakażeń na przystankach autobusowych, opracowaliśmy model przepływu pasażerów oparty na symulacji przy użyciu PTV Vissim. W programie przeprowadzono symulację scenariuszy wymiany pasażerów, wykorzystując dane zebrane z danych rzeczywistych. Celem było stworzenie modelu, który minimalizuje ryzyko infekcji. Rozumiejąc przepływ pasażerów i interakcje z systemem transportu publicznego, można wdrożyć skuteczne środki ograniczające rozprzestrzenianie się Covid-19 i innych chorób zakaźnych.

Słowa kluczowe:

pandemia; symulacja; ryzyko infekcji; transport publiczny; pasażer

Cytowanie:

Chema W., Burdzik R., Celiński I, Dębicka E.: Analiza bezpiecznego dystansu epidemicznego w autobusach transportu publicznego: badanie symulacyjne przepływu pasażerów; Motor Transport, 68 (2), s. 1-13
DOI: 10.5604/01.3001.0054.3106

1. Wstęp

Proces wymiany pasażerów, szczególnie w czasach zagrożenia epidemicznego, kiedy zmieniają się zasady transportu publicznego, wpływa na bezpieczeństwo i efektywność podróży, zarówno w zakresie wsiadania, jak i wysiadania. W obliczu pandemii operatorzy transportu publicznego stanęli przed problemem zwiększonych wymagań pasażerów w zakresie komfortu, częstszych połączeń, środków bezpieczeństwa i zmiany nawyków podróżniczych (Kłos-Adamkiewicz i Gutowski, 2022; Liu i in., 2022; Thomas, Jana i Bandyopadhyay, 2022). W odpowiedzi na pandemię niektóre osoby wybrały pojazdy prywatne zamiast transportu publicznego, aby zmniejszyć potencjalne narażenie (Chen i in., 2022). Podczas drugiej fali pandemii COVID-19 w Polsce prawdopodobieństwo zakażenia SARS-CoV-2 podczas korzystania z transportu publicznego oszacowano na około 0,05% (Burdzik i Speybroeck, 2023). Podmioty rządowe szybko przekazywały dokładne informacje, aby złagodzić niekorzystne skutki pandemii, chronić dobro zarówno pasażerów, jak i operatorów, a także przeciwdziałać rozprzestrzenianiu się dezinformacji (Zhang, 2020).

Kryzys transportu publicznego wynikał z obaw pasażerów dotyczących warunków zatłoczenia (Carteni, Di Francesco i Martino, 2021). Wdrożenie środków zapobiegawczych, takich jak kontrola temperatury, noszenie maski i właściwa higiena rąk, może pomóc w ograniczeniu przenoszenia wirusów w transporcie publicznym (Zhou i in., 2021). Noszenie masek zmniejszyło ogólną liczbę cząstek uwalnianych do autobusu średnio o 50% lub więcej, w zależności od jakości maski, i zmniejszyło odległość rozproszenia o kilka stóp (Edwards i in., 2021). W rezultacie wiele osób wahało się przed skorzystaniem z usług transportowych podczas pandemii (Sevi i Shook, 2022). Kompleksowa ocena ryzyka epidemicznego w sektorze transportu musi uwzględniać różne czynniki, w tym czas trwania potencjalnego narażenia, liczbę narażonych osób oraz konsekwencje infekcji (Burdzik, 2023). Oznacza to stawienie czoła wyzwaniom i wspieranie rozwoju gospodarczego (Slaughter, A.-M., 2020). Wymiana pasażerów jest nierozzerwalnie powiązana z początkiem i końcem podróży, co obejmuje wejście do pojazdu i wyjście z transportu publicznego.

1.1. Analiza ruchu pasażerów w transporcie publicznym w czasie pandemii COVID-19

Przepływ pasażerów to zmienna liczba pasażerów na pokładzie autobusu, na którą wpływają takie czynniki, jak czas i lokalizacja. Powoduje to zmiany w liczbie pasażerów autobusów w różnych okresach i lokalizacjach, gdy pasażerowie wsiadają i wysiadają na każdym przystanku (Zhang i in., 2017). Im wyższa częstość oddechów osoby zakażonej, tym większe ryzyko. W związku z tym ryzyko infekcji jest wyższe w przypadku dłuższego czasu narażenia w transporcie publicznym, szczególnie podczas podróży na duże odległości (Park i Kim, 2021). Efektywny rozwój systemu transportu publicznego i identyfikacja idealnych lokalizacji stacji mają kluczowe znaczenie dla spełnienia wymagań użytkowników w planowaniu strategicznym (Asadi Bagloee i Ceder, 2011). Projektując sieć optymalizującą łączność, dostępność i wygodę użytkownika, niezbędne jest dokładne rozważenie i dokładne planowanie (Shrivastava i O'Mahony, 2009).

Kluczowe znaczenie dla powstrzymania przenoszenia COVID-19 ma zastosowanie technik dystansowania społecznego i kwarantanny (Davalbhakta i in., 2020). Nasze badania skupiają się przede wszystkim na rozwoju inteligentnych aplikacji mających na celu łagodzenie skutków pandemii (D.B. Taylor, 2020; Khuroo i in., 2020). Wykorzystywanie zapisów danych połączeń

(CDR) do monitorowania pacjentów z Covid-19 może odegrać kluczową rolę w powstrzymaniu rozprzestrzeniania się wirusa, dostarczając cennych informacji na temat wzorców poruszania się zakażonych osób, skutecznie pomagając w ograniczaniu przenoszenia wirusa (Nisar i in., 2021; S. Nisar, M. A. Zuhaib, A. Ulasyar, 2021).

W skutecznym monitorowaniu osób, u których zdiagnozowano COVID-19, bezcenna okazuje się technika śledzenia kontaktów (Ong i in., 2020). Zaproponowano kilka aplikacji mobilnych, takich jak aplikacja do śledzenia kontaktów Smittestop stworzona przez duński urząd ds. zdrowia w celu monitorowania i ograniczania przenoszenia wirusa COVID-19 w Danii (Martin i in., 2020). Rząd Serbii wprowadził aplikację o nazwie VirusRadar, która ma pomóc w monitorowaniu i ograniczaniu przenoszenia się wirusa Covid-19 na terenie kraju (Herendy, 2020). Włoski rząd wprowadził Immuni, aplikację do śledzenia kontaktów zaprojektowaną, aby pomóc w monitorowaniu i ograniczaniu przenoszenia wirusa COVID-19 we Włoszech (Berardi i in., 2020). Środki bezpieczeństwa, w tym dystans społeczny, zorganizowane kolejki pasażerskie oraz usprawnione metody wchodzenia do pojazdów i płatności, ograniczą przenoszenie wirusa (Burdzik, Chema i Celiński, 2023).

1.2. Badanie dystansu fizycznego podczas pandemii

Zdolność potencjalnych podróżnych do tolerowania ryzyka odgrywa znaczącą rolę w wpływaniu na ich decyzję o wyruszeniu w podróż (Chen, Xia i He, 2020). Dystans społeczny, jako środek zapobiegawczy, utrudnia bliskie kontakty międzyludzkie, zmniejszając ryzyko przenoszenia kropelek zawierających wirusa z dróg oddechowych, głównie przez ludzki oddech (Sun i Zhai, 2020). Siedzenie w tym samym rzędzie w transporcie publicznym z osobą zarażoną znacznie zwiększa ryzyko zarażenia w porównaniu do siedzenia w różnych rzędach (Hu i in., 2021). Dystans społeczny jest rozwiązaniem zalecanym przez Światową Organizację Zdrowia w celu zminimalizowania rozprzestrzeniania się COVID-19 w miejscach publicznych (Rezaei i Azarmi, 2020). Zachowanie dystansu społecznego jest niezbędne nie tylko na zewnątrz, ale także w pomieszczeniach zamkniętych, szczególnie w środkach transportu, aby chronić przed Covid-19 (Burdzik, 2022).

Krople z dróg oddechowych przenoszące czynniki zakaźne mogą być przenoszone i osadzone na błonach śluzowych osób znajdujących się na trajektorii przepływu powietrza, co jest zjawiskiem powszechnym w różnych środkach transportu (Lu i in., 2020). W złożonych środowiskach systemy wentylacyjne i siły wywołane temperaturą wynikające z działalności człowieka mogą prowadzić do powstania skomplikowanych układów powietrza i tworzenia się recyrkulacyjnych przepływów powietrza (Li i in., 2022). Podczas podróży pasażerowie powinni priorytetowo traktować swoje zdrowie i bezpieczeństwo, nosząc maski, środki ochrony osobistej i środki do dezynfekcji rąk, a także nosząc maski w zatłoczonych miejscach, takich jak terminale pasażerskie i transport publiczny, aby zmniejszyć ryzyko infekcji (Shen i in., 2020).

2. Materiały i metody

Do modelowania wymiany pasażerów, znanej z realistycznego przepływu pasażerów w transporcie publicznym, wykorzystano oprogramowanie symulacyjne „PTV Vissim”. Symulacje przeprowadzono dla konkretnej linii przejazdowej i przystanku wykorzystywać

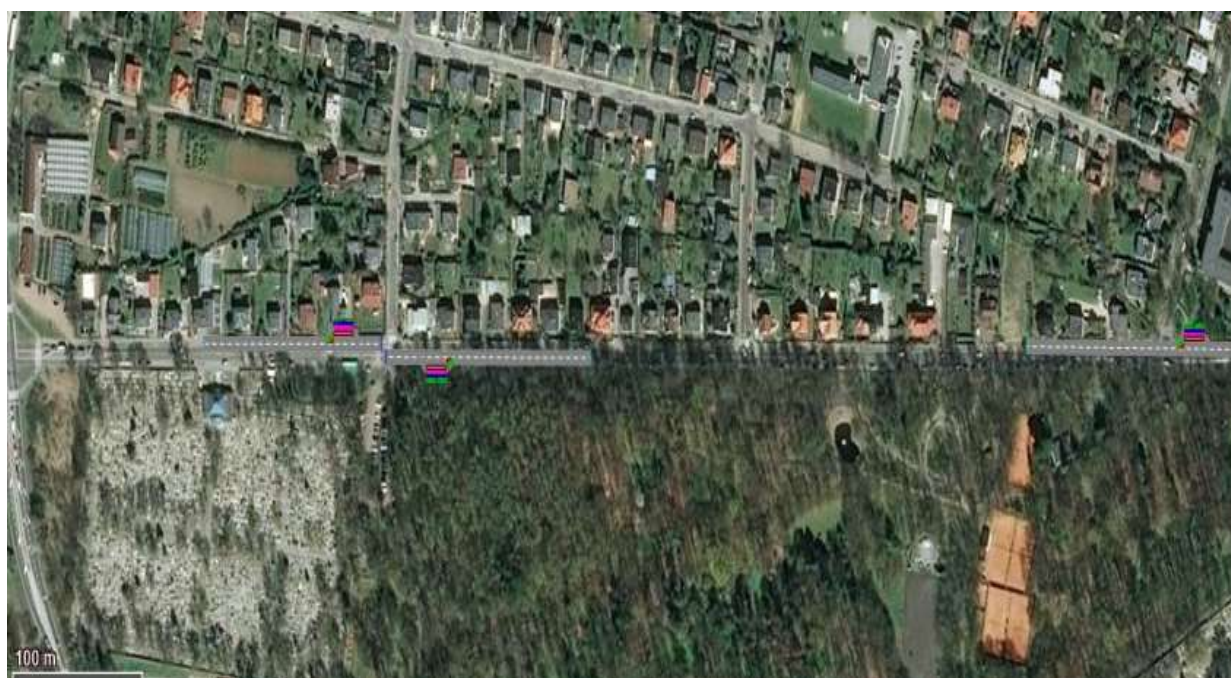
dane Zarządu Transportu Metropolitalnego (ZTM), które są niezbędne do zrozumienia dynamiki potoków pasażerskich w powiązaniu z początkiem i zakończeniem podróży, zwłaszcza w okresach zmieniających się zasad transportu publicznego, na które wpływają m.in. obłożenie i czas działań pasażerów.

2.1. Opracowanie symulacji

Model symulacyjny zbudowany na danych i wykonany przy użyciu oprogramowania Vissim miał na celu wykrycie potencjalnych problemów związanych z wymianą pasażerów w systemie transportowym. Podstawowym celem było opracowanie skutecznych rozwiązań poprzez symulację różnych scenariuszy. W szczególności symulacja skupiła się na linii A, badając dynamikę wymiany pasażerów na różnych przystankach autobusowych. Proces ten obejmował obserwację i analizę wyników symulacji w celu uzyskania wglądu w zachowania pasażerów i ułatwienia opracowania ukierunkowanych rozwiązań.

Oprogramowanie PTV Vissim służy do precyzyjnego wskazania na mapie lokalizacji wyznaczonego przystanku komunikacyjnego, zwanego „linią X, Y i Z”. Poniższy rysunek zawiera zdjęcie satelitarne wybranego przystanku w programie, wizualizując jego dokładną lokalizację. Funkcjonalność tego oprogramowania pozwala na precyzyjne mapowanie tego konkretnego przystanku, a wszystko to w ramach programu PTV Vissim.

Zasadniczo stwierdzenie to opisuje konkretną fazę kompleksowej procedury, podczas której oprogramowanie służy do dokładnego określenia i zobrazowania dokładnych współrzędnych geograficznych określonego przystanku transportu publicznego. Załączona ilustracja odgrywa kluczową rolę w wyjaśnieniu dokładnej lokalizacji tego przystanku w całym systemie transportowym, wspierając użytkowników w planowaniu, analizie i procesach decyzyjnych systemu transportowego.

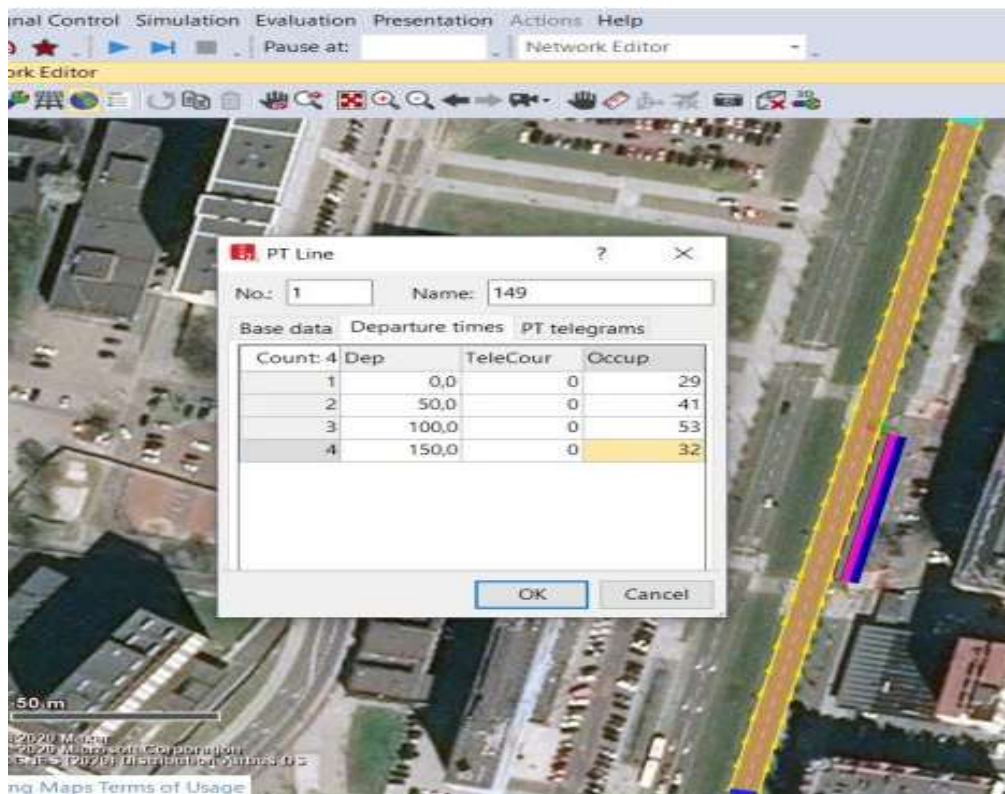


Rys. 1. Położenie przystanku linii X, Y i Z widoczne na mapie PTV Vissim.

W PTV Vissim kompleksowa symulacja opiera się na określonych parametrach, które mają kluczowe znaczenie dla dokładnego odtworzenia rzeczywistych scenariuszy transportu

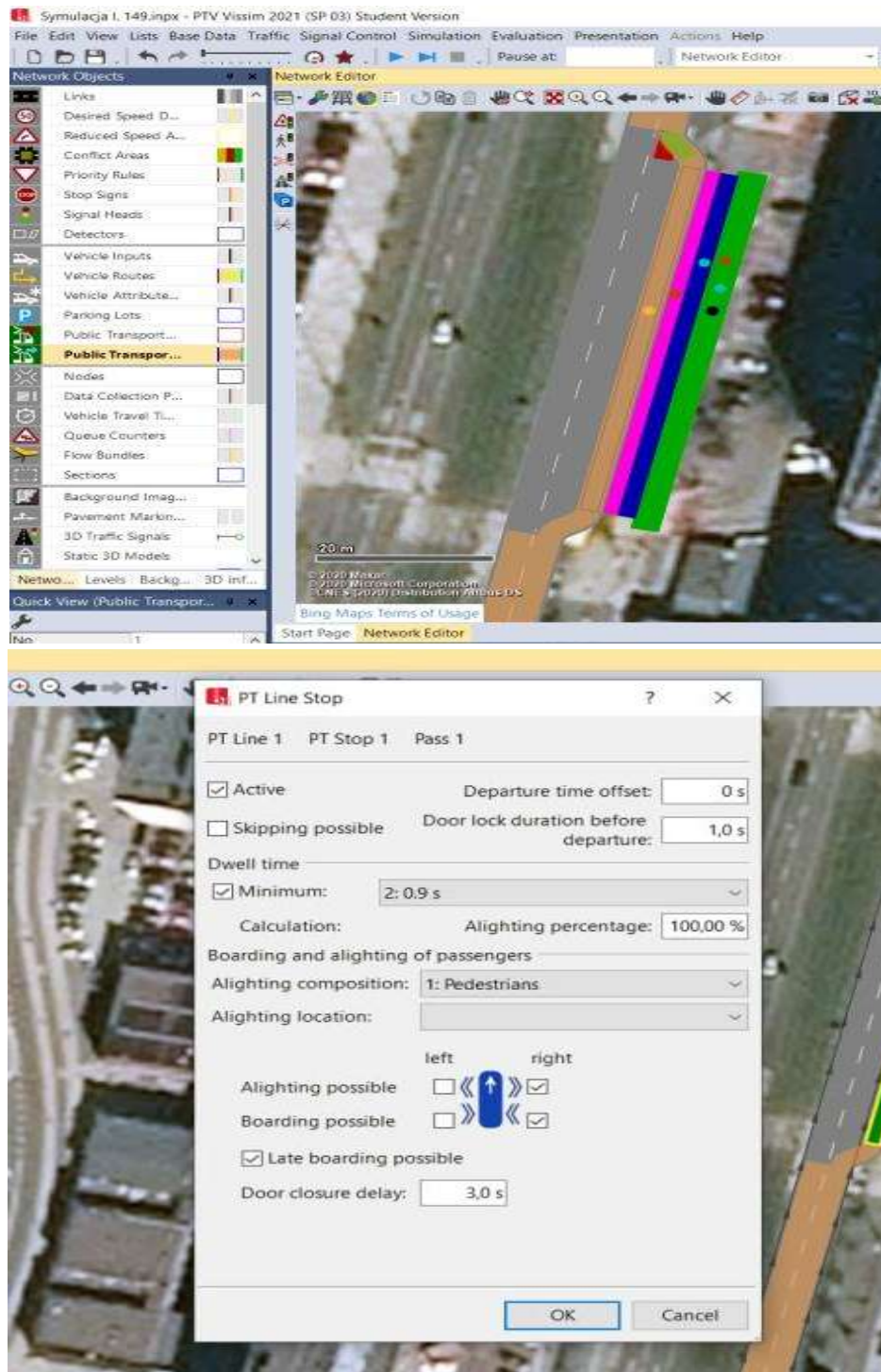
publicznego i ruchu pasażerów. Parametry te obejmują „Łącze” do mapowania sieci drogowej, kluczowe dla realistycznej symulacji przepływu ruchu, „Przystanki transportu publicznego/natężenie wsiadania” w celu określenia miejsc wsiadania i wysiadania pasażerów, „Linie transportu publicznego/przystanki linii transportu publicznego” dla reprezentacji dokładnej trasy i rozkładu jazdy, „Obszary” służące do identyfikacji różnych stref i rozkładu zapotrzebowania pasażerów, „Wejście pieszych” do oznaczania punktów wejścia dla pieszych oraz „Trasy dla pieszych” do modelowania ścieżek pasażerskich. Razem te parametry pozwalają na precyzyjne zobrazowanie przepływu pasażerów, oferując wgląd w optymalizację wydajności i bezpieczeństwa transportu publicznego, szczególnie w scenariuszach epidemicznych. Dodatkowo mapa wizualnie przedstawia określone trasy komunikacyjne przez wyznaczony obiekt, a kolejne kroki obejmują identyfikację odpowiednich przystanków autobusowych, dodanie pasażerów, utworzenie platformy przystankowej i dostosowanie tras, zapewniając kompleksowy przegląd procesu symulacji.

Kolejne etapy procesu obejmowały identyfikację odpowiedniego przystanku autobusowego, dodanie pasażerów do autobusu za pomocą zakładki „pasażerowie wsiadający do autobusu”, utworzenie platformy przystankowej poprzez funkcję „dodaj przystanek”, dodanie obiektu powierzchniowego do platformy, który będzie stanowić część krawędzi jezdni, a następnie utworzenie poczekalni dla pasażerów komunikacji publicznej. W ramach parametrów linii transportowej określono podstawowe dane i wybrano autobus poruszający się z prędkością 30 km/h. Obydwa pasy ruchu uznano jako wyznaczony przebieg linii pasażerskiej. Wybrano czasy odjazdu 0, 50, 100 i 150 dla odjazdu pojazdu komunikacji publicznej w stosunku do rozpoczęcia symulacji. Ustalono i zarejestrowano liczbę pasażerów wsiadających do pojazdu (obłożenie). Ostatecznie linię komunikacyjną przeniesiono na wyznaczoną linię przystankową i odpowiednio dostosowano trasę. Wizualną reprezentację tego procesu można zobaczyć na załączonym rysunku.



Rys. 2. Zidentyfikowano i wyznaczono trasę komunikacji miejskiej oraz jej przebieg obok przystanku autobusowego, jak pokazano.

Po wyznaczeniu peronu autobusowego kolejnym etapem jest ustalenie punktu wejścia pasażera. Służy on jako wyznaczona ścieżka (zaznaczona na zielono) prowadząca pasażerów w stronę przystanku. Wprowadzenie pieszych (oznaczone czarnymi kółkami) jest zaznaczone na chodniku w celu generowania symulowanych pasażerów. Dodatkowo nakreślono trasy dla pieszych (oznaczone pomarańczowymi i niebieskimi kółkami), przedstawiając konkretne ścieżki, którymi poruszają się piesi.

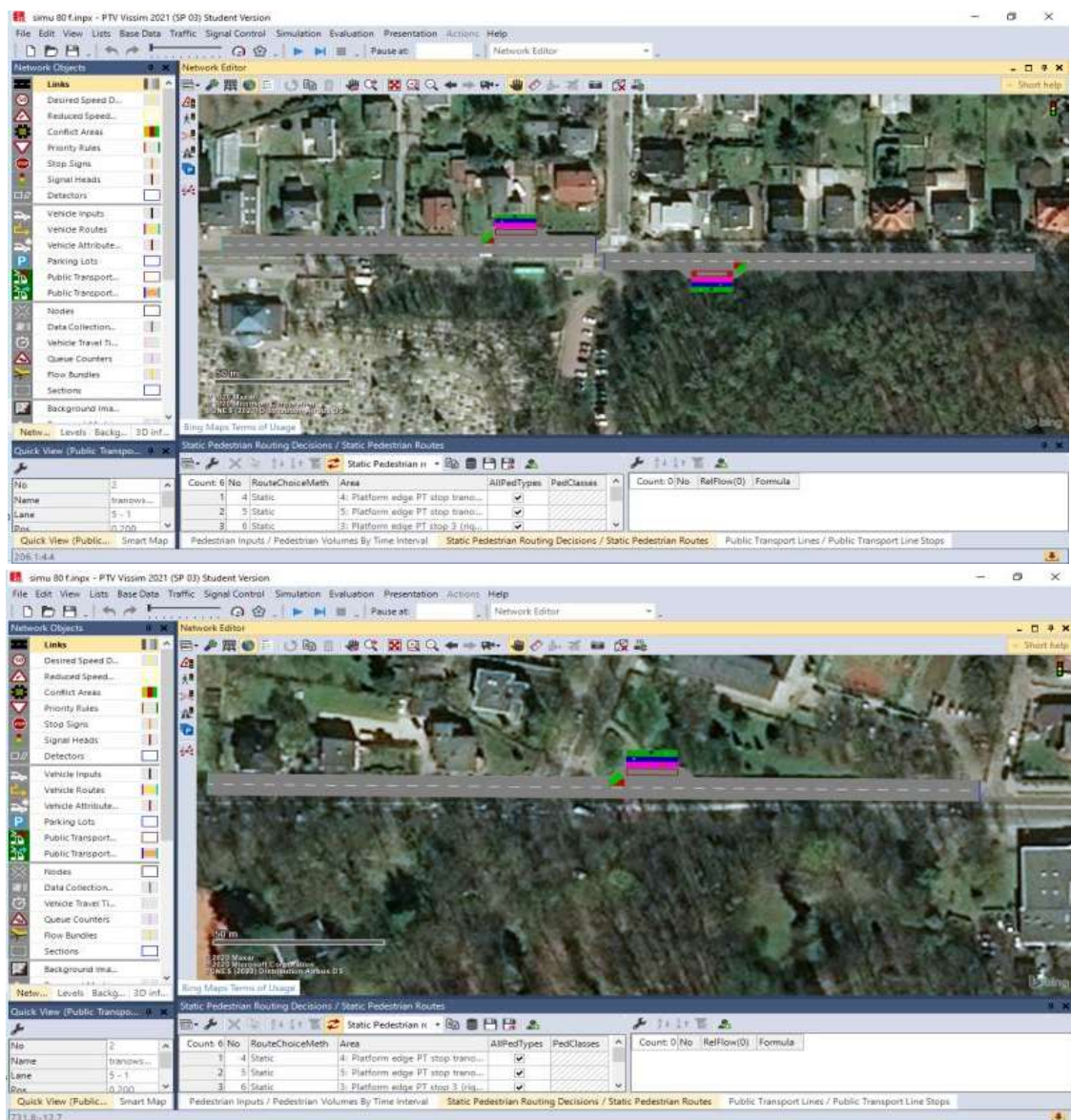


Rys. 3. Pokazuje procedurę uwzględniania strefy pasażerskiej oraz definiowania lokalizacji generowania pasażerów i konfigurowania ustawień przystanku.

Następnie ustalono konfigurację przystanku, uruchomiono przystanek wraz z określeniem niezbędnych parametrów i ustawień drzwi ułatwiających wsiadanie i wysiadanie pasażerów.

3. Wynik symulacji

Znaczna liczba pasażerów tworzy środowisko zatłoczenia, które zwiększa ryzyko przeniesienia COVID-19. To zwiększone ryzyko przypisuje się przede wszystkim faktowi, że COVID-19 rozprzestrzenia się głównie poprzez kropelki powstające w drogach oddechowych, gdy zarażona osoba mówi, kaszle lub kicha. Kiedy ludzie są stłoczeni i nie noszą masek ochronnych, prawdopodobieństwo zakażenia znacznie wzrasta. Aby je zmniejszyć, przeprowadzono tę symulację. Po rozpoczęciu symulacji na tym konkretnym przystanku autobusowym wyniki zostały szczegółowo zarejestrowane i zostaną zwizualizowane w postaci wydrukowanych zrzutów ekranu. Jedną z modyfikacji ma na celu rozwiązanie problemu wymiany pasażerów, który pojawia się podczas symulacji. Linia A określa istnienie trzech przystanków autobusowych, a mianowicie przystanku X, przystanku Y i przystanku Z.



Rys. 4. Mapa PTV Vissim przedstawiająca przystanki autobusowe linii X, Y i Z.



Rys. 5. 3d Symulacja ilustrująca dobrze zorganizowany przepływ pasażerów przy 2-metrowej odległości pomiędzy nimi.

Rozkład odjazdów linii transportu publicznego ustalany jest na podstawie danych przekazanych przez Zarząd Transportu Miejskiego. W tym scenariuszu każdy przystanek autobusowy obsługiwany jest przez cztery autobusy. Aby złagodzić obawy związane z nadmiernym obłożeniem pasażerów i chaotycznym wchodzeniem do pojazdu, wprowadzono poprawki. Dostosowania te obejmowały wprowadzenie kolejek z 2-metrowym odstępem, aby ułatwić uporządkowane wsiadanie i wysiadanie pasażerów. Zastosowano różne konfiguracje kolejek, w zależności od tego, czy pasażerowie regularnie dojeżdżali do pracy, czy poruszali się na wózkach inwalidzkich. Modyfikacje te przedstawiono wizualnie na diagramie 3D, co odróżnia je od poprzednich diagramów (takich jak te dla linii A) poprzez uwzględnienie odległości między pasażerami i rozróżnienia w kolejkach w zależności od rodzaju pasażerów.

Ostatnim krokiem było rozpoczęcie symulacji po wprowadzeniu modyfikacji mających na celu rozwiązanie problemów związanych z dużym obłożeniem, nieuporządkowanym wsiadaniem pasażerów i zatłoczeniem na przystankach autobusowych. Zmiany te obejmowały wymuszenie 2-metrowego dystansu między pasażerami oraz zorganizowanie kolejek w celu systematycznej wymiany pasażerów. Celem było monitorowanie ruchu pasażerów wsiadających do pojazdu i ocena skuteczności tych dostosowań.

Ponadto w badaniu skupiono się na wyzwaniach związanych z programem i potencjalnych środkach zaradczych, w tym na wprowadzeniu 2-metrowego odstępów między pasażerami i ustanowieniu kolejek pasażerskich, aby zapewnić dobrze zorganizowany proces wymiany. Dodatkowo uwzględniono liczbę drzwi oraz sposoby płatności za wejście i wysiadanie pasażerów. Dostępność większej liczby drzwi prowadzi do skrócenia czasu wsiadania i wysiadania, co pomaga usprawnić przepływ pasażerów, zmniejszyć zatory i zminimalizować

interakcje pasażerów. Ogólnie rzecz biorąc, nasze badania mają na celu poprawę bezpieczeństwa i efektywności transportu pasażerskiego, szczególnie w czasie epidemii, poprzez uwzględnienie wielu zmiennych wpływających na przepływ pasażerów i wdrożenie skutecznych rozwiązań.

4. Wniosek

Technologie transportowe odegrały kluczową rolę w zarządzaniu systemami transportu publicznego w obliczu pandemii. Wykorzystanie danych w czasie rzeczywistym i analiz predykcyjnych umożliwiło dostosowanie poziomów usług i tras w odpowiedzi na zmieniający się popyt, zwiększając w ten sposób efektywność operacyjną. Celem niniejszego artykułu badawczego jest sprostanie tym wyzwaniom poprzez poprawę przepływu pasażerów i integrację technologii w transporcie publicznym, ze szczególnym naciskiem na ochronę dobrego samopoczucia i zdrowia zarówno pasażerów, jak i personelu. Również trzeba uwzględnić ocenę zagrożeń przeprowadzoną dla systemu transportu, która obejmowała oszacowanie liczby cząstek SARS-COV-2, które mogą zostać wydalone podczas czynności oddechowych, takich jak mówienie, kaszel i kichanie. Dokonano tego w niewentylowanym pomieszczeniu, a następnie wdychano te cząstki przez jedną lub więcej osób znajdujących się w tym samym pomieszczeniu. W ocenie uwzględniono także możliwość przeniesienia SARS-COV-2 poprzez aerozole poza 2-metrowy dystans społeczny.

Sprawne działanie systemów transportowych w dużej mierze zależy od przepływu pasażerów, a krytycznym aspektem tego jest czas postoju pojazdów transportu publicznego. Czas postoju oznacza czas, przez jaki pojazd pozostaje nieruchomy w celu wsiadania i wysiadania pasażerów. Duży wpływ na to ma liczba pasażerów i prędkość ich wejścia na pokład. Wydłużenie czasu postoju może prowadzić do zatłoczenia na przystankach, zakłócać przepływ pasażerów i powodować chaos w systemie transportu publicznego. Ważną zmienną wpływającą na czas postoju jest liczba drzwi w pojeździe, ponieważ posiadanie większej liczby drzwi przyspiesza przepływ pasażerów i skraca czas spędzony podczas obsługi. Analizując czasy wsiadania i wysiadania pasażerów, należy koniecznie wziąć pod uwagę potencjalne opóźnienia, jakich doświadczają pasażerowie niepełnosprawni, którzy mogą potrzebować dodatkowego czasu. Nadanie priorytetu osobom niepełnosprawnym i pasażerom starszym podczas procedur wsiadania i wysiadania pomaga zminimalizować kontakt fizyczny między pasażerami. Obecność wielu drzwi w pojeździe znacznie skraca czas potrzebny pasażerom na wsiadanie i wysiadanie, ułatwiając w ten sposób zorganizowany przepływ pasażerów, zmniejszając zatłoczenie i ograniczając interakcje między pasażerami. Wpływ Covid-19 na przepływ pasażerów i czas realizacji zadań jest złożony i różni się w zależności od czynników, takich jak konkretne wprowadzone środki, poziom zgodności z tymi środkami oraz profil ryzyka społeczności.

Nasze badania mają na celu poprawę bezpieczeństwa i efektywności transportu pasażerskiego, szczególnie w czasie epidemii. Osiąga się to poprzez uwzględnienie wielu czynników wpływających na ruch pasażerów i wprowadzenie skutecznych rozwiązań. Środki te obejmują utrzymanie fizycznej odległości między pasażerami i ustanowienie uporządkowanych kolejek pasażerskich. Ponadto w ramach kontroli bezpieczeństwa wprowadzono kontrolę temperatury, która może mieć wpływ na czas oczekiwania pasażerów. Powodzenie tych wysiłków na rzecz

łagodzenia wpływu COVID-19 na przepływ pasażerów i czas realizacji zadań zależy od szeregu czynników, w tym od skuteczności wdrożonych środków, poziomu przestrzegania tych środków oraz poziomu ryzyka w społeczności.

Podsumowując, w modelach omawianych w artykule należy kłaść duży nacisk na uwzględnienie kolejek pasażerskich jako podstawowej strategii zapewniającej skrupulatnie zorganizowany proces wymiany pasażerów. W ten sposób możemy skutecznie zarządzać i kontrolować zatłoczenie na przystankach komunikacyjnych, zmniejszając w ten sposób ryzyko przeniesienia wirusa Covid-19. W podejściu tym uznano znaczenie utrzymywania dystansu fizycznego, zwłaszcza w obszarach o dużym natężeniu ruchu, w celu ograniczenia rozprzestrzeniania się wirusa. Wdrożenie dobrze zorganizowanych kolejek pasażerskich nie tylko przyczynia się do bezpieczeństwa publicznego, ale także zwiększa ogólną wydajność i efektywność systemu transportowego, co ostatecznie prowadzi do bardziej płynnej i bezpieczniejszej obsługi pasażerów w tych trudnych czasach.

Bibliografia:

- [1]. Bagloee, S.A. and Ceder, A.A. (2011) 'Transit-network design methodology for actual-size road networks', *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(10), pp. 1787–1804.
- [2]. Berardi, C. *et al.* (2020) 'The COVID-19 pandemic in Italy: Policy and technology impact on health and non-health outcomes', *Health policy and technology*, 9(4), pp. 454–487.
- [3]. Burdzik, R. (2021) *Epidemic Risk Analysis and Assessment in Transport Services: COVID-19 and Other Viruses*. CRC Press.
- [4]. Burdzik, R. (2023) 'An Application of the DHI Methodology for a Comparison of SARS-CoV-2 Epidemic Hazards in Customer Delivery Services of Smart Cities', *Smart Cities*, 6(2), pp. 965–986.
- [5]. Burdzik, R., Chema, W. and Celiński, I. (2023) 'A study on passenger flow model and simulation in aspect of COVID-19 spreading on public transport bus stops', *Journal of Public Transportation*, 25, p. 100063.
- [6]. Burdzik, R. and Speybroeck, N. (2023) 'Study on the estimation of SARS-CoV-2 virus pathogens' transmission probabilities for different public bus transport service scenarios.', *Transport Problems: an International Scientific Journal*, 18(3).
- [7]. Carteni, A., Di Francesco, L. and Martino, M. (2021) 'The role of transport accessibility within the spread of the Coronavirus pandemic in Italy', *Safety science*, 133, p. 104999.
- [8]. Chen, C. *et al.* (2022) 'Investigating the effectiveness of COVID-19 pandemic countermeasures on the use of public transport: A case study of The Netherlands', *Transport policy*, 117, pp. 98–107.
- [9]. Chen, X., Xia, E. and He, T. (2020) 'Influence of traveller risk perception on the willingness to travel in a major epidemic', *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 15(6), pp. 901–909.
- [10]. Davalbhakta, S. *et al.* (2020) 'A systematic review of smartphone applications available for corona virus disease 2019 (COVID19) and the assessment of their quality using the mobile application rating scale (MARS)', *Journal of medical systems*, 44, pp. 1–15.

- [11]. Edwards, N.J. *et al.* (2021) ‘Reducing COVID-19 airborne transmission risks on public transportation buses: An empirical study on aerosol dispersion and control’, *Aerosol Science and Technology*, 55(12), pp. 1378–1397.
- [12]. Herendy, C. (2020) ‘How were apps developed during, and for, COVID-19?: An investigation into user needs assessment and testing’, in. *2020 11th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, IEEE, pp. 000503–000508.
- [13]. Hu, M. *et al.* (2021) ‘Risk of coronavirus disease 2019 transmission in train passengers: an epidemiological and modeling study’, *Clinical Infectious Diseases*, 72(4), pp. 604–610.
- [14]. Khuroo, Mohammad S *et al.* (2020a) ‘COVID-19 vaccines: a race against time in the middle of death and devastation!’, *Journal of clinical and experimental hepatology*, 10(6), pp. 610–621.
- [15]. Kłós-Adamkiewicz, Z. and Gutowski, P. (2022) ‘The Outbreak of COVID-19 Pandemic in Relation to Sense of Safety and Mobility Changes in Public Transport Using the Example of Warsaw’, *Sustainability*, 14(3), p. 1780.
- [16]. Li, P. *et al.* (2022) ‘Risk assessment of COVID-19 infection for subway commuters integrating dynamic changes in passenger numbers’, *Environmental Science and Pollution Research*, 29(49), pp. 74715–74724.
- [17]. Liu, X. *et al.* (2022) ‘A survey of COVID-19 in public transportation: Transmission risk, mitigation and prevention’, *Multimodal transportation*, 1(3), p. 100030.
- [18]. Lu, J. *et al.* (no date) ‘Early Release-COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020-Volume 26, Number 7—July 2020-Emerging Infectious Diseases journal-CDC’.
- [19]. Martin, T. *et al.* (2020) ‘Demystifying COVID-19 digital contact tracing: A survey on frameworks and mobile apps’, *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020, pp. 1–29.
- [20]. Nisar, S. *et al.* (2020) ‘A privacy-preserved and cost-efficient control scheme for coronavirus outbreak using call data record and contact tracing’, *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 10(2), pp. 104–110.
- [21]. Nisar, S. *et al.* (2023) ‘A robust tracking system for COVID-19 like pandemic using advanced hybrid technologies’, *Computing*, 105(4), pp. 871–885.
- [22]. Ong, E. *et al.* (2020) ‘COVID-19 coronavirus vaccine design using reverse vaccinology and machine learning’, *Frontiers in immunology*, 11, p. 1581.
- [23]. Park, J. and Kim, G. (2021) ‘Risk of COVID-19 infection in public transportation: The development of a model’, *International journal of environmental research and public health*, 18(23), p. 12790.
- [24]. Rezaei, M. and Azarmi, M. (2020) ‘Deepsocial: Social distancing monitoring and infection risk assessment in covid-19 pandemic’, *Applied Sciences*, 10(21), p. 7514.
- [25]. Sevi, B. and Shook, N.J. (2022) ‘The behavioral immune system and use of transportation services during the COVID-19 pandemic’, *Journal of Transport & Health*, 26, p. 101406.
- [26]. Shafaghi, A.H. *et al.* (2020) ‘On the effect of the respiratory droplet generation condition on COVID-19 transmission’, *Fluids*, 5(3), p. 113.
- [27]. Shen, J. *et al.* (2020) ‘Prevention and control of COVID-19 in public transportation: Experience from China’, *Environmental pollution*, 266, p. 115291.

- [28]. Shrivastava, P. and O'Mahony, M. (2005) 'Modeling an integrated public transportation system-a case study in Dublin, Ireland'.
- [29]. Slaughter, A.-M. (2017) 'Three responsibilities every government has towards its citizens', in. *World Economic Forum. Last modified February*.
- [30]. Sun, C. and Zhai, Z. (2020) 'The efficacy of social distance and ventilation effectiveness in preventing COVID-19 transmission', *Sustainable cities and society*, 62, p. 102390.
- [31]. Taylor, D.B. (2020) 'A timeline of the coronavirus pandemic', *The New York Times*, 6.
- [32]. Thomas, N., Jana, A. and Bandyopadhyay, S. (2022) 'Physical distancing on public transport in Mumbai, India: Policy and planning implications for unlock and post-pandemic period', *Transport Policy*, 116, pp. 217–236.
- [33]. Walensky, R.P. (2021) 'CDC updates and shortens recommended isolation and quarantine period for general population: media statement for immediate release: Monday, December 27, 2021'.
- [34]. Xie, X. *et al.* (2007) 'How far droplets can move in indoor environments-revisiting the Wells evaporation-falling curve', *Indoor air*, 17(3), pp. 211–225.
- [35]. Zhang, J. *et al.* (2017) 'A real-time passenger flow estimation and prediction method for urban bus transit systems', *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(11), pp. 3168–3178.
- [36]. Zhang, J. (2020) 'How did people respond to the COVID-19 pandemic during its early stage? A case study in Japan', *A Case Study in Japan (May 7, 2020)* [Preprint].
- [37]. Zhou, H. *et al.* (2021) 'Impacts of COVID-19 and anti-pandemic policies on urban transport—an empirical study in China', *Transport policy*, 110, pp. 135–149.