



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

Kierunek studiów:
Transport i Logistyka

Damian Frej, Emilia Szumska

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

Starowanie i zarządzanie w systemach transportu

opracowane w ramach realizacji Projektu
**„Dostosowanie kształcenia
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb
współczesnej gospodarki”**
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2024





Spis treści

1. Definicje, Cele i Zakres Sterowania oraz Zarządzania Ruchem	2
2. Modelowanie i symulacja ruchu drogowego (makro- i mikroskopowe)	4
3. Koordynacja Sygnalizacji Świetlnej i Optymalizacja Przepływu Pojazdów.....	7
4. Hybrydowe Systemy Symulacji, Sterowania i Nadzoru.....	12
5. Regulacje Prawne i Zarządzanie Naborem w Systemach Transportowych ...	14
6. Cechy wspólne i różnice w sterowaniu transportem drogowym, kolejowym, lotniczym i morskim	16
7. Literatura.....	20



Materiały dydaktyczne objęte licencją Creative Commons BY 4.0.

Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Definicje, Cele i Zakres Sterowania oraz Zarządzania Ruchem

Sterowanie i zarządzanie ruchem to integralne składniki współczesnych systemów transportowych. Ich głównym celem jest optymalizacja funkcjonowania infrastruktury transportowej, zapewnienie bezpieczeństwa użytkownikom oraz minimalizacja negatywnego wpływu transportu na środowisko. Rozwój technologii i zwiększająca się liczba pojazdów na drogach sprawiają, że te obszary zyskują na znaczeniu w kontekście zarówno zarządzania przestrzenią miejską, jak i funkcjonowania transportu międzyregionalnego i międzynarodowego.

Pojęcie sterowania ruchem odnosi się do działań podejmowanych w czasie rzeczywistym w celu wpływania na parametry ruchu, takie jak prędkość, przepustowość i płynność. Działania te obejmują między innymi zarządzanie sygnalizacją świetlną, wprowadzanie ograniczeń prędkości czy zarządzanie ruchem na wjazdach do autostrad. Celem sterowania jest osiągnięcie maksymalnej efektywności w krótkim okresie, często poprzez wykorzystanie nowoczesnych technologii, takich jak inteligentne systemy transportowe (ITS).

Zarządzanie ruchem to pojęcie szersze, obejmujące nie tylko działania operacyjne, ale również strategiczne planowanie oraz organizację procesów związanych z transportem. Obejmuje ono koordynację infrastruktury drogowej, wdrażanie systemów informacji dla kierowców, zarządzanie transportem publicznym oraz podejmowanie działań mających na celu redukcję zatorów i negatywnego wpływu transportu na środowisko. Sterowanie i zarządzanie ruchem mają wiele wspólnych celów, ale ich szczegółowe priorytety różnią się w zależności od kontekstu i skali systemu transportowego. Do najważniejszych celów zaliczamy (Kos, 2016; Kozerska, Konopka, 2018; UM Łódź, 2016):

- **Poprawa bezpieczeństwa na drogach:** Jednym z podstawowych celów jest zmniejszenie liczby wypadków i kolizji drogowych. Dzięki zaawansowanym systemom sterowania, takim jak adaptacyjna sygnalizacja świetlna czy systemy ostrzegania przed niebezpieczeństwami, możliwe jest lepsze zarządzanie sytuacjami krytycznymi i minimalizowanie ryzyka wystąpienia wypadków. Badania pokazują, że wprowadzenie takich systemów może zmniejszyć liczbę wypadków o 15–30% (Barwiński, Kotas, 2015).
- **Optymalizacja przepustowości:** Kluczowym aspektem sterowania ruchem jest maksymalne wykorzystanie istniejącej infrastruktury drogowej. Dzięki zastosowaniu metod zarządzania strumieniami ruchu, takich jak koordynacja sygnalizacji świetlnej czy dynamiczne ograniczenia prędkości,



można zwiększyć przepustowość dróg bez konieczności budowy nowych obiektów.

- Redukcja czasu podróży: Inteligentne systemy transportowe umożliwiają monitorowanie ruchu w czasie rzeczywistym oraz szybkie reagowanie na zmieniające się warunki. Dzięki temu użytkownicy mogą korzystać z optymalnych tras, co pozwala na znaczne skrócenie czasu spędzanego w podróży.
- Ochrona środowiska: Wzrost liczby pojazdów na drogach prowadzi do zwiększenia emisji spalin i zanieczyszczenia powietrza. Zarządzanie ruchem poprzez poprawę płynności jazdy i zmniejszenie liczby postojów w korkach ma bezpośredni wpływ na obniżenie emisji CO₂ i innych szkodliwych substancji.
- Wsparcie transportu publicznego: Zarządzanie ruchem ma na celu integrację różnych form transportu, w tym transportu zbiorowego, rowerowego i pieszego, co jest kluczowe w budowaniu zrównoważonych systemów transportowych. Poprawa warunków dla autobusów czy tramwajów, takich jak priorytet na skrzyżowaniach, może znacznie zwiększyć ich atrakcyjność dla pasażerów.

Zakres działań związanych ze sterowaniem i zarządzaniem ruchem obejmuje zarówno aspekty techniczne, jak i organizacyjne. W praktyce oznacza to różnorodność działań realizowanych na poziomie lokalnym, regionalnym i krajowym (Kozerska, Konopka, 2018; Cichocki, Jabkowski, Kaczmarek, 2009; Ciepaj, 2012). Sterowanie ruchem w czasie rzeczywistym:

- Koordynacja sygnalizacji świetlnej w miastach, co pozwala na poprawę płynności ruchu oraz zmniejszenie czasu oczekiwania na skrzyżowaniach.
- Dynamiczne zarządzanie prędkością na autostradach, które pozwala na dostosowanie limitów prędkości do warunków drogowych, takich jak gęstość ruchu czy pogoda.
- Systemy informacji drogowej, które dostarczają kierowcom aktualnych danych o sytuacji na drogach, umożliwiając omijanie korków i unikanie opóźnień.

Zarządzanie ruchem w skali strategicznej (Barwiński, Kotas, 2015; Gaca, Suchozewski, Tracz, 2008; Ziemska, Śrubka, 2016):



- Planowanie i projektowanie układu drogowego z uwzględnieniem przyszłych potrzeb transportowych.
- Wdrażanie polityk zrównoważonego transportu, które promują ekologiczne środki transportu, takie jak rowery, pojazdy elektryczne czy transport publiczny.
- Zarządzanie ruchem podczas imprez masowych, takich jak koncerty czy wydarzenia sportowe, w celu uniknięcia zatorów i chaosu komunikacyjnego.

Integracja technologii w zarządzaniu ruchem:

- Wykorzystanie inteligentnych systemów transportowych, takich jak systemy monitorowania ruchu, algorytmy predykcyjne czy aplikacje mobilne dla użytkowników dróg.
- Implementacja technologii V2X (Vehicle-to-Everything), które umożliwiają komunikację pomiędzy pojazdami a infrastrukturą drogową, co pozwala na bardziej precyzyjne zarządzanie ruchem.

Zarządzanie sytuacjami kryzysowymi (UM, 2016):

- Reagowanie na awarie i wypadki drogowe poprzez szybkie wdrażanie planów objazdów i informowanie użytkowników dróg.
- Zarządzanie ruchem w czasie klęsk żywiołowych, takich jak powódzie czy silne burze, co pozwala na minimalizowanie strat i zapewnienie ciągłości funkcjonowania systemu transportowego.

Przykładem udanego systemu zarządzania ruchem jest system TRISTAR w Trójmieście, który obejmuje Gdańsk, Gdynię i Sopot. Dzięki zastosowaniu zaawansowanych technologii, takich jak adaptacyjne sterowanie sygnalizacją świetlną oraz monitoring w czasie rzeczywistym, system pozwala na poprawę płynności ruchu, redukcję czasu przejazdu oraz zwiększenie bezpieczeństwa na drogach aglomeracji (Ciepaj, 2012; Giedryś, 2008; Krukowski, Oskarbski, 2014).

2. Modelowanie i symulacja ruchu drogowego (makro- i mikroskopowe)

Modelowanie i symulacja ruchu drogowego stanowią fundament współczesnych badań oraz działań inżynierskich związanych z planowaniem, projektowaniem i zarządzaniem systemami transportowymi. Dzięki tym metodom można przewidywać zachowania ruchu, analizować różne scenariusze funkcjonowania sieci drogowej i testować rozwiązania infrastrukturalne przed ich wdrożeniem (Batorski, 2021; Kozerska, Konopka, 2018; Lejda, Siedlecka, 2014).

Modelowanie ruchu drogowego to proces matematycznego odwzorowywania zachowań użytkowników dróg oraz interakcji między nimi w celu symulowania rzeczywistych warunków transportowych. Modelowanie pozwala na analizę ruchu w



różnych skalach czasowych i przestrzennych, wspierając procesy decyzyjne związane z zarządzaniem ruchem, projektowaniem dróg czy wdrażaniem technologii inteligentnych systemów transportowych (ITS).

Symulacja ruchu drogowego polega na implementacji modeli ruchu w formie oprogramowania komputerowego, które umożliwia wizualizację oraz analizę ruchu w warunkach rzeczywistych lub hipotetycznych. Symulacje są wykorzystywane do oceny wpływu różnych czynników, takich jak zmiany w infrastrukturze, wprowadzenie nowych technologii czy zmiany w zachowaniach użytkowników.

Modelowanie ruchu drogowego można podzielić na dwa główne rodzaje: makroskopowe i mikroskopowe. Każde z tych podejść różni się skalą analizy, sposobem reprezentacji ruchu oraz poziomem szczegółowości.

Modelowanie makroskopowe odnosi się do analizy ruchu drogowego na poziomie globalnym lub systemowym, z wykorzystaniem zbiorowych parametrów, takich jak natężenie ruchu, prędkość średnia czy przepustowość. W podejściu makroskopowym ruch pojazdów traktowany jest w sposób analogiczny do przepływu cieczy, co pozwala na uproszczone modelowanie dużych systemów transportowych. Podstawowe parametry makroskopowe (Batorski, 2021; Kozerska, Konopka, 2018; Lejda, Siedlecka, 2016):

- Przepływ (Q): Liczba pojazdów przejeżdżających przez określony punkt w danym czasie (pojazdy/godzinę).
- Gęstość (K): Liczba pojazdów na jednostkę długości drogi (pojazdy/km).
- Prędkość średnia (V): Średnia prędkość pojazdów na danym odcinku drogi (km/h).

Modele ruchu makroskopowego (Batorski, 2021; Kozerska, Konopka, 2018; Lejda, Siedlecka, 2016):

- Model Greenshieldsa: Opiera się na liniowej zależności między gęstością ruchu a średnią prędkością pojazdów.
- Modele Lighthill-Whitham-Richards (LWR): Używane do analizy propagacji fal korków w sieci drogowej.
- Modele bazujące na teorii przepływu cieczy: Analizują ruch w skali systemowej, pozwalając na symulację zmian w natężeniu ruchu na sieci drogowej.

Zastosowanie modelowania makroskopowego:



- Planowanie sieci drogowej i transportowej w skali regionalnej lub krajowej.
- Ocena skutków wdrożenia nowych rozwiązań infrastrukturalnych, takich jak budowa nowych dróg czy wprowadzenie opłat za korzystanie z infrastruktury.
- Analiza scenariuszy w sytuacjach kryzysowych, np. w przypadku konieczności ewakuacji dużej liczby osób.

Modelowanie mikroskopowe koncentruje się na analizie ruchu na poziomie pojedynczych pojazdów oraz ich interakcji. W tym podejściu każdy pojazd jest traktowany jako indywidualny element systemu, co pozwala na szczegółową analizę zachowań kierowców oraz dynamiki ruchu. Podstawowe cechy modelowania mikroskopowego:

- Pojazdy reprezentowane są jako odrębne jednostki o indywidualnych cechach, takich jak prędkość, przyspieszenie czy reakcja na inne pojazdy.
- Uwzględniane są czynniki takie jak dystans między pojazdami, zachowania kierowców (np. decyzje o zmianie pasa) oraz wpływ infrastruktury drogowej (np. obecność sygnalizacji świetlnej).

Modele mikroskopowe:

- Model śledzenia pojazdów (Car-Following Models): Opisuje zachowanie kierowcy w odpowiedzi na pojazd jadący przed nim. Przykładami są modele Gazisa-Hermsa-Rotha (GHR) czy modele bazujące na algorytmach przyspieszenia.
- Model zmiany pasa (Lane-Changing Models): Analizuje decyzje kierowców dotyczące zmiany pasa w zależności od sytuacji drogowej.
- Modele agentowe: Każdy uczestnik ruchu jest traktowany jako „agent” podejmujący decyzje na podstawie określonych reguł i celów.

Zastosowanie modelowania mikroskopowego (Batorski, 2021; Kozerska, Konopka, 2018; Lejda, Siedlecka, 2016):

- Ocena wpływu sygnalizacji świetlnej na płynność ruchu na skrzyżowaniach.
- Analiza skuteczności technologii wspomagania kierowcy, takich jak adaptacyjny tempomat (ACC) czy systemy wspomagania parkowania.
- Projektowanie i testowanie inteligentnych systemów transportowych w warunkach laboratoryjnych.

Obok podejść makroskopowego i mikroskopowego istnieją również modele mezoskopowe i hybrydowe, które łączą zalety obu metod. Modele mezoskopowe analizują ruch w skali pośredniej, umożliwiając symulację dużych sieci przy zachowaniu częściowej szczegółowości. Symulacje hybrydowe, takie jak połączenie modeli mikroskopowych dla wybranych obszarów z modelami makroskopowymi dla całej sieci, pozwalają na osiągnięcie równowagi między szczegółowością a wydajnością obliczeniową. Przykłady oprogramowania do modelowania ruchu (Grzegorzczak, 2015; Wasiak, 2024).



- VISSIM: Oprogramowanie mikroskopowe umożliwiające symulację ruchu drogowego i transportu publicznego. Wykorzystywane do analizy skrzyżowań, tras autobusowych oraz ITS.
- AIMSUN: Narzędzie umożliwiające modelowanie makro-, mikro- i mezoskopowe, często stosowane w projektach miejskich.
- SUMO (Simulation of Urban Mobility): Darmowe oprogramowanie open-source przeznaczone do symulacji ruchu miejskiego, idealne do badań akademickich.
- TransModeler: Zaawansowane narzędzie do modelowania ruchu na poziomie regionalnym z możliwością integracji z danymi GIS.

Zastosowanie modelowania i symulacji w praktyce (Batorski, 2021; Kozerska, Konopka, 2018; Lejda, Siedlecka, 2016):

- Projektowanie infrastruktury drogowej: Symulacje umożliwiają ocenę wpływu nowych dróg, skrzyżowań czy obiektów na płynność ruchu.
- Zarządzanie ruchem w czasie rzeczywistym: Modele predykcyjne pomagają w podejmowaniu decyzji dotyczących sterowania ruchem, np. w przypadku wypadków czy nagłego wzrostu natężenia ruchu.
- Testowanie technologii autonomicznych pojazdów: Modele mikroskopowe są wykorzystywane do symulacji interakcji między autonomicznymi pojazdami a tradycyjnymi uczestnikami ruchu.

Modelowanie i symulacja ruchu drogowego, zarówno w ujęciu makroskopowym, jak i mikroskopowym, są niezastąpione w rozwijaniu nowoczesnych systemów transportowych. Dzięki nim możliwe jest skuteczne planowanie, optymalizacja i zarządzanie ruchem w złożonych warunkach współczesnych miast i regionów (Kos, 2016; Grzegorzczak, 2015; Wasiak, 2016).

3. Koordynacja Sygnalizacji Świetlnej i Optymalizacja Przepływu Pojazdów

Koordynacja sygnalizacji świetlnej oraz optymalizacja przepływu pojazdów to kluczowe aspekty zarządzania ruchem drogowym w miastach i na głównych trasach komunikacyjnych. Dzięki odpowiednim strategiom zarządzania sygnalizacją świetlną można znacząco zwiększyć przepustowość skrzyżowań, poprawić płynność ruchu oraz zminimalizować czas podróży i emisję spalin. Sygnalizacja świetlna na skrzyżowaniach jest jednym z najważniejszych narzędzi sterowania ruchem drogowym. Odpowiednio zaprojektowana i zarządzana sygnalizacja (Gaca, Suchorzewski, Tracz, 2008; Giedryś, 2008; Krukowski, Oskarbski, 2014):



- Redukuje liczbę wypadków poprzez wyeliminowanie kolizji wynikających z konfliktów w przepływie pojazdów i pieszych.
- Zwiększa przepustowość dzięki synchronizacji świateł w ciągach komunikacyjnych.
- Minimalizuje czas oczekiwania na skrzyżowaniach, co przekłada się na większą płynność ruchu.
- Zmniejsza emisję spalin poprzez ograniczenie niepotrzebnych postojów i przyspieszeń.

Koordinacja sygnalizacji świetlnej polega na synchronizacji cykli świetlnych na kolejnych skrzyżowaniach wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych. W praktyce oznacza to, że zielone światła są tak zaprogramowane, aby pojazdy mogły przejechać przez kilka skrzyżowań bez konieczności zatrzymywania się. Zasady koordynacji:

- Zielona fala: Polega na takiej synchronizacji sygnalizacji, aby pojazdy poruszające się z określoną prędkością mogły przejechać kolejne skrzyżowania na zielonym świetle. Zielona fala jest szczególnie skuteczna na długich ciągach komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu.
- Cykle sygnalizacji świetlnej: Odpowiednie dopasowanie długości cykli sygnalizacji do natężenia ruchu oraz liczby pieszych pozwala na optymalne wykorzystanie infrastruktury drogowej.

Typy koordynacji:

- Statyczna koordynacja sygnalizacji: Schematy pracy świateł są ustalone z góry i nie zmieniają się w zależności od aktualnego natężenia ruchu. Jest to najprostsze podejście, często stosowane na mniej obciążonych drogach.
- Dynamiczna koordynacja sygnalizacji: Systemy te dostosowują czas trwania świateł do bieżących warunków ruchu, analizując dane z czujników i kamer w czasie rzeczywistym.

Technologie wspierające koordynację:

- Adaptacyjna sygnalizacja świetlna: Systemy takie jak SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) czy SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) wykorzystują dane o natężeniu ruchu do dynamicznego dostosowywania sygnalizacji.
- Czujniki i kamery: Służą do monitorowania natężenia ruchu i przesyłania danych do centralnych systemów zarządzania.

Optymalizacja przepływu pojazdów to działania mające na celu zmniejszenie zatorów, poprawę płynności ruchu i maksymalne wykorzystanie dostępnej infrastruktury drogowej. W połączeniu z koordynacją sygnalizacji świetlnej optymalizacja przepływu pojazdów może przynieść znaczne korzyści ekonomiczne i



środowiskowe. Techniki optymalizacji przepływu (Gaca, Suchorzewski, Tracz, 2008; Giedryś, 2008; Krukowski, Oskarbski, 2014):

- Priorytet dla transportu publicznego: Systemy dające pierwszeństwo autobusom czy tramwajom na skrzyżowaniach zwiększają efektywność transportu zbiorowego, co zachęca mieszkańców do rezygnacji z samochodów.
- Zmienne ograniczenia prędkości: Zarządzanie prędkościami pojazdów w czasie rzeczywistym pozwala na równomierne rozłożenie ruchu na długich odcinkach dróg.
- Inteligentne systemy zarządzania ruchem (ITS): Wykorzystanie zaawansowanych technologii, takich jak systemy V2I (Vehicle-to-Infrastructure), pozwala na komunikację pojazdów z infrastrukturą drogową w celu optymalizacji ruchu.

Zastosowanie analizy danych:

- Dane o natężeniu ruchu, gęstości pojazdów i czasach przejazdów są zbierane i analizowane przez centralne systemy zarządzania ruchem.
- Algorytmy sztucznej inteligencji mogą przewidywać zmiany natężenia ruchu i dostosowywać sygnalizację świetlną oraz inne parametry sterowania.

Przykłady wdrożeń (Gaca, Suchorzewski, Tracz, 2008; Giedryś, 2008; Krukowski, Oskarbski, 2014):

- System SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique): Stosowany w miastach takich jak Londyn czy Toronto, SCOOT dynamicznie dostosowuje sygnalizację świetlną do natężenia ruchu, co prowadzi do redukcji opóźnień o 15–20%.
- Zielona fala w Wiedniu: W Wiedniu wdrożono system zielonej fali na głównych arteriach miasta, który znacznie skrócił czas przejazdu dla transportu publicznego i pojazdów prywatnych.
- Priorytet dla autobusów w Helsinkach: System sygnalizacji w Helsinkach umożliwia autobusom i tramwajom automatyczne uzyskiwanie pierwszeństwa na skrzyżowaniach, co zwiększyło punktualność transportu publicznego o 30%.

Wyzwania i przyszłość (Kozerska, Konopka, 2018; Lejda, Siedlecka, 2016; Ziemska, 2014):



- Koszty wdrożenia: Zaawansowane systemy koordynacji i optymalizacji wymagają dużych nakładów finansowych, co może być barierą dla mniejszych miast.
- Złożoność integracji: Połączenie różnych technologii i systemów zarządzania ruchem wymaga zaawansowanego planowania i współpracy między wieloma podmiotami.
- Rosnąca liczba pojazdów: Wraz z rosnącą liczbą samochodów koordynacja sygnalizacji i optymalizacja ruchu stają się coraz bardziej skomplikowane.

W przyszłości kluczowe znaczenie będą miały systemy oparte na sztucznej inteligencji i big data, które umożliwią jeszcze bardziej precyzyjne zarządzanie ruchem. Wdrożenie pojazdów autonomicznych może również zrewolucjonizować podejście do koordynacji i optymalizacji ruchu drogowego.

Sterowanie ruchem pieszych i pojazdów jest kluczowym zagadnieniem w zakresie inżynierii ruchu, mającym na celu zapewnienie bezpieczeństwa, płynności ruchu oraz minimalizowanie ryzyka kolizji. Obejmuje ono szeroki wachlarz działań związanych z organizowaniem, monitorowaniem i optymalizowaniem sposobu poruszania się pieszych, pojazdów oraz innych uczestników ruchu drogowego. Współczesne technologie oraz programy komputerowe stanowią nieocenione narzędzie w realizacji tych celów, pozwalając na dokładne modelowanie i symulację ruchu, co umożliwi bardziej precyzyjne planowanie i kontrolowanie infrastruktury transportowej.

Sterowanie ruchem polega na koordynowaniu działania sygnalizacji świetlnej, organizowaniu przejść dla pieszych, ustalaniu pierwszeństwa przejazdu oraz określaniu innych reguł ruchu, które mają na celu zwiększenie bezpieczeństwa i efektywności transportu. W przypadku skrzyżowań, szczególną uwagę zwraca się na synchronizację cykli sygnalizacyjnych, zarówno dla pieszych, jak i dla pojazdów. Właściwa synchronizacja pozwala na płynny przepływ ruchu, a także zminimalizowanie ryzyka wypadków (Landowski, Kwasińska, 2014; Lejda, Siedlecka, 2014; Grzegorzczak, 2015).

Dodatkowo, w ramach sterowania ruchem, uwzględnia się analizę przepustowości infrastruktury oraz optymalizację tras ruchu, szczególnie w miastach o dużym natężeniu ruchu. Przykładem takiej analizy jest zastosowanie zaawansowanych programów symulacyjnych, które umożliwiają modelowanie różnych scenariuszy ruchu i ich wpływu na bezpieczeństwo i płynność transportu. Do najczęściej wykorzystywanych narzędzi w sterowaniu ruchem pieszych i pojazdów należą programy symulacyjne, które pozwalają na realistyczne odwzorowanie warunków ruchu i przewidywanie różnych scenariuszy. Jednym z takich programów jest LISA+, który jest popularnym narzędziem do symulacji ruchu drogowego (Batorski, 2021; Ciepaj, 2012; Lejda, Siedlecka, 2014).



LISA+ (ang. LIaA – Local Impact Simulation for Analysis) to zaawansowane oprogramowanie, które umożliwia szczegółowe modelowanie i analizowanie ruchu pieszych oraz pojazdów na skrzyżowaniach, w tym także w kontekście oddziaływania na siebie tych dwóch grup uczestników ruchu. Program ten oferuje szeroki wachlarz funkcji umożliwiających analizę nie tylko samego ruchu, ale również ocenę wpływu różnych zmian w organizacji ruchu na bezpieczeństwo i płynność komunikacyjną. LISA+ pozwala na (Lisa +,2024):

- Symulację ruchu pieszych i pojazdów w różnych warunkach i scenariuszach;
- Analizę interakcji pieszych z pojazdami, w tym na przejściach dla pieszych;
- Modelowanie różnych typów sygnalizacji świetlnej oraz cykli świetlnych;
- Określanie przepustowości skrzyżowań i punktów przejść.

Dzięki LISA+ możliwe jest zoptymalizowanie organizacji ruchu, poprawiając zarówno bezpieczeństwo pieszych, jak i płynność ruchu drogowego. Możliwość symulacji różnych konfiguracji infrastruktury, a także analiza oddziaływań między pieszymi i pojazdami, sprawiają, że jest to jedno z najważniejszych narzędzi wykorzystywanych w projektowaniu i modernizacji miejskich układów komunikacyjnych (Lisa +,2024).

Przykładem zastosowania systemów sterowania ruchem pieszych i pojazdów jest wdrożenie inteligentnych systemów zarządzania ruchem (ITS, ang. Intelligent Transport Systems), które integrują dane z różnych źródeł, takich jak kamery monitoringu, czujniki ruchu, a także informacje o stanie drogi i warunkach atmosferycznych. Dzięki tym systemom możliwe jest dynamiczne dostosowywanie sygnalizacji świetlnej, optymalizacja tras transportowych, a także monitorowanie ruchu w czasie rzeczywistym.

Innym przykładem jest zastosowanie systemów wspomagających kontrolę ruchu pieszych na przejściach dla pieszych. Nowoczesne technologie pozwalają na wprowadzenie rozwiązań takich jak "inteligentne" sygnalizatory świetlne, które dostosowują czas świecenia w zależności od liczby pieszych czekających na przejściu. Dodatkowo, w miastach coraz częściej wykorzystywane są systemy analizy obrazu, które monitorują ruch pieszych i pojazdów, umożliwiając szybsze reagowanie w przypadku zagrożeń.

Pomimo dostępności nowoczesnych narzędzi, sterowanie ruchem pieszych i pojazdów nadal stawia przed inżynierami i projektantami wiele wyzwań. Do najważniejszych należy (Lisa +,2024):



- Integracja różnych źródeł danych, aby uzyskać kompleksowy obraz sytuacji na drodze;
- Optymalizacja cykli sygnalizacji świetlnej w miastach o dużym natężeniu ruchu;
- Zapewnienie równowagi między płynnością ruchu pojazdów a bezpieczeństwem pieszych;
- Reakcja na zmienne warunki atmosferyczne i zdarzenia drogowe.

Sterowanie ruchem pieszych i pojazdów jest kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa w miastach i na drogach. Zaawansowane programy symulacyjne, takie jak LISA+, pozwalają na dokładne modelowanie ruchu i optymalizację organizacji ruchu, co ma bezpośredni wpływ na poprawę bezpieczeństwa i płynności transportu. Nowoczesne technologie w połączeniu z odpowiednimi strategiami zarządzania ruchem są niezbędne do efektywnego sterowania ruchem w dynamicznie rozwijających się miastach. W przyszłości rozwój systemów ITS oraz bardziej zaawansowane narzędzia analityczne będą miały kluczowe znaczenie w tworzeniu inteligentnych miast, w których ruch pieszy i pojazdów będzie bezpieczny, płynny i optymalny.

4. Hybrydowe Systemy Symulacji, Sterowania i Nadzoru

Hybrydowe systemy symulacji, sterowania i nadzoru łączą różne metody i technologie w celu zapewnienia optymalnego zarządzania ruchem drogowym i efektywności transportu. Współczesne systemy hybrydowe integrują modele symulacyjne, algorytmy sterowania oraz mechanizmy monitorowania w czasie rzeczywistym, oferując kompleksowe rozwiązania zarówno dla ruchu miejskiego, jak i autostradowego. Hybrydowe systemy symulacji, sterowania i nadzoru to zintegrowane platformy technologiczne, które łączą różne podejścia do zarządzania ruchem, takie jak (Kozerska, Konopka, 2018; Krukowski, Oskarbski, 2014; Grzegorzcyk, 2015):



- Symulacje dynamiczne: Modele predykcyjne, które pozwalają przewidywać zmiany natężenia ruchu w oparciu o dane historyczne i bieżące.
- Systemy sterowania ruchem: Algorytmy, które dynamicznie zarządzają ruchem w czasie rzeczywistym, np. poprzez dostosowanie sygnalizacji świetlnej czy ograniczeń prędkości.
- Systemy nadzoru: Mechanizmy monitorujące ruch drogowy, w tym kamery, czujniki oraz systemy analizy danych w czasie rzeczywistym.

Te trzy elementy są zintegrowane w celu zapewnienia płynności, bezpieczeństwa oraz efektywności transportu. Kluczowe funkcje hybrydowych systemów (Batorski, 2021; UM Łódź, 2016; Wasiak, 2016):

- Symulacje w czasie rzeczywistym. Symulacje hybrydowe łączą modele makroskopowe i mikroskopowe, co pozwala na analizę zarówno ruchu w skali globalnej, jak i zachowań pojedynczych pojazdów. Na przykład, modele makroskopowe są wykorzystywane do przewidywania ogólnych trendów w ruchu, podczas gdy modele mikroskopowe analizują szczegółowe interakcje między pojazdami na skrzyżowaniach.
- Dynamiczne sterowanie ruchem. Hybrydowe systemy wykorzystują dane w czasie rzeczywistym do podejmowania decyzji dotyczących sterowania ruchem. Przykłady obejmują:
 - Dynamiczne zmiany czasów sygnalizacji świetlnej w zależności od aktualnego natężenia ruchu.
 - Wprowadzenie zmiennych ograniczeń prędkości na autostradach w celu minimalizacji korków.

Systemy hybrydowe są wyposażone w zaawansowane narzędzia monitorujące, które dostarczają danych o ruchu drogowym w czasie rzeczywistym. Do najczęściej stosowanych technologii należą:

- Kamery monitorujące ruch na kluczowych odcinkach dróg.
- Czujniki pętlowe umieszczone w nawierzchni, które mierzą natężenie ruchu oraz prędkość pojazdów.
- Systemy GPS i dane z urządzeń mobilnych, które dostarczają informacji o pozycjach pojazdów i czasie przejazdu.

Hybrydowe systemy sterowania często wykorzystują technologie komunikacji V2X (Vehicle-to-Everything), umożliwiające wymianę informacji między pojazdami a infrastrukturą drogową. Dzięki temu możliwe jest precyzyjne sterowanie ruchem oraz szybkie reagowanie na zmieniające się warunki drogowe.



5. Regulacje Prawne i Zarządzanie Naborem w Systemach Transportowych

Regulacje prawne i zarządzanie naborem to kluczowe elementy funkcjonowania systemów transportowych, które mają na celu zapewnienie zgodności z przepisami, bezpieczeństwa oraz sprawiedliwego dostępu do zasobów transportowych. Te dwa aspekty odgrywają istotną rolę w budowaniu sprawnych i zrównoważonych systemów transportowych, które spełniają potrzeby społeczne, gospodarcze i ekologiczne. Regulacje prawne obejmują zbiór przepisów i norm, które określają zasady funkcjonowania transportu. Przepisy te dotyczą zarówno użytkowników dróg, operatorów transportu publicznego, jak i organów zarządzających ruchem. Główne obszary regulacji obejmują (Lejda, Siedlecka, 2016; Wasiak, 2016):

- Regulacje dotyczące bezpieczeństwa obejmują przepisy odnoszące się do:
 - Ruchu drogowego: Ograniczenia prędkości, wymagania dotyczące oznakowania dróg, przepisy dotyczące przejść dla pieszych i skrzyżowań.
 - Transportu publicznego: Standardy techniczne dla pojazdów, przepisy dotyczące bezpieczeństwa pasażerów oraz szkolenia dla kierowców.
 - Transportu towarowego: Zasady dotyczące przewozu materiałów niebezpiecznych, kontroli ładunków i wymagań technicznych pojazdów ciężarowych.
- Ochrona środowiska. W odpowiedzi na rosnące wyzwania związane z zanieczyszczeniem środowiska, wiele regulacji koncentruje się na zmniejszeniu negatywnego wpływu transportu na środowisko. Przykłady obejmują:
 - Normy emisji spalin dla pojazdów.
 - Wprowadzenie stref niskiej emisji w centrach miast.
 - Zachęty do korzystania z pojazdów elektrycznych i innych ekologicznych środków transportu.
- Prawo pracy i regulacje dotyczące przewoźników. Regulacje te odnoszą się do warunków pracy kierowców, czasu pracy i odpoczynku, a także wymagań wobec przewoźników, takich jak licencje i certyfikaty przewozowe.
- Wdrażanie technologii inteligentnych systemów transportowych (ITS). Regulacje określają standardy technologiczne i zasady wdrażania systemów ITS, takich jak zarządzanie ruchem w czasie rzeczywistym, technologie V2X (Vehicle-to-Everything) czy systemy opłat drogowych.

Zarządzanie naborem w systemach transportowych odnosi się do organizacji i koordynacji procesów związanych z planowaniem i alokacją zasobów



transportowych. Główne cele zarządzania naborem to zapewnienie równowagi między podażą a popytem na usługi transportowe, efektywne wykorzystanie infrastruktury oraz minimalizacja negatywnego wpływu transportu na społeczeństwo i środowisko. Proces zarządzania naborem wymaga dokładnej analizy potrzeb transportowych, takich jak (Wasiak, 2016; Ziemska, 2014; Ziółkowski, Dziejma, Cylko, 2016):

- Liczba pasażerów korzystających z transportu publicznego w różnych porach dnia.
- Natężenie ruchu drogowego na kluczowych arteriach miasta.
- Potrzeby transportu towarowego w określonych sektorach gospodarki.

Na podstawie tych danych podejmowane są decyzje dotyczące alokacji zasobów, np. liczby autobusów na danej trasie, liczby pociągów na liniach podmiejskich czy częstotliwości kursowania tramwajów.

W systemach transportowych zarządzanie naborem często obejmuje wdrażanie systemów rezerwacji i opłat, które pozwalają na kontrolowanie liczby użytkowników oraz promowanie korzystania z mniej obciążonych zasobów.

Przykłady to:

- Elektroniczne systemy poboru opłat drogowych, takie jak systemy ERP (Electronic Road Pricing) w Singapurze.
- Systemy rezerwacji miejsc w transportach międzymiastowych, np. w pociągach dużych prędkości.
- Dynamiczne taryfy w transporcie publicznym, które zachęcają pasażerów do podróżowania poza godzinami szczytu.

Zarządzanie naborem wymaga bieżącego monitorowania ruchu i podejmowania decyzji w czasie rzeczywistym. Systemy takie jak ITS pozwalają na dynamiczne sterowanie ruchem, np. poprzez (Ciepaj, 2012; Wasiak, 2016; Ziemska, 2014; Ziemska, Śrubka, 2016):

- Wprowadzenie zielonej fali w ciągach komunikacyjnych.
- Zarządzanie wjazdami na autostrady.
- Informowanie kierowców o alternatywnych trasach w przypadku korków czy wypadków.

Przykłady regulacji i zarządzania naborem:



- Unia Europejska – Zielony Ład. W ramach Europejskiego Zielonego Ładu UE wprowadza szereg regulacji mających na celu zrównoważony rozwój transportu, w tym:
 - Promowanie transportu publicznego i kolejowego.
 - Redukcję emisji gazów cieplarnianych w sektorze transportu o co najmniej 55% do 2030 roku.
 - Zakaz sprzedaży pojazdów z silnikami spalinowymi po 2035 roku.
- System ERP w Singapurze. Singapur wdrożył zaawansowany system zarządzania ruchem oparty na elektronicznym poborze opłat drogowych. System ERP dynamicznie dostosowuje opłaty w zależności od natężenia ruchu, co zachęca kierowców do korzystania z transportu publicznego i ogranicza korki.
- Strefy niskiej emisji w Londynie. Londyn wprowadził strefy niskiej emisji (ULEZ), w których kierowcy muszą płacić dodatkowe opłaty za korzystanie z pojazdów niespełniających określonych norm emisji. System ten promuje korzystanie z ekologicznych środków transportu.

Przyszłość zarządzania naborem wiąże się z większym naciskiem na rozwój ekologicznych form transportu, takich jak rowery miejskie, pojazdy elektryczne czy transport publiczny oparty na energii odnawialnej. Regulacje prawne i zarządzanie naborem w systemach transportowych są niezbędne dla zapewnienia sprawnego i bezpiecznego funkcjonowania transportu. Dzięki odpowiedniemu planowaniu, monitorowaniu i wdrażaniu nowych technologii możliwe jest osiągnięcie zrównoważonego rozwoju i poprawa jakości życia użytkowników (Kos, 2016; Lejda, Siedlecka, 2016; Tomaszewska, 2015).

6. Cechy wspólne i różnice w sterowaniu transportem drogowym, kolejowym, lotniczym i morskim

Sterowanie transportem w różnych gałęziach komunikacji – drogowym, kolejowym, lotniczym i morskim – różni się specyfiką oraz stosowanymi narzędziami i technologiami. Każdy z tych rodzajów transportu ma unikalne wymagania techniczne, organizacyjne i regulacyjne, jednak można wyróżnić pewne cechy wspólne oraz charakterystyczne różnice (Cichocki, Jabkowski, Kaczmarek, 2009; UM Łódź, 2016; Grzegorzczak, 2015).

W każdej gałęzi transportu nadrzędnym celem systemów sterowania jest zapewnienie bezpieczeństwa uczestników i minimalizacja ryzyka wypadków. Sterowanie obejmuje monitorowanie ruchu, zarządzanie kolizjami oraz wprowadzanie zasad dotyczących prędkości, odległości i warunków operacyjnych.



Wszystkie systemy sterowania korzystają z zaawansowanych technologii monitorowania:

- Czujniki i kamery w transporcie drogowym.
- Systemy sygnalizacji i automatycznego prowadzenia pociągów w kolejnictwie.
- Radary i systemy GPS w lotnictwie i żegludze.

Każdy rodzaj transportu korzysta z centralnych systemów zarządzania, które umożliwiają monitorowanie i koordynację działań:

- Centra sterowania ruchem drogowym (ITS).
- Centra zarządzania ruchem kolejowym (np. ETCS).
- Wieże kontrolne w lotnictwie.
- Centra VTS (Vessel Traffic Services) w żegludze morskiej.

W każdej gałęzi transportu istnieją normy i przepisy międzynarodowe, które zapewniają spójność i bezpieczeństwo w skali globalnej, takie jak:

- Konwencje ONZ dotyczące transportu drogowego.
- Regulacje Międzynarodowego Związku Kolei (UIC).
- Przepisy Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO).
- Międzynarodowa Konwencja o Bezpieczeństwie Życia na Morzu (SOLAS).

Wspólną cechą wszystkich systemów transportowych jest rosnący poziom automatyzacji, obejmujący automatyczne sterowanie pojazdami, zarządzanie ruchem oraz wdrażanie inteligentnych systemów wspomagających decyzje. Różnice w sterowaniu transportem (Ciepaj, 2012; Giedryś, 2008; Ziemska, 2014).

- Charakterystyka infrastruktury i środowiska operacyjnego:
 - Transport drogowy: Operuje w dynamicznie zmieniającym się środowisku z dużą liczbą uczestników (pojazdów, pieszych, rowerzystów). Infrastruktura obejmuje drogi, skrzyżowania, sygnalizację świetlną i parkingi.
 - Transport kolejowy: Charakteryzuje się ruchami ograniczonymi do torowisk, co ułatwia sterowanie, ale wymaga precyzyjnego zarządzania harmonogramami i sygnalizacją.
 - Transport lotniczy: Sterowanie odbywa się w trzech wymiarach (powierzchnia ziemi, przestrzeń powietrzna, trasy powietrzne), co wymaga zaawansowanych systemów nawigacyjnych i kontroli lotów.
 - Transport morski: Operuje w otwartej przestrzeni wodnej z ograniczoną infrastrukturą fizyczną. Kluczowe znaczenie mają systemy nawigacyjne i hydrograficzne.
- Szybkość reakcji i dynamika ruchu:



- Transport drogowy wymaga szybkiej reakcji na zmiany w ruchu (np. wypadki, korki).
- W kolejnictwie zmiany są mniej dynamiczne, a harmonogramy są bardziej przewidywalne.
- Lotnictwo i żegluga wymagają dłuższego czasu reakcji, ale operują w bardziej stabilnym środowisku, co umożliwia precyzyjne planowanie.
- Sterowanie i interakcja z uczestnikami ruchu
 - W transporcie drogowym sterowanie odbywa się w dużej mierze pośrednio, poprzez sygnalizację świetlną i znaki drogowe.
 - Kolej wymaga precyzyjnego sterowania ruchem pociągów i zarządzania ruchem na torach.
 - W lotnictwie kontrola lotów odbywa się z wykorzystaniem komunikacji radiowej i radarów.
 - W żegludze morskiej kapitanowie statków mają większą autonomię, a sterowanie koncentruje się na kluczowych węzłach, takich jak porty.
- Technologie sterowania
 - Drogowy: Systemy ITS, sygnalizacja świetlna, monitorowanie kamerami.
 - Kolejowy: Automatyczne prowadzenie pociągów (CBTC), europejski system sterowania ruchem (ETCS).
 - Lotniczy: Radary naziemne, ADS-B (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast), systemy ILS (Instrument Landing System).
 - Morski: GPS, systemy AIS (Automatic Identification System), radary nawigacyjne.
- Wpływ na środowisko i przepisy ekologiczne:
 - Transport drogowy jest najbardziej obciążony regulacjami dotyczącymi emisji spalin i hałasu.
 - W kolejnictwie i żegludze duży nacisk kładzie się na wykorzystanie ekologicznych źródeł energii (np. elektryfikacja linii kolejowych, paliwa niskosiarkowe w żegludze).
 - W lotnictwie przepisy dotyczą głównie redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz efektywności paliwowej.

Chociaż sterowanie transportem w różnych gałęziach ma wiele cech wspólnych, kluczowe różnice wynikają z charakterystyki środowiska operacyjnego, dynamiki ruchu oraz stosowanych technologii (Batorski, 2021; Krukowski, Oskarbski, 2014; Wałek, 2016). Rozwój inteligentnych systemów transportowych, automatyzacja oraz integracja różnych gałęzi transportu będą kluczowe dla przyszłości sterowania i zarządzania transportem. Dzięki harmonizacji regulacji oraz wspólnym standardom technologicznym możliwe jest stworzenie bardziej efektywnego i zrównoważonego



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



globalnego systemu transportowego (Ciepaj, 2012; Kozerska, Konopka, 2018;
Tomaszewska, 2015).





7. Literatura

- [1]. Barwiński S., Kotas P. (2015). Inteligentne Systemy Transportowe jako narzędzie rozwiązywania problemów komunikacyjnych miast na przykładzie Łodzi. [w:] W. Grzegorzczak (red.), Wybrane problemy zarządzania i finansów. Studia przypadków (s. 143–151). Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- [2]. Batorski M. (2021). Pojazdy autonomiczne w miejskim transporcie zbiorowym. Transport Miejski i Regionalny. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej, Gliwice.
- [3]. Cichocki P., Jabkowski P., Kaczmarek M. (2009). Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna, studium zachowań poznańskich kierowców. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- [4]. Ciepaj E. (2012). Determinanty i obszary implementacji rozwiązań telematycznych w ramach Inteligentnych Systemów Transportowych w miastach. Studia Miejskie, 6.
- [5]. Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M. (2008). Inżynieria ruchu drogowego, teoria i praktyka. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- [6]. Giedryś A. (2008). Wdrażanie Systemu Zarządzania Ruchem w Łodzi. Przegląd ITS, 7–8.
- [7]. Grzegorzczak W. (red.) (2015). Wybrane problemy zarządzania i finansów. Studia przypadków. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- [8]. Kos B. (2016). System dynamicznej informacji jako informatyczne narzędzie udostępniania informacji pasażerom w publicznym transporcie zbiorowym. Marketing i Zarządzanie, 4.
- [9]. Kozerska M., Konopka M. (2018). Zastosowanie inteligentnych systemów transportowych w sytuacjach ograniczonego dostępu do miast. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Organizacja i Zarządzanie, 130.
- [10]. Krukowski P., Oskarbski J. (2014). Zintegrowany System Zarządzania Ruchem. Przygotowanie i realizacja systemu. Komunikacja Publiczna, 2.
- [11]. Landowski B., Kwasińska J. (2014). Ocena stanu i analiza bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz próba jego poprawy. Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management, 69.
- [12]. Lejda K., Siedlecka S. (2014). Charakterystyka systemów telematycznych wykorzystywanych w transporcie drogowym. W: K. Lejda (red.), Systemy i Środki Transportu Samochodowego (Nr 5). Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [13]. Lejda K., Siedlecka S. (2016). Inteligentne systemy sterowania ruchem drogowym w miastach. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 17(12), 680–683.
- [14]. Lisa. Oprogramowanie do projektowania sygnalizacji świetlnej i programowania sterowników. Dostępny w: https://stadtraum.pl/LISA_prezentacja.pdf (dostęp: 12.09.2024).



- [15]. Tomaszewska E. J. (2015). Inteligentny system transportowy w mieście na przykładzie Białegostoku. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Problemy Zarządzania, Finansów i Marketingu, 41(2).
- [16]. Tomaszewska E. J. (2022). Korzyści wdrożenia inteligentnego systemu transportowego w mieście. Akademia Zarządzania, 6(3).
- [17]. UM. Tablice VMS pokierują kierowców w Łodzi. Dostępny w: <https://edroga.pl/inzynieria-ruchu/tablice-vms-pokieruja-kierowcow-w-lodzi-150112338> (dostęp: 6.09.2024).
- [18]. Wałek T. (2016). Inteligentne systemy transportowe jako instrument poprawy bezpieczeństwa. Security, Economy & Law, 2.
- [19]. Wasiak P. Sytuację na drogach sprawdzisz w komputerze i telefonie. Dostępny w: <http://lodz.wyborcza.pl/lodz/1,35136,19601871,sytuacje-na-drogach-sprawdzisz-w-komputerze-i-telefonie.html> (dostęp: 5.09.2024).
- [20]. Ziemska M. (2014). Cele stosowania inteligentnych systemów transportowych i koordynowania sygnalizacji świetlnej. Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni, 29.
- [21]. Ziemska M., Śrubka M. (2016). Analiza porównawcza inteligentnych systemów sterowania ruchem drogowym, metoda BALANCE i metoda SCATS. Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni, 31.
- [22]. Ziółkowski R., Dziejma R., Cylko D. (2016). Inteligentne Systemy Transportowe jako narzędzie wspomagające zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego. Magazyn Autostrady, 6.