



**MIĘDZYNARODOWA
WYŻSZA SZKOŁA
LOGISTYKI I TRANSPORTU
WE WROCŁAWIU**

WYDZIAŁ LOGISTYKI I TRANSPORTU

Łukasz Górski

TYTUŁ: Logistyka miejska – inteligentne sterowanie
skrzyżowaniami ruchu

e-mail: lukasz.gorski.wroc@gmail.com

Pracę zamieszczam w celach dydaktycznych.
Sformułowania pochodzące z literatury są opatrzone odsyłaczami.
Więcej na dany temat można przeczytać w literaturze.

Łukasz Górski

PROMOTOR:
Dr inż.

WROCŁAW 2010

Spis treści

| | |
|--|-----------|
| WSTĘP | 4 |
| 1. LOGISTYKA MIEJSKA..... | 6 |
| 1.1. Istota, definicje, zakres i cel logistyki miejskiej | 6 |
| 1.1.1. Istota logistyki miejskiej..... | 6 |
| 1.1.2. Definicje logistyki miejskiej | 6 |
| 1.1.3. Zakres logistyki miejskiej..... | 8 |
| 1.1.4. Cel logistyki miejskiej..... | 10 |
| 1.2. System logistyczny miasta, infrastruktura logistyki miejskiej | 11 |
| 1.2.1. System logistyczny miasta..... | 11 |
| 1.2.2. Infrastruktura logistyki miejskiej | 11 |
| 1.3. System transportowy miasta i jego organizacja..... | 12 |
| 1.3.1. Rola transportu w funkcjonowaniu miasta | 12 |
| 1.3.2. Problemy wynikające z funkcjonowania transportu w miastach | 15 |
| 1.3.3. Sposoby rozwiązywania problemów transportowych miasta | 17 |
| 2. INTELIGENTNE STEROWANIE SKRZYŻOWANIAMI RUCHU..... | 21 |
| 2.1. Pojazdy i ich ruch po drodze | 21 |
| 2.1.1. Podstawowe manewry pojazdów | 21 |
| 2.1.2. Ruch pojazdów w rejonie skrzyżowań | 22 |
| 2.2. Pomiary, badania i analizy ruchu | 24 |
| 2.2.1. Przepustowość ulic | 24 |
| 2.2.2. Gęstość ulic..... | 25 |
| 2.2.3. Proste metody pomiarów i badań natężenia ruchu..... | 25 |
| 2.2.4. Automatyczne pomiary ruchu | 25 |
| 2.3. Oznakowanie dróg i ulic..... | 29 |
| 2.3.1. Cele i funkcje oznakowania | 29 |
| 2.3.2. Hierarchia oznakowania | 29 |
| 2.3.3. Pionowe znaki drogowe | 29 |
| 2.3.4. Poziome znaki drogowe | 31 |
| 2.3.5. Znaki zmiennej treści i wyświetlacze prędkości..... | 32 |
| 2.4. Sygnalizacja świetlna na skrzyżowaniu ulicznym | 32 |
| 2.4.1. Definicja sygnalizacji | 32 |
| 2.4.2. Podstawowe cele i kryteria stosowania sygnalizacji..... | 32 |
| 2.4.3. Rodzaje i zadania sygnalizacji | 33 |
| 2.4.4. Detekcja ruchu drogowego i ulicznego | 35 |
| 2.4.5. Sterownik sygnalizacji świetlnej..... | 36 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.5. | Inteligentne systemy sterowania ruchem ulicznym | 40 |
| 2.5.1. | Cele koordynacji sygnalizacji w ciągu ulicznym..... | 40 |
| 2.5.2. | Koordynacja sygnalizacji w sieci – metoda TRANSYT | 41 |
| 2.5.3. | Generacje systemów sterowania ruchem ulicznym | 42 |
| 2.5.4. | System SCOOT | 45 |
| 2.5.5. | System UTOPIA | 47 |
| 2.6. | Inteligentne systemy sterowania ruchem ulicznym w Polsce | 50 |
| 2.6.1. | Inteligentny system sterowania ruchem ulicznym w Poznaniu | 50 |
| 2.6.2. | Inteligentny system sterowania ruchem ulicznym w Warszawie | 51 |
| 2.6.3. | Inteligentny system sterowania ruchem ulicznym w Krakowie | 52 |
| 2.6.4. | Inteligentny system sterowania ruchem ulicznym w innych miastach w Polsce | 52 |
| 2.6.5. | Metody ekonomicznej oceny efektywności inteligentnego systemu sterowania ruchem ulicznym | 53 |
| 3. | INTELIGENTNE SYSTEMY STEROWANIA RUCHEM W ŚWIADOMOŚCI POZNAŃSKICH KIEROWCÓW ORAZ STUDENTÓW MWSLiT, STATYSTYCZNE BADANIA I ANALIZY | 54 |
| 3.1. | Ogólna charakterystyka prac badawczych | 54 |
| 3.2. | Deklarowana wiedza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu wśród poznańskich kierowców | 54 |
| 3.3. | Znajomość elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami w Poznaniu | 57 |
| 3.4. | Znajomość zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami | 61 |
| 3.5. | Uwagi i spostrzeżenia | 65 |
| 3.6. | Inteligentny system sterowania ruchem w Poznaniu w świadomości studentów Międzynarodowej Wyższej Szkoły Logistyki i Transportu | 65 |
| 3.6.1. | Deklarowana wiedza studentów MWSLiT o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem / światłami w Poznaniu | 66 |
| 3.6.2. | Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami | 69 |
| | ZAKOŃCZENIE I WNIOSKI | 71 |
| | BIBLIOGRAFIA | 73 |
| | SPIS RYSUNKÓW | 74 |
| | SPIS TABEL | 75 |
| | SPIS WYKRESÓW | 75 |

WSTĘP

Logistyka miejska jest pojęciem wykreowanym w wyniku zainteresowania się miastem, jako systemem logistycznym oraz procesami i przepływami, jakie na jego terenie zachodzą. W niniejszej pracy licencjackiej przedstawiłem inteligentne sterowanie skrzyżowaniami ruchu, które dzięki swojej „inteligencji” znacznie usprawnia procesy i przepływy występujące w logistyce miejskiej. Inteligentne sterowanie skrzyżowaniami stanowi istotny aspekt sprawnego funkcjonowania logistyki miejskiej, jednocześnie jest nowoczesną, rozwijającą się koncepcją rozwiązywania problemów związanych z patologią ruchu miasta i aglomeracji miejskiej.

Celem niniejszej pracy jest charakterystyka istniejących systemów i rozwiązań, które usprawniają ruch i efektywnie nim zarządzają przez optymalizację faktycznej sytuacji ruchowej na skrzyżowaniu ulicznym, ponadto analiza przeprowadzonych badań - poziomu wiedzy i zachowań - uczestników inteligentnego systemu sterowania ruchem, które mają bezpośrednio wpływ na sprawność jego funkcjonowania.

Poniższa praca składa się z trzech części. Rozdział pierwszy zawiera wiedzę teoretyczną, która dotyczy logistyki miejskiej, omawia jej istotę, definicje, zakres i cel, także system logistyczny i transportowy oraz infrastrukturę. Rozdział drugi skupia się na inteligentnym sterowaniu skrzyżowaniami ruchu. Przedstawia ruch pojazdów, pomiary badania i analizy ruchu, oznakowanie dróg i ulic. W dalszej części rozdziału przedstawione są zagadnienia dotyczące sygnalizacji świetlnej i inteligentnych systemów sterowania ruchem ulicznym oraz zastosowanie systemów inteligentnych skrzyżowań w Polsce. Trzeci rozdział poświęcony został badaniom statystycznym, których wyniki posłużyły się do oceny poziomu wiedzy poznańskich kierowców, na temat funkcjonującego w Poznaniu – pierwszego i największego w Polsce – inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami. Wiedza dotyczy zarówno świadomości istnienia systemu inteligentnego, elementów składających się na ów system oraz zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu.

Inteligentne systemy sterowania skrzyżowaniami ruchu w Polsce występują nadal w niedostatecznej ilości do potrzeb naszego kraju i liczby pojazdów poruszających się na jego terytorium. Polska jako kraj tranzytowy, obciążona jest dodatkowo przyjazdem znacznej ilości pojazdów, które przemieszczają się przez jej granice w celu dotarcia do państw trzecich, które są ich finalnym miejscem przyjazdu. W Polsce występują obecnie plany realizacji i wdrażania lub realizacja początkowego etapu budowy inteligentnych systemów sterowania

skrzyżowaniami ruchu, w kilku największych miastach – Warszawa, Kraków, Łódź, Trójmiasto. Świadczy to o tym, że ich realizacja nastąpi w niedalekiej przyszłości, gdyż inteligencja tych systemów jest na wysokim poziomie, a ich realizacja staje się coraz bardziej konieczna, dlatego nakłoniło to autora do napisania niniejszej pracy.

1. LOGISTYKA MIEJSKA

1.1. Istota, definicje, zakres i cel logistyki miejskiej

1.1.1. Istota logistyki miejskiej

Logistyka miejska (*ang. city logistics, niem. Stadtlogistik*) stanowi narzędzie rozwiązywania związanych z patologią ruchu problemów funkcjonowania wysoce zurbanizowanych obszarów, jakimi są miasta, aglomeracje miejskie, metropolie i megalopolis.¹

Logistyka miejska wyrosła na gruncie tych samych, znanych, niewzruszonych zasad, jakimi cechuje się logistyka we wszystkich pozostałych wymiarach. U jej podstaw leżą zatem, podejście systemowe i wynikająca z niego zasada patrzenia przez pryzmat całości (holizm), analiza współzależności kosztowych (*trade-offs*), poszukiwanie efektów synergicznych, zasada koordynacji działań i oczywiście orientacja na przepływy. Logistyka miejska to zasadniczo te same procesy, które stanowią treść logistyki w każdym wymiarze, a więc transport, składowanie, procesy informacyjne, obsługa klienta. Nabierają one niejako nowego znaczenia, nowego wymiaru, mają swoją odrębną specyfikę, jak na przykład obsługa klienta, która w tym przypadku dotyczy mieszkańca miasta oraz podmioty gospodarcze na terenie miasta.²

Istotę logistyki miejskiej można wyrażać parafrazując przyjęte definicje logistyki, dokonując ich transpozycji, jak i precyzując jej zakres. Pierwsze podejście pozwala znaleźć oczywiste analogie co do przedmiotu zarządzania i celu, drugie zaś pozwala uzmysłowić sobie interdyscyplinarność logistyki miejskiej, zorientować się w jej treści i ogarnąć wielość jej zagadnień. W każdym przypadku wyodrębnić można strefę przepływów fizycznych i strefę regulacji.³

1.1.2. Definicje logistyki miejskiej

Przyjmując za punkt wyjścia znaną definicję logistyki opracowaną przez Council of Logistics Management (CLM). Logistykę miejską można określić jako proces planowania, realizowania i kontrolowania przepływów:⁴

- inicjowanych na zewnątrz i skierowanych do miasta,
- inicjowanych w mieście i skierowanych na zewnątrz,

¹ M. Szymczak, *Logistyka Miejska* Poznań 2008, s. 25.

² M. Szymczak, *Logistyka Miejska* Poznań 2008, s. 25.

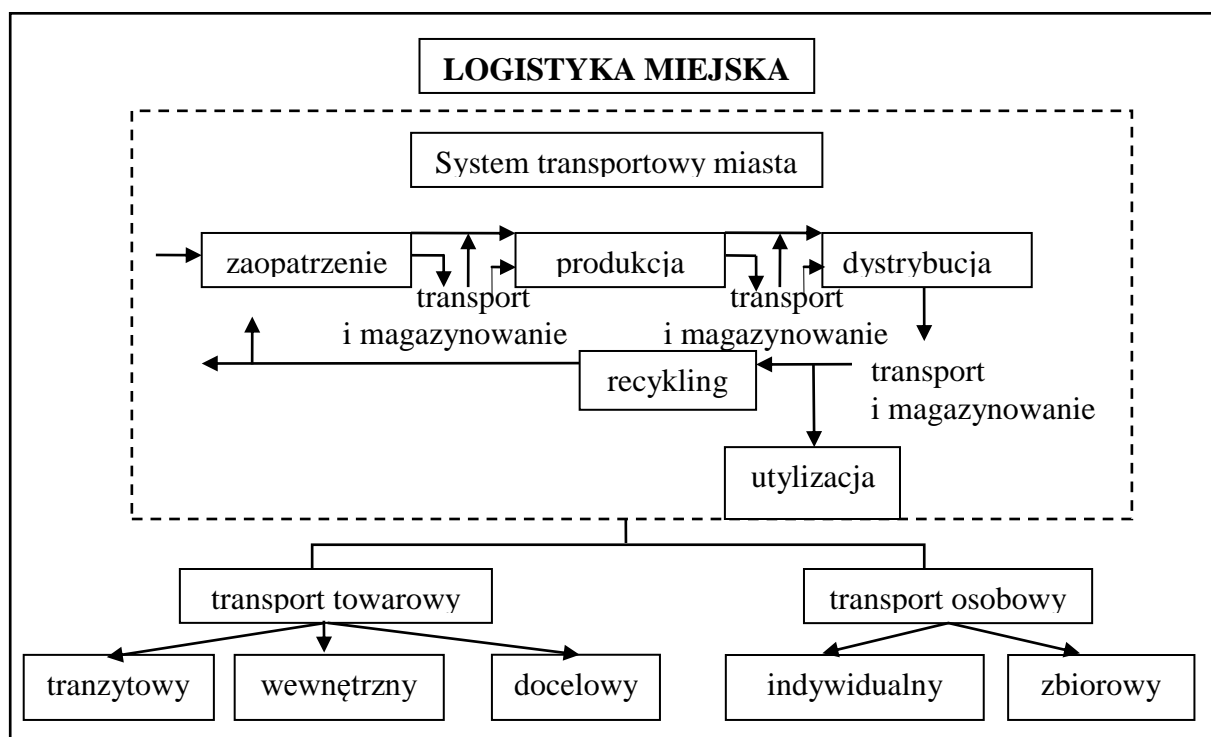
³ M. Szymczak, *Logistyka Miejska* Poznań 2008, s. 25-26.

⁴ M. Szymczak, *Logistyka...*s. 26.

- przechodzących przez miasto,
- jak i wewnętrznych w mieście.

oraz towarzyszących im przepływów informacji, mający na celu zaspokojenie potrzeb aglomeracji miejskiej w dziedzinie jakości gospodarowania, jakości życia i rozwoju.

W logistyce miejskiej proponuje się zastąpienie dotychczasowego, nieskoordynowanego układu różnych rodzajowo i natężeniowo potoków układem skoordynowanym, zorientowanym na podmioty funkcjonujące w mieście i na jego mieszkańców, a w konsekwencji na rozwój miasta. Mówi się o zintegrowanym zarządzaniu systemami transportowymi w mieście. Ma to eliminować chaos, patologię ruchu w miastach i zapobiegać paraliżowi transportowemu. Logistyka w odniesieniu do miasta wskazuje na konieczność zapewnienia optymalnych powiązań produkcyjno-przestrzennych oraz egzystencjalno-przestrzennych o charakterze ruchowym, z uwzględnieniem kosztów, wydajności i usług świadczonych poszczególnym podmiotom, zakładając ekonomiczny i ekologiczny rozwój mikroregionu, jakim jest aglomeracja.⁵



Rysunek 1. Logistyka miejska

Źródło: B. Tundys, *Logistyka miejska*, Difin Warszawa 2008, s. 147.

W definicji logistyki miejskiej opracowanej przez Council of logistics Management nie należy bezwarunkowo i automatycznie przypisywać przymiotników „sprawny”

⁵ M. Szymczak, *Logistyka...*s. 26.

i „ekonomicznie efektywny” w odniesieniu do przepływów. Nie powinny one być stosowane zawsze, oczywiście - tam gdzie to możliwe - przepływy powinny być ekonomicznie efektywne ale przede wszystkim należy mieć na uwadze dobro mieszkańców i rozwój miasta. Na tym polega społeczny wymiar logistyki miejskiej. Warunki w jakich realizowane są procesy logistyczne powinny uwzględniać cel społeczno-gospodarczy, a podmioty gospodarcze, respektując je podejmują racjonalne decyzję i maksymalizują swój zysk. Należy, zatem, zwrócić uwagę na potencjał optymalizacyjny logistyki miejskiej, który przedstawiają obie definicje. W pierwszej określa się:

- logistykę miejską jako proces optymalizacji wszystkich działań związanych ze składowaniem i transportem podejmowanych przez przedsiębiorstwa na terenie miasta, z uwzględnieniem otoczenia tych procesów, kongestii transportowej i zużycia energii, w warunkach gospodarki rynkowej.⁶

Druga definicja, sformułowana przez B. Rzeczyńskiego, według której:

- logistyka miejska dostarcza założeń dla optymalizacji systemu miasta pod kątem planowania, sterowania i nadzorowania wszelkich uwarunkowanych istotnie ruchowo, przebiegających w tym systemie procesów w wymiarze ekonomicznym, ekologicznym, technologicznym i socjalnym.⁷

Innymi słowy, logistyka miejska dotyczy wszystkich tych działań uwarunkowanych ruchowo, które składają się na dzienny cykl życia miasta, jako przestrzeni ekonomicznej, społecznej i kulturowej. Stanowi podstawowy instrument sprawnego zarządzania życiem współczesnego miasta, a w tym niezawodnego funkcjonowania jego infrastruktury technicznej i systemu transportu.⁸

1.1.3. Zakres logistyki miejskiej

Podejmując wyzwanie określenia istoty logistyki miejskiej poprzez sprecyzowanie jej zakresu, należy na wstępie przypomnieć, iż w logistyce miejskiej mamy do czynienia ze wszystkimi typowymi procesami stanowiącymi przedmiot zarządzania w logistyce, a więc z transportem, składowaniem i komplementarnymi procesami informacyjnymi. W obszarze miasta rozpatrywać można również łańcuchy i sieci dostaw, w środowisku których następują procesy transformacji czasowo-przestrzennej i jakościowej. Istotne będą, więc także problemy konfiguracji systemów logistycznych. W szczególności zaś należy wyróżnić następujące obszary w sposób szczegółowy precyzując zakres logistyki miejskiej:

⁶ M. Szymczak, *Logistyka...*s. 27.

⁷ M. Szymczak, *Logistyka...*s. 27.

⁸ M. Szymczak, *Logistyka...*s. 27.

- towarowy transport w mieście, transport dostawczy i wywozowy, a także przewozy tranzytowe,
- zabezpieczenie i składowanie dóbr na rzecz miasta,
- osobowy transport miejski i podmiejski oraz osobowy ruch tranzytowy,
- zaopatrzenie miasta,
- wywóz z miasta odpadów i odprowadzanie nieczystości.⁹

Transport towarowy, jego organizacja w mieście dotyczy przewozów wewnątrz miasta, w relacjach do miasta i z miasta oraz tranzyt przez miasto. Ruch towarowy stanowi zaopatrzenie podmiotów działających w mieście oraz sprzedaż produktów wytworzonych przez te podmioty. Transport jest podstawą wszelkich przemieszczeń a przewozy towarowe podstawą funkcjonowania łańcuchów dostawczych.

Zabezpieczenie i składowanie dóbr na rzecz miasta dotyczy terenu miasta, aglomeracji miejskiej i jego otoczenia. Do tego celu wyznaczone są na obszarze miasta i w jego okolicach tereny przeznaczone pod place składowe, bazy magazynowe, centra dystrybucyjne, centra usług logistycznych w granicach administracyjnych miasta.

Osobowy transport miejski to w szczególności ruch wewnątrzaglomeracyjny w obrębie miasta, jak i relacja miasto-strefa podmiejska. Ruch ten obsługują przedsiębiorstwa komunikacyjne - transport zbiorowy, jak i prywatne środki transportu – transport indywidualny. Do innej grupy przewozów osobowych można zaliczyć przewozy tranzytowe. Ten typ przewozów osobowych jest związany głównie z dojazdem osób do pracy, szkół, ośrodków kulturalnych, miejsc wypoczynku oraz powrotem do miejsca zamieszkania.

Istotnym problemem związanym tym zagadnieniem jest problem zatłoczenia motoryzacyjnego, przeciążeniem infrastruktury i brakiem miejsc postojowych. Logistyka miejska może być narzędziem do rozwiązywania problemów związanych z zatłoczeniem motoryzacyjnym miasta, przeciążeniem infrastruktury transportu, brakiem miejsc postojowych itd.¹⁰ Charakter ruchu osobowego, a przede wszystkim jego rozkład czasowy i przestrzenny oraz wysoka nieracjonalność przemieszczeń, stwarzają nowe problemy. Jego koegzystencja z ruchem towarowym, wzajemne przeplatanie się osobowych i towarowych potrzeb transportowych w warunkach ograniczonej pojemności elementów miejskiej infrastruktury drogowej podnosi koszty transportu w mieście, doprowadza do nieefektywnego funkcjonowania podmiotów gospodarczych i pogarsza mobilność mieszkańców.¹¹

⁹ M. Szymczak, *Logistyka...*s. 29.

¹⁰ M. Szymczak, *Logistyka...*s. 30.

¹¹ M. Szymczak, *Logistyka...*s. 31.

Zaopatrzenie miasta, za które odpowiedzialne są władze miasta to w szczególności zadania komunalne, nie chodzi tu o zaopatrzenie podmiotów gospodarczych zlokalizowanych na terenie miasta. Chodzi, więc konkretnie o zaopatrzenie miasta w wodę, gaz, ciepło, energię elektryczną, których odbiorcami są podmioty gospodarcze, ludność miejska i instytucje.

Wywóz z miasta odpadów i nieczystości rozumiemy jako całokształt odpadów, jakie generuje miasto, a więc są to odpady przemysłowe i komunalne na obszarze miasta. Konkretnie mówimy o wywózce i zwózce odpadów, segregacji odpadów oraz utylizacji. Wywóz odpadów wymaga powzięcia działań przewozowych i składowych, a więc tworzenia łańcuchów dostaw. Najczęściej przewóz jest realizowany transportem samochodowym.

1.1.4. Cel logistyki miejskiej

Celem logistyki miejskiej jest połączenie w jedną, sterowalną całość aktywności wszystkich podmiotów gospodarczych i instytucji działających na terenie miasta mających aspekt ruchowy oraz zarządzanie tą siecią zdarzeń w sposób zapewniający pożądany poziom jakości życia i gospodarowania w mieście przy minimalnym poziomie kosztów jednak z uwzględnieniem wymogów ekologii. Koordynacja aktywności obejmuje także odpowiednią organizację usług komunalnych świadczonych na rzecz podmiotów gospodarczych i ludności. W tak sformułowanym ogólnym celu można wyróżnić, co jest wyraźnie widoczne i co jednocześnie stanowi *novum* w konfrontacji z logistyką przedsiębiorstw:

- cel ekonomiczny,
- cel ekologiczny,
- cel społeczny.

Długookresowym celem logistyki miejskiej powinno być zapewnienie rozwoju miasta w skoordynowanym układzie wszystkich trzech wymiarów.¹²

Po przedstawieniu celów można zadać sobie pytanie: w jaki sposób je realizować oraz jaką wiedzę muszą dysponować decydenci i planiści? Logistyka miejska jest dziedziną wiedzy interdyscyplinarnej i wielowątkowej oznacza to, że jako przedmiot zainteresowania traktuje wiele dziedzin nauki i praktyki. Do najważniejszych należą: informatyka, ekonomia i technika. Należy podkreślić, że wszystkie te zagadnienia są przydatne dla miasta oraz ich znajomość i praktyczne wykorzystanie przyczynia się do jego rozwoju. W szczególności dotyczy to takich dziedzin, jak: urbanistyka, ekonomika miasta, gospodarka przestrzenna, polityka transportowa, inżynieria ruchu, drogownictwo, polityka ekologiczna.

¹² M. Szymczak, *Logistyka...*s. 34.

1.2. System logistyczny miasta, infrastruktura logistyki miejskiej

1.2.1. System logistyczny miasta

System logistyczny miasta należy rozumieć w sensie miejskiego wyposażenia infrastrukturalnego, które niezbędne jest do funkcjonowania łańcuchów i sieci dostaw na terenie miasta oraz stwarza warunki do efektywnego zarządzania nim, a także takiego, które niezbędne jest do obsługi potoków osobowych na terenie miasta i zarządzania nimi.¹³ W kontekście miasta należałoby jeszcze dodać, że oprócz infrastruktury do systemu należą wszystkie podmioty gospodarcze na terenie aglomeracji, przedsiębiorstwa komunalne i osiedla mieszkaniowe, jako jedno z początkowych i docelowych punktów podróży. Jest to jednak ujęcie bardzo szerokie, na potrzeby tworzenia poszczególnych koncepcji logistycznych bierze się pod uwagę tylko część z wymienionych elementów.¹⁴

Niezmiernie ważnym elementem przy rozpatrywaniu miasta, jako systemu logistycznego, jest wpływ na jego funkcjonowanie przebiegających przez miasto strumieni oraz łańcuchów logistycznych. Sprawność łańcuchów logistycznych w miastach, jest w pewnym sensie wyznacznikiem sprawności samego miasta i systemu zarządzania nim. Sterowanie, organizowanie i koordynacja procesów i przepływów w kanałach i łańcuchach logistycznych stanowi jeden z elementów wdrażanych koncepcji logistyki miejskiej.¹⁵

1.2.2. Infrastruktura logistyki miejskiej

Zatem w skład infrastruktury logistyki miejskiej konstytuującej system logistyczny miasta wchodzi:¹⁶

a) infrastruktura transportu w mieście:

- drogi poszczególnych gałęzi transportu, a więc: ulice, trasy przelotowe, obwodnice, odcinki dróg o znaczeniu regionalnym i międzynarodowym, miejska trakcja tramwajowa, trolejbusowa, kolejowa (kolej miejska), metro, odcinki dróg kolejowych o znaczeniu regionalnym i międzynarodowym, sieci wodociągowe, gazociągowe, ciepłownicze, kanalizacyjne i energetyczne, drogi wodne śródlądowe i morskie, a zwłaszcza szlaki przepraw promowych, fragmenty dróg lotniczych w zakresie podejścia i wznoszenia;
- węzły i punkty transportowe w mieście, a więc: skrzyżowania ulic, węzły drogowe i autostradowe, przystanki komunikacji miejskiej, zajezdnie, dworce i stacje kolejowe

¹³ M. Szymczak, *Logistyka...*s. 39.

¹⁴ B. Tundys, *Logistyka miejska*, Difin Warszawa 2008, s. 104.

¹⁵ B. Tundys, *Logistyka miejska*, Difin Warszawa 2008, s. 105.

¹⁶ M. Szymczak, *Logistyka...*s. 39-40.

(w tym stacje rozrządowe), stacje sprężarek i pompownie sieci wodociągowych, gazociągowych, ciepłowniczych i kanalizacyjnych, stacje przekątnikowe i transformatorowe sieci energetycznych, porty lotnicze, porty rzeczne i morskie, terminale kontenerowe, terminale promowe, miejsca postojowe i parkingowe;

b) infrastruktura procesów składowania, a więc przede wszystkim:

- składy i magazyny różnych typów, centra dystrybucyjne i centra usług logistycznych o różnym promieniu oddziaływania, także zlokalizowane poza miastem, ale realizujące usługi dla miasta, a także komunalne składowiska odpadów;
- oraz ich techniczne wyposażenie, niezbędne do realizacji założonych funkcji;

c) infrastruktura telekomunikacyjna i infrastruktura przesyłania danych w mieście, a więc sieci i węzły telekomunikacyjne oraz sieci informatyczne i ich węzły – na przykład metropolitalne centra superkomputerowo-sieciowe.

1.3. System transportowy miasta i jego organizacja

1.3.1. Rola transportu w funkcjonowaniu miasta

Za system transportowy uważa się uporządkowaną całość wszystkich gałęzi transportu działających w danym obszarze. Obejmuje on cały majątek trwały i obrotowy transportu, czynnik ludzki i powiązania międzygałęziowe, a także powiązania całego systemu transportu, środki transportu różnych gałęzi transportu (bez względu na formę własności), zasoby ludzkie i regulacje organizacyjno-prawne. Posiada swoiste cechy i powiązania, integrując wszelkiego rodzaju stosunki i związki pomiędzy elementami służącymi zaspokajaniu potrzeb przewozowych, wykorzystując do tego celu politykę transportową. Do cech systemu transportowego można zaliczyć: złożoność, probabilizm, ograniczoną zdolność do samoregulacji oraz dynamiczność. Rozróżnia się systemy transportu materii, ludzi i energii. Dwa podstawowe rodzaje systemów to:¹⁷

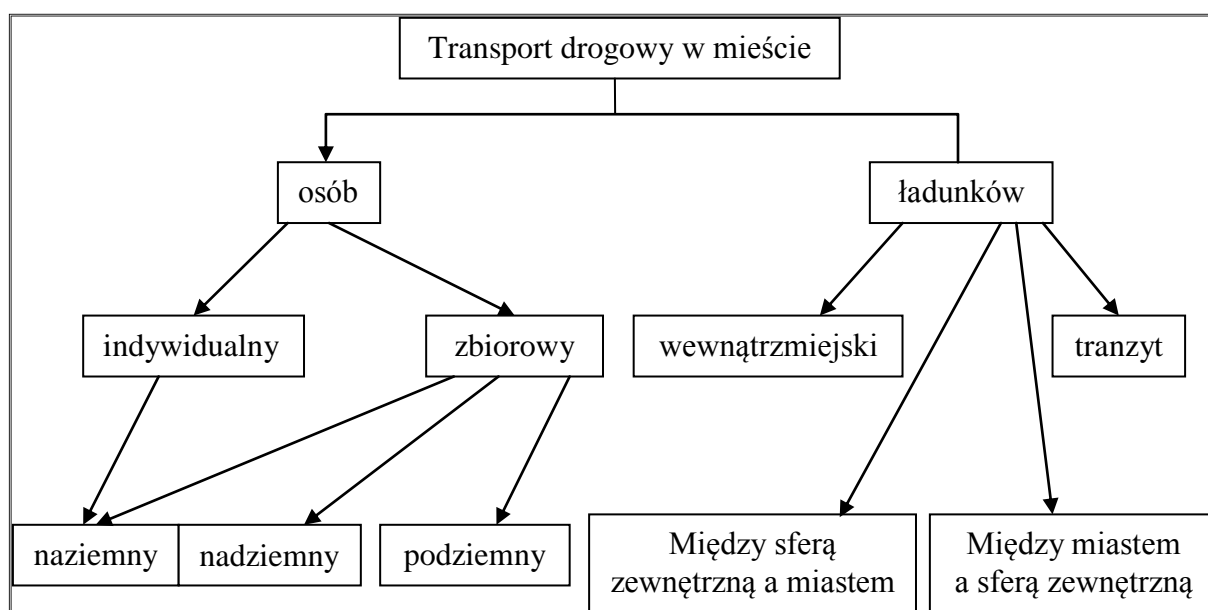
- system transportu zewnętrznego (dalekiego),
- system transportu wewnętrznego (bliskiego).

Do czynników wpływających na kształtowanie systemów transportowych należą: naturalne, techniczno-eksploatacyjne, ekonomiczne i społeczne. Szczęólnego znaczenia nabierają przy tym: jakość sieci dróg, która jest kształtowana przez następujące czynniki: rodzaj transportu (zdolność przewozowa środków transportu, koszt, częstotliwość i szybkość ruchu), zdolność przepustowa, spójność (bezpośredniość połączeń między różnymi

¹⁷ B. Tundys, *Logistyka miejska*, Difin Warszawa 2008, s. 113-114.

miejskami), dostępność do nadawców i odbiorców, właściwości techniczne dróg (krzywizny, szerokość wzniesienia, spadki), gęstość dróg na 100 km², jak również tłok komunikacyjny na najbardziej uczęszczanych odcinkach.¹⁸

Transport jest elementem, łączącym miasto w układzie funkcjonalnym i przedstawia ośrodek miejski jako system współzależności zachodzących pomiędzy poszczególnymi jego elementami (podział prezentuje rys. 1). Wszystkie ruchy ładunków i ludzi, wykonywane w celu zaspokojenia czynności ekonomicznych i gospodarczych danego regionu uznawane są za procesy transportowe, które oddziałują na obszar funkcji, planowania przestrzennego i rozwoju miast. Współczesny transport nie może ograniczać się jedynie do funkcji przewozowej, musi za sprawą koncepcji logistycznych przejmować dodatkowe funkcje, a systemy transportowe powinny wykazywać się optymalnym wykorzystaniem czasu, wolumenu użytkowanej przestrzeni i pojemności transportowej, przy optymalnym użyciu infrastruktury drogowej.¹⁹



Rysunek 2. Podział transportu w mieście

Źródło: B. Tundys, *Logistyka miejska*, Difin Warszawa 2008, s. 115.

System transportowy miasta potrzebuje miejsc, które zostaną wykorzystane pod budowę infrastruktury, a więc torowisk, ulic, miejsc parkingowych. Ten typ infrastruktury technicznej obejmuje elementy materialne, takie jak sieć drogowa, środki i urządzenia transportowe, obiekty zaplecza technicznego oraz elementy niematerialne

¹⁸ B. Tundys, *Logistyka miejska*...s. 114.

¹⁹ B. Tundys, *Logistyka miejska*...s. 115.

(mające istotny wpływ na prawidłowe funkcjonowanie systemu), w skład których wchodzi zasady organizacji ruchu drogowego, przepisy finansowe i inne.²⁰

Rozpatrując ruchy wewnętrzne w mieście możemy wyróżnić transport: osób, zaopatrzenia (towarów), wywóz odpadów i nieczystości. Struktura transportu gospodarczego w miastach (biorąc pod uwagę zarówno transport towarowy, jak i osobowy), wskazuje, iż 1/3 wszystkich ruchów transportowych w mieście to transport gospodarczy towarowy, 2/3 to transport osobowy zarówno indywidualny, jak i publiczny.²¹

Miejski transport towarów stanowi część bardziej rozbudowanego łańcucha transportowego i logistycznego. Największa część transportu ładunków odbywa się za pomocą transportu drogowego, z czego największy odsetek jest transportowany przez transport samochodowy. Struktura oraz wielkość transportu zależą od grupy towarów, obszaru funkcjonalnego, ilości, dystansu, przedsiębiorstwa oraz środka transportu. Powyższe czynniki są zmienne i zależne od branży, gospodarki, środowiska, możliwości ekonomicznych, a także stosunków społecznych, jak i również koncepcji logistycznych.²²

Na transport towarów w mieście oddziałują także czynniki wewnętrzne, do których zalicza się obsługę przemieszczeń zaczynających i kończących się w obszarze zurbanizowanym oraz czynniki zewnętrzne determinowane przez prowadzenie ruchu tranzytowego oraz połączenie obszaru z układem zewnętrznym dla obsługi ruchów docelowych i źródłowych. W transporcie towarów istnieją dwa podstawowe procesy: bezpośredni, od drzwi do drzwi, ze specjalnymi urządzeniami za- i wyładunku oraz transport od węzła do węzła z tworzeniem i dystrybucją małych ładunków. Transport towarów w mieście jest koniecznym założeniem i przesłanką jego sprawnego funkcjonowania, a jego następstwa powodują przestrzenne rozdzielenie funkcji miejskich.²³

Drugi rodzaj przemieszczeń w mieście to przepływy i transport ludzi. Cechą charakterystyczną jest mobilność i możliwość własnego (aktywnego) przemieszczania, jak i również możliwość przetwarzania informacji i działanie w oparciu o nią, bez jakiegokolwiek wsparcia z zewnątrz. Przemieszczenia mogą się odbywać zmotoryzowanym transportem indywidualnym, bądź komunikacją miejską. Organizacja, dostępność, a także preferencje klientów są wyznacznikiem rozwiązań komunikacyjnych w mieście. Zmiany preferencji

²⁰ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 115-116.

²¹ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 117.

²² B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 117.

²³ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 118.

mieszkańców, wraz z rozwojem transportu samochodowego doprowadziły do problemów komunikacyjnych przede wszystkim zatłoczenia i kongestii.²⁴

Czynnik komunikacyjny jest jednym z istotnych progów rozwoju miasta. Silne więzy pomiędzy różnorodnymi funkcjami w mieście powodują ciągle przemieszczanie się ludzi, przewóz materiałów i przepływ informacji, dlatego też niezbędne jest sprawne funkcjonowanie złożonych systemów transportu. Sprawny system transportowy powinien zapewniać miastu jak najlepszą obsługę komunikacyjną przy jednoczesnym łagodzeniu uciążliwości, które wynikają z jego obecności. Zarządzanie transportem jest w swojej istocie zarządzaniem elementami wchodzącymi w skład całego systemu logistycznego i opowiada zarządzaniu przepływami koordynowanymi przez odpowiednie jednostki w całym systemie transportowym.²⁵

1.3.2. Problemy wynikające z funkcjonowania transportu w miastach

Problemy podsystemu transportu w mieście powodują daleko idące konsekwencje dla całego miasta. Stają się źródłem zahamowania jego rozwoju gospodarczego, wycofania kapitału, braku nowych inwestycji, wzrostu kosztów i obniżania jakości procesów. Problemy mogą być różne i występować na różnym polu. Najogólniej można powiedzieć, iż są to problemy wywołujące implikacje społeczne, ekologiczne i ekonomiczne. Identyfikacja nieprawidłowości może w znacznym stopniu przyczynić się do zwiększenia funkcjonalności miasta. Większość podsystemów transportowych boryka się ze wzrastającą liczbą problemów, związanych z przeciążeniem dróg, brakiem obwodnic, obejść, będące przyczyną konieczności obsługi ruchu tranzytowego przez centra miast, pogarszając warunki życia związane z negatywnym wpływem transportu, niedostosowaniem przestarzałej konstrukcji nawierzchniowych dróg i mostów do potrzeb transportowych, słabym wykorzystaniem Inteligentnych Systemów Transportowych i nowoczesnych rozwiązań techniczno-organizacyjnych, a także ograniczoność środków na prace badawczo-rozwojowe w systemach pokrewnych, coraz większe zatłoczenie ulic.²⁶

W 1995 roku R. Tolley i B. Tuorton przedstawili koncepcję ukazującą relacje pomiędzy wpływem wzrastającego zatłoczenia motoryzacyjnego na obszarach miejskich, jakością środowiska naturalnego, wpływem na jakość życia mieszkańców na danym obszarze, a rozwojem gospodarowania przestrzennego (urbanistycznego). Zatłoczenie i jego wpływ na sprawne funkcjonowanie miasta wynika pośrednio ze wzrostu liczby pojazdów,

²⁴ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 118.

²⁵ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 119.

²⁶ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 122-124.

a bezpośrednio na skutek działań zmierzających do płynnego przemieszczenia się pojazdów na terenach miejskich. Model wskazuje iż, wzrost liczby pojazdów przyczynia się do powstawania kongestii, co implikuje postawy użytkowników pojazdów do zwiększenia przepustowości ulic, poprzez dodatkowe pasy ruchu, priorytety dla pojazdów na skrzyżowaniach. Dzięki takim działaniom następuje swobodniejszy i łatwiejszy dostęp do centrum miasta, jednakże takie działania powodują zwiększenie się liczby pojazdów na terenie ścisłego centrum, a co za tym idzie pogarszanie się jakości środowiska naturalnego i jakości życia na tych terenach. Taka sytuacja powoduje pojawienie się tendencji do migracji ludności na tereny podmiejskie. To z kolei prowadzi do wydłużenia się długości dróg oraz liczby przejazdów na terenie miasta, jak również liczby podróżujących. Taka sytuacja znów generuje i wywołuje naciski na poprawienie przepustowości, tym razem już na większym obszarze, co powoduje powstawanie błędnego koła. Każdy obrót powoduje zwiększenie kosztów utrzymania systemu transportowego, inwestycje infrastrukturalne, degradację środowiska i pogarszanie się jakości życia mieszkańców. W rozwoju urbanistycznym ośrodka następuje faza dezurbanizacji, co z kolei powoduje zmiany funkcji pełnionych przez poszczególne obszary (dla przykładu w centrum z mieszkalno-usługowej, tylko na usługową, bądź opustoszenie centrum i powstawanie tylko węzłów komunikacyjnych). Zadaniem jest, więc takie prowadzenie polityki transportowej i wdrażanie takich rozwiązań logistycznych, aby przy wzrastającym znaczeniu i zapotrzebowaniu na transport wprowadzić zasady logistycznego zarządzania, poprawiając jakość życia i umożliwiając dalszy rozwój ośrodków.²⁷

Rozpatrując kongestię transportową można mówić o: kongestii na sieci transportowej i kongestii w środkach transportu. Kongestia na sieci transportowej dzieli się na kongestię na liniach i punktach transportowych i powodowana jest koniecznością kontroli ładunków i pasażerów, lub modernizacją, reparacją czy przebudową dróg. Kongestii na drogach ulegają pojazdy, ładunki i pasażerowie. Szczególny przypadek kongestii to zatłoczenie miejsc postoju pojazdów.²⁸

Problemy, jakie można zaobserwować przy transporcie towarów w mieście są różnego rodzaju i mają wiele źródeł pochodzenia. Jednym z nich jest stopień wykorzystania taboru, jeżeli tabor jest wykorzystywany tylko częściowo, pojawiają się puste i niepotrzebne przebiegi. Aby ten problem zlikwidować należy wziąć pod uwagę rozwiązania alternatywne, kompromisowe, aby zredukować koszty własne, jak i społeczne. Problemy związane

²⁷ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 125-126.

²⁸ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 129.

z transportem, które sygnalizowane są przez przedsiębiorstwa transportowe to długi czas przejazdu przez miasto, oczekiwania, małe możliwości zatrzymywania, które powodują wzrost kosztów miejskiego transportu towarów. Negatywnym skutkiem kongestii, jest brak punktualności pojazdów, straty czasu, jak i odczuwalne straty bezpośrednio w procesie produkcji transportowej, przy eksploatacji pojazdów, utrzymaniu infrastruktury. Nie bez znaczenia są straty związane z czasem trwania przewozu i warunkami wykonywania przewozów, stratami czasu użytkowników transportu, związanymi z uciążliwością jazdy, wypadkami i stratami wynikającymi z zanieczyszczenia środowiska.²⁹

Niewątpliwym problemem, jaki można zaobserwować w transporcie jest nadmierne wykorzystanie infrastruktury transportowej i drogowej powodujące szybkie jej zużycie. Podczas ruchu pojazdów na drogach środowisko zanieczyszczają szkodliwe substancje. Odczuwalny hałas na drogach jest szkodliwy dla zdrowia. Powodowany jest szczególnie przez zły stan techniczny pojazdów oraz dróg, po których poruszają się pojazdy. Transport przyczynił się do powstania zagrożeń środowiska naturalnego i wypadków, zanieczyszczenie powietrza przez transport samochodowy jest znacznie większe niż kolej, czy żeglugę śródlądową.

1.3.3. Sposoby rozwiązywania problemów transportowych miasta

Za cel polskiej polityki transportowej postawiono stworzenie zrównoważonego pod względem technicznym, przestrzennym, gospodarczym, społecznym i środowiskowym, systemu transportowego. Zadania te nabierają szczególnego znaczenia w ośrodkach miejskich. Sposoby regulacji tego przedstawia E. Załoga, wskazując, iż ograniczenie negatywnych następstw transportu może odbywać się poprzez: doskonalenie zarządzania ruchem (ograniczenie liczby pojazdów na drogach), (car pooling, telepraca), efektywniejszą politykę parkingową (opłaty za parkowanie, ograniczenie miejsc parkingowych, system Cash out), wykorzystanie dostępnej technologii do lepszego zarządzania ruchem (Telematyka), doskonalenie systemów transportu publicznego, promowanie transportu kombinowanego, zintegrowane planowanie transportu i zagospodarowania przestrzennego, politykę kształtowania cen paliw, obciążenie użytkowników kosztami infrastruktury, promowanie i rozwój badań nad alternatywnymi paliwami. Nie bez znaczenia jest także zastosowanie zasady płynnego transportu, preferowanie wykorzystania w centrach miast komunikacji

²⁹ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 129.

publicznej, stworzenie stref czasowo i na stałe zamkniętych dla ruchu ciężarowego, zakazy parkowania oraz opłaty parkingowe.³⁰

Jednym z najważniejszych elementów rozwiązujących problemy transportu towarów w mieście jest dobra organizacja łańcuchów transportowych, co oznacza wyznaczenie punktów łączących pojedyncze systemy w celu osiągnięcia korzyści skali i efektu synergii na ograniczonej powierzchni miasta. Inne sposoby polegają na ograniczeniu potrzeb transportowych. Mogą one być następstwem zmian we wzorach konsumpcji oraz wzorach podróżowania, jak i w substytucji przewozów osób. Nie należy jednak zapominać, iż całkowite wyeliminowanie samochodów dostawczych z miast nie jest możliwe, stanowią one, bowiem podstawowy element łańcuchów transportowych.³¹

Negatywne skutki indywidualnego transportu osobowego można w pewien sposób niwelować, wykorzystując jako alternatywę komunikację zbiorową (tramwajową i autobusową). Możliwość włączenia komunikacji publicznej w koncepcje logistyki miejskiej i w realizację postulatów usprawnienia systemu komunikacyjnego miasta jest jednym ze sposobów odciążania miasta z transportu indywidualnego. Można tego dokonać przy wykorzystaniu na przykład priorytetów dla ruchu pojazdów komunikacji miejskiej: za sprawą sygnalizacji wzbudzonej przez pojazdy, wydzielania pasów ruchu dla autobusów.³² Wszelkie koncepcje muszą być wspierane przez rozwiązania technologiczne, przede wszystkim z dziedziny Telematyki. Jako przykłady mogą służyć dynamicznie zmieniające się tablice świetlne zlokalizowane w pobliżu głównych węzłów przesiadkowych, informujące o najbliższych możliwych połączeniach, opóźnieniach bądź komunikacji zastępczej (ISA – inteligentne systemy dostosowania prędkości oraz kontrolowania ich przestrzegania, z zastosowaniem detektorów prędkości umieszczonych na drodze bądź w pojeździe urządzeń pokładowych kontrolujących prędkość), jak również wykorzystanie elektronicznego biletu jedno-lub wieloprzejazdowego i możliwości opłaty w sposób elektroniczny. Istotne jest tworzenie zintegrowanych systemów zarządzania ruchem w mieście, które powinny wspomagać nie tylko transport indywidualny i służyć koordynacji ruchu (zmiana sygnalizacji świetlnej, pętle indukcyjne, sterowanie adaptacyjne), ale także komunikacji zbiorowej, poprzez tworzenie dla niej priorytetów (skrzyżowania, zmiana sygnalizacji, „zielona fala”)

³⁰ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 134.

³¹ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 137.

³² B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 137.

oraz pozwalających na bezpośredni wgląd na sytuację w mieście: kongestia, wypadki, awarie pojazdów.³³

Zastosowanie technologii telematycznych wspomaga rozwiązywanie problemów logistycznych, zwłaszcza w intermodalnym transporcie towarowym oraz w obszarze problemów logistyki miejskiej. Zastosowanie koncepcji w miastach polega przede wszystkim na optymalizacji dostępu do centrów handlowych, przemysłowych na terenach aglomeracyjnych, które są obciążone z powodu kongestii. Rozwiązania informatyczne muszą być ściśle powiązane i zintegrowane z istniejącym systemem zarządzania miastem, co sprowadza się do zarządzania i kontroli ruchu w danym mieście, centrami handlowymi, centrami przeładunku towarów z ruchu zamiejskiego dla potrzeb ruchu miejskiego. Technologie teleinformatyczne wspierają zbieranie, archiwizowanie, przetwarzanie i przekazywanie danych. Ich zastosowanie obejmuje korzystanie z urządzeń, sprzętu komputerowego i telekomunikacyjnego (hardware) oraz oprogramowania (software). Systemy zdalnego przekazywania danych na potrzeby i użytek logistyki miejskiej zakładają działania bazujące na wykorzystaniu Internetu, ale nie tylko. Także na potrzeby sprawnego funkcjonowania systemów miejskich wykorzystuje się Inteligentne Systemy Transportowe. Do najważniejszych z nich można zaliczyć: Internet, globalny system mobilnej komunikacji (GSM), urządzenia monitorowania ruchu (sensory, detektory, wideodetektory, sterowniki – Traffic Monitoring Devices), urządzenia nadzoru telewizyjnego (Video Surveillance), zmienne tablice świetlne (VMS – Variable Message Signs), systemy pozycjonowania pojazdów (GPS – globalny system nawigacji satelitarnej), systemy łączności radiowej (RDS), geograficzne bazy danych (GIS – Geographic Information Systems), systemy automatycznej lokalizacji pojazdów (AVLS), automatyczne detektory wypadków (AID – Automatic Incident Detection), urządzenia służące pomiarom i monitorowaniu powietrza (Air Quality Data Monitoring), system inteligentnej sygnalizacji świetlnej, sterowanie on-line, symulacje komputerowe i wymiana informacji, dynamiczne informowanie użytkowników, systemy komunikacji o krótkim zasięgu (DSRC – Dedicated Short – Range Communication), karty elektroniczne (smart cards), system zarządzania parkingami, systemy wspomagania decyzji, zarządzanie flotą i transportem ładunków, które szczegółowego znaczenia nabierają w inżynierii ruchu. Telematyka umożliwia dostępność do punktów

³³ B. Tundys, *Logistyka miejska*...s. 186-187.

węzłowych sieci, infrastruktury liniowej i punktowej oraz możliwość redukcji negatywnych skutków wywołanych przez system transportowy.³⁴

Istotne jest zastosowanie i zainstalowanie odpowiednich podsystemów informacji (tablice świetlne, czytniki) w newralgicznych punktach miasta. Wymiana informacji i sygnały o ewentualnych nieprawidłowościach przekazywane do centrum/centrali systemu informacji drogowej, a stamtąd dalej uczestnikom systemu transportowego miasta. Informacje przekazywane mogą być drogą radiową, satelitarną bądź przez Internet, jak również wykorzystując tablice świetlne oraz sygnalizację świetlną. Przekazywanie informacji uczestnikom ruchu następuje w czasie rzeczywistym, samoistnie i automatycznie. Cechami charakterystycznymi i zaletami tego typu systemów stają się integracja technologii, elastyczność i zdolność adaptacji i interpretacji sytuacji oraz efektywność, poprzez umożliwienie powszechnego i kompleksowego korzystania. Zastosowanie powyższych rozwiązań przynosi efekty w sferze makro, dla całego ośrodka zurbanizowanego oraz mikro, dla indywidualnych uczestników ruchu. Przyczyniając się do efektywniejszego wykorzystania kanałów dystrybucji, a także płynnego przepływu w systemie logistycznym miasta, redukcji zatłoczenia (kongestii) oraz ułatwienia dostępu do wszelkiego rodzaju informacji związanych z transportem w mieście. Aby zaawansowane technologie odgrywały w praktyce istotną rolę, należy popierać realizację projektów pilotażowych, wspierać projekty związane z zaawansowanym systemem zarządzania ruchem w miastach oraz tworzenie sieci, która pozwoli na kompatybilność poszczególnych systemów składowych w celu realizacji zadań integracji wszystkich elementów.³⁵

Jak pokazuje praktyka gospodarcza, branża transportowa nie jest jeszcze dostatecznie doinwestowana i na tyle zaawansowana technologicznie, by w pełni wykorzystać możliwości zaawansowanych technologii teleinformatycznych, w tym Telematyki i obsługi czynnej przez Internet. Jednakże tworzenie koncepcji, projektów czy założeń do tworzenia zintegrowanych systemów zarządzania transportem (centra mobilności) może w zdecydowanie pozytywny sposób wspierać idee logistyki miejskiej.³⁶

³⁴ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 190-191.

³⁵ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 192-193.

³⁶ B. Tundys, *Logistyka miejska...*s. 193.

2. INTELIGENTNE STEROWANIE SKRZYŻOWANIAMI RUCHU

2.1. Pojazdy i ich ruch po drodze

2.1.1. Podstawowe manewry pojazdów

Manewry, które wykonuje kierujący pojazdem są realizacją podejmowanych przez niego na bieżąco decyzji. Znaczący wpływ na decyzje kierującego pojazdem ma wpływ sytuacja ruchowa na drodze w powiązaniu z jej odbiorem i oceną przez kierującego, motywacjami jazdy i stanem emocjonalnym kierowcy. Decyzje podejmowane przez kierującego pojazdem dotyczą głównie zmian trajektorii ruchu oraz stylu jazdy wiąże się z tym wykonywanie następujących manewrów:³⁷

- a) na odcinkach dróg
 - przyspieszanie,
 - opóźnianie (zwalnianie),
 - hamowanie,
 - wyprzedzanie,
 - omijanie,
 - skręcanie i wybór trajektorii ruchu na krzywiznach,
 - zawracanie;
- b) na skrzyżowaniach i węzłach
 - zmiana pasa ruchu,
 - włączanie i wyłączanie z ruchu,
 - krzyżowanie (przecinanie torów jazdy),
 - przeplatanie.

Przyspieszanie – jest typowym manewrem związanym z ruszeniem pojazdu i osiągnięciem pożądanej prędkości. Poza tym wynika ono zwykle z potrzeby zwiększania prędkości w następujących sytuacjach: w czasie manewru wyprzedzania wolniej jadących pojazdów, przy opuszczaniu skrzyżowania, przy wjazdach z łącznic węzłów lub dodatkowych pasów na jezdnię główne, przy podejmowaniu manewrów uniku w sytuacjach kolizyjnych, przy zwiększaniu prędkości po opuszczeniu stref jej ograniczenia.³⁸

³⁷ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego* Warszawa 2008, s. 41.

³⁸ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego* Warszawa 2008, s. 41.

Opóźnianie – jest manewrem związanym z kontrolowanym zmniejszeniem prędkości, w przypadku jej dostosowania do sytuacji na drodze lub z awaryjnym hamowaniem w sytuacjach pojawienia się na jezdni nieoczekiwanych przeszkód lub zdarzeń.³⁹

Hamowanie – z wykorzystaniem znacznych (często granicznych) wartości opóźnień, występuje w przypadku pojawienia się na drodze niespodziewanych przeszkód zagrażających bezpieczeństwu ruchu.⁴⁰

Wyprzedzanie – należy do najbardziej złożonych i niebezpiecznych manewrów na drodze dwupasowej dwukierunkowej. Wynika to z czasowego zajmowania przez pojazd wyprzedzający pasa ruchu przeznaczonego dla przeciwnego kierunku.⁴¹

Omijanie – jest manewrem podobnym do wyprzedzania, z tą różnicą, że pojazd omijany jest nieruchomy.⁴²

Jazda po łuku – wymaga zastosowania skrótu kół kierowanych pojazdu o kąt dostosowany do promienia krzywizny drogi. Z obserwacji wynika, że znaczna część kierujących pojazdami prowadzi je po torach różniących się od wyznaczonych przez oś pasa ruchu. Najczęściej dobierają oni trajektorie ruchu o krzywiznach łagodniejszych niż wyznaczone osią pasa ruchu i umożliwiającymi jazdę z dużymi prędkościami. Takie zachowania są określane mianem ścinania łuków. Jest to manewr niebezpieczny, gdyż wiąże się z wjazdem na sąsiedni pas ruchu, po którym poruszają się pojazdy jadące z przeciwnej strony.⁴³

2.1.2. Ruch pojazdów w rejonie skrzyżowań

Z definicji skrzyżowania, które określane jest jako przecięcie lub połączenie dróg w jednym poziomie z możliwością wyboru kierunku jazdy wynika, że obszar skrzyżowania wykorzystywany jest przez dwa lub więcej strumieni ruchu, które mogą się poruszać w sposób płynny lub przerywany (z zatrzymaniami bądź ze znaczną redukcją prędkości). Strumienie ruchu w sposób płynny mogą się łączyć ze sobą, rozdzielać lub przeplatać, a do zakłóceń płynności ruchu dochodzi z reguły w przypadku przecinania się strumieni.⁴⁴

Podstawowymi manewrami pojazdów na skrzyżowaniach są; wyłączanie, włączanie, krzyżowanie i przeplatanie. W schematyczny sposób wybrane przypadki tych manewrów pokazano na rysunku 3.

³⁹ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego* Warszawa 2008, s. 43.

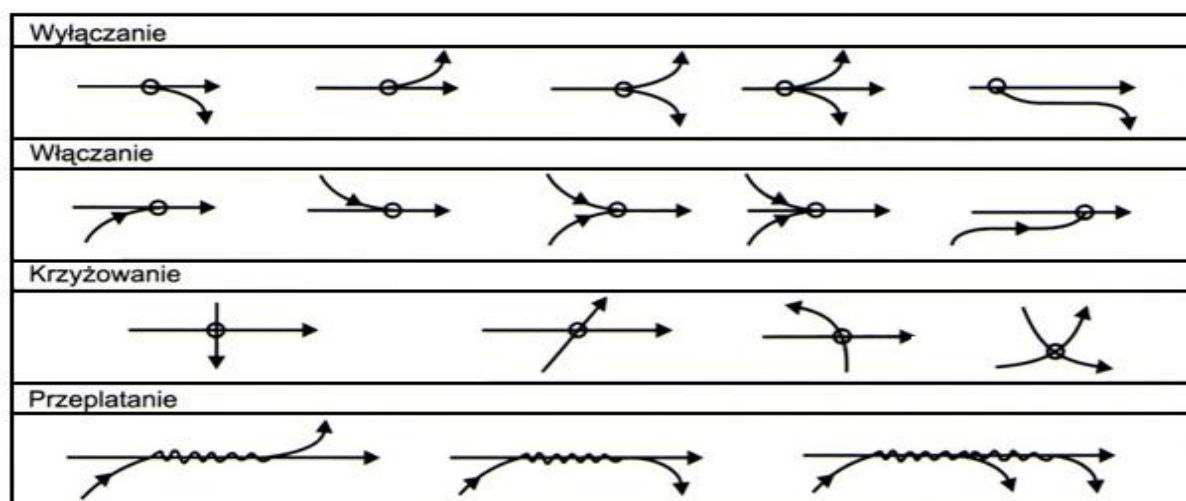
⁴⁰ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...* s. 45.

⁴¹ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...* s. 46.

⁴² S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...* s. 48.

⁴³ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...* s. 48.

⁴⁴ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...* s. 54.



Rysunek 3. Podstawowe manewry pojazdów na skrzyżowaniu

Źródło: S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego* Warszawa 2008, s. 54.

Charakter przebiegu ruchu na skrzyżowaniu i rodzaj wykonywanych manewrów zależy od:⁴⁵

- typu skrzyżowania,
- rozwiązań sytuacyjnych dla krzyżujących się dróg i przekrojów poprzecznych wlotów skrzyżowania,
- sposobu organizacji ruchu,
- prędkości na wlotach skrzyżowania i w jego obszarze,
- natężenia i struktury kierunkowej ruchu,
- widoczności.

Z manewrami na skrzyżowaniu związane jest występowanie punktów i powierzchni kolizji, których liczba i rodzaj wpływają na bezpieczeństwo ruchu. Punktem kolizji jest punkt, w którym następuje przecięcie, rozdzielenie lub połączenie osi torów ruchu pojazdów, co najmniej dwóch strumieni. Natomiast powierzchnia kolizji jest powierzchnią, na której występują punkty kolizji i której nie może przejeżdżać (przekraczać) równocześnie dwóch lub więcej uczestników ruchu należących do różnych strumieni.⁴⁶

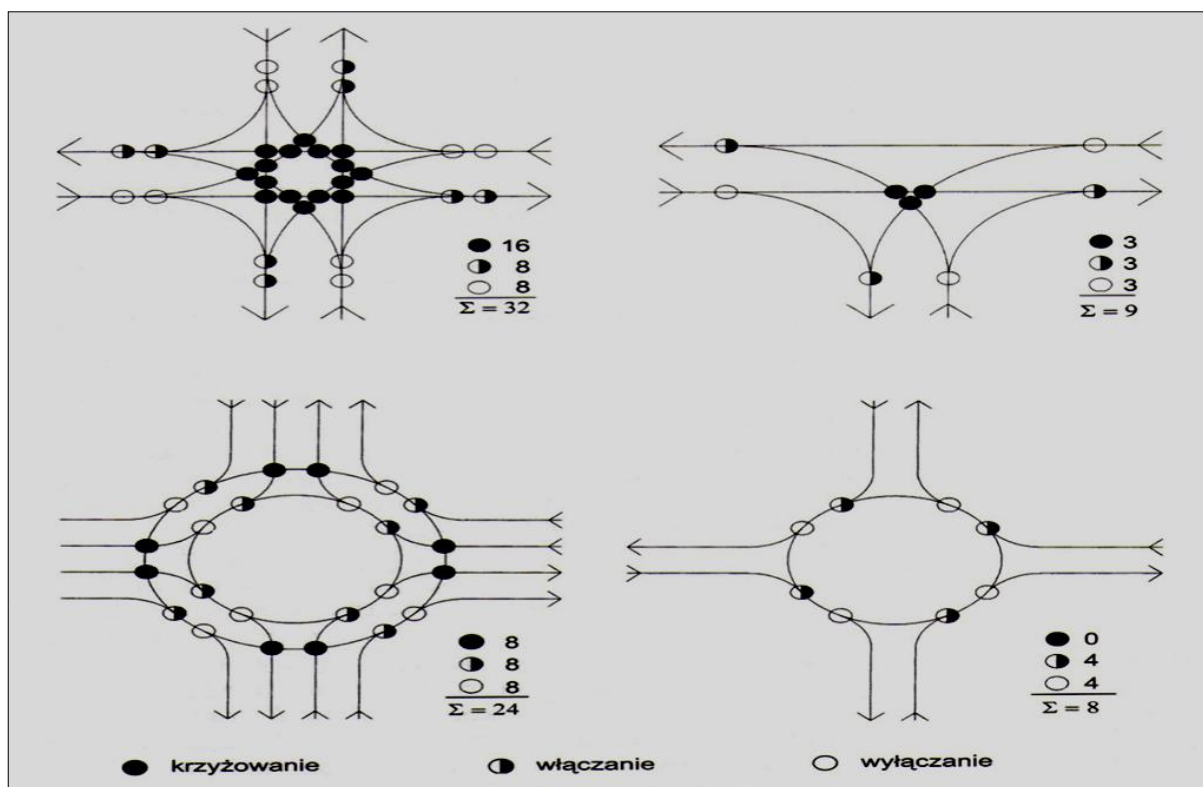
Powierzchnie kolizji są miejscami, w których może dochodzić do zdarzeń drogowych. Na ich skutki ma wpływ rodzaj manewru tworzącego punkt kolizji. W uproszczeniu punkty kolizji mogą być nazywane jako punkty wyłączania, włączania i krzyżowania. Do punktów

⁴⁵ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...* s. 55-56.

⁴⁶ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...* s. 56.

kolizji należą także przecięcia torów ruchu pojazdów i pieszych. Są to punkty kolizji klasyfikowane jako punkty krzyżowania.⁴⁷

Liczba punktów kolizji i ich powierzchnie zależą od typu skrzyżowania i liczby jego wlotów, a także liczby pasów ruchu na poszczególnych wlotach i organizacji ruchu. W przypadku skrzyżowania zwykłego o jednopasowych wlotach, najmniejsza liczba punktów kolizji występuje na skrzyżowaniu o trzech wlotach. Skrzyżowaniem o czterech wlotach z najmniejszą liczbą punktów kolizji jest rondo. Przykłady rozmieszczenia punktów kolizji wraz z ich rodzajami pokazano na rysunku 4.⁴⁸



Rysunek 4. Przykłady rozmieszczenia punktów kolizji

Źródło: S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego* Warszawa 2008, s. 57.

2.2. Pomiary, badania i analizy ruchu

2.2.1. Przepustowość ulic

Przepustowość jest definiowana, jako największa liczba jednostek (pojazdów lub pieszych), która w określonych warunkach drogowych i ruchowych może przepuścić przekrój drogi (ulicy, wlot na skrzyżowanie, przejście dla pieszych, ścieżka rowerowa itp.) w jednostce czasu. Z reguły jednostką czasu przyjmuje się jedną godzinę. Z podanej definicji

⁴⁷ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...* s. 56.

⁴⁸ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...* s. 56.

wynika, że przepustowość przekroju drogi lub innego elementu infrastruktury drogowej zależy zarówno od ich fizycznych cech, jak i od zewnętrznych warunków oraz zachowań kierujących pojazdami.⁴⁹

2.2.2. Gęstość ulic

Pomiary gęstości ruchu drogowego służą do ustalenia końca kolumny pojazdów w zmiennych wahaniach natężenia ruchu, przy czym pomiary te należy wykonywać w przedziałach czasowych przynajmniej 4 s. Gęstość można określić, jako liczbę pojazdów przypadających na jednostkę długości.

2.2.3. Proste metody pomiarów i badań natężenia ruchu

Natężenie ruchu określa wielkość potoku lub pojedynczego strumienia ruchu obserwowanego w danym przekroju drogi, usytuowanym na odcinku między skrzyżowaniami lub na wlocie skrzyżowania, która jest wyrażana liczbą pojazdów rzeczywistych, pieszych lub umownych przejeżdżających rozważany przekrój w jednostce czasu. Najczęściej stosowanymi jednostkami czasu - są godzina i doba, a także okresy 15 – minutowe, chociaż w niektórych analizach są stosowne sekundowe natężenia ruchu (intensywności).⁵⁰

Znajomość wartości natężeń ruchu jest niezbędna do określenia tendencji rozkładu ruchu w sieci drogowej, zmienności natężeń ruchu w poszczególnych godzinach, dniach i miesiącach, struktury rodzajowej i kierunkowej, do sporządzania prognoz obciążenia tras drogowych i wykorzystania ich przepustowości oraz obciążenia konstrukcji jezdni.⁵¹

Tradycja pomiarów natężenia ruchu pojazdów sięga czasów starożytnych. Na terenie Polski wykonywano je już przed I wojną światową, zaś w okresie międzywojennym prowadzono pomiary natężenia ruchu już w sposób systematyczny. Pomiary te są prowadzone wrywkowo, doraźnie lub cyklicznie na drogach miejskich i zamiejskich⁵² Najbardziej pracochłonne pomiary ręczne zastępuje się coraz częściej rejestracją automatyczną.

2.2.4. Automatyczne pomiary ruchu

Automatyzacja pomiarów wprowadzana od początku lat 1980-tych obejmowała przede wszystkim zastosowanie: mechanicznych liczników pojazdów i elektronicznych rejestratorów przyciskowych, detektorów różnego typu; najczęściej: indukcyjnych, pneumatycznych, magnetycznych, radarowych i optycznych, a także radaru do pomiaru

⁴⁹ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 162.

⁵⁰ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 99.

⁵¹ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 99.

⁵² S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 100.

prędkości, a ponadto dynamicznych wag do pomiaru obciążeń pojazdów na oś. Początkowo urządzenia te działały pojedynczo nie tworząc systemów pomiarowych. Zasadniczym problemem było zapisywanie zarejestrowanych danych oraz wpływ warunków atmosferycznych. Obecnie tradycyjny zakres pomiarów automatycznych jest często poszerzany o rejestrację danych atmosferycznych i stanu jezdni.⁵³

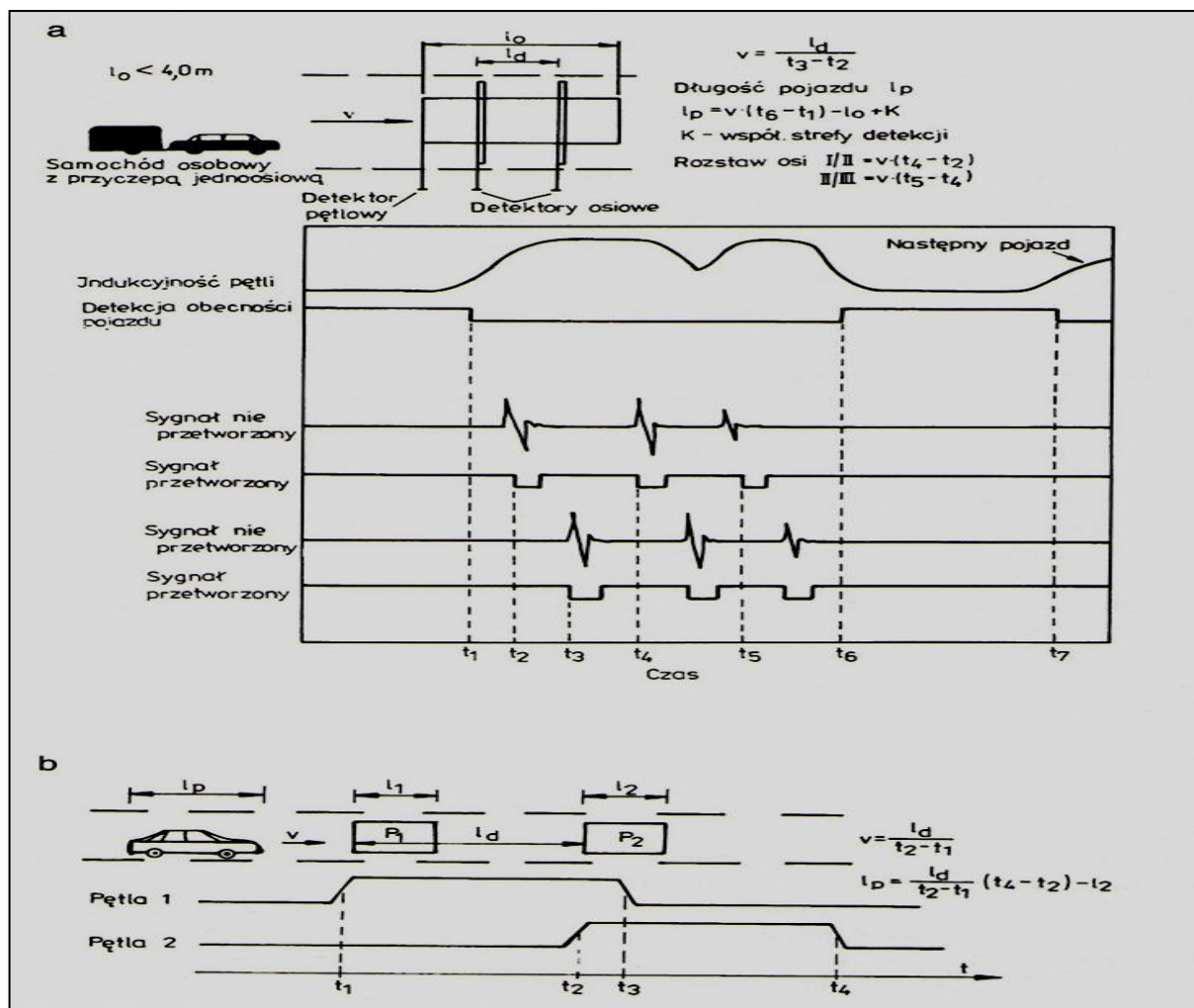
Detektory są to urządzenia rejestrujące stan i zmiany poszczególnych parametrów ruchu. Detektor składa się z urządzenia rejestrującego impulsy, to jest czujnika i z układu rozpoznawania i przetwarzania tych sygnałów – sterownika. Dzięki „inteligencji” detektora rejestrowane są tylko podstawowe informacje o przebiegu ruchu, np. obecność uczestników ruchu w danym miejscu, lub obliczone już parametry ruchu. Kolejne ulepszenia detektorów: indukcyjnych, magnetycznych, pneumatycznych, ultradźwiękowych oraz wprowadzenie video-detektorów, a zwłaszcza nowoczesne sposoby zapisu i transmisji pomierzonych danych, spowodowały znaczny postęp w zakresie automatycznych pomiarów ruchu. Rozwój ten jest związany również z potrzebami akomodacyjnego sterowania ruchem na pojedynczych skrzyżowaniach i w sieciach. Zmierzają one do zwiększenia: zakresu, niezawodności i jakości informacji uzyskiwanych z jednego detektora. Przykładami są komputerowe systemy sterowania sygnalizacją w sieci SCOOT i UTOPIA, w których detektory mierzą: natężenie ruchu, długości kolejek i prędkość pojazdów.⁵⁴

Drugim kierunkiem rozwoju była budowa kompleksowych systemów pomiarowych, a ich przykładem jest opracowany w Anglii system mikroprocesorowy, wykorzystujący dwa pętlowe detektory indukcyjne, który jest pokazany na rysunku 5. Na podstawie przetwarzanych impulsów można określić: rodzaj pojazdu, jego prędkość, rozstawy osi, nadwieszenie oraz odstęp między pojazdami.⁵⁵

⁵³ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 115.

⁵⁴ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 115.

⁵⁵ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 115.



Rysunek 5. Pomiar parametrów ruchu: a – zestawem detektorów, b – dwoma detektorami pętlowymi

Źródło: S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego* Warszawa 2008, s.116.

Specjalną uwagę poświęcono tworzeniu systemów umożliwiających identyfikację typów, rodzajów pojazdów i pomiar ich liczby (z rozkładem na pasy), prędkości i ciężaru. tworzono systemy umożliwiające rozróżnianie od 11÷12 rodzajów pojazdów. W Wielkiej Brytanii w losowo wybranych miejscach na drogach wszystkich klas jest zainstalowanych 130 takich systemów prowadzących ciągły monitoring ruchu (11 rodzajów pojazdów) będący podstawą pomiarów wrywkowych i określania trendów zmian. Ten system jest uzupełniany wykonywanymi rotacyjnie co 3 lata pomiarami krótkotrwałymi na wszystkich połączeniach w sieci dróg głównych. Takie systemy nie są jednak powszechnie stosowane. Stosowane są natomiast prostsze systemy umożliwiające pomiar z rozróżnieniem mniejszej liczby. Na przykład system stosowany na Politechnice Krakowskiej, wykorzystuje czujniki

pneumatyczne i rejestruje: liczbę i rozstaw osi, prędkość, odstęp i lukę pomiędzy pojazdami, co umożliwia rejestrację 4 grup pojazdów obejmujących: ⁵⁶

- 1) mopedy, motocykle i rowery,
- 2) pojazdy lekkie: samochody osobowe i dostawcze,
- 3) pojazdy średnie: dwuosiove i trzyosiove samochody ciężarowe,
- 4) pojazdy ciężkie: autobusy i większe samochody ciężarowe.

W systemie wyróżnia się do 14 klas pojazdów w zależności od przyjętej klasyfikacji. Urządzenie w zależności od wielkości zainstalowanej pamięci umożliwia zanotowanie do 1 mln osi pojazdów. Pozwala na pracę bez wymiany baterii do 300 dni. ⁵⁷

Rozróżnienie tylko czterech grup pojazdów jest wystarczające do większości analiz przepustowości oraz programowania sygnalizacji. ⁵⁸

W dalszym ciągu istotne problemy praktyczne dotyczą automatyzacji pomiarów ruchu na wlotach skrzyżowań, kiedy należy uwzględniać strukturę rodzajową i kierunkową. Dotyczy to zwłaszcza wszystkich skrzyżowań z ruchem okrężnym. Innym problemem w pomiarach automatycznych jest prowadzenie baz danych i przetwarzanie danych z licznych stałych stacji pomiarowych, które zostały założone. ⁵⁹

Obecnie w automatyzacji pomiarów dużą rolę odgrywa komputerowa analiza obrazu telewizyjnego. Ta analiza umożliwia automatyczny pomiar natężeń ruchu, prędkości, odstępów, czasów zajęcia i luk między pojazdami. Systemy wideo-detektorów mogą być wykorzystane do wykrywania zakłóceń ruchu (wypadki, incydenty) na autostradach, zamiast stosowanych obecnie konwencjonalnych detektorów pętlowych oraz do sterowania ruchem. Analizę obrazu łatwiej jest prowadzić w sytuacji, w której można przewidzieć przebieg trajektorii pojazdu na obrazie – co na ogół ma miejsce w ruchu drogowym, odbywającym się po pasach ruchu oraz kiedy można uwzględniać jeden kierunek ruchu pojazdów. Ten system pomiarowy staje się często systemem monitoringu ruchu. ⁶⁰

Opisany system jest w dalszym ciągu rozwijany i przewiduje się jego różnorodne zastosowanie praktyczne, między innymi do: ⁶¹

- a) pomiaru liczby, prędkości, długości pojazdów przejeżdżających przez określony przekrój drogi oraz odstępów między nimi,
- b) nadzoru nad ruchem drogowym (autostradowym),

⁵⁶ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 115-117.

⁵⁷ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 117.

⁵⁸ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 117.

⁵⁹ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 117.

⁶⁰ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 117.

⁶¹ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 117.

- c) pomiaru natężeń ruchu na skrzyżowaniu z uwzględnieniem struktury kierunkowej i do sterowania akomodacyjnego,
- d) pomiaru wykorzystania parkingów i wykrywania niedozwolonego parkowania.

2.3. Oznakowanie dróg i ulic

2.3.1. Cele i funkcje oznakowania

Percepcja przestrzeni ruchu jest podstawowym czynnikiem determinującym zachowania uczestników ruchu. Zbiór informacji opisujących przestrzeń ruchu musi być jednoznaczny i zrozumiały, wtedy jest łatwiej podejmować decyzje kierującym pojazdami oraz pieszym. W przekazie informacji ważną rolę odgrywają znaki drogowe, które mogą mieć formę znaków pionowych oraz poziomych (malowanych na jezdni). Oznakowanie dróg jest jednym z narzędzi organizacji ruchu oraz zapewnia jego sprawny i bezpieczny przebieg wobec zwiększającego się zatłoczenia na drogach. Znak drogowy podaje uczestnikom ruchu informacje tekstowe, umowne symbole lub łączące te dwie formy przekazu informacje mające na celu: regulowanie i prowadzenie ruchu oraz ostrzeganie i informowanie.

2.3.2. Hierarchia oznakowania

Ze względu na znaczenie dla bezpieczeństwa ruchu oraz potrzeby kierowcy, przy projektowaniu oznakowania przyjmuje się następującą hierarchię jego funkcji:⁶²

- regulacja ruchu w punktach (na odcinkach) możliwych kolizji,
- oddziaływanie na prędkość jazdy,
- zmniejszenie niebezpieczeństwa wjechania na przeszkody,
- ułatwienie wyboru najefektywniejszego i najbardziej bezpiecznego toru jazdy,
- informacja kierunkowa (ułatwiająca wybór właściwej drogi) oraz informacja o obiektach przy drodze i turystyczna.

2.3.3. Pionowe znaki drogowe

Znaki pionowe mają postać tarcz lub tablic z symbolami bądź napisami, są umieszczane poza obrysem skrajni drogowej. Specyficzne cechy oznakowania pionowego decydują o ich skuteczności. Wiążą się one z procesem identyfikacji znaku, który przebiega trzystopniowo. Pierwsza faza – kierowca dostrzega znak, następnie identyfikuje kategorię znaku i dopiero w trzeciej fazie, szczegółowo odczytuje treść znaku. Identyfikacja znaku musi

⁶² S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 298.

nastąpić z odpowiednim wyprzedzeniem tak, aby kierujący posiadał dostatecznie długi czas do podjęcia odpowiedniej decyzji i wykonał niezbędne czynności (zapoczątkowania ewentualnego manewru).

Dodatkowe wymagania w stosunku do oznakowania pionowego oznaczają:⁶³

a) przyciąganie uwagi kierowcy przez:

- wyróżnianie się znaku lub grupy znaków z tła w taki sposób, aby kierujący zauważył znak dostatecznie wcześnie, biorąc pod uwagę prędkość jazdy,
- kierowanie uwagi kierowcy na znak (znaki), który powinien być odczytany jako pierwszy; cel ten można uzyskać przez operowanie wymiarami znaków, ich kontrastowością w stosunku do tła, odbłaskowością oraz umieszczeniem w stosunku do innych znaków,

b) czytelność:

- teoretyczna mierzona odległością, z której znak może być odczytany przy nieograniczonym czasie obserwacji,
- praktyczna, mierzona odległością, z której znak umieszczony w polu ostrego widzenia może być odczytany przy czasie obserwacji rzędu 0,5 do 1,4 sekundy,

c) rozpoznawalność rozumianą jako cechy znaku powodujące jednoznaczną identyfikację jego znaczenia.

W polskiej klasyfikacji znaki pionowe dzielą się na: ostrzegawcze (A), zakazu (B), nakazu (C), informacyjne (D), kierunku i miejscowości (E), uzupełniające (F) oraz tabliczki do znaków (T). Do grupy znaków pionowych należą także znaki dodatkowe przed przejazdami kolejowymi (G), znaki dla kierujących tramwajami (AT, BT), znaki szlaków rowerowych (R) oraz dodatkowe znaki dla kierujących pojazdami wojskowymi (W).⁶⁴

W celu łatwiejszej identyfikacji poszczególnych kategorii znaków wprowadzono cztery podstawowe kształty geometryczne: trójkąt, koło, kwadrat i prostokąt oraz prostokąt zakończony elementem strzały. Wyjątkowy kształt zastosowano w przypadku znaku : „stop”. Jego forma ośmiokąta ma ułatwić wyróżnienie tego znaku jako bardzo ważnego z grupy innych znaków oraz umożliwić identyfikację nawet w sytuacji zabrudzenia znaku lub zaśnieżenia. W celu łatwiejszego wyróżnienia kategorii znaków wprowadzono zróżnicowanie ich kolorów. Dobór kolorów i tła spełnia przy tym sformułowane poprzednio

⁶³ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 298-299.

⁶⁴ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 302.

wymogi widoczności oraz uwzględnia wyniki badań nad walorami poszczególnych kolorów.⁶⁵

2.3.4. Poziome znaki drogowe

Znakowanie poziome dróg polega na umieszczaniu na powierzchni jezdni: linii, strzałek, symboli, napisów oraz punktowych elementów odblaskowych. Oznakowanie to jest bardzo ważne z uwagi na bezpieczeństwo ruchu, gdyż wprowadza dodatkowe informacje pozwalające na lepszą identyfikację przebiegu drogi i obowiązujących na niej zasad ruchu. Często oznakowanie to przekazuje informacje w sposób bardziej czytelny niż inne metody oraz w sytuacjach, gdy zastosowanie innego rodzaju oznakowania jest niewystarczające bądź niemożliwe. Istotną zaletą oznakowania poziomego jest to, że nie powoduje ono rozpraszania uwagi kierującego pojazdem. Oznakowanie poziome może także pośrednio wpływać na zwiększenie przepustowości dróg i skrzyżowań.⁶⁶

Znaki poziome spełniają następujące funkcje:⁶⁷

- ustalają zakazy (wyprzedzania, zmiany pasa ruchu, zawracania itp.) i nakazy (nakazany kierunek jazdy, np. jazda w lewo),
- towarzyszą znakom pionowym, uzupełniając je lub powtarzając,
- porządkują ruch, ustalając zalecane tory jazdy dla pojazdów oraz przejścia dla pieszych i dla rowerzystów,
- na drogach o ruchu dwukierunkowym stwarzają swojego rodzaju barierę między przeciwbieżnymi strumieniami pojazdów,
- informują kierujących pojazdami, na przykład o przydziale pasów ruchu dla poszczególnych strumieni na wlotach skrzyżowań,
- ułatwiają orientację kierujących pojazdami w warunkach ograniczonej widoczności oraz w miejscach o nietypowej organizacji ruchu, na przykład w strefie robót drogowych.

Oznakowanie poziome ze względu na funkcje i kształt dzieli się na:⁶⁸

- znaki podłużne (linie podłużne),
- znaki poprzeczne,
- strzałki,
- znaki uzupełniające,
- punktowe elementy odblaskowe.

⁶⁵ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 302.

⁶⁶ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 304.

⁶⁷ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 305.

⁶⁸ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 305.

Znaki poziome są wykonywane zasadniczo w dwóch kolorach, białym i żółtym. W krajowej praktyce kolor żółty jest stosowany w przypadku tymczasowej zmiany organizacji ruchu, jeżeli na jezdni pozostaje oznakowanie stałe barwy białej na przykład w strefie robót drogowych.⁶⁹

2.3.5. Znaki zmiennej treści i wyświetlacze prędkości

Zgodnie z przepisami ruchu drogowego znaki drogowe dzieli się na: ostrzegawcze, zakazu, nakazu i informacyjne oraz na znaki stałej treści i zmiennej treści. Tylko te ostatnie mogą być sterowane.⁷⁰

Wyświetlacze prędkości stosuje się tylko w przypadku koordynacji sygnalizacji oraz pracy w systemie centralnego sterowania ruchem. Służą one do informowania użytkowników drogi, z jaką prędkością powinni jechać, aby na najbliższym skrzyżowaniu zastać zielone światło.⁷¹

2.4. Sygnalizacja świetlna na skrzyżowaniu ulicznym

2.4.1. Definicja sygnalizacji

Sygnalizacja świetlna jest to zestaw urządzeń służących do sterowania kolizyjnymi potokami ruchu (pojazdów i pieszych), obejmujący: urządzenia sterujące (sterowniki) i urządzenia wykonawcze (sygnalizatory wraz z elementami wsporczymi i instalacją kablową). Wymieniony zestaw można uzupełnić urządzeniami detekcyjnymi (detektorami, przyciskami), informacyjnymi (wyświetlaczami prędkości) i transmisji danych.⁷²

2.4.2. Podstawowe cele i kryteria stosowania sygnalizacji

Sygnalizację świetlną stosuje się w celu segregacji w czasie kolidujących ze sobą potoków pojazdów oraz pieszych. Podstawowym jej zadaniem jest kierowanie ruchem pojazdów i pieszych przez przekazywanie użytkownikom odpowiednich sygnałów informujących o prawie lub zakazie przejazdu bądź przejścia i ostrzeganie przed niebezpieczeństwem.⁷³

⁶⁹ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...* s. 308.

⁷⁰ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja świetlna i detektory ruchu pojazdów* Gliwice 2000, s. 74.

⁷¹ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja świetlna i detektory ruchu pojazdów* Gliwice 2000, s. 74.

⁷² M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja świetlna i detektory ruchu pojazdów* Gliwice 2000, s. 15.

⁷³ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...* Gliwice 2000, s. 12.

Sygnalizację świetlną do regulacji ruchu zastosowano po raz pierwszy w 1868 roku w Londynie. Po kilku dniach działania sterowanych ręcznie latarni gazowych zielonych i czerwonych przerwał wybuch gazu. W Stanach Zjednoczonych AP w 1914 r. w Cleveland zainstalowano pierwszą sygnalizację elektryczną, a w 1918 r. w Nowym Jorku – sygnały trójkolorowe. Dalszy rozwój sygnalizacji i towarzyszący mu postęp techniczny następował bardzo szybko. Stosowane dziś powszechnie urządzenia automatyczne sterują ruchem, dzięki nowym generacjom sygnalizatorów, detektorów, sterowników mikroprocesorowych i mikrokomputerów.⁷⁴

Do podstawowych zalet sygnalizacji świetlnej, wprowadzonej i eksploatowanej prawidłowo, można zaliczyć:⁷⁵

- podporządkowanie ruchu i ułatwienie jazdy kierowcom,
- zwiększenie przepustowości wlotów przez grupowanie pojazdów,
- zmniejszenie liczby wypadków niektórych rodzajów, szczególnie czołowych i czołowo bocznych zderzeń pojazdów oraz wypadków z pieszymi, dzięki redukcji liczby punktów kolizji,
- umożliwienie przejazdu pojazdom i przejścia pieszym z podporządkowanych kierunków poprzecznych, w poprzek ulic o dużym ruchu kołowym,
- zmniejszenie strat czasu pojazdów wjeżdżających z wlotów podporządkowanych,
- wysoką efektywność ekonomiczną wynikającą ze stosunkowo niskich kosztów instalacji i eksploatacji.

2.4.3. Rodzaje i zadania sygnalizacji

Z uwagi na sposób realizacji programu i powtarzalność pracy sygnalizacji dzieli się na:⁷⁶

- cykliczne, obejmujące sygnalizacje:
 - stałoczasowe (jedno- i wieloprogramowe),
 - zmiennoczasowe (adaptacyjne),
- acykliczne,
- wzbudzone.

Sygnalizacja cykliczna stałoczasowa jednoprogramowa, najczęściej spotykana, charakteryzuje się stałą strukturą programu (czyli m.in. stałą sekwencją faz) oraz ustaloną długością cyklu i poszczególnych sygnałów.⁷⁷

⁷⁴ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...*Gliwice 2000, s. 12.

⁷⁵ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...*Gliwice 2000, s. 12.

⁷⁶ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...*Gliwice 2000, s. 16.

Sygnalizacja cykliczna stałoczasowa wieloprogramowa, zwana aktualizowaną, polega na wykorzystaniu w pracy kilku programów o różnych, lecz ustalonych długościach cykli i poszczególnych sygnałów. Selekcja poszczególnych programów może się odbywać zgodnie z ułożonym wcześniej harmonogramem przełączania (selekcja czasowa), lub w zależności od wybranych parametrów ruchu (selekcja zależna od ruchu).⁷⁸

W sygnalizacji cyklicznej zmiennoczasowej, zwanej również adaptacyjną (akomodacyjną), ustalona jest pewna sekwencja faz, zaś czasy trwania wybranych faz są zmienne i zależne od chwilowych charakterystyk ruchu określanych za pomocą sygnałów przesyłanych z detektorów. Przy zmiennych długościach cyklu i sygnałów istnieje możliwość pomijania niektórych faz ruchu.⁷⁹

Sygnalizacja acykliczna charakteryzuje się zmienną, zależną od potrzeb ruchu, strukturą, tj. zmienną sekwencją faz. Zależy ona w pełni od ruchu, fazy mogą być w niej tworzone na bieżąco (z pomijaniem fazy włącznie), a czas ich trwania jest zmienny i zależy od określonych charakterystyk ruchu.⁸⁰

Sygnalizacja wzbudzana charakteryzuje się pracą wg następującego schematu: stan ustalony – stan wzbudzenia – stan ustalony. W stanie wzbudzenia, wywołanym zgłoszeniem się co najmniej jednego z wybranych uczestników ruchu, sygnalizacja pracuje jako cykliczna stałoczasowa (zmiennoczasowa) lub acykliczna. Stan ustalony polega na ciągłym nadawaniu na każdym sygnalizatorze ustalonego sygnału (najczęściej sygnału ostrzegawczego lub czerwonego). Przy braku dalszych zgłoszeń, po stanie wzbudzenia, sygnalizacja wzbudzona powraca do stanu ustalonego lub przy dużej liczbie zgłoszeń przechodzi w stan pracy ustalonej.⁸¹

Z uwagi na sposób współdziałania z innymi sygnalizacjami można wyróżnić sygnalizacje:⁸²

- odosobnione, działające niezależnie od innych sygnalizacji,
- sprzężone, kiedy sterowanie na sąsiednich skrzyżowaniach i przejściach jest realizowane z jednego sterownika,
- skoordynowane na ciągu lub w sieci, w których programy realizowane przez sterowniki lokalne na skrzyżowaniach są synchronizowane przez sterownik nadrzędny,

⁷⁷ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...* Gliwice 2000, s. 16.

⁷⁸ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...* Gliwice 2000, s. 16.

⁷⁹ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...* Gliwice 2000, s. 16.

⁸⁰ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...* Gliwice 2000, s. 16.

⁸¹ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...* Gliwice 2000, s. 16.

⁸² M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...* Gliwice 2000, s. 17.

- centralnie sterowane, w których programy ustalone w centrum sterowania przez komputer są następnie realizowane przez sterowniki lokalne.

Z uwagi na sam cel stosowania sygnalizacji jej działanie, oprócz sterowania, może spełniać jeszcze inne zadania:⁸³

- ostrzegać użytkowników; sygnał żółty pulsujący stosowany np. w godzinach nocnych, przy zmianie programów sygnalizacji lub przy awarii sterowników,
- zabezpieczać przejazdy kolejowe i tramwajowe oraz wyjazdy straży pożarnej, pogotowia.

Rzadziej spotykane zastosowania sygnalizacji obejmują sterowanie:⁸⁴

- ruchem na pasach o zmiennym kierunku ruchu,
- ruchem wahadłowym,
- ruchem tramwajów na odcinkach jednotorowych,
- w miejscach wyjazdu pojazdów uprzywilejowanych,
- przy wjazdach na ruchome mosty i promy,
- ruchem na przejazdach kolejowych.

2.4.4. Detekcja ruchu drogowego i ulicznego

W sterowaniu ruchem ulicznym znaczącą rolę pełnią systemy detekcji, które stosuje się do wykrywania obecności pojazdów oraz liczby ich przejazdów w określonej strefie detekcji. Pojazdy segreguje się z uwagi na ich wymiary (wysokość, szerokość i długość), prędkość oraz zajmowanie pasa ruchu drogowego lub ulicznego.⁸⁵

Do typowych zastosowań detektorów ruchu zalicza się:⁸⁶

- optymalizację sterowania sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniach i przejściach dla pieszych,
- tworzenie bazy danych o ruchu oraz śledzenie zmian w ruchu w celu dokonania odpowiednich modyfikacji sterownia i zarządzania,
- zbieranie danych w miejscach, gdzie wczesne wykrywanie zakłóceń w ruchu i wypadków drogowych jest konieczne do zapewnienia bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego, np. w tunelach,
- wyświetlanie informacji (na sygnalizatorach o zmiennej treści) dla uczestników ruchu drogowego, np. zbyt duża prędkość, za mały odstęp między pojazdami lub nadmierna wysokość pojazdu,

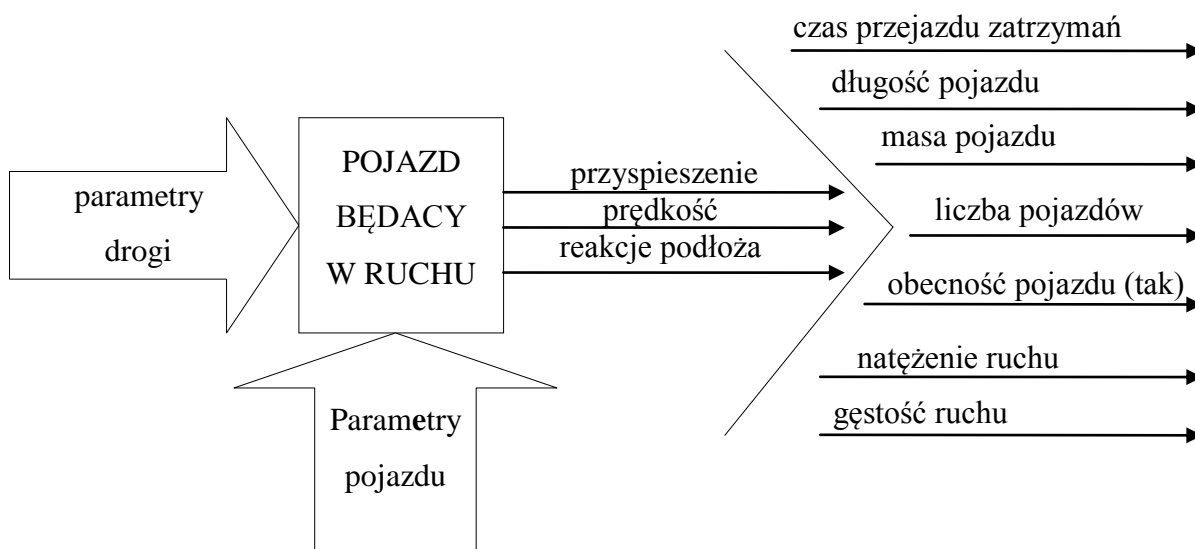
⁸³ M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...*Gliwice 2000, s. 17.

⁸⁴ M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...*Gliwice 2000, s. 17.

⁸⁵ M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...*Gliwice 2000, s. 106.

⁸⁶ M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja...*Gliwice 2000, s. 106-107.

- zbieranie danych o ruchu na ścieżkach rowerowych lub pasach ruchu przeznaczonych wyłącznie dla autobusów,
- optymalizację długości kolejek pojazdów w miejscach, gdzie mogą one utrudniać ruch lub zagrażać jego bezpieczeństwu,
- identyfikację rodzaju (typu) pojazdów, np. pomiar ich masy lub innych parametrów charakterystycznych (wymiarów) z wykorzystaniem techniki wideo włącznie.



Rysunek 6. Pojazd jako obiekt pomiaru (detekcji)

Źródło: M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja świetlna i detektory ruchu pojazdów* Gliwice 2000, s. 109.

2.4.5. Sterownik sygnalizacji świetlnej

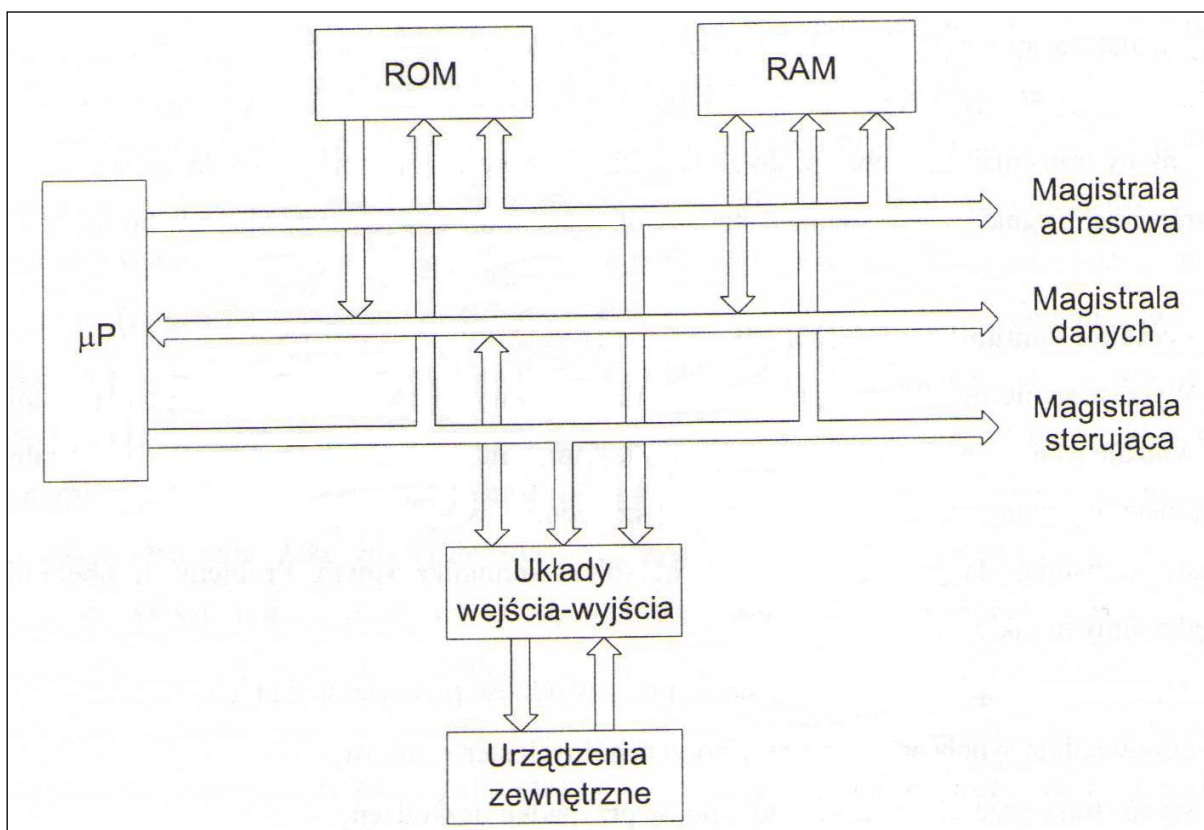
W układzie typowego sterownika (mikrokomputerowego, mikroprocesorowego (mikrokontrolera)) sygnalizacji świetlnej, o schemacie blokowym przedstawionym na rysunku 7, można wyróżnić następujące bloki funkcjonalne:⁸⁷

- a) mikroprocesor (μP), stanowiący jednostkę centralną mikrokomputera, odpowiedzialną za przetwarzanie danych,
- b) pamięci: stałej (ROM) i zapisywalnej (RAM), służących do przechowywania programu cykli sterowania i danych,
- c) układów wejścia/wyjścia, służących do komunikacji mikrokomputera z blokiem urządzeń zewnętrznych,
- d) urządzeń zewnętrznych, do których w zależności od potrzeb należą:

⁸⁷ M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*. Gliwice 2000, s. 31-32.

- monitory ekranowe (terminale), drukarki, klawiatury, służące do komunikacji z operatorem mikrokomputera,
- pamięci dyskowe, taśmowe, służące do ewentualnego rozszerzenia pamięci układu mikrokomputera,
- przetworniki analogowo-cyfrowe (a/c) lub cyfrowo-analogowe (c/a), służące do odpowiedniego sprzęgnięcia mikrokomputera z systemem sterowania ruchem drogowym,
- elementy wykonawcze, np. przekaźniki, łączniki itp.

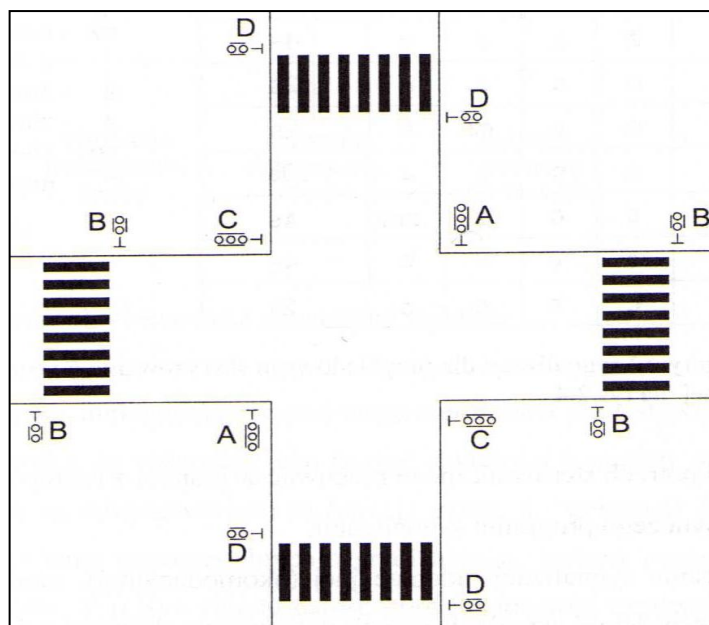
W zależności od zastosowania mikrokomputera i struktury systemu sterowania ruchem drogowym konfiguracja bloków funkcjonalnych, tzw. architektura mikrokomputera, może ulegać zmianie, jednak każdy mikrokomputer musi mieć wszystkie bloki zaznaczone tak, jak przedstawia rys. 7. Oznacza to, że schemat blokowy przedstawia mikrokomputer (sterownik) o minimalnej liczbie elementów funkcjonalnych.⁸⁸



Rysunek 7. Schemat blokowy typowego mikrokomputerowego sterownika sygnalizacji świetlnej

Źródło: M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*. Gliwice 2000, s. 32.

⁸⁸ M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*. Gliwice 2000, s. 32.



Rysunek 8. Przykład rozmieszczenia sygnalizatorów na skrzyżowaniu

Źródło: M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*. Gliwice 2000, s. 33.

Zastosowanie mikrokomputera jako sterownika sygnalizacją świetlną prostego skrzyżowania ulic przedstawiono na rysunku 8.

Na skrzyżowaniu zainstalowano 12 sygnalizatorów: po 4 dla poszczególnych kierunków ruchu pojazdów i po 8 przy przejściach dla pieszych.⁸⁹

Każdy sygnalizator regulujący ruch pojazdów wyposażono w lampy sygnalizacyjne o barwach: czerwonej (c), żółtej (ż) i zielonej (z), natomiast sygnalizatory dla pieszych mają po dwie lampy sygnalizacyjne: czerwoną (c) i zieloną (z).⁹⁰

Zadaniem systemu sterującego sygnalizatorami jest realizacja programu sterowania sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniu, polegającym na sekwencyjnym załączaniu odpowiednich lamp sygnalizacyjnych, sterujących przepływem pojazdów na poszczególnych kierunkach ruchu w określonych przedziałach czasowych.⁹¹

Odpowiedni program sygnalizacji, określający cykl pracy mikrokomputera (sterownika) i odpowiednie czasy trwania sygnału zielonego na poszczególnych kierunkach ruchu, przedstawiono w tabeli 1.

⁸⁹ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki...*Gliwice 2000, s. 33.

⁹⁰ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki...*Gliwice 2000, s. 34.

⁹¹ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki...*Gliwice 2000, s. 34.

| Numer taktu | Sygnałizatory | | | | Czas trwania |
|-------------|---------------|----|----|----|--------------|
| | A | B | C | D | |
| 1 | cż | c | c | c | 2s |
| 2 | z | z | c | c | 45s |
| 3 | z | zm | c | c | 4s |
| 4 | ż | c | c | c | 4s |
| 5 | c | c | c | c | 2s |
| 6 | c | c | cż | c | 2s |
| 7 | c | c | z | z | 30s |
| 8 | c | c | z | zm | 4s |
| 9 | c | c | ż | c | 4s |
| 10 | c | c | c | c | 2s |

Tabela 1. Program (algorytm) sygnalizacji dla przykładowego skrzyżowania o geometrii przedstawionej na rysunku 8.

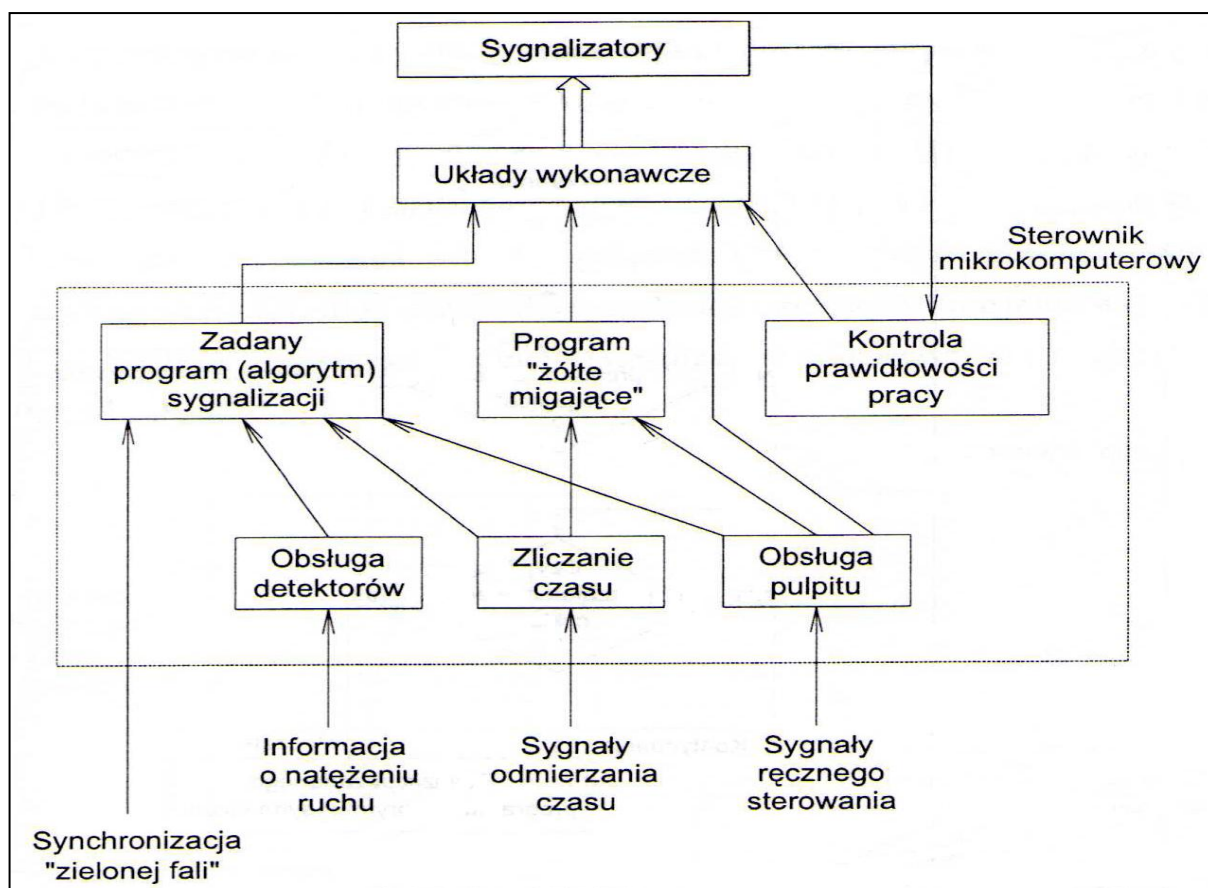
Źródło: M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*. Gliwice 2000, s. 34.

Kolory świateł : c – czerwony, cż – czerwony z żółtym, ż – żółty, z – zielony, zm – zielony migający.

W zależności od potrzeb sterownik może pracować w jednym z następujących trybów:

- realizacja pojedynczego programu sygnalizacji,
- realizacja programu sygnalizacji adaptacyjnej (akomodacyjnej), modyfikowanego automatycznie w zależności od aktualnej sytuacji ruchowej na skrzyżowaniu,
- realizacja jednego z kilku programów sygnalizacji, wybieranych automatycznie w zależności od pory dnia,
- realizacja programu awaryjnego (złączenie wszystkich lamp sygnalizacyjnych żółtych migających),
- komunikacja z pulpitem ręcznego sterowania,
- realizacja koordynacji pracy pozostałych sterowników zainstalowanych wzdłuż danego ciągu komunikacyjnego, umożliwiającą minimalizację liczby zatrzymań pojazdów, tzw. zielona fala.⁹²

⁹² M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki...* Gliwice 2000, s. 34-35.



Rysunek 9. Schemat funkcjonalny sterownika sygnalizacji świetlnej

Źródło: M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*. Gliwice 2000, s. 35.

2.5. Inteligentne systemy sterowania ruchem ulicznym

2.5.1. Cele koordynacji sygnalizacji w ciągu ulicznym

Wzrost natężenia ruchu w arteriach miejskich i w ulicach poprzecznych powoduje wprowadzenie coraz większej liczby sygnalizacji świetlnych, co prowadzi do powstawania ciągów i sieci skrzyżowań oraz przejść z sygnalizacją. Powoduje to znaczne pogorszenie płynności ruchu wzdłuż ciągów oraz dłuższe straty czasu, a także zwiększenie niekorzystnych oddziaływań na otoczenie, chociaż te sygnalizacje ułatwiają wjazd pojazdów z wlotów ulic poprzecznych i przejście pieszym. Dlatego, kiedy sygnalizacja świetlna jest zainstalowana na dwóch lub więcej skrzyżowaniach, położonych w niewielkiej odległości od siebie, celowa jest synchronizacja działania programów sygnalizacji na tych skrzyżowaniach, a także przejściach z sygnalizacją.⁹³

⁹³ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...* s. 344.

2.5.2. Koordynacja sygnalizacji w sieci – metoda TRANSYT

Metoda TRANSYT, opracowana w Wielkiej Brytanii przez Transport Research Laboratory TRL, jest najbardziej znaną metodą optymalizacji koordynacji sygnalizacji w arteriach i w sieciach skrzyżowań, wykorzystującą deterministyczny makromodel przepływu potoków ruchu w arterii z sygnalizacją. Metoda była wiele razy ulepszana i dlatego można się spotkać z jedną z wersji: TRANSYT/9 – uwzględniającą wcześniejsze ulepszenia, w tym analizę sekwencji faz TRANSYT/7 – wersją zawierającą uproszczoną procedurę optymalizacyjną, z przeznaczeniem do pracy on-line w systemach sterowania ruchem oraz TRANSYT/7F – wersją amerykańską.⁹⁴

Dwoma charakterystycznymi elementami metody TRANSYT/9 są: model ruchu i procedura optymalizacyjna. Model odtwarza zachowanie się potoków ruchu w sieci skrzyżowań, z których większość jest sterowana sygnalizacją. Model ruchu umożliwia obliczanie w procesie makrosymulacji natężeń potoków ruchu, wartości funkcji celu dla sieci – dla danego zestawu programów sygnalizacji i planów koordynacji oraz przeciętnych potoków ruchu. Funkcja celu jest miarą ogólnych kosztów ruchu i jest zazwyczaj ważoną kombinacją łącznej wielkości strat czasu pojazdów oraz liczby zatrzymań pojazdów w ruchu.⁹⁵

Procedura optymalizacji skokowej, zmieniając plany koordynacji (ofsety), a także programy sygnalizacji sprawdza – stosując makrosymulację – czy zmiany zmniejszają wartość funkcji celu, czy nie. W programie sieć skrzyżowań z sygnalizacją jest reprezentowana przez zbiór tzw. połączeń, czyli jednokierunkowych odcinków między skrzyżowaniami lub wlotów zewnętrznych (połączenia tworzą także wydzielone pasy ruchu dla relacji skrajnych) i punkty węzłowe tj. skrzyżowania i przejścia.⁹⁶

Program TRANSYT/9 oblicza całkowitą liczbę zatrzymań jako sumę zatrzymań: „pełnych” – mających miejsce przy dużych stratach czasu, losowych zatrzymań, wynikających z wahań ruchu i z okresowych przeciążeń skrzyżowania oraz „częściowych” – polegających po prostu na przyhamowaniu.⁹⁷

Oprócz strat i zatrzymań, program TRANSYT/9 szacuje maksymalne długości kolejek, które mogą wystąpić na połączeniach przy danych parametrach sygnalizacji. W przypadku krótkich odcinków między skrzyżowaniami z sygnalizacją, kolejki pojazdów na niektórych połączeniach mogą bowiem blokować poprzednie skrzyżowania. Dla takich

⁹⁴ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 349.

⁹⁵ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 349.

⁹⁶ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 349.

⁹⁷ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 352.

przypadków program zawiera możliwość określania maksymalnej długości kolejki na wybranym połączeniu. Program optymalizacji przez zastosowanie specjalnych „kar” redukuje do minimum możliwość wystąpienia takich kolejek na wlotach. Celem optymalizacji jest uzyskanie takiego zestawu ofsetów i długości sygnałów zielonych na poszczególnych skrzyżowaniach, przy którym pojazdy ponosiłyby najmniejsze straty.⁹⁸

2.5.3. Generacje systemów sterowania ruchem ulicznym

Głównymi kierunkami w rozwoju nowoczesnych systemów sterowania ruchem drogowym są:⁹⁹

- decentralizacja, umożliwiającą przeniesienie większości funkcji sterowania na poziom lokalny do mikrokomputerowych serowników sygnalizacji świetlnej, rozmieszczonych w pobliżu obsługiwanych skrzyżowań,
- automatyzacja, której jednym z celów jest aktualizacja parametrów algorytmów sterowania w zależności od aktualnie występującej sytuacji ruchowej.

W stosowanych do tej pory systemach sterowanie większością funkcji lokalnego sterownika sygnalizacją świetlną realizowane było najczęściej za pomocą transmisji sygnałów sterujących z poziomu pośredniego sieci sterowników nadrzędnych, połączonych w system kontroli ruchu drogowego. Obecnie powszechne zastosowanie mikrokomputerów wyposażonych w mikroprocesory umożliwiło w pełni autonomiczne działanie sterowników już na poziomie lokalnym.¹⁰⁰

Również aktualizacja parametrów algorytmów sterowania dokonywana była na ogół w trybie „off-line”, polegającym na przyjmowaniu przez nie wartości uśrednionych parametrów ruchu w godzinach szczytu komunikacyjnego. W systemach sterowania aktualizacja parametrów algorytmów sterowania następuje na bieżąco, w trybie „on-line”, z możliwością modyfikacji w zależności od aktualnie występującej sytuacji ruchowej.¹⁰¹

Wśród aktualnie stosowanych systemów sterowania ruchem ulicznym wyróżnia się cztery generacje, które zestawiono w tabeli 2.

⁹⁸ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 352-353.

⁹⁹ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki...*Gliwice 2000, s. 38.

¹⁰⁰ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki...*Gliwice 2000, s. 38.

¹⁰¹ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki...*Gliwice 2000, s. 38.

| Lp. | Charakterystyka | Generacje systemów i metod sterowania | | | |
|-----|---|---------------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|
| | | I | II | III | IV |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Okres uaktualnienia parametrów sterowania | 15 minut | 5-10 minut | 3-6 minut | z cyklu na cykl |
| 2 | Generacja algorytmów sygnalizacji | optymalizacja *) „off- line” | optymalizacja „on-line” | optymalizacja „on-line” | optymalizacja „on-line” |
| 3 | Liczba algorytmów sygnalizacji. Dane o ruchu | Do 40 Historyczne | bez ograniczeń prognozowanie danych historycznych | bez ograniczeń prognozowane | nie występują bieżące |
| 4 | Obliczany parametr sterowania (na skrzyżowaniach krytycznych) | split | split i offset | split, offset, cykl | moment zmiany faz |
| 5 | Sposób realizacji sterowania | selekcja algorytmów | tworzenie algorytmów | Tworzenie algorytmów | adaptacja (akomodacja) |
| 6 | Czas trwania cyklu | stały w podobszarze | stały dla grupy skrzyżowań | zmienny | zmienny w czasie i na obszarze |
| 7 | Przykładowe metody optymalizacji i sterowania | SIGOP, TRANSYT | zmodyfikowany SIGOP, RTOP | SIGOP - II, CYRANO, SCATS | SCOOT, TRACS |

Tabela 2. Porównanie generacji metod sterowania ruchem ulicznym

Źródło: M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*. Gliwice 2000, s. 38.

Systemy sterowania pierwszej generacji (I), w porównaniu do systemów zerowej generacji wykorzystują zbiór algorytmów sterowania o parametrach wyznaczonych w trybie „off-line” na podstawie uśrednionych wartości parametrów ruchu w różnych porach dnia. Wybór algorytmu sterowania sygnalizacją odbywa się w zależności od czasu (pory dnia), na podstawie zmierzonych wartości parametrów ruchu, uśrednionych za pewien okres, najczęściej 15 minut, bądź za okres wybrany arbitralnie przez operatora systemu. Systemy tej generacji umożliwiają łagodne przejście, tzn. bez większych zakłóceń ruchu na skrzyżowaniu, pomiędzy odpowiednio przełączanymi algorytmami sterowania sygnalizacją. Właściwe algorytmy sterowania opracowuje się w trybie „off-line” za pomocą metod optymalizacji, np. SIGOP, TRANSYT i MITROP.¹⁰²

Systemy sterowania drugiej generacji (II) mają już procedurę optymalizacji (aktualizacji) parametrów algorytmów sterowania w trybie „on-line”, co umożliwia minimalizację czasu przejazdu i liczbę zatrzymań pojazdów w sieci ulic dla odpowiednio zaprogramowanych warunków ruchu. Aktualizacja parametrów algorytmu sterowania odbywa się na podstawie zamierzonych i uśrednionych wartości parametrów ruchu w czasie

¹⁰² M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*. Gliwice 2000, s. 39.

poprzedzającym sterowanie równym od 5 do 10 minut. W tej generacji do opracowania właściwego algorytmu sterowania wykorzystuje się zmodyfikowaną wersję metody SIGOP, przy czym podobnie jak w systemie pierwszej generacji (I) zakłada się stały czas trwania danego cyklu sterowania, odpowiednio dla grupy skrzyżowań lub całego obszaru objętego sterowaniem.¹⁰³

W systemach należących do III i IV generacji wykorzystuje się do sterowania na skrzyżowaniach wyłącznie zmiennoczasowe algorytmy sterowania realizowane w trybie on-line. W tej grupie mieści się system UTOPIA-SPOT.

Systemy sterowania trzeciej generacji (III) umożliwiają sterowanie w znacznie większym stopniu dostosowanie do aktualnie występującej sytuacji ruchowej. Podobnie jak w systemach drugiej generacji (II), procedura optymalizacji (aktualizacji) parametrów algorytmów sterowania umożliwia minimalizację czasu przejazdu i liczbę zatrzymań pojazdów na skrzyżowaniach na podstawie obliczonej prognozy zmian wartości parametrów ruchu, dokonywanej w czasie poprzedzającym sterowanie od 3 do 6 minut. Ponadto w zależności od zmienności parametrów strumienia ruchu na wlotach skrzyżowania czas trwania cyklu dla poszczególnych skrzyżowań również może ulegać zmianie. Do opracowania algorytmu sterowania wykorzystuje się metody opracowane dla stałego czasu trwania cyklu sygnalizacji np. SIGOP – II, CYRANO, SCATS.¹⁰⁴

Systemy sterowania czwartej generacji (IV) polegają na dostosowaniu parametrów algorytmów sterowania do aktualnie występującej sytuacji ruchowej, a nie do historycznych parametrów obliczonych dla najgorszego przypadku (dla różnych pór dnia) jak w generacji (I), bądź prognozowanych jak w generacji (II) i (III), które mogą być nieraz dalekie od aktualnych (optymalnych). Systemy te nie wprowadzają żadnych ograniczeń na czas uaktualnienia parametrów algorytmów sterowania, który może być zmienny w dowolnym miejscu sieci ulic. Ponadto systemy tej generacji charakteryzują się daleko idącą decentralizacją procesu sterowania, wykorzystującego tylko te dane, które są do tego niezbędne. Wtedy sterowanie nie realizuje stałoczasowych algorytmów sterowania, lecz na bieżąco, w zależności od zmian parametrów ruchu, algorytmy o zmiennych czasach trwania poszczególnych cykli (faz) sygnalizacji. W systemach tej generacji zastosowano odpowiednio metodę optymalizacji o nazwie SCOOT.¹⁰⁵

¹⁰³ M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki...*Gliwice 2000, s. 39.

¹⁰⁴ M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki...*Gliwice 2000, s. 39.

¹⁰⁵ M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki...*Gliwice 2000, s. 40.

Do najbardziej znanych systemów sterowania ruchem drogowym, wykorzystujących odpowiednie metody optymalizacji należą systemy: CYRANO (Waszyngton, 1975), RTOP, SIGRID (Toronto, 1976), SCATS (Sydney, 1979), SCOOT (Glasgow, 1981); w nawiasach podano nazwę aglomeracji miejskiej i rok uruchomienia danego systemu.¹⁰⁶

Wdrożenie metod wyższych generacji zależy nie tylko od oprogramowania, ale i od sprzętu (komputery, sterowniki, detektory, łączność). Należy zwrócić uwagę na to, że im bardziej rozwinięty system sterowania, tym większe są wymagania dotyczące detekcji parametrów ruchu i bieżącego testowania niezawodności pracy detektorów.¹⁰⁷

2.5.4. System SCOOT

Założenia systemu SCOOT, opracowane przez Robertsona, były wynikiem małej efektywności systemów niższej generacji – w porównaniu do metod stałoczasowych, spowodowanej głównie przez: zakłócenia w ruchu wywoływane zmianą planów sygnalizacji i niewłaściwym prognozowaniem parametrów potoku ruchu. Strukturę i model ruchu on-line systemu SCOOT przedstawiono na rysunku 10 i 11.¹⁰⁸

SCOOT ma wiele cech metody TRANSYT/9. Do obliczania strat czasu i zatrzymań pojazdów, spowodowanych przez dany plan sygnalizacji, wykorzystuje się cyklicznie profile intensywności ruchu w postaci histogramów poddawanych dyspersji. Jednak w metodzie SCOOT te składniki funkcji celu są przeliczane co kilka sekund, na podstawie bieżących pomiarów profilii intensywności ruchu. Pomiary wykonują detektory, umieszczone na wylotach skrzyżowań – dzięki czemu otrzymuje się obraz kolumn pojazdów, poruszających się wzdłuż połączenia.¹⁰⁹

Ciągle aktualizowane profile intensywności ruchu – wraz z ustalonymi wcześniej natężeniami nasycenia i czasami jazdy (stałymi na połączeniu) – są wykorzystywane do prognozowania długości kolejek pojazdów na kolejnym skrzyżowaniu. Zasady prognozowania długości kolejki na bieżąco pokazano na rysunku 10 b. Oprócz obliczania funkcji celu, długości kolejek są sprawdzane z uwagi na możliwość wystąpienia zatłoczenia na połączeniu, które może być zlikwidowane przez korektę splitu.¹¹⁰

Splity i ofsety są w metodzie SCOOT na bieżąco zmieniane małymi krokami dla minimalizacji długości kolejek w sieci. Długość cyklu jest także dostosowana małymi krokami tak, aby najbardziej obciążone skrzyżowanie działało przy stopniu obciążenia

¹⁰⁶ M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki...*Gliwice 2000, s. 40.

¹⁰⁷ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 356.

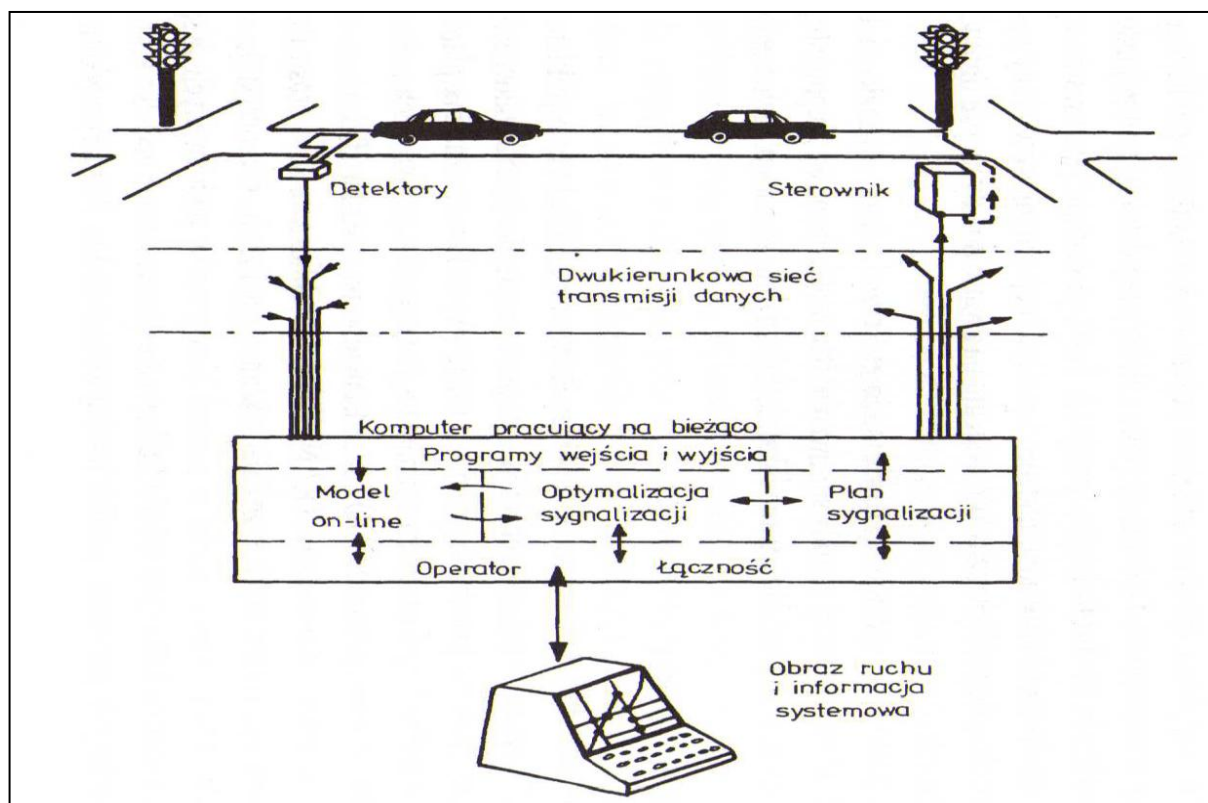
¹⁰⁸ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 357.

¹⁰⁹ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 357-359.

¹¹⁰ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 359.

około 90%, przy czym stała długość cyklu jest utrzymywana jedynie w podobnych obszarach. Cykle połówkowe, na mniej obciążonych skrzyżowaniach, są automatycznie obliczane na podstawie analizy strat czasu.¹¹¹

Istotnymi elementami nowoczesnych komputerowych systemów sterowania jest autodiagnostyka detektorów, sterowników lokalnych i elementów systemu łączności – pozwalająca na utrzymanie sprawności systemu. Rozwój systemu SCOOT postępuje także w kierunku umożliwienia operatorowi prowadzenia określonej strategii sterowania, dla preferowania niektórych połączeń i ciągów w sieci, a także kontroli zatłoczenia w sieci, przez ograniczenie dostępności do obszaru sterowania.¹¹²

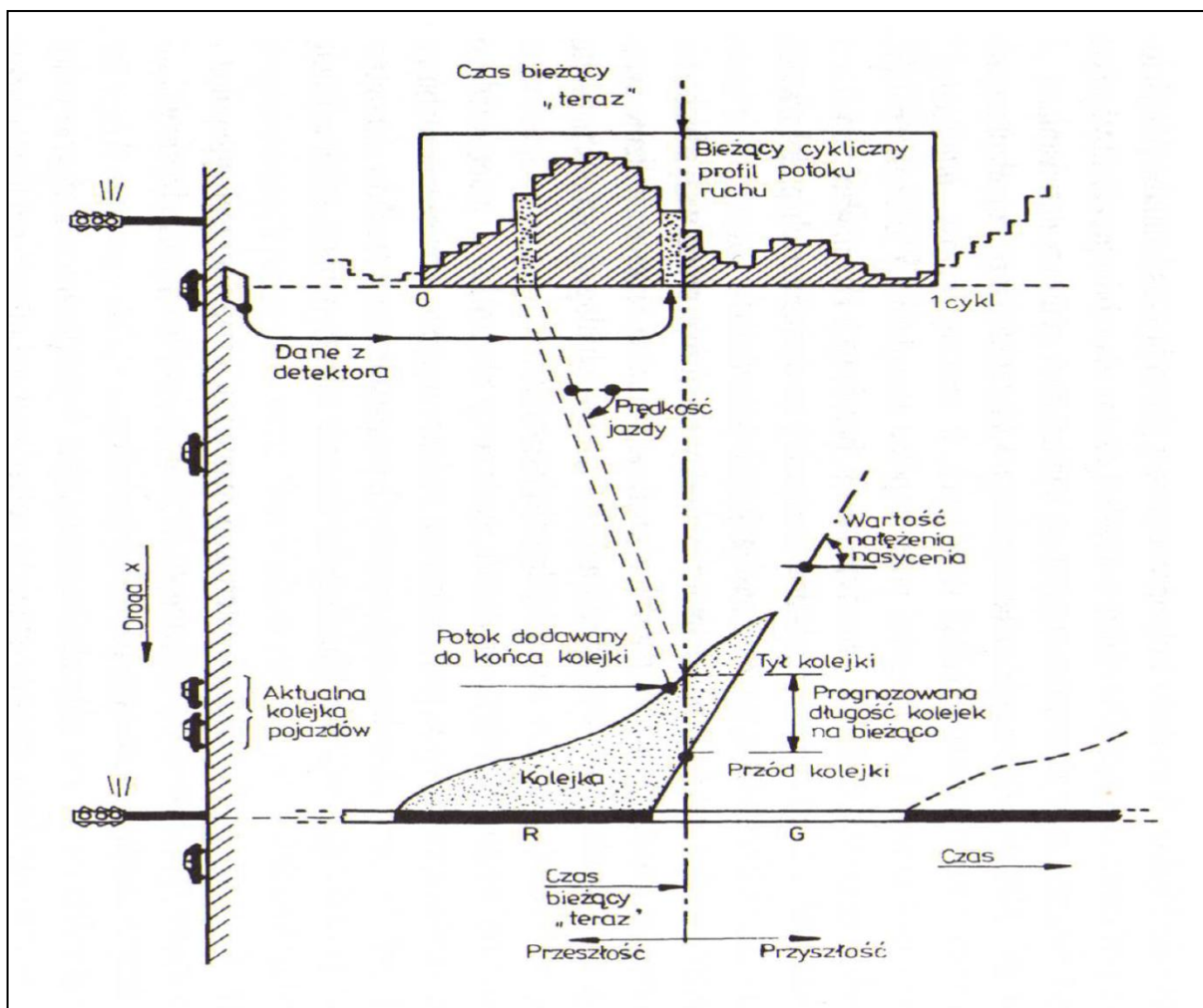


Rysunek 10. Schemat struktury sterowania systemu SCOOT

Źródło: S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego* Warszawa 2008, s. 358.

¹¹¹ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 359.

¹¹² S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 359.



Rysunek 11. Zasady modelu ruchu systemu SCOOT

Źródło: S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego* Warszawa 2008, s. 358.

2.5.5. System UTOPIA

Pierwszy system UTOPIA-SPOT (*Urban Traffic Optimisation by Integrated Automation*) został zainstalowany w 1984 r. w Turynie na sieci 30 skrzyżowań z sygnalizacją, a w 2003 r. obejmował już blisko 400 skrzyżowań. Następnie system ten był testowany również na niewielkich sieciach w Leeds i w Goteborgu, a od połowy lat 1990-tych jest instalowany także w innych krajach. System UTOPIA-SPOT jest adaptacyjnym systemem sterowania miejskimi sieciami skrzyżowań z sygnalizacją silnie zdecentralizowanym o tzw. rozproszonej inteligencji. System składa się z trzech poziomów: poziomu lokalnego sterownika ruchu, jednostki lokalnej SPOT i jednostki nadrzędnej UTOPIA. Ważnym elementem systemu jest łączność pomiędzy jego składowymi.¹¹³

¹¹³ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 359.

Lokalny sterownik jest odpowiedzialny za sterowanie pracą sygnalizacji na danym skrzyżowaniu zgodnie z poleceniami otrzymanymi z nadrzędnego sterownika SPOT oraz do sterowania wg programu awaryjnego przy braku informacji ze sterownika SPOT.¹¹⁴

Nadrzędny sterownik SPOT, przeznaczony do optymalizacji sterowania na skrzyżowaniach zawiera matematyczny algorytm, określający wartości zmiennych sterujących sygnalizacją poprzez znajdowanie optimum funkcji zależnej od ruchu na skrzyżowaniu w przedziale czasu do 120 s. SPOT wysyła odpowiednie polecenia do sterowników lokalnych. Poszczególne jednostki SPOT przekazują sobie wzajemnie informacje o warunkach ruchu na swoich skrzyżowaniach oraz o obliczonych strategiach sterowania.¹¹⁵

UTOPIA jest to zestaw modułów programowych odpowiedzialnych za monitorowanie, diagnostykę i nadzór nad optymalizacją sterowania całej sieci skrzyżowań objętych systemem.¹¹⁶

Najważniejszą cechą systemu jest kombinacja: szybkiej optymalizacji lokalnego sterowania akomodacyjnego, silne powiązanie pomiędzy sąsiednimi skrzyżowaniami i optymalizacja obszarowa. Szybka lokalna akomodacja ułatwia realizację priorytetów dla środków komunikacji zbiorowej w sposób, jaki nie jest możliwy przy tradycyjnej optymalizacji obszarowej.¹¹⁷

Lokalna optymalizacja opiera się na funkcji celu, którą jest funkcja kosztów obejmujących straty czasu i zatrzymania, które ponoszą pojazdy na połączeniach w sieci, kolejki przekraczające założone długości i zgodność z celami obszarowymi. Wszystkie składniki kosztów mają swoje wagi, które mogą być różne dla poszczególnych połączeń i mogą być zarządzane z poziomu obszarowego. Są osobne wagi dla pojazdów indywidualnych i dla środków transportu publicznego. Znajomość kosztów na połączeniach ruchu dojeżdżającego i wyjeżdżającego jest podstawą koordynacji sygnalizacji sąsiednich skrzyżowań. Lokalna optymalizacja jest przeprowadzana dla każdego skrzyżowania w krótkich przedziałach czasu, zaś optymalizacja obszarowa stosuje dłuższe przedziały czasu.¹¹⁸

Sieć może być podzielona na arbitralnie ustaloną liczbę podobszarów. Na granicach podobszarów silne powiązania sąsiednich skrzyżowań mogą selektywnie koordynować

¹¹⁴ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria*...s. 359.

¹¹⁵ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria*...s. 359.

¹¹⁶ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria*...s. 360.

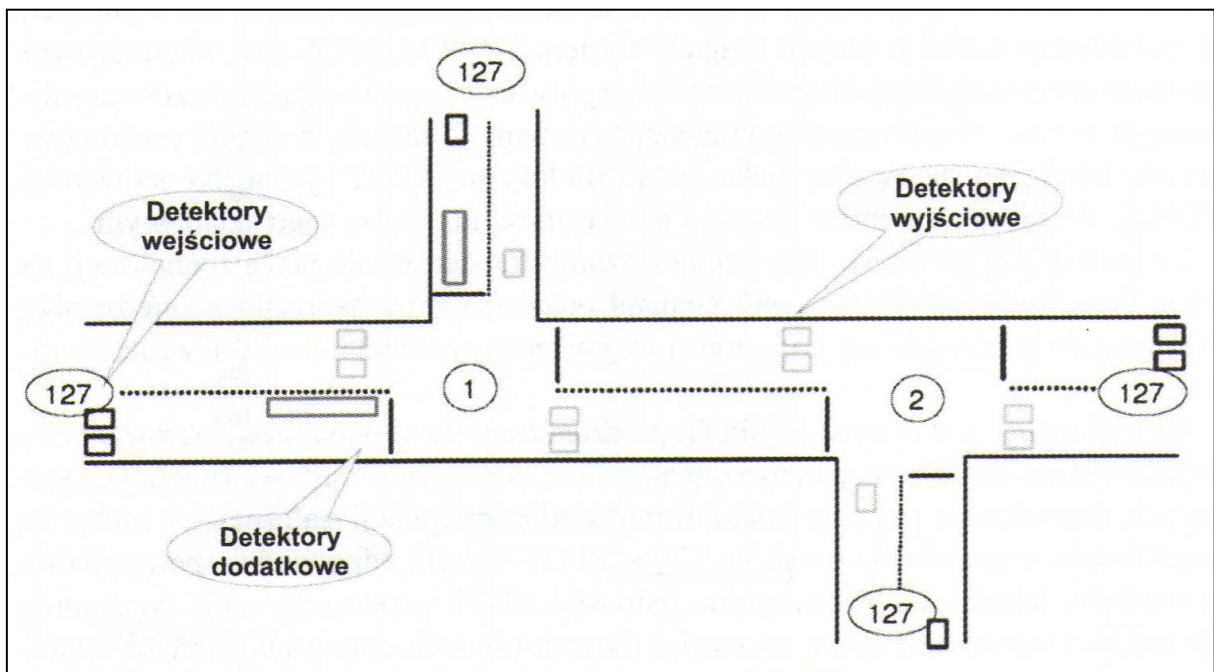
¹¹⁷ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria*...s. 360.

¹¹⁸ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria*...s. 360.

osobne podobszary. Kluczem do procesu optymalizacji jest dokładna estymacja i predykcja strumieni ruchu. System UTOPIA-SPOT stosuje zaawansowaną technikę zliczania pojazdów wjeżdżających i wyjeżdżających po obszarze sieci i estymacji liczb pojazdów w kombinacji z danymi historycznymi. W systemie rozróżnia się 3 typy detektorów (rys. 12):

- detektory wejściowe, które zliczają pojazdy wjeżdżające na wlot skrzyżowania i są instalowane w odległości około 150 m przed linią zatrzymań na kierunkach głównych i 80 ÷ 60 m na wlotach bocznych (z uwagi na mniejsze prędkości),
- detektory wyjściowe, które na wylocie zliczają pojazdy opuszczające skrzyżowanie i są instalowane na wylotach ze skrzyżowania,
- detektory dodatkowe, które umożliwiają realizację zapotrzebowania na wybrane grupy lub fazy sygnalizacyjne na wlocie, które mogą być realizowane tylko w przypadku obecności pojazdów (np. skręty w lewo, autobusy itp.).¹¹⁹

W systemie mogą być stosowane różne typy detektorów. Decentralizacja sterowania powoduje, że nie jest konieczne organizowanie centrum sterowania, a bardzo ważny jest system łączności.¹²⁰



Rysunek 12. Rodzaje detektorów w systemie sterowania UTOPIA-SPOT

Źródło: S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego* Warszawa 2008, s. 360.

¹¹⁹ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 360-361.

¹²⁰ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria...*s. 361.

W tradycyjnej stałoczasowej koordynacji wszystkie sygnalizacje muszą mieć tą samą długość cyklu lub jego wielokrotność. W sieci systemu UTOPIA-SPOT optymalizacja jest prowadzona na każdym skrzyżowaniu oraz na poziomie obszaru. Na poziomie skrzyżowania optymalizacja uwzględnia sąsiednie skrzyżowania. W zasadzie sterowanie na każdym skrzyżowaniu jest optymalizowane, a czas cyklu może być różny na poszczególnych skrzyżowaniach i w czasie może się także zmieniać. Sąsiednie skrzyżowania mają takie same lub bardzo zbliżone długości cyklu.¹²¹

W systemach koordynacji stałoczasowej jest bardzo trudno uwzględniać ruch pojazdów transportu publicznego, bowiem czasy zatrzymań na przystankach nie są łatwe do prognozowania. Uwzględnianie priorytetu na odosobnionych skrzyżowaniach jest dość łatwe. W sieci systemu UTOPIA jest specjalna funkcja monitorowania ruchu środków transportu publicznego, a dzięki informacji z wybranych detektorów w sieci oraz estymacji czasów jazdy w sieci, prognozowane są dojazdy tych pojazdów do skrzyżowań. Optymalizacja sieciowa musi być dostatecznie dynamiczna, aby reagować na potrzeby ruchu środków transportu publicznego, lecz równocześnie zapewniać wysoką ogólną sprawność.¹²²

2.6. Inteligentne systemy sterowania ruchem ulicznym w Polsce

Spośród wszystkich polskich miast najbardziej inteligentny system sterowania ruchem ulicznym udało się dotychczas wdrożyć jedynie w Poznaniu. Inne miasta w Polsce tj. Warszawa, Kraków i Łódź – są w trakcie wdrażania pierwszego etapu budowy systemu, natomiast Trójmiasto opracowało szczegółową koncepcję zintegrowanego systemu zarządzania ruchem i przystąpiło do wyłaniania wykonawców.

2.6.1. Inteligentny system sterowania ruchem ulicznym w Poznaniu

Obecnie inteligentny system sterowania ruchem w Poznaniu obejmuje łącznie 275 sterowników, w tym 187 sterowników lokalnych sygnalizacji świetlnej połączonych z dwoma serwerami w Centrum Sterowania Ruchem (CSR). Obszar miasta podzielono na 4 podobszary. Na 59 skrzyżowaniach nadawany jest pełny priorytet dla transportu publicznego, w tym na 54 dla tramwajów i na 5 dla autobusów. Monitoring w CSR stanu ruchu prowadzony jest na 12 skrzyżowaniach (38 kamer) wraz z dostępem poprzez

¹²¹ S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria*...s. 361.

¹²² S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria*...s. 361.

internet na stronie Zarządu Dróg Miejskich (ZDM), a wideo detekcję stosuje się na 20 skrzyżowaniach (48 kamer).¹²³

Elastyczna koordynacja obszarowa w ramach okien czasowych, w określonej realizacyjnie wersji, zdała już pozytywnie egzamin w systemie poznańskim, przyczyniając się do znacznego wzrostu przepustowości skrzyżowań (20 -30%), istotnego skrócenia czasów podróży w ramach głównych strumieni pojazdów (30 – 50%) oraz likwidacji wielokrotnych zatrzymań na odcinkach ulic między skrzyżowaniami. W wielu częściach miasta uzyskano znaczną redukcję strat czasu tramwajów, zarówno na pojedynczych skrzyżowaniach, jak i ciągach skrzyżowań. Przykładowo na ciągu 8 skrzyżowań ul. Grunwaldzkiej w wyniku sterowania zależnego od ruchu a priorytetem dla tramwajów uzyskano ok. 3-minutowe skrócenie czasu przejazdu w każdym kierunku, bez pogorszenia warunków ruchu pozostałym pojazdom.¹²⁴

Dalsza rozbudowa systemu sterowania ruchem w Poznaniu ma objąć realizację dynamicznego i taktycznego sterowania ruchem na poziomie arterii, podobszaru, obszaru i aglomeracji, predykcje stanów ruchu w sieci, zarządzanie kryzysowe (obsługa wypadków drogowych, katastrof, obsługa imprez masowych), rozbudowę priorytetów dla pojazdów transportu publicznego i służb interwencyjnych.¹²⁵

2.6.2. Inteligentny system sterowania ruchem ulicznym w Warszawie

System budowany w Warszawie składa się z wielu podsystemów o różnym stopniu oddziaływania na ruch i pozyskiwania informacji, uwzględniając jednocześnie możliwości dalszej jego rozbudowy, w tym z: podsystemu sterowania sygnalizacją świetlną w pierwszym obszarze Zintegrowanego Systemu Zarządzania Ruchem powiązanego z systemem sterowania w tunelu pod Wisłostradą, podsystemu informacji dla kierowców poprzez znaki zmiennej treści, podsystemu informacji o środowisku (pogoda, zanieczyszczenie środowiska itp.), podsystemu zarządzania przejazdami pojazdów uprzywilejowanych, podsystemu nadawania priorytetów warunkowych lub bezwarunkowych dla pojazdów transportu szynowego, podsystemu informacji o sytuacji ruchowej za pomocą ogólnodostępnych środków masowego przekazu (radio, RDS, Internet itp.). Z uwagi na przewidywany program wdrażania Zintegrowanego Systemu Zarządzania Ruchem w Warszawie system jest systemem

¹²³ P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s.18.

¹²⁴ P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s.19.

¹²⁵ P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s.19.

otwartym, tzn. umożliwia jego rozszerzenie o kolejne podsystemy w przyszłości, w miarę pojawienia się potrzeb funkcjonalnych i terytorialnych.¹²⁶

2.6.3. Inteligentny system sterowania ruchem ulicznym w Krakowie

System Obszarowego Sterowania Ruchem w Krakowie ma zostać wdrożony głównie na skrzyżowaniach, przez które przebiegać będzie trasa Krakowskiego Szybkiego Tramwaju (KST) oraz ringu śródmiejskiego. W początkowym etapie planowane jest objęcie systemem 65 skrzyżowań. System sterowania będzie zdecentralizowany, a sterowanie odbywać się będzie na trzech poziomach, podobnie jak w Poznaniu. Planowana jest realizacja pełnego priorytetu dla szybkiego tramwaju, ale przy założeniu minimalizowania uciążliwości dla innych użytkowników.¹²⁷

Miejski System Sterowania Ruchem UTCS (Urban Traffic Control System) w Krakowie obejmuje kolejno następujące prace: podłączenie i adaptacja 65 skrzyżowań do pracy w systemie, wykonanie połączeń przewodowych do Centrum Sterowania Ruchem; połączenie światłowodowe Centrum Sterowania; uruchomienie i wyposażenie Centrum Sterowania Ruchem w system zarządzania ruchem; uruchomienie priorytetu dla tramwajów w korytarzu szybkiego tramwaju – 25 skrzyżowań, w tym 20 skrzyżowań z priorytetem bezwzględnym; uruchomienie sterowania obszarowego.

2.6.4. Inteligentny system sterowania ruchem ulicznym w innych miastach w Polsce

W Łodzi wdrażany jest system zarządzania ruchem dla potrzeb Łódzkiego Tramwaju Regionalnego, składający się z następujących podsystemów: obszarowego sterowania ruchem SCATS dla 60 skrzyżowań; zarządzania transportem zbiorowym; informacji pasażerskiej; informacji dla kierowców i monitoringu wizyjnego.¹²⁸

W wyniku porozumienia prezydentów Gdyni, Sopotu i Gdańska opracowana została wspólna koncepcja zintegrowanego systemu zarządzania ruchem w aglomeracji trójmiejskiej, obejmująca także jej obwodnicę i drogi szybkiego ruchu wraz z miastami ościennymi. W ramach koncepcji ogólnej systemu TRISTAR dokonano najpierw analizy potrzeb zarządzania ruchem i transportem.¹²⁹

¹²⁶ P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy...* Poznań 2009, s. 20-21.

¹²⁷ P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy...* Poznań 2009, s. 21.

¹²⁸ P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy...* Poznań 2009, s. 22.

¹²⁹ P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy...* Poznań 2009, s. 22.

2.6.5. Metody ekonomicznej oceny efektywności inteligentnego systemu sterowania ruchem ulicznym

Efektywność inteligentnego systemu sterowania ruchem, określa się w większości przypadków przez porównanie odpowiednich wskaźników określonych przed i po zainstalowaniu danego systemu. W szczególności ocenia się go na podstawie analizy kosztów poniesionych na budowę systemu i jego eksploatację w porównaniu z korzyściami wynikającymi z jego wybudowania.

W literaturze spotyka się kilka różnych klasyfikacji metod oceny efektywności systemów sterowania ruchem ulicznym i drogowym na przykład można je sklasyfikować według takich kryteriów jak:

- parametry ruchu, np. natężenie, gęstość ruchu, liczba przewiezionych pasażerów,
- bezpieczeństwo ruchu, np. liczba wypadków,
- komfort jazdy, np. liczba zatrzymań, zmiana prędkości, zatłoczenie, koszty przejazdu,
- oddziaływanie na środowisko, np. emisja spalin, hałas.

Wartości kryterialne uwzględniane w metodach oceny efektywności systemu sterowania ruchem można określić zarówno na podstawie pomiarów, jak i badań teoretycznych.

Efektywność systemu sterowania ruchem ocenia się na ogół za pomocą metod wykorzystujących następujące kryteria:

- parametry ruchu,
- bezpieczeństwo ruchu,
- zużycie paliwa,
- oddziaływanie na środowisko naturalne,
- ekonomika ruchu.

3. INTELIGENTNE SYSTEMY STEROWANIA RUCHEM W ŚWIADOMOŚCI POZNAŃSKICH KIEROWCÓW ORAZ STUDENTÓW MWSLiT, STATYSTYCZNE BADANIA I ANALIZY

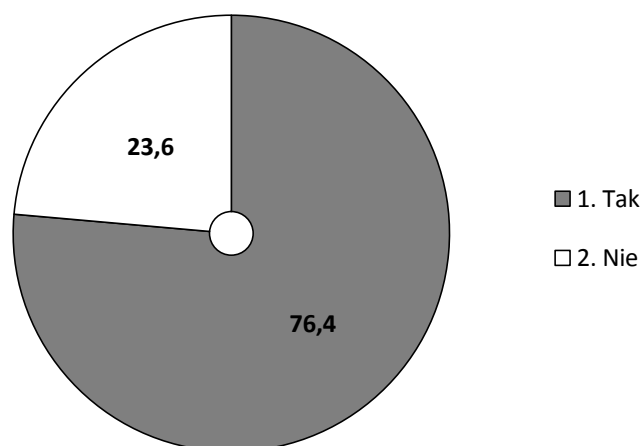
3.1. Ogólna charakterystyka prac badawczych

Głównym celem opisanego w tym rozdziale projektu badawczego jest ocena funkcjonowania inteligentnego systemu sterowania ruchem w Poznaniu z punktu widzenia poznańskich kierowców oraz świadomości społecznej indywidualnych użytkowników ruchu. Rozdział w całości został poświęcony oszacowaniu poziomu wiedzy kierowców o istnieniu, funkcjonowaniu i elementach składających się na inteligentny system sterowania ruchem. Główna uwaga skupiła się nie tyle na deklarowanej, ile rzeczywistej wiedzy kierowców zarówno o elementach systemu sterowania, jaki i o zachowaniach które skuteczność tych systemów obniżają.

Zasadniczym etapem omawianych badań był ilościowy pomiar na populacji poznańskich kierowców pomiędzy osiemnastym a siedemdziesiątym rokiem życia, którzy poruszają się samochodem po mieście co najmniej 2 - 3 razy w tygodniu. W badaniach wykorzystano technikę telefonicznego wywiadu kwestionariuszowego – realizowanego we wrześniu 2007 roku - na losowej próbie 500 kierowców spełniających warunki selekcji do badania, których odpowiedzi posłużyły się do opracowania analizy statystycznej.

3.2. Deklarowana wiedza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu wśród poznańskich kierowców

Punktem wyjścia sekwencji pytań poświęconej diagnozie poziomu wiedzy o istnieniu inteligentnego systemu sterowania było pytanie „Czy słyszał Pan/Pani kiedykolwiek o inteligentnym systemie sterowania ruchem/światłami w Poznaniu ? ” Odpowiedź ankietowanych przedstawiono na wykresie 1.

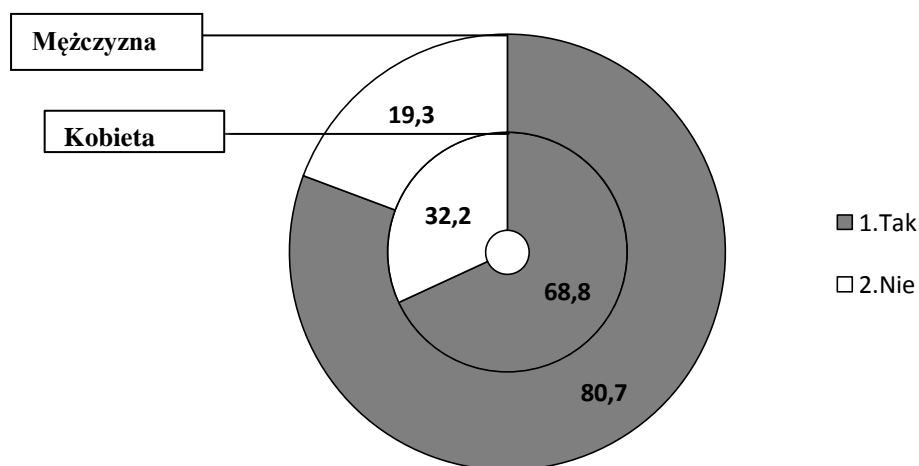


Wykres 1. Deklarowana wiedza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem / światłami w Poznaniu

Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 81.

Na poziomie subiektywnych deklaracji zdecydowana większość kierowców zalicza się do osób wiedzących o funkcjonowaniu inteligentnego systemu sterowania ruchem, 76,4% osób deklaruujących wiedzę wobec 23,6 % osób, które przyznały, że o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem nie słyszały.

Poziom wiedzy o inteligentnych systemach sterowania ruchem był wyraźnie zróżnicowany ze względu na płeć, co zostało zaprezentowane na wykresie 2.



Wykres 2. Deklarowana wiedza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a płeć

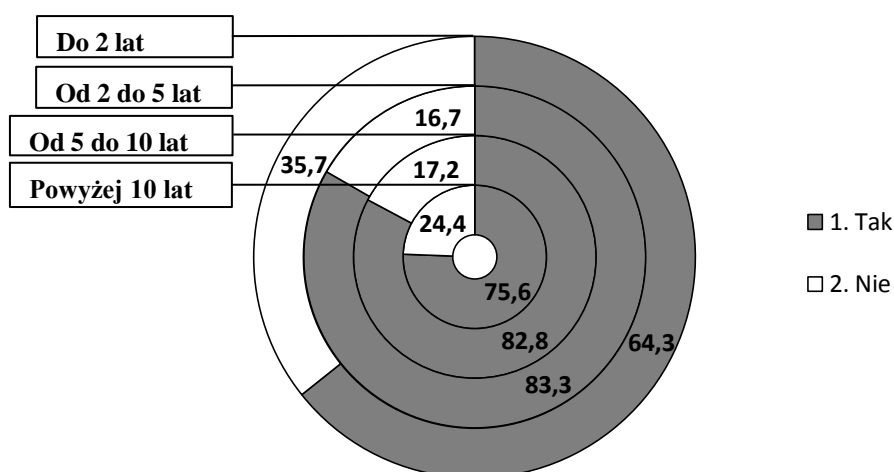
Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 83.

Biorąc pod uwagę subiektywne deklaracje respondentów co do ich wiedzy na temat inteligentnego systemu sterowania ruchem, wśród mężczyzn zanotowany został

zdecydowanie wyższy odsetek osób żywiących takie przekonanie. Różnicę wynoszącą prawie 12 p.p. uznać należy za istotną statystycznie.¹³⁰

Na wykresie 3. zobrazowano zróżnicowanie deklarowanej wiedzy o inteligentnym systemie sterowania ruchem w zależności od okresu posiadania prawa jazdy.

Wyraźnie niższy poziom wiedzy o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem deklarują kierowcy o najniższym stażu posiadania prawa jazdy (zadeklarowało tak nieco ponad 64% osób posiadających prawo jazdy co najwyżej 2 lata). Zdecydowanie najwyższy mają natomiast kierowcy, którzy prawo jazdy uzyskali przed 2-5 laty oraz przed 6-10 laty (różnice w tych dwóch kategoriach wynoszą jedynie 0,5 p.p.). Zauważyć można również, że deklarowany poziom wiedzy o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem jest wśród kierowców o najdłuższym stażu mniej więcej taki sam jak ogólnie dla całej próby badanych kierowców. Zaobserwowane różnice nie są jednak statystycznie istotne.¹³¹



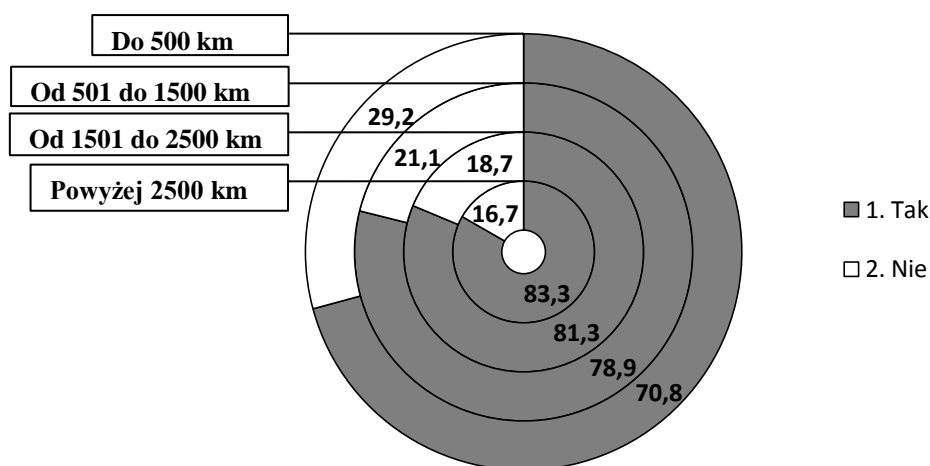
Wykres 3. Deklarowana wiedza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a okres posiadania prawa jazdy

Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 84.

Na kolejnym wykresie 4. pokazano zróżnicowanie deklarowanej wiedzy o istnieniu systemu sterowania ruchem w mieście w zależności od przeciętnej liczby przejeżdżanych kilometrów, przeciętnego miesięcznego przebiegu samochodu.

¹³⁰ P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 83.

¹³¹ P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 83-84.



Wykres 4. Deklarowana wiedza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a przeciętny miesięczny przebieg samochodu

Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 84.

Występuje wprost proporcjonalna zależność między przeciętnym miesięcznym przebiegiem deklarowanym przez kierowców a poziomem ich przekonania, że dysponują wiedzą o funkcjonowaniu inteligentnego systemu sterowania ruchem w Poznaniu. Poziom ten jest najniższy w grupie kierowców przejeżdżających przeciętnie w miesiącu do 500 km (wynosi 70,8%) i systematycznie wzrasta do poziomu 83,3% wśród kierowców, którzy miesięcznie przejeżdżają samochodem powyżej 2500 km, choć jedyną najbardziej odchylającą się od innych grupą stanowią kierowcy zaliczeni do pierwszej wyodrębnionej grupy respondentów.

3.3. Znajomość elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami w Poznaniu

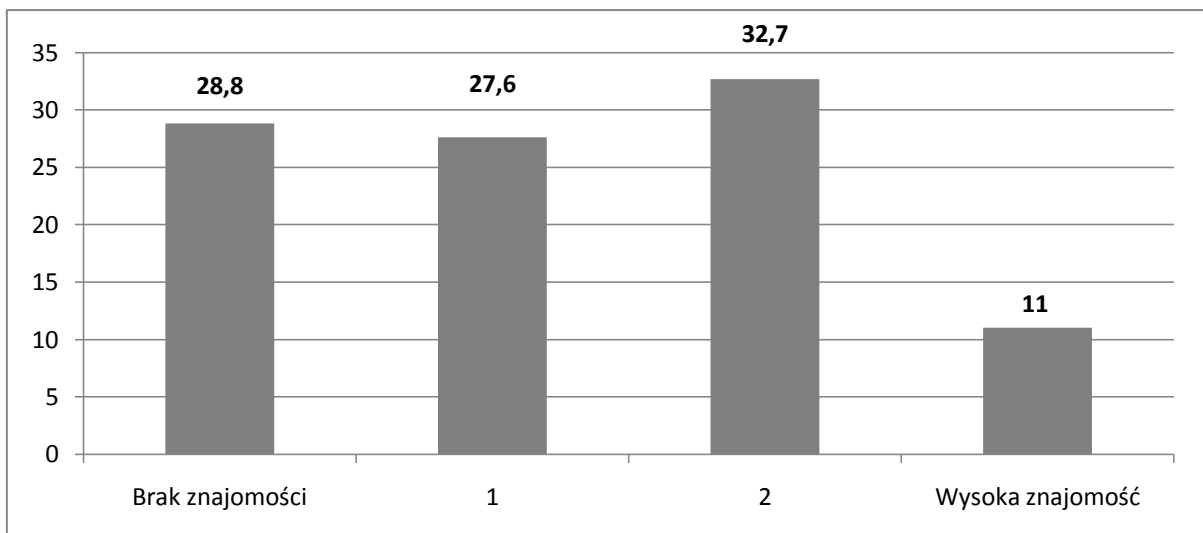
Respondentom, którzy deklarowali wiedzę o inteligentnym systemie sterowania, zadano serie pytań dotyczących tego, jakie elementy składają się na inteligentny system sterowania. Tabela 3. zawiera rozkład procentowy odpowiedzi na pytania o to, jakie elementy (zdaniem badanych kierowców) składają się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami w Poznaniu.

| Pytania nt. elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami w Poznaniu | Rozkład procentowy | |
|---|--------------------|------|
| | tak | nie |
| 1. Dodatkowe małe światła na skrzyżowaniach, by lepiej widzieć kolor światła na ostrym słońcu | 52,6 | 47,4 |
| 2. Czujniki w jezdni, pętle indukcyjne wysyłające sygnały o natężeniu ruchu | 94,1 | 5,9 |
| 3. Fotoradary policyjne rejestrujące prędkość pojazdów | 34,4 | 65,6 |
| 4. Kamery liczące pojazdy i wysyłające sygnały o natężeniu ruchu | 86,5 | 13,5 |
| 5. Nadajniki GPS w samochodach Policji, Pogotowia i Straży Pożarnej wysyłające informację o konieczności ustawienia zielonego światła na drodze przejazdu pojazdu uprzywilejowanego | 65,3 | 34,7 |
| 6. Centrum Sterowania Ruchem, w którym zbierane są informacje o liczbie pojazdów na każdym skrzyżowaniu | 89,8 | 10,2 |

Tabela 3. Znajomość elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami

Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 85.

Na podstawie odpowiedzi respondentów skonstruowany został wskaźnik, który budowano w taki sposób, że odpowiedziom twierdzącym na pytania faktyczne, tj. czujniki w jezdni (pętle indukcyjne), kamery liczące pojazdy oraz istnienie Centrum Sterowania Ruchem, przypisano wartość liczbową 1, (odpowiednio odpowiedziom przeczącym wartość liczbową 0). Z kolei odpowiedziom twierdzącym na trzy pozostałe pytania kontrfaktyczne przypisano wartość liczbową -1 (odpowiedziom przeczącym wartość 0). Wartość wskaźnika jest liczona jako suma punktów udzielonych na wszystkie sześć pytań, która maksymalnie może wynosić 3. Taka konstrukcja wskaźnika gwarantuje, że osoba która odpowiada twierdząco na wszystkie pytania otrzymuje 0 punktów, czyli nic nie wie o inteligentnym systemie sterowania ruchem. Wszystkie niedodatnie wartości kwalifikują respondentów do kategorii kierowców, którzy nie są w stanie poprawnie wymienić elementów systemu. Natomiast kierowcy posiadający dodatnie wartości traktowani są jako kierowcy, którzy rzeczywiście mniej lub więcej wiedzą o systemie sterowania ruchem i jego elementach. Poniższy wykres przedstawia szczegółowo wartości wskaźnika poziomu znajomości elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem.

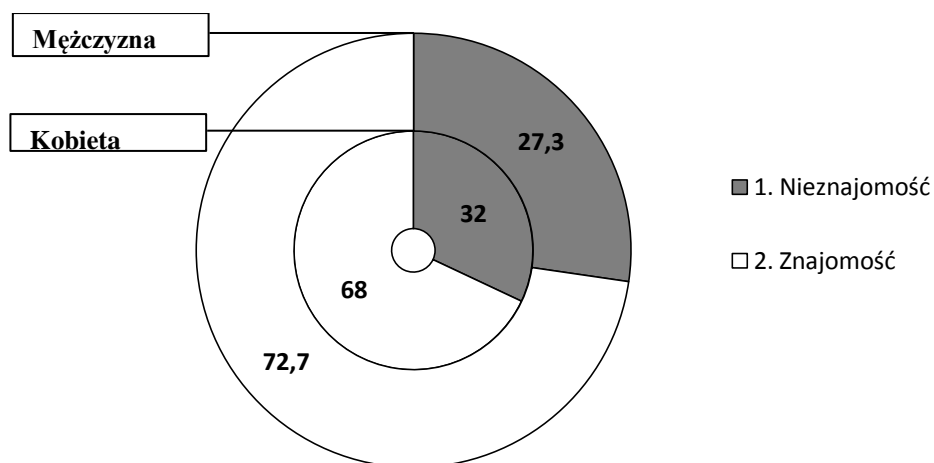


Wykres 5. Wskaźnik poziomu znajomości elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami w Poznaniu

Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 86.

Dane zaprezentowane na powyższym wykresie pokazują, że jedynie 11% ze wszystkich badanych poprawnie wymieniło jego wszystkie elementy, prawie 30% nic nie wie o elementach systemu, pozostałe 59% badanych zna średnio elementy systemu.

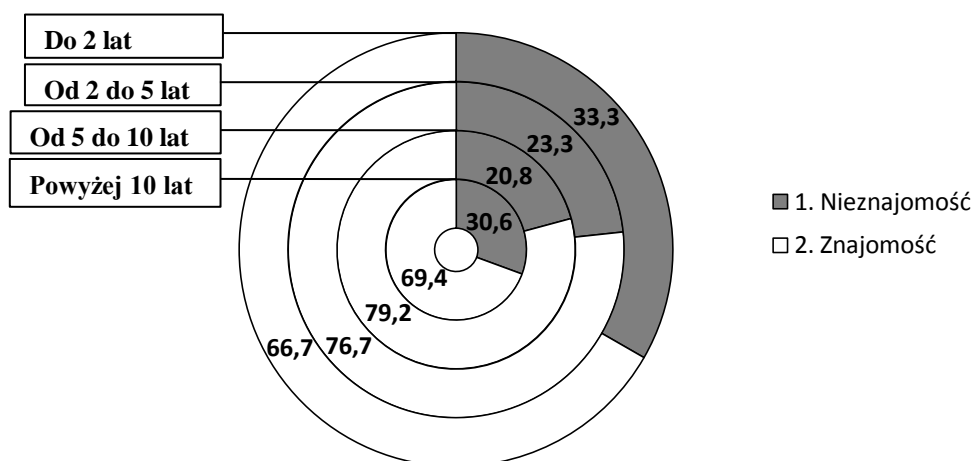
Na wykresie 6. oraz kolejnych zostanie przeanalizowany poziom wiedzy o elementach składających się na inteligentne systemy sterowania ruchem w poszczególnych kategoriach społeczno-demograficznych badanych kierowców.



Wykres 6. Poziom znajomości elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a płeć

Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 87.

Wykres 7. pokazuje zróżnicowanie w poziomie znajomości elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem w Poznaniu w różnych kategoriach wyodrębnionych na podstawie okresu posiadania prawa jazdy.

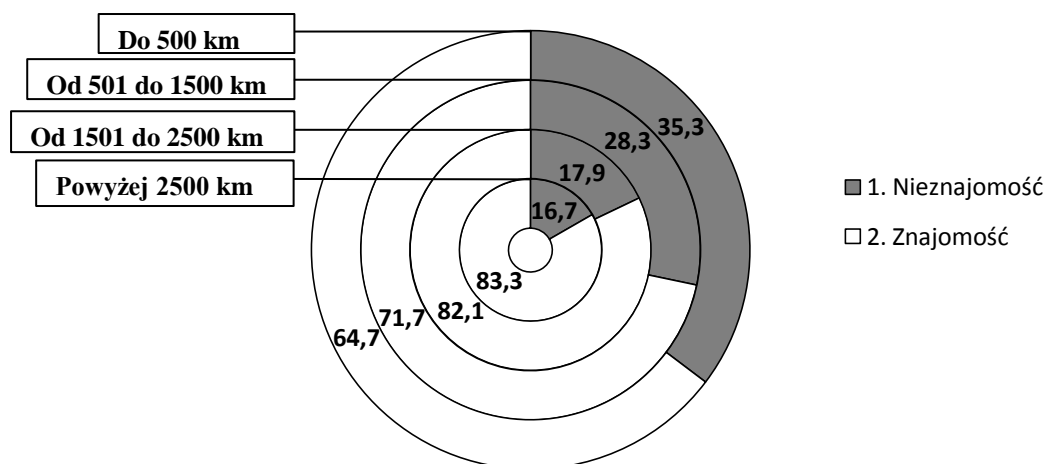


Wykres 7. Poziom znajomości elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a okres posiadania prawa jazdy

Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 88.

Zdecydowanie najmniejszym poziomem znajomości elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem w Poznaniu charakteryzowali się kierowcy o najmniejszym oraz największym stażu w kierowaniu samochodem. Kierowcy o stażu od 2 do 5 lat oraz od 5 do 10 lat – wykazywali wyższy poziom wiedzy, choć i tak nie przekroczył 80%.

Na wykresie 8. Zaprezentowano poziom wiedzy o elementach składających się na inteligentny system sterowania ruchem w zależności od przeciętnego miesięcznego przebiegu samochodu.



Wykres 8. Poziom znajomości elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a przeciętny miesięczny przebieg samochodu

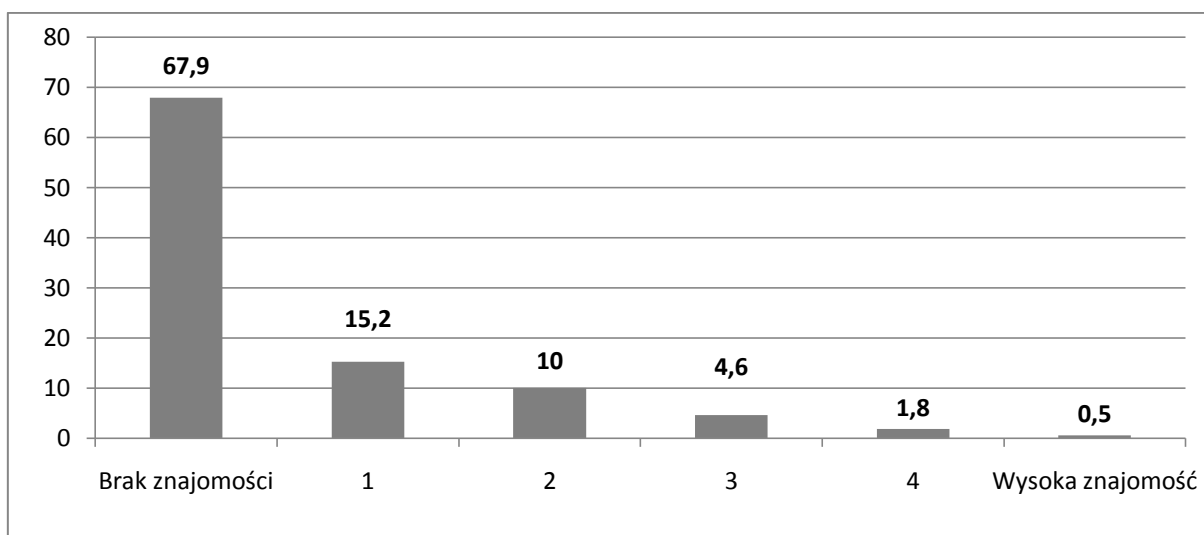
Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 88.

Patrząc na powyższy wykres należy zauważyć, że poziom wiedzy wzrastał wraz z kolejną wyodrębnioną tutaj kategorią kierowców, a więc najniższy był wśród kierowców o przeciętnym miesięcznym przebiegu do 500 kilometrów, a najwyższy wśród kierowców o przebiegu powyżej 2500 kilometrów. Zaobserwowane różnice uznać należy za statystycznie istotne.

3.4. Znajomość zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami

Kolejnym etapem oceny poziomu wiedzy na temat funkcjonowania inteligentnych systemów sterowania ruchem były pytania o znajomość zachowań, które mogą potencjalnie obniżać skuteczność działania tych systemów. W tabeli 4. przedstawiono rozkład procentowy odpowiedzi na zadane badanym kierowcom pytania. Na podstawie odpowiedzi skonstruowano wskaźnik poziomu znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność funkcjonowania systemu sterowania ruchem. Podobnie jak w przypadku pytań o poziom znajomości elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem w Poznaniu, tak i tutaj zbudowano wskaźnik, który pokazuje ogólny poziom wiedzy. Wskaźnik ten budowano tak, że odpowiedziom twierdzącym na pytania o zachowania, które faktycznie stanowią znaczny problem dla jakości działania systemu sterowania ruchem – tj. dla pytań o: zatrzymywanie się na światłach przed linią zatrzymania, zwalnianie i powolne dojeżdżanie do skrzyżowania, gdy pali się światło czerwone, wjazd na skrzyżowanie, gdy nie ma możliwości zjazdu, zbyt powolne ruszanie po zmianie światła

na zielone oraz jazdę start-stopową – przypisano wartość liczbową 1 (odpowiednio odpowiedziom przeczącym wartość liczbową 0), a odpowiedziom twierdzącym na pozostałe 5 pytań o zachowania, które - choć nieprawidłowe – dla jakości systemu nie mają już tak dużego znaczenia, przypisano wartość liczbową -1 (odpowiedziom przeczącym wartość 0). Wskaźnik jest definiowany jako suma punktów przyznanych na podstawie odpowiedzi na każde z dziesięciu pytań, maksymalna wartość wynosi 5 punktów oraz oznacza odpowiedź twierdzącą na wszystkie 5 pytań faktycznych i przeczącą na 5 pytań kontrfaktycznych. Na poniższym wykresie pokazano rozkład wartości uzyskanych z odpowiedzi respondentów w tak skonstruowanej skali.



Wykres 9. Wskaźnik poziomu znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu

Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 91.

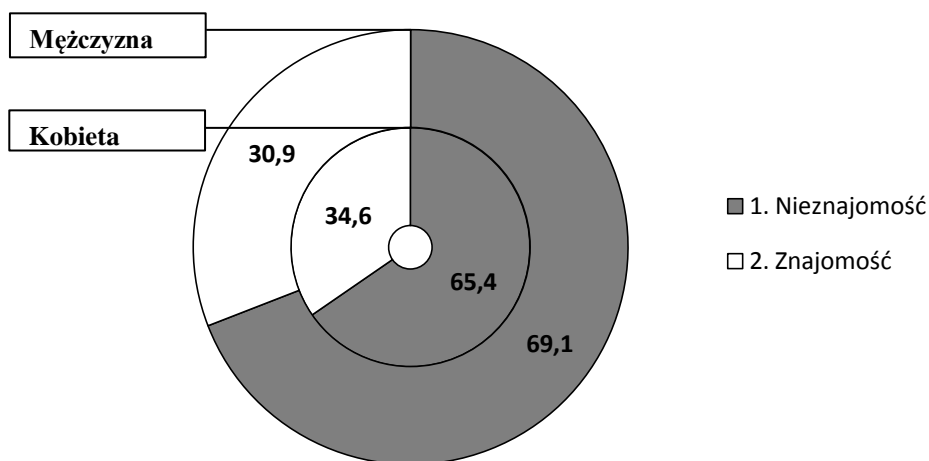
Poziom znajomości zachowań obniżających skuteczność działania systemu jest bardzo niski. Ponad 2/3 badanych nie wie nic o tym, które z wymienionych zachowań obniżają skuteczność działania tego systemu (67,9 %). Jedynie 0,5 % respondentów jest świadome wpływu zachowań kierowców, które obniżają sprawność działania systemu sterowania ruchem w Poznaniu.

| Zachowania kierowców | Rozkład procentowy | |
|---|--------------------|------|
| | tak | nie |
| 1. Zatrzymywanie się na światłach przed linią zatrzymania, by lepiej widzieć sygnalizację świetlną | 38,0 | 62,0 |
| 2. Zwalnianie i powolne dojeżdżanie do skrzyżowania, gdy pali się czerwone światło | 35,2 | 64,8 |
| 3. Zbyt dynamiczna zmiana pasów, z lewego na prawy i odwrotnie | 76,6 | 23,4 |
| 4. Wpuszczanie kierowców z drogi podporządkowanej | 35,7 | 64,3 |
| 5. Wjazd na skrzyżowanie wtedy, gdy nie ma możliwości zjazdu, zatarasowanie przejazdu | 94,3 | 5,7 |
| 6. Włączanie biegu i ruszanie po zmianie światła na zielone dopiero wtedy, gdy samochód przed odjedzie | 80,2 | 19,8 |
| 7. Tzw. jazda start-stop, tzn. szybkie ruszanie na światłach i konieczność zatrzymania na następnych | 51,9 | 48,1 |
| 8. Przejeżdżanie na żółtym lub czerwonym świetle | 62,7 | 37,3 |
| 9. Omijanie kolejki samochodów, np. pasem do lewo- lub prawo skrętu i wepchnięcie się w ostatnim momencie | 89,2 | 10,8 |
| 10. Zbyt bliska jazda za innym samochodem | 50,9 | 49,1 |

Tabela 4. Znajomość zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami

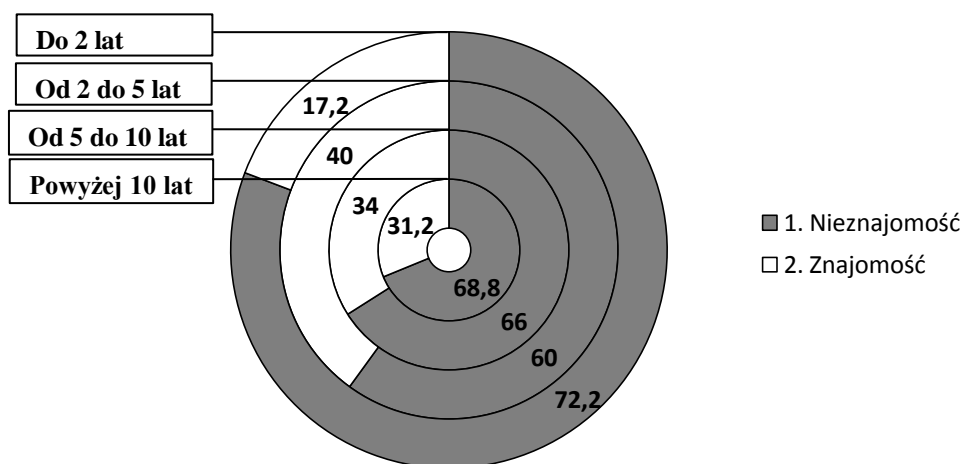
Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 90.

Na poniższych wykresach zobrazowano zróżnicowanie poziomu znajomości mechanizmów obniżających skuteczność funkcjonowania systemu sterowania ruchem ze względu na poszczególne kategorie kierowców.



Wykres 10. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami a płeć

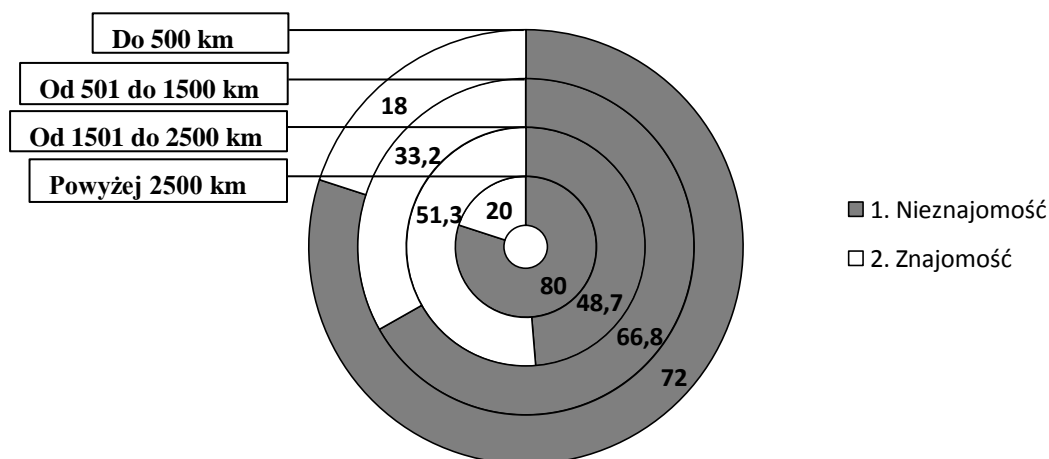
Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 91.



Wykres 11. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami, a okres posiadania prawa jazdy

Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 92.

Najwyższą wiedzę o zachowaniach utrudniających działanie inteligentnych systemów sterowania ruchem wykazywali kierowcy o stażu posiadania prawa jazdy od 2 do 5 lat (uzyskana tutaj wartość 40% jest relatywnie wysoka), natomiast zdecydowanie najmniejszą wiedzą wykazali się kierowcy o najniższym stażu jazdy.



Wykres 12. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami, a przeciętny miesięczny przebieg samochodu

Źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 92.

Największą znajomością zachowań utrudniających działanie mechanizmów inteligentnego systemu wykazali się kierowcy o średnim miesięcznym przebiegu od 1501 do 2500 kilometrów (ponad 51% kierowców tej kategorii poprawnie odpowiedziało

na zadane pytanie). Najmniej wiedzieli kierowcy przemieszczający się miesięcznie do 500 kilometrów (18% poprawnych odpowiedzi) oraz powyżej 2500 kilometrów 20% poprawnych odpowiedzi.

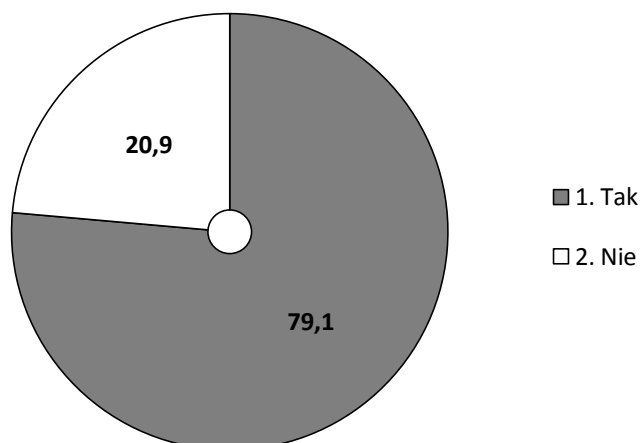
3.5. Uwagi i spostrzeżenia

Kierowcy zasadniczo nie mają żadnej dyskursywnej świadomości funkcjonowania inteligentnego systemu sterowania ruchem. Znacząca ich część w zasadzie nie wie również o jego istnieniu (około 24 %). Ważne jest jednak, że na poziomie świadomości praktycznej zdolność kierowców do współpracy z inteligentnym systemem sterowania ruchem pozostaje bardzo niska. Stoi to w znaczącym kontekście względem gotowości podporządkowania się przez kierowców inteligentnym systemom sterowania ruchem, których celem jest usprawnienie płynności ruchu ulicznego oraz logistyki miejskiej dla dobra mieszkańców aglomeracji oraz wszystkich uczestników ruchu. Jednocześnie samo przekonanie o rzeczywistej inteligencji systemu powinno skłaniać kierowców do podejmowania właściwych działań, które tej systemowej racjonalności nie zakłócają. W związku z tym skłania to do konkluzji, że występuje duża potrzeba przeprowadzania akcji społecznych wyjaśniających logikę funkcjonowania inteligentnych systemów sterowania ruchem.

3.6. Inteligentny system sterowania ruchem w Poznaniu w świadomości studentów Międzynarodowej Wyższej Szkoły Logistyki i Transportu

Poprzednie wyniki badań dotyczące zachowań kierowców i ich wiedzy na temat inteligentnych skrzyżowań oraz systemów nie przedstawiają się doskonale, kierowcy nie posiadają znakomitej wiedzy. W celu porównania poprzednich wyników badań i wniosków z roku 2007 mogłoby się okazać przydatne wykonanie badań w czasie teraźniejszym, czyli w styczniu 2010 roku. Dlatego został przeprowadzony wywiad kwestionariuszowy (podobny do poznańskiego), którego celem było zbadanie wiedzy i zachowań kierowców na temat inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu, wśród studentów MWSLiT. W badaniu wzięło udział 104 studentów Międzynarodowej Wyższej Szkoły Logistyki i Transportu, którym zadano pytania: czy słyszeli o inteligentnym systemie sterowania ruchem/światłami w Poznaniu oraz jakie zachowania kierowców obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem w Poznaniu. Poniższe wykresy szczegółowo przedstawiają odpowiedzi respondentów.

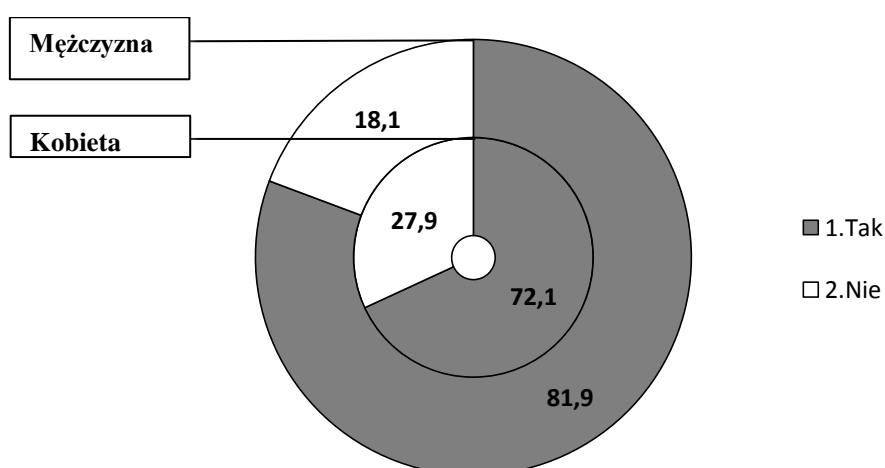
3.6.1. Deklarowana wiedza studentów MWSLiT o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem / światłami w Poznaniu



Wykres 13. Deklarowana wiedza studentów MWSLiT o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem / światłami w Poznaniu

Źródło: Opracowanie własne.

Po wykonaniu nieparametrycznego testu istotności dla dwóch wskaźników struktury można stwierdzić istotnie, że uzyskane wyniki wskaźników odsetkowych w badaniach własnych w styczniu 2010 nie różnią się istotnie na poziomie istotności statystycznej $p > 0.05$ od wyników uzyskanych w 2007 roku.



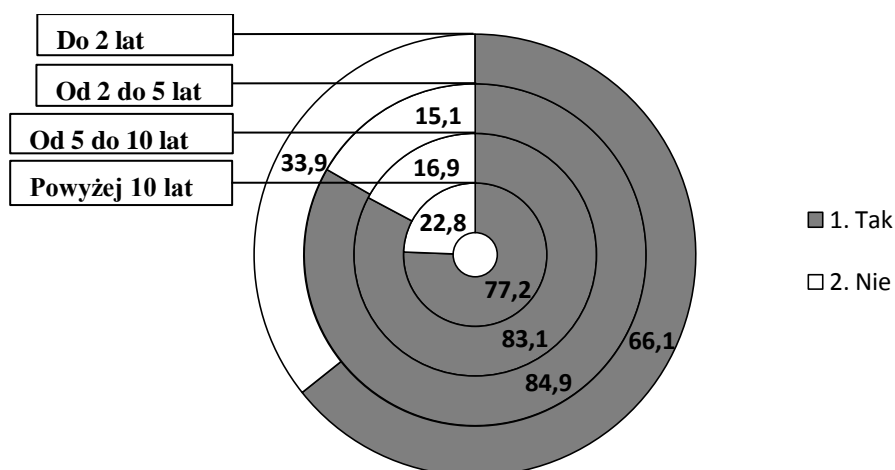
Wykres 14. Deklarowana wiedza studentów MWSLiT o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem / światłami w Poznaniu a płeć

Źródło: Opracowanie własne

Po wykonaniu nieparametrycznego testu istotności dla dwóch wskaźników struktury można stwierdzić istotnie, że uzyskane wyniki wskaźników odsetkowych w badaniach własnych w styczniu 2010 nie różnią się istotnie na poziomie istotności statystycznej $p > 0.05$ od wyników uzyskanych w 2007 roku.

Po wykonaniu nieparametrycznego testu istotności dla dwóch wskaźników struktury można stwierdzić istotnie, że uzyskane wyniki dla mężczyzn wskaźników odsetkowych w badaniach własnych w styczniu 2010 nie różnią się istotnie na poziomie istotności statystycznej $p > 0.05$ od wyników uzyskanych w 2007 roku. Natomiast kobiety istotnie $p = 0,034 < 0.05$ częściej niż w 2007 roku deklarują swoją wiedzę o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem.

Po wykonaniu testu chi-kwadrat niezależności można stwierdzić, że deklarowania widza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem zależy istotnie ($\chi^2(1) = 2,13$, $p = 0,043$) od płci osób badanych. Jak wyżej to opisano wzrosła istotnie wiedza kobiet w 2010 roku i jest niższa niż mężczyzn.

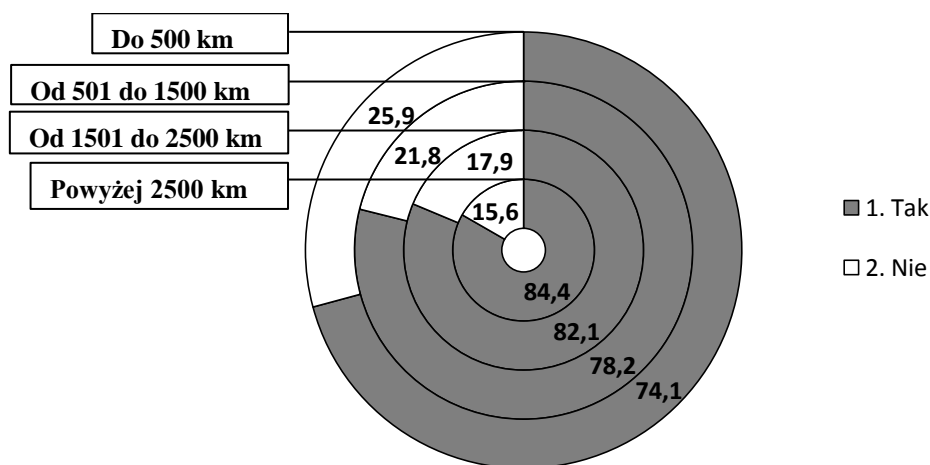


Wykres 15. Deklarowana wiedza studentów MWSLiT o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a okres posiadania prawa jazdy

Źródło: Opracowanie własne

Po wykonaniu nieparametrycznego testu istotności dla dwóch wskaźników struktury można stwierdzić istotnie, że uzyskane wyniki dla mężczyzn wskaźników odsetkowych w badaniach własnych w styczniu 2010 nie różnią się istotnie na poziomie istotności statystycznej $p > 0.05$ od wyników uzyskanych w 2007 roku.

Po wykonaniu testu chi-kwadrat niezależności można stwierdzić, że deklarowania widza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem nie zależy istotnie ($\chi^2(3)=3,11$, $p=0,032$) od okresu posiadanego prawa jazdy. Gdzie wiedza ta jest najmniejsza w 2010 roku u kierowców, którzy prawo jazdy posiadają maksymalnie od dwóch lat.



Wykres 16. Deklarowana wiedza studentów MWSLiT o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a przeciętny miesięczny przebieg samochodu

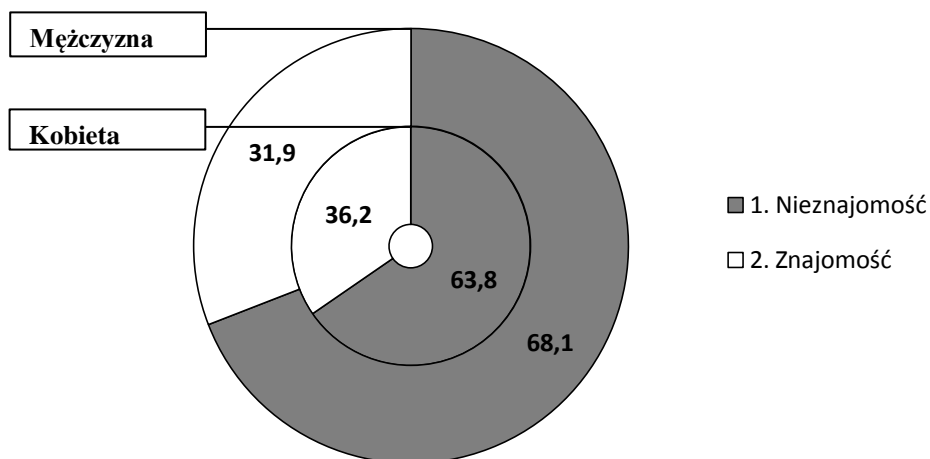
Źródło: Opracowanie własne

Po wykonaniu nieparametrycznego testu istotności dla dwóch wskaźników struktury można stwierdzić istotnie, że uzyskane wyniki dla mężczyzn wskaźników odsetkowych w badaniach własnych w styczniu 2010 nie różnią się istotnie na poziomie istotności statystycznej $p>0.05$ od wyników uzyskanych w 2007 roku.

Po wykonaniu testu chi-kwadrat niezależności można stwierdzić, że deklarowania widza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem nie zależy istotnie ($\chi^2(3)=0,28$, $p=0,122$) od miesięcznego przebiegu samochodu.

Na poniższych wykresach zobraowano zróżnicowanie poziomu znajomości mechanizmów obniżających skuteczność funkcjonowania systemu sterowania ruchem ze względu na poszczególne kategorie kierowców.

3.6.2. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami

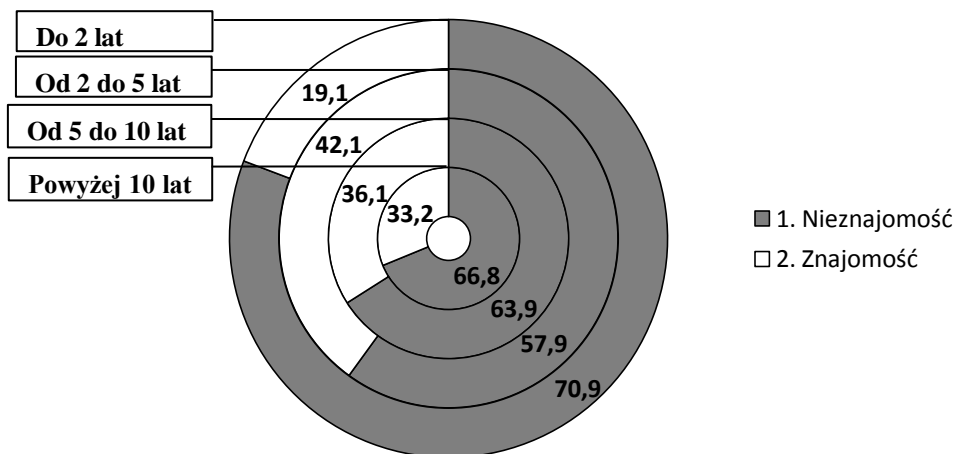


Wykres 17. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami a płeć

Źródło: Opracowanie własne

Po wykonaniu nieparametrycznego testu istotności dla dwóch wskaźników struktury można stwierdzić istotnie, że uzyskane wyniki dla mężczyzn wskaźników odsetkowych w badaniach własnych w styczniu 2010 nie różnią się istotnie na poziomie istotności statystycznej $p > 0.05$ od wyników uzyskanych w 2007 roku.

Po wykonaniu testu chi-kwadrat niezależności można stwierdzić, że deklarowania wiedza o poziomie znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami inteligentnego systemu sterowania ruchem nie zależy istotnie ($\chi^2(1)=0,33$, $p=0,460$) od płci osób badanych.

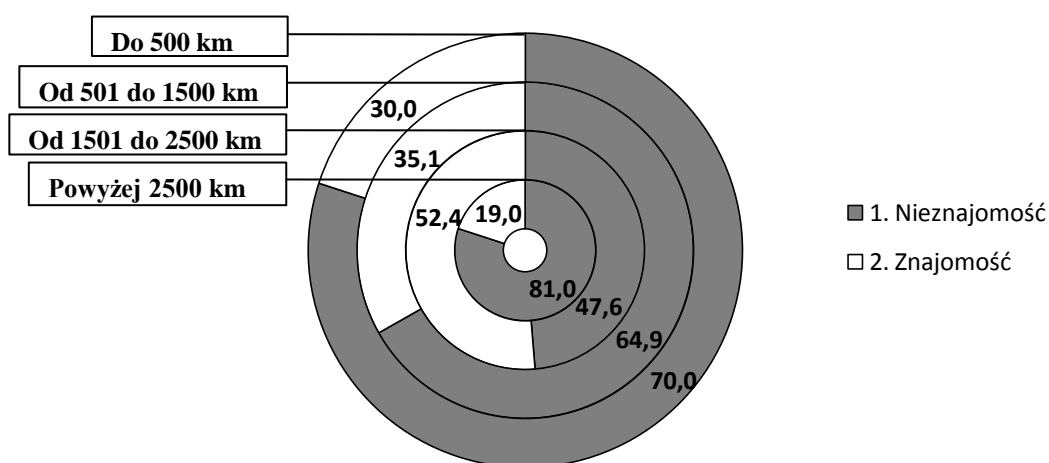


Wykres 18. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami, a okres posiadania prawa jazdy

Źródło: Opracowanie własne

Po wykonaniu nieparametrycznego testu istotności dla dwóch wskaźników struktury można stwierdzić istotnie, że uzyskane wyniki dla mężczyzn wskaźników odsetkowych w badaniach własnych w styczniu 2010 nie różnią się istotnie na poziomie istotności statystycznej $p > 0.05$ od wyników uzyskanych w 2007 roku.

Po wykonaniu testu chi-kwadrat niezależności można stwierdzić, że deklarowania wiedza o poziomie znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami inteligentnego systemu sterowania ruchem nie zależy istotnie ($\chi^2(3)=0,43$, $p=0,366$) od okresu posiadania prawa jazdy



Wykres 19. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami, a przeciętny miesięczny przebieg samochodu

Źródło: Opracowanie własne

Po wykonaniu nieparametrycznego testu istotności dla dwóch wskaźników struktury można stwierdzić istotnie, że uzyskane wyniki dla mężczyzn wskaźników odsetkowych w badaniach własnych w styczniu 2010 nie różnią się istotnie na poziomie istotności statystycznej $p > 0.05$ od wyników uzyskanych w 2007 roku.

Po wykonaniu testu chi-kwadrat niezależności można stwierdzić, że deklarowania wiedza o poziomie znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami inteligentnego systemu sterowania ruchem nie zależy istotnie ($\chi^2(3)=0,41$, $p=0,371$) od przeciętnego miesięcznego przebiegu samochodu

ZAKOŃCZENIE I WNIOSKI

Początki systemów sterowania i zarządzania ruchem w Polsce to 1997 rok, wtedy zainstalowano pierwszy system sterowania i zarządzania ruchem w Poznaniu. Głównym celem tego projektu było wdrożenie systemu sterowania ruchem na skrzyżowaniach, które zależały od tego systemu, nadanie priorytetów komunikacji publicznej oraz wprowadzenie centrum sterowania ruchem. Przez kilka kolejnych lat w żadnym innym mieście w Polsce nie wdrażano podobnych systemów. Jedynie instalowano proste, niezależne sterowniki akomodacyjne umożliwiające optymalne dostosowanie działania sygnalizacji świetlnej do liczby pojazdów jakie przejeżdżają przez skrzyżowanie w określonym kierunku. Największy rozwój we wdrażaniu inteligentnych systemów sterowania ruchem nastąpił około 2004 roku. W tym czasie ogłoszono przetarg na instalacje systemu zarządzania ruchem w Krakowie, którą uruchomiono w 2006 roku, a właściwie pierwszy etap budowy oraz w Warszawie, uruchomienie nastąpiło w 2008 r. Podobnie został zainstalowany system w Rzeszowie (5 skrzyżowań), Gdyni (9 skrzyżowań), Olsztynie (33 skrzyżowania). Obecnie zakończono instalacje systemu sterowania ruchem Łodzi (61 skrzyżowań), planowana jest także rozbudowa systemu w Poznaniu oraz duża inwestycja usprawniająca ruch we Wrocławiu (około 180 skrzyżowań).

W przyszłości systemy sterowania skrzyżowaniami ruchu będą mogły zarządzać ruchem nawet w kilku miastach z jednego miejsca. Inteligentne systemy sterowania skrzyżowaniami ruchu są w Polsce jeszcze stosunkowo nowym rozwiązaniem, jednak ze względu na rosnącą liczbę osób zmotoryzowanych w miastach, władze miejskie coraz częściej decydują się na instalację systemów inteligentnych skrzyżowań w kolejnych sieciach ulic. Aby zmotoryzowani mieszkańcy miast, w których wdrożono inteligentny system sterowania skrzyżowaniami ruchu, mogli w pełni korzystać z jego możliwości powinni także odpowiednio dostosować swój styl jazdy.

Inwestycje w budowę i rozwój systemów zarządzania ruchem będą się rozwijać ze względu na możliwość uzyskania środków unijnych na dofinansowanie tych inwestycji oraz niewątpliwie korzyści dla miast, płynące z zastosowania tych systemów i rozwiązań. Popularność tych systemów będzie stale rosła, umożliwiając miastom rozwiązanie problemów komunikacyjnych, z jakimi borykają się na co dzień. W dobie ciągłego rozwoju cywilizacyjnego, wzrostu liczby osób zmotoryzowanych oraz braku czasu, na który cierpi każdy z nas, problemem stają się zatłoczone miasta, coraz dłuższy czas potrzebny

na pokonywanie określonej trasy i korki w godzinach największego natężenia ruchu. Wówczas najtańszym rozwiązaniem umożliwiającym uporanie się z zaistniałymi problemami miast stają się nowoczesne, inteligentne systemy sterowania i zarządzania ruchem.

W świetle założonego celu, charakterystyki istniejących rozwiązań i systemów, które usprawniają ruch na skrzyżowaniu ulicznymi - a tym samym logistykę miejską – oraz efektywnie nim zarządzają, uważam, że cel został osiągnięty w zdecydowanie dużym stopniu. W trakcie pisania pracy literatura, z której korzystałem pogłębiała moją wiedzę, jednak możliwe jest, że nie dotarłem do wszystkich rozwiązań, które obecnie są stosowane, ze względu na szeroki zakres wiedzy na ten temat, zwłaszcza w literaturze zagranicznej. Uważam, że poruszane przeze mnie kwestie pozwolą wszystkim osobom korzystającym z inteligentnych systemów sterowania skrzyżowaniami ruchu, prawidłowo zrozumieć celowość ich stosowania oraz wpływ na ekonomiczny, ekologiczny i logistyczny aspekt miasta i uczestników ruchu.

Analiza wyników badań, poziomu wiedzy i zachowań kierowców korzystających z inteligentnego systemu sterowania skrzyżowaniami ruchu w Poznaniu pokazała, że znaczna część kierowców nie posiada wystarczającej wiedzy na ich temat, także studenci prezentują podobny poziom wiedzy, który nie różni się istotnie od badań przeprowadzonych na poznańskich kierowcach. Skłania to do konkluzji, jaki poziom wiedzy mają kierowcy, którzy nigdy nie korzystali z systemów inteligentnych skrzyżowań, a które niebawem powstaną w ich mieście. Konieczne jest, zatem informowanie i przeprowadzanie akcji społecznych wyjaśniających logikę funkcjonowania systemów inteligentnych skrzyżowań przed wprowadzeniem ich do użytku, aby osiągnąć znacznie wyższe rezultaty w płynności ruchu miejskiego, które są ważnym celem logistyki miejskiej.

BIBLIOGRAFIA

1. Szymczak M., *Logistyka Miejska*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2008.
2. Tundys B., *Logistyka miejska, koncepcje, systemy, rozwiązania*, Difin Warszawa 2008.
3. Gaca S., Suchorzewski W, Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego, teoria i praktyka*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Warszawa, Warszawa 2008.
4. Leśko M., Guzik J., *Sterowanie ruchem drogowym, sygnalizacja świetlna i detektory ruchu pojazdów*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej Gliwice, Gliwice 2000.
5. Leśko M., Guzik J., *Sterowanie ruchem drogowym, sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej Gliwice, Gliwice 2000.
6. Cichocki P., Jabkowski P., Kaczmarek M., *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna, studium zachowań poznańskich kierowców*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2009.

SPIS RYSUNKÓW

- Rysunek 1. Logistyka miejska (źródło: B. Tundys, *Logistyka miejska*, Difin, Warszawa 2008, s.147).
- Rysunek 2. Podział transportu w mieście (źródło: B. Tundys, *Logistyka miejska*, Difin, Warszawa 2008, s. 115).
- Rysunek 3. Podstawowe manewry pojazdów na skrzyżowaniu (źródło: S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego*, Warszawa 2008, s. 54).
- Rysunek 4. Przykłady rozmieszczenia punktów kolizji (źródło: S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego*, Warszawa 2008, s. 57).
- Rysunek 5. Pomiar parametrów ruchu (źródło: S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego*, Warszawa 2008, s. 116).
- Rysunek 6. Pojazd jako obiekt pomiaru detekcji (źródło: M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja świetlna i detektory ruchu pojazdów*, Gliwice 2000, s. 109).
- Rysunek 7. Schemat blokowy typowego mikrokomputerowego sterownika sygnalizacji świetlnej (źródło: M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*, Gliwice 2000, s. 32).
- Rysunek 8. Przykład rozmieszczenia sygnalizatorów na skrzyżowaniu (źródło: M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*, Gliwice 2000, s. 33).
- Rysunek 9. Schemat funkcjonalny sterownika sygnalizacji świetlnej (źródło: M. Leško, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*, Gliwice 2000, s. 35).
- Rysunek 10. Schemat struktury sterowania systemu SCOOT (S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego*, Warszawa 2008, s. 358).
- Rysunek 11. Zasady modelu ruchu systemu SCOOT (S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego*, Warszawa 2008, s. 358).
- Rysunek 12. Rodzaje detektorów w systemie sterowania UTOPIA-SPOT (S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego*, Warszawa 2008, s. 360).

SPIS TABEL

Tabela 1. Program (algorytm) sygnalizacji (źródło: M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*, Gliwice 2000, s. 34).

Tabela 2. Porównanie generacji metod sterowania ruchem ulicznym (źródło: M. Leśko, J. Guzik, *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*, Gliwice 2000, s. 38).

Tabela 3. Znajomość elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 85).

Tabela 4. Znajomość zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 90).

SPIS WYKRESÓW

Wykres 1. Deklarowana wiedza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 81).

Wykres 2. Deklarowana wiedza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a płeć (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 83).

Wykres 3. Deklarowana wiedza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a okres posiadania prawa jazdy (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 84).

- Wykres 4. Deklarowana wiedza o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a przeciętny miesięczny przebieg samochodu (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 84).
- Wykres 5. Wskaźnik poziomu znajomości elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami w Poznaniu (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 86).
- Wykres 6. Poziom znajomości elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a płeć (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 87).
- Wykres 7. Poziom znajomości elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a okres posiadania prawa jazdy (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 88).
- Wykres 8. Poziom znajomości elementów składających się na inteligentny system sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a przeciętny miesięczny przebieg samochodu (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 88).
- Wykres 9. Wskaźnik poziomu znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 91).
- Wykres 10. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami a płeć (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 91).
- Wykres 11. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami a okres posiadania prawa jazdy (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 92).

- Wykres 12. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami a przeciętny miesięczny przebieg samochodu (źródło: P. Cichocki, P. Jabkowski, M. Kaczmarek, *Inteligentne systemy sterowania ruchem – perspektywa ekspercka a perspektywa potoczna* Poznań 2009, s. 92).
- Wykres 13. Deklarowana wiedza studentów MWSLiT o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem / światłami w Poznaniu (źródło: Opracowanie własne).
- Wykres 14. Deklarowana wiedza studentów MWSLiT o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a płeć (źródło: Opracowanie własne).
- Wykres 15. Deklarowana wiedza studentów MWSLiT o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a okres posiadania prawa jazdy (źródło: Opracowanie własne).
- Wykres 16. Deklarowana wiedza studentów MWSLiT o istnieniu inteligentnego systemu sterowania ruchem/światłami w Poznaniu a przeciętny miesięczny przebieg samochodu (źródło: Opracowanie własne).
- Wykres 17. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami a płeć (źródło: Opracowanie własne).
- Wykres 18. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami, a okres posiadania prawa jazdy (źródło: Opracowanie własne).
- Wykres 19. Poziom znajomości zachowań kierowców, które obniżają skuteczność działania systemu sterowania ruchem/światłami, a przeciętny miesięczny przebieg samochodu (źródło: Opracowanie własne).