

DR WŁADYSŁAW WORNALKIEWICZ, PROF. ANS-WSZIA

Akademia Nauk Stosowanych; Wyższa Szkoła Zarządzania i Administracji w Opolu; e-mail: *wornalkiewicz@poczta.onet.pl*; ORCID: 0009-0007-2241-262X

ITS W RUCHU DROGOWYM MIEJSKIM

STRESZCZENIE

s. 63-86

Restrukturyzacja rolnictwa i ocieplenie klimatu spowodowały intensywny napływ ludności, zwłaszcza z terenów wiejskich, do dużych miast w poszukiwaniu pracy. Odczuwają to także miasta średniej wielkości, jak Opole. Zwiększony ruch pieszych, duża liczba poruszających się pojazdów w obszarze danego miasta, wymusza potrzebę wdrożenia nowych rozwiązań w sterowaniu miejskim ruchem drogowym. Wzorem dużych metropolii takich jak Shanghai, Tokio oraz Londyn stopniowo również polskie miasta wprowadzają tzw. Inteligentne Systemy Transportowe, zwane jako grupa ITS. Opracowanie niniejsze jest poświęcone temu tematowi. Wskazuje działania już podjęte, na przykładzie miasta Opole i daje propozycje dalszych realizacji. Poprzez przeprowadzenie wywiadu wśród uczestników ruchu pieszego, jak i kierowców pojazdów, zebrano oceny dotyczące funkcjonowania jeszcze fragmentarycznych rozwiązań w zakresie ITS. Wskazano do możliwie szybkiej realizacji prowadzenie kolejnych systemów teleinformatycznych, w tym inteligentnej sygnalizacji świetlnej, a także rozwiązań infrastrukturalnych na określonych newralgicznych skrzyżowaniach ruchu miejskiego.

SŁOWA KLUCZOWE

inteligentne systemy transportowe, infrastruktura skrzyżowań, nowoczesna sygnalizacja świetlna.

1. Rozpoznanie literaturowe

Wzrost liczby mieszkańców aglomeracji miejskich oraz wzrost natężenia ruchu drogowego prowadzi do problemów takich jak „korki”, czyli zatory drogowe, zanieczyszczenie powietrza, wzrost liczby wypadków drogowych, czy obniżenie komfortu życia mieszkańców. Zachodzi więc potrzeba wdrożenia nowoczesnych rozwiązań, które pozwolą na bardziej efektywne zarządzanie ruchem drogowym oraz poprawę funkcjonowania infrastruktury miejskiej¹ [1]. Nadzieją w tym zakresie są Inteligentne Systemy Transportowe (ITS – Intelligent Transport Systems), czyli systemy informacyjne i komunikacyjne, które mają na celu świadczenie usług związanych z transportem i zarządzanie ruchem. Tak więc systemy te wykorzystują zaawansowane technologie informacyjne, komunikacyjne oraz sensoryczne, w celu optymalizacji zarządzania ruchem, poprawy bezpieczeństwa na drogach oraz zmniejszenia negatywnego wpływu transportu na środowisko naturalne. Istotną rolę w procesie doskonalenia infrastruktury drogowej odgrywa Instytut Transportu Samochodowego [2].

¹ Opracowanie niniejsze bazuje na zaimplementowanych fragmentach, wykonanej pod kierunkiem autora, pracy magisterskiej - Błażuk-Dworakowska A., Propozycja wdrożenia systemu klasy ITS w ruchu drogowym miejskim (na przykładzie miasta Opola), ANS-WSZiA w Opolu, 2025

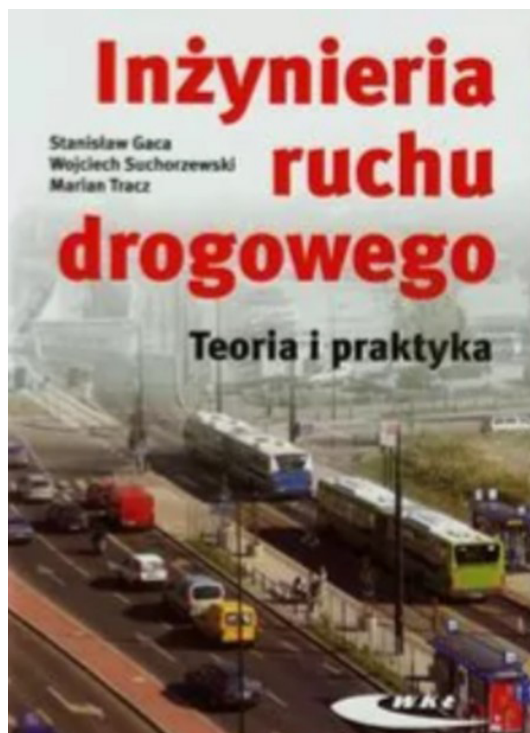
Uwzględniając zagrożenia wynikające z dynamicznego rozwoju motoryzacji i kierując się priorytetami określonymi przez Wspólnotę Europejską w zakresie minimalizacji tych zagrożeń, Instytut Transportu Samochodowego realizuje szereg projektów i inicjatyw naukowo-badawczych, celowych i zamawianych w ramach Funduszy Strukturalnych oraz Programów Ramowych Unii Europejskiej. Prowadzonym pracom przyświeca podstawowy cel, jakim jest poprawa bezpieczeństwa wszystkich uczestników ruchu drogowego oraz ochrona środowiska.

Jak już nadmieniono w przypisie dotyczącym pracy magisterskiej, niniejsze opracowanie odnosi się do przykładu miasta Opole, średniej wielkości aglomeracji, która jak wiele innych w Polsce boryka się z wieloma problemami w obszarze zarządzania ruchem drogowym. Przeprowadzono analizę możliwości wdrożenia ITS w wybranym obszarze ruchu miejskiego. Efektem pracy jest propozycja implementacji wybranych rozwiązań w zakresie zarządzania ruchem drogowym w mieście. Elementem wieńczącym opracowanie jest podanie rekomendacji wdrożenia ITS we wspomnianym mieście, w ograniczonej lokalizacji. Podjęcie tematu rozpoczyna się definicją ITS, wskazaniem wymaganych zmian w infrastrukturze technicznej. Wymieniono także przykłady miast, które z sukcesem wdrożyły zaawansowane systemy transportowe.

Pomocne w sformułowaniu zaleceń były przeprowadzone badania opinii publicznej wśród mieszkańców i kierowców. Z szerokiej gamy możliwości rozwiązań systemów klasy ITS skoncentrowano się na systemach sygnalizacji świetlnej, systemach monitorowania i analizy ruchu w czasie rzeczywistym, oraz narzędziach wspomagających zarządzanie wypadkami i informowaniem kierowców. Szczególny nacisk został położony na identyfikację rozwiązań, które są możliwe do zaimplementowania w warunkach miejskich Opola.

Interesującym podręcznikiem akademickim z zakresu podjętego tematu jest: Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka [3], zob. rys. 1. Podręcznik ten omawia problematykę istotną dla projektowania dróg i organizacji ruchu drogowego (badania, pomiary i analizy ruchu), teorię ruchu drogowego (cechy użytkowników dróg, pojazdy i ich ruch po drodze). Ponadto zajmuje się modelowaniem ruchu drogowego, przepustowością dróg, ulic i skrzyżowań, charakterystyką polityki transportowej i zarządzania ruchem a także:

- organizacją ruchu drogowego (oznakowanie, systemy sygnalizacji oraz sterowania ruchem na drogach miejskich i autostradach;
- priorytetami w ruchu dla środków transportu zbiorowego, parkowaniem, ruchem pieszym i rowerowym oraz bezpieczeństwem ruchu drogowego.



Rys. 1. Strona tytułowa książki „Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka”

Inteligentne Systemy Transportowe stanowią jedno z najbardziej innowacyjnych podejść do zarządzania ruchem drogowym, poprawy bezpieczeństwa na drogach oraz redukcji negatywnego wpływu transportu na środowisko. Jak już nadmieniono, ITS to kompleksowy zbiór technologii informacyjnych, komunikacyjnych oraz sensorycznych, które w połączeniu tworzą narzędzia do optymalizacji funkcjonowania systemów transportowych [4]. Poglądową ilustrację stosowania systemów klasy ITS komunikowania się kierowców z sygnalizacją nad drogą pokazano na rysunku 2.



Źródło: [1, s. 48]; www.newsauto.pl/czyliinteligentne-systemy-transportowe/.
Rys. 2. Przykładowa ilustracja działania ITS

Znaczący postęp w zakresie infrastruktury drogowej i środków telekomunikacyjnych sprawia, że stopniowo powstają enklawy miast inteligentnych. I tu zwróćmy uwagę na książkę „Od inteligentnego transportu do inteligentnych miast” [4] wydaną przez PWN (rys. 3). Marzena Banach w swojej książce przedstawia wnikliwą analizę wyzwań związanych z planowaniem przestrzennym, zwracając uwagę na kluczową rolę, jaką odgrywają nowoczesne systemy transportowe w tworzeniu zrównoważonych miast. Spotykamy tu kompleksowe spojrzenie na temat inteligentnych systemów transportowych oraz interesujące połączenie teorii z przykładami praktycznymi. Ta pozycja bibliograficzna może stanowić inspirację do dalszych badań w dziedzinie urbanistyki i transportu. Jest też cennym materiałem dla osób odpowiedzialnych za planowanie urbanistyczne [4].



Rys. 3. Strona tytułowa książki „Od inteligentnego transportu do inteligentnych miast”

Teraz opisane zostaną najważniejsze systemy stanowiące tzw. ITS [5].
Systemy zarządzania ruchem. Systemy te umożliwiają dynamiczne monitorowanie i kontrolowanie ruchu drogowego. Dzięki zastosowaniu czujników, kamer oraz oprogramowania analitycznego możliwe jest wykrywanie korków, zarządzanie sygnalizacją świetlną oraz kierowanie ruchem w sytuacjach awaryjnych.

Systemy informacji dla podróżnych. Systemy te dostarczają użytkownikom dróg informacji w czasie rzeczywistym, takich jak warunki pogodowe, „korki”, objazdy, czy przewidywany czas dotarcia do celu. Informacje są przekazywane za pomocą aplikacji mobilnych, tablic informacyjnych i radia.

Systemy zarządzania flotą. Stosowane głównie w transporcie publicznym i komercyjnym, systemy te wspierają optymalizację tras, harmonogramowanie oraz monitorowanie pojazdów w czasie rzeczywistym.

Systemy bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Obejmują technologie wspomagające kierowców, takie jak systemy ostrzegania przed kolizją, automatyczne hamowanie awaryjne, czy systemy wspomagania parkowania.

Systemy monitorowania środowiska. Umożliwiają ocenę wpływu ruchu drogowego na środowisko poprzez pomiar emisji zanieczyszczeń, poziomu hałasu oraz innych wskaźników środowiskowych.

Wdrożenie zestawu systemów stanowiących ITS przynosi korzyści dla użytkowników dróg, jak i zarządców infrastruktury transportowej, a mianowicie: poprawę płynności ruchu drogowego, zwiększenie bezpieczeństwa na drogach, ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko, redukcję kosztów zarządzania transportem. Zwróćmy teraz uwagę na przykłady inteligentnych systemów transportowych, częściowo stosowanych już w praktyce w różnych obszarach ruchu drogowego, które wymagają w kontekście miast inteligentnych, w miarę centralnego zintegrowania i nadzorowania [6].

Systemy zarządzania ruchem drogowym

Sygnalizacja świetlna reagująca na ruch: Adaptacyjne sygnalizacje świetlne, które dostosowują czas trwania sygnału do natężenia ruchu, pomagają zminimalizować korki.

Znaki zmiennej treści: Wyświetlanie komunikatów o utrudnieniach w ruchu, objazdach, czy zalecanych trasach, co pozwala kierowcom na podejmowanie świadomych decyzji.

Automatyczne rozpoznawanie tablic rejestracyjnych: wykorzystywane do identyfikacji pojazdów, monitorowania ruchu, a także w systemach parkingowych.

Systemy monitoringu ruchu: Kamery i czujniki pozwalają na śledzenie natężenia ruchu, wykrywanie wypadków i incydentów, a także na analizę danych o ruchu.

Systemy dynamicznej informacji pasażerskiej

Wyświetlacze z informacjami o odjazdach i przyjazdach. Pozwalają pasażerom na bieżąco śledzić informacje o kursach komunikacji miejskiej.

Aplikacje mobilne z informacjami o komunikacji publicznej. Umożliwiają planowanie podróży, zakup biletów, a także śledzenie lokalizacji pojazdów w czasie rzeczywistym.

Systemy nagłośnienia i komunikacji w pojazdach. Umożliwiają przekazywanie komunikatów pasażerom, np. o opóźnieniach, czy zmianach trasy.

Systemy inteligentnego parkowania

Informacja o wolnych miejscach parkingowych. Wyświetlacze na ulicach i w aplikacjach mobilnych informują kierowców o dostępności miejsc parkingowych, co ułatwia znalezienie wolnego miejsca i zmniejsza ruch związany z poszukiwaniem parkingu.

Automatyczne pobieranie opłat za parkowanie. Ułatwiają proces płatności i redukują potrzebę obsługi gotówkowej.

Systemy ostrzegania o kolizjach

Automatyczne hamowanie awaryjne. Systemy, które wykrywają zagrożenie kolizją i automatycznie uruchamiają hamulce, pomagają uniknąć wypadków.

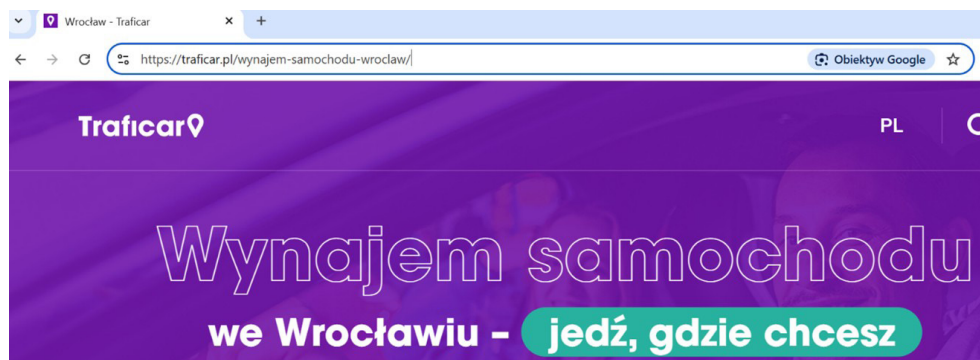
Ostrzeganie o zmianie pasa ruchu. Systemy, które informują kierowcę o niezamierzonej zmianie pasa ruchu, co może zapobiec kolizjom.

Rozwiązania w transporcie zbiorowym

Zarządzanie flotą autobusów i tramwajów. Systemy monitorujące lokalizację i stan techniczny pojazdów, co pozwala na optymalizację tras i harmonogramów.

Systemy sprzedaży i kontroli biletów. Umożliwiają zakup biletów online, za pomocą kart płatniczych, a także kontrolę biletów w pojazdach.

Usługi carsharingu i bikesharingu. Ułatwiają korzystanie z współdzielonych środków transportu. Wymieniony tu carsharing to system, w którym kilka osób korzysta z tej samej floty pojazdów. Użytkownicy rezerwują samochody na krótki okres (minuty, godziny, dni) za pomocą aplikacji i płacą za czas i przejechane kilometry, eliminując koszty związane z posiadaniem własnego auta [7]. Natomiast bikesharing to określenie samoobsługowych wypożyczalni rowerów publicznych w miastach, zlokalizowany głównie w centrach miast, pozwalający wypożyczyć rower na określony czas. W najnowszych systemach wypożyczenie odbywa się najczęściej z użyciem aplikacji mobilnej, a płatność odbywa się automatycznie z doładowanych kredytów lub podpisanej karty płatniczej [8]. Przykład fragmentu strony www firmy wynajmującej samochody we Wrocławiu widzimy na rysunku 4 [9].



Źródło: [9].

Rys. 4. Przykład oferty usługi typu carsharing

2. Konieczność istotnych zmian w infrastrukturze drogowej

Wdrożenie systemów klasy ITS dotyczy zarówno modernizacji już istniejących elementów infrastruktury drogowej, jak i wprowadzenia nowych komponentów technologicznych. Podstawowe elementy modernizacji istniejącej infrastruktury drogowej w określonych obszarach są następujące:

Sygnalizacja świetlna. Wymiana tradycyjnych sygnalizatorów na inteligentne systemy sterowania sygnalizacją, które będą zdolne do dynamicznej zmiany cykli światła w zależności od natężenia ruchu. Wyposażenie sygnalizatorów w sensory wykrywające ruch pojazdów oraz pieszych, co umożliwia dostosowanie ich pracy do aktualnych warunków na drodze.

Przejścia dla pieszych. Zainstalowanie systemów doświetlenia przejść dla pieszych, szczególnie w miejscach o wysokim poziomie ryzyka wypadków. Montaż czujników ruchu, które pozwolą na automatyczne wykrywanie pieszych i aktywację ostrzeżeń dla kierowców.

Monitoring ruchu drogowego. Modernizacja istniejących systemów monitoringu poprzez wprowadzenie kamer wysokiej rozdzielczości z funkcją analizy obrazu w czasie rzeczywistym. Integracja systemów monitoringu z centralnym systemem zarządzania ruchem, co pozwoli na bieżącą analizę sytuacji na drogach.

Ponadto, aby zintegrowany system ITS mógł skutecznie funkcjonować, konieczne jest wprowadzenie nowych następujących elementów infrastruktury technologicznej, w odniesieniu do poszczególnych grup sprzętowych:

Sensory i czujniki drogowe. Instalacja czujników ruchu, temperatury oraz wilgotności na głównych odcinkach dróg. Dane zbierane przez sensory są kluczowe dla podejmowania decyzji w czasie rzeczywistym. Czujniki indukcyjne umieszczane w nawierzchni dróg, które umożliwiają precyzyjne pomiary natężenia ruchu. Sensory ruchu wywodzą się z automatyki przemysłowej. Tam można je spotkać w największej liczbie wariantów. Wykrywacze ruchu doposażają zakłady produkcyjne i fabryki, gdzie służą do obsługi maszyn oraz zwiększają ogólne bezpieczeństwo pracy [10].

Tablice zmiennej treści (VMS). Instalacja elektronicznych tablic informacyjnych w strategicznych lokalizacjach miasta, takich jak wjazdy do centrum, skrzyżowania, czy obwodnice. Tablice VMS przekazują informacje o utrudnieniach w ruchu, objazdach, pogodzie czy czasie przejazdu na danym odcinku.

Stacje pogodowe. Rozbudowa sieci stacji meteorologicznych na terenie miasta, które będą dostarczać informacji o warunkach atmosferycznych, takich jak opady, temperatura czy oblodzenie nawierzchni. Dane pogodowe są podstawowe dla systemów wspomagających zarządzanie ruchem w trudnych warunkach.

Infrastruktura komunikacyjna. Wdrożenie nowoczesnych sieci telekomunikacyjnych, takich jak LTE czy 5G, które zapewnią szybki transfer danych pomiędzy poszczególnymi elementami systemu ITS. Wymieniony tu LTE (Long Term Evolution) to technologia mobilnej transmisji danych, która zapewnia szybki dostęp do Internetu, bazująca na rozwiązaniu 4G [11]. Budowa centrów danych, które będą odpowiedzialne za przetwarzanie i przechowywanie informacji zbieranych przez inteligentne systemy transportowe.

Wdrożenie zestawu inteligentnych systemów transportowych wymaga również modernizacji infrastruktury transportu publicznego, której istotne zmiany powinny objąć:

Systemy lokalizacji pojazdów w czasie rzeczywistym. Wyposażenie autobusów i tramwajów w systemy GPS oraz komunikacji z centralnym systemem ITS. Informowanie pasażerów o przewidywanym czasie przyjazdu pojazdów na przystanki za pomocą aplikacji mobilnych oraz elektronicznych tablic.

Priorytetyzacja transportu publicznego. Wprowadzenie inteligentnych systemów sterowania sygnalizacją, które nadają priorytet pojazdom transportu publicznego, skracając czas ich przejazdu. Modernizacja buspasów oraz budowa nowych dedykowanych tras dla pojazdów komunikacji miejskiej.

Doświadczenia innych dużych miast pokazują, że inwestycje w nowoczesną infrastrukturę zwracają się w postaci płynniejszego ruchu drogowego, większego komfortu użytkowników. Rozwój bowiem nowoczesnych technologii informatycznych (IT) stał się kluczowym elementem wspierającym funkcjonowanie inteligentnych systemów transportowych. Oprogramowanie, które korzysta z zaawansowanych algorytmów, sztucznej inteligencji (AI), analizy danych w czasie rzeczywistym oraz technologii chmurowych, pozwala na efektywniejsze zarządzanie ruchem drogowym i zwiększenie jego bezpieczeństwa. Tak więc oprogramowanie umożliwiające zarządzanie ruchem drogowym wykorzystuje:

Zaawansowane algorytmy sterowania sygnalizacją świetlną. Oprogramowanie analizuje dane w czasie rzeczywistym z kamer, czujników ruchu oraz innych źródeł, aby dostosować działanie sygnalizacji świetlnej. Przykładem są systemy takie jak: SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) czy SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System). SCOOT to adaptacyjny system sterowania ruchem drogowym w czasie rzeczywistym, służący do koordynacji i kontroli sygnalizacji świetlnej w miejskiej sieci drogowej [12].

Systemy symulacji ruchu. Narzędzia takie jak PTV Vissim czy Aimsun pozwalają na modelowanie scenariuszy ruchu drogowego, testowanie rozwiązań i optymalizację infrastruktury bez konieczności wdrażania ich w rzeczywistości.

Zarządzanie incydentami. Moduły te pozwalają na szybkie wykrywanie i reagowanie na zdarzenia drogowe, takie jak wypadki czy awarie, dzięki integracji z systemami monitoringu i informowania kierowców.

Nowoczesne oprogramowanie ITS bazuje na: sztucznej inteligencji (AI), Big Data, Internecie Rzeczy (IoT), technologii chmurowej. Jak już nadmieniono, systemy składowe ITS współpracują z użytkownikami dróg za pomocą: aplikacji mobilnych (Waze, Google Maps); systemów nawigacji w pojazdach, tablic informacyjnych VMS. Nowoczesne oprogramowanie ITS, oparte na technologiach takich jak AI, Big Data, czy IoT rewolucjonizuje zarządzanie transportem drogowym. Wdrożenie takich rozwiązań w średniej wielkości miastach, takich jak Opole, może znacząco poprawić płynność ruchu, zwiększyć bezpieczeństwo i przyczynić się do zrównoważonego rozwoju transportu [1, s. 14].

3. Miasta o zaawansowanej formie stosowania ITS godne naśladowania

Miasta, w których wdrożono zaawansowane systemy ITS, dostarczają cennych przykładów dobrych praktyk, świadcząc jednocześnie o potencjale tych rozwiązań. Wśród nich wyróżniają się Singapur, Londyn, Kopenhaga oraz Tokio. Stowarzyszenie ITS Singapore powstało 26 sierpnia 2001 r. i skupia profesjonalistów, praktyków, naukowców i badaczy zajmujących się inteligentnymi systemami transportowymi [13]. Miasto Singapur od dekad wyznacza standardy w zastosowaniu technologii ITS. Jego kluczowym osiągnięciem jest portal Elektronicznego Poboru Opłat Drogowych (Electronic Road Pricing), wdrożony w 1998 roku. Ten zintegrowany system wykorzystuje technologię radiową i satelitarną do dynamicznego naliczania opłat za korzystanie z dróg w zależności od poziomu zatłoczenia. Efektem jest zmniejszenie ruchu w godzinach szczytu i bardziej efektywne wykorzystanie infrastruktury drogowej.

Rząd Singapuru wdrożył system elektronicznego poboru opłat drogowych ERP, który pobiera opłaty od kierowców, w zależności od pory dnia i lokalizacji. Jest to system opłat drogowych, które są pobierane od kierowców przejeżdżających przez elektroniczny punkt poboru opłat [14]. Władze zmieniają godziny pracy bramownic ERP i kwoty, jakie kierowcy płacą, w zależności od tego, kiedy i gdzie jest duży ruch. Stawki ERP są regularnie weryfikowane i dostosowywane na podstawie warunków ruchu drogowego. Elektroniczny System Pobierania Opłat Drogowych (ERP) działa poprzez sieć elektronicznych bramek rozmieszczonych w strategicznych punktach miasta. Kierowcy pojazdów wyposażeni są w specjalne urządzenia pokładowe (IU lub OBU), które automatycznie naliczają opłatę przy przejeździe pod bramką. Dzięki konsekwentnemu działaniu organizacji Land Transport Authority (LTA) i Ministerstwa Transportu, udało się zredukować korki w godzinach szczytu i zwiększyć udział transportu publicznego. Trzeba jeszcze dodać, że planuje się wdrożenie nowego systemu ERP, opartego na technologii satelitarnej GNSS, który umożliwi naliczanie opłat nie tylko za wjazd do określonych stref, ale również za realną długość przejazdu. GNSS (Global Navigation Satellite System - Globalny System Nawigacji Satelitarnej) to ogólna nazwa dla systemów nawigacji satelitarnej, takich jak amerykański GPS, rosyjski GLONASS, europejski Galileo, czy chiński BeiDou. Systemy te pozwalają na określanie pozycji, prędkości i czasu na Ziemi poprzez pomiar sygnałów wysyłanych przez satelity [15]. Zatem Singapurski system ERP jest przykładem skutecznego wykorzystania nowoczesnych technologii do rozwiązywania problemów miejskich. Ponadto, Singapur wdrożył zintegrowane systemy zarządzania ruchem drogowym, które w czasie rzeczywistym monitorują ruch drogowy za pomocą kamer, sensorów oraz technologii IoT. Informacje są przesyłane do centralnych systemów analitycznych.

Londyn jest znany z wprowadzenia strefy opłat za wjazd do centrum miasta (Congestion Charge Zone) w 2003 roku. System ten łączy technologie ITS, takie jak monitoring kamerami ANPR (Automatic Number Plate Recognition), z polityką transportową zmierzającą do ograniczenia ruchu w środkowej części miasta. Płatności są naliczane automatycznie, na podstawie odczytu tablic rejestracyjnych pojazdów wjeżdżających do strefy. Wprowadzenie stref niskiej emisji (Low Emission Zone, LEZ), to kolejny krok w rozwijaniu ITS w Londynie. System monitoruje emisje pojazdów za pomocą czujników i kamer, zapewniając dostęp do miasta tylko pojazdom spełniającym normy środowiskowe. Inteligentny System Transportowy w Londynie, zarządzany przez Transport for London (TfL), to rozbudowany system, który wykorzystuje technologie informatyczne i komunikacyjne do poprawy efektywności, bezpieczeństwa i zrównoważonego rozwoju transportu w mieście. TfL zarządza metrem (London Underground), autobusami (w tym elektrycznymi), kolejką DLR, a także siecią dróg i rowerów miejskich [16].

Kolejne miasto o zaawansowanym wdrożeniu ITS to Kopenhaga, która jest jednym z najbardziej ekologicznych miast świata. Smartfony mieszkańców Kopenhagi będą przysyłać anonimowo dane do bezprzewodowych czujników zainstalowanych wzdłuż ulic, dzięki czemu sygnalizacja świetlna będzie dostosowywać się do liczby pieszych, rowerzystów i kierowców korzystających z ulic w danej chwili. Będzie się ona też bezpośrednio komunikować z miejskimi autobusami i włączać dla nich na dłużej zielone światło, jeśli będą spóźnione lub przeładowane pasażerami [17]. Tu ITS wspiera również transport rowerowy i publiczny. Miasto zainstalowało inteligentne systemy sygnalizacji świetlnej priorytetowe dla autobusów i rowerów. Czujniki zainstalowane w rowerach oraz pojazdach komunikacji miejskiej komunikują się z systemem sygnalizacji, zapewniając zielone światło dla tych środków transportu. System monitoruje także

jakość powietrza i natężenie ruchu, co pozwala na dynamiczne zarządzanie przestrzenią miejską. Dane z systemów ITS są wykorzystywane w planowaniu ścieżek rowerowych oraz do optymalizacji tras transportu publicznego.

Tokio jako jedno z najbardziej zaludnionych miast na świecie, opiera swoje systemy ITS na optymalizacji transportu publicznego. Systemy zarządzania ruchem metra i kolei miejskich wykorzystują algorytmy predykcyjne oraz analizę danych w czasie rzeczywistym. Inteligentne systemy kontroli pociągów (ATC, Automatic Train Control) zapewniają bezpieczną i wydajną synchronizację kursów. Systemy zarządzania ruchem drogowym w Tokio są ściśle powiązane z systemami informacji dla podróżnych, które dostarczają w czasie rzeczywistym informacji o korkach, warunkach pogodowych i alternatywnych trasach. System metra w Tokio jest często uznawany za jeden z najbardziej efektywnych na świecie. Charakteryzuje się punktualnością, zaawansowanym zarządzaniem ruchem i wysoką częstotliwością połączeń. Kluczem do sukcesu Tokio jest precyzyjna synchronizacja i doskonała koordynacja między różnymi liniami i środkami transportu, co minimalizuje opóźnienia i maksymalizuje wygodę dla pasażerów [18].

Warto, aby doświadczenia zaprezentowanych miast, stanowiły inspirację dla Opola w opracowaniu strategii wdrożenia systemów ITS.

4. Charakterystyka przedsiębiorstwa odpowiedzialnego za ruch miejski

Władze miejskie, dążąc do zapewnienia płynności komunikacyjnej, utrzymania dróg w należytym stanie oraz wdrażania nowoczesnych rozwiązań, tworzą wyspecjalizowane jednostki organizacyjne, które odpowiadają za te zadania. Miejski Zarząd Dróg w Opolu (MZD) jest kluczową instytucją odpowiedzialną za zarządzanie ruchem drogowym oraz utrzymanie infrastruktury drogowej na terenie miasta. Jego działalność obejmuje szeroki zakres obowiązków, poczynając od planowania inwestycji, poprzez nadzór nad realizacją remontów, aż po codzienne utrzymanie czystości i zieleni w obrębie pasa drogowego. Wymieniony Zakład sprawuje przede wszystkim nadzór nad budową, modernizacją i utrzymaniem dróg krajowych, wojewódzkich, powiatowych i gminnych na terenie miasta Opola [19]. W ramach struktury organizacyjnej w skład Miejskiego Zarządu Dróg w Opolu wchodzi następujące komórki organizacyjne [1, s. 21]:

- Dział Księgowo-Finansowy,
- Dział Administracyjno-Gospodarczy,
- Dział Zamówień Publicznych i Planowania Budżetu,
- Dział Mostów,
- Dział Dokumentacji,
- Dział Uzgodnień i Zajęcia Pasa Drogowego,
- Dział Eksploatacji Dróg,
- Dział Realizacji Inwestycji i Nadzoru Budów,
- Dział Inwestycji Unijnych,
- Dział Strefy Płatnego Parkowania,
- Dział Utrzymania Zieleni i Czystości.

Ponadto, ustanowiono jeszcze samodzielne stanowiska: Radca Prawny, Inspektor Ochrony Danych Osobowych, Specjalista ds. Komunikacji Społecznej [1, s. 21].

W ramach podanej ramowej struktury organizacyjnej MZD w Opolu, występuje także komórka ds. zarządzania logistyką drogową, która pełni funkcję operacyjną, analityczną i strategiczną, umożliwiając sprawne zarządzanie ruchem drogowym, koordynację działań związanych z utrzymaniem infrastruktury oraz wprowadzaniem nowoczesnych rozwiązań technologicznych. Jej zadania obejmują zarówno codzienne monitorowanie sytuacji na drogach, jak i długofalowe planowanie inwestycji oraz optymalizację systemu transportowego, a główne obszary jej działalności obejmują:

- planowanie i optymalizację ruchu drogowego,
- zarządzanie sygnalizacją świetlną,
- koordynacja remontów i inwestycji drogowych,
- zarządzanie transportem publicznym i prywatnym,
- kontrola i egzekwowanie przepisów drogowych,
- rozwój systemów ITS.

Komórka ds. zarządzania logistyką drogową Miejskiego Zarządu Dróg w Opolu (MZD) wykorzystuje następujące rozwiązania:

Systemy monitoringu ruchu – kamery, czujniki ruchu oraz systemy GPS, umożliwiające zbieranie danych w czasie rzeczywistym na temat natężenia ruchu, kolizji czy zmian w przepływie pojazdów.

Oprogramowanie do symulacji ruchu drogowego – narzędzia pozwalające na modelowanie ruchu ulicznego, analizę skutków zmian organizacyjnych oraz planowanie nowych rozwiązań transportowych.

Systemy zarządzania parkowaniem – inteligentne systemy kierowania ruchem na parkingach miejskich, aplikacje informujące kierowców o dostępnych miejscach parkingowych.

Aplikacje mobilne dla mieszkańców – informowanie użytkowników o korkach, zmianach w organizacji ruchu oraz możliwościach objazdów.

Systemy dynamicznej informacji pasażerskiej – tablice informacyjne na przystankach, aplikacje mobilne z informacjami o czasie przyjazdu komunikacji miejskiej.

Efektywne zarządzanie logistyką drogową przyczynia się do poprawy jakości życia mieszkańców, redukcji zatorów oraz zwiększenia bezpieczeństwa na drogach. Jednak efektywna ocena funkcjonowania Systemów Inteligentnych Transportu (ITS) oraz identyfikacja potrzeb i oczekiwań mieszkańców w zakresie ich rozbudowy wymagają bezpośredniego zaangażowania społeczności lokalnej i dlatego przeprowadzono sondaż diagnostyczny, posługując się ankietą składającą się z 30 pytań [1, s. 25]. Przeprowadzone badanie wstępne – w formie sondażu diagnostycznego, tylko dla celów opracowania prowadzonej pod moim kierunkiem pracy magisterskiej, obejmuje 35 ankietowanych, a jego liczba jest zbyt mała w stosunku do populacji miasta. Z tego względu zachodzi potrzeba wykonania przez MZD w Opolu w miarę szczegółowego badania pilotażowego, aby wzmocnić wiarygodność wyników.

Pytania miały na celu zbadanie poziomu świadomości mieszkańców Opola na temat istniejących systemów ITS, jak i ocenę ich dotychczasowego funkcjonowania. Ponadto, zidentyfikowanie preferencji i oczekiwań respondentów, w kontekście potencjalnej rozbudowy tych systemów. W formularzu ankiety są też pytania otwarte, w celu zebrania sugestii mieszkańców. Dla przykładu jest to pytanie 14 „Jakie dodatkowe funkcje

systemu ITS chciałbyś/chciałabyś widzieć w Opolu? (proszę zaznaczyć maksymalnie 3 odpowiedzi)”:

*Rozszerzenie inteligentnego sterowania sygnalizacją świetlną na więcej skrzyżowań.
Więcej tablic informacyjnych o bieżących warunkach drogowych.
Aplikacje mobilne z informacjami o dostępnych miejscach parkingowych.
Rozbudowa systemu monitorowania natężenia ruchu w czasie rzeczywistym.
System ostrzegania o kolizjach i wypadkach.
System zarządzania ruchem dla pojazdów transportu publicznego.
Inna odpowiedź.*

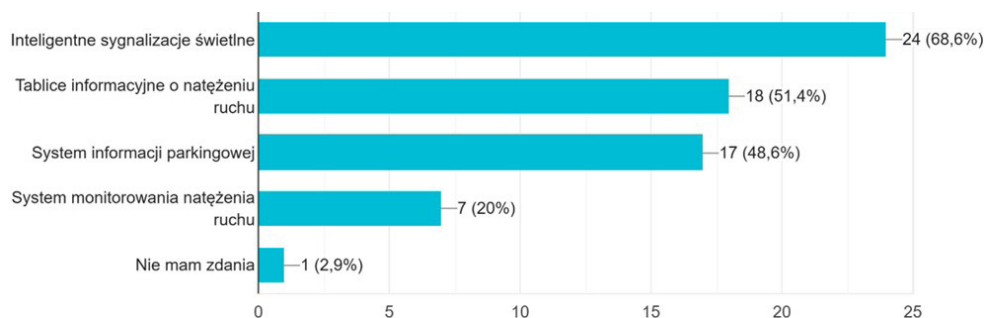
A także zwróćmy uwagę na pytanie 29 „Jaką formę informacji o nowych i rozbudowanych systemach ITS w Opolu preferowałby Pan/Pani? (Można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)”:

*Komunikaty na stronie internetowej miasta
Informacje w mediach lokalnych (prasa, radio, telewizja).
Ulotki i plakaty informacyjne.
Posty w mediach społecznościowych miasta.
Specjalne spotkania informacyjne/konsultacje.*

W pytaniu końcowym poproszono respondentów o bardziej szczegółowe uwagi lub sugestie dotyczące funkcjonowania systemu ITS, lub propozycje wprowadzenia zmian. Wyniki z przeprowadzonego sondażu diagnostycznego zaprezentowano w formie wykresów wykonanych w arkuszu kalkulacyjnym Excel. W grupie 35. ankietowanych dominowały kobiety (74,3%), a główną grupą badawczą były osoby w wieku (41-60) lat. W 60% byli to mieszkańcy Opola. Głównym celem podróży respondentów (przy możliwości udzielenia więcej niż jednej odpowiedzi), był dojazd do pracy (68,6%), a także realizacja zakupów też (68,6%). Zapytani „W jakich godzinach najczęściej podróżują po Opolu (przy możliwości udzielenia więcej niż jednej odpowiedzi), aż 68,9 % odpowiedzi było „Poranki godz. 6.00-9.00”.

Na pytanie „Częstotliwość korzystania z transportu przez respondenta”, odpowiedź „Codziennie” podało 37,1% ankietowanych. Odnośnie rodzaju środka transportu, najczęściej z zaproponowanych opcji, w 80% podano „Samochód”. A teraz zwróćmy uwagę na pytanie „W jaki sposób planowana jest podróż po Opolu?”. Odpowiedziami dominującymi były: spontanicznie, bez planowania (51,4%); mam ustalone trasy i godziny podróży (34,3%). A teraz z ciekawości zainteresujmy się tym, czy respondenci wiedzą, że w Opolu już funkcjonują inteligentne systemy transportowe nadzorowane przez Miejski Zarząd Dróg (MZD). Zaskoczeniem jest „Tak”, gdyż taką odpowiedź podało aż 65,7% ankietowanych. Kolejne pytanie drąży w tym samym kierunku. Swoją wiedzę na temat funkcjonowania ITS z oceną jakościową 3 (w skali 1-5) określiło 9 osób, czyli 25,7% spośród 35. ankietowanych.

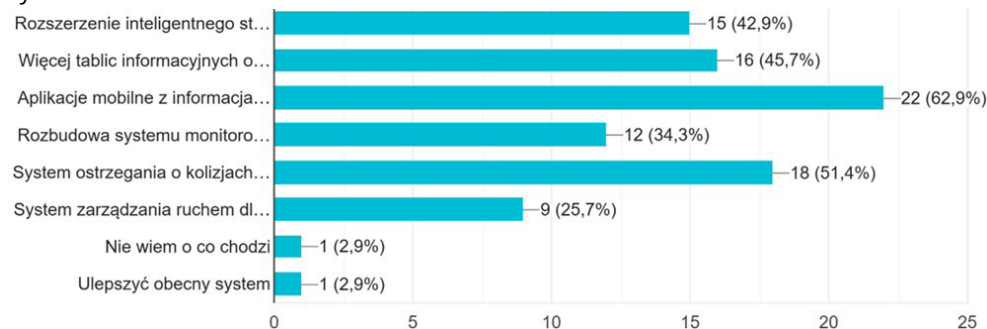
Dalsze pytanie „Czy korzystałeś już z elementów ITS w Opolu, takich jak inteligentne sygnalizacje świetlne, tablice informacyjne o natężeniu ruchu lub systemy parkingowe?” jest bardziej szczegółowe i odpowiedzi „Tak” udzieliło 71,4 % respondentów. Kontynuacją zainteresowania jest pytanie dotyczące oceny działania istniejących systemów klasy ITS w Opolu. Ocenę 3 dało aż 45,7% ankietowanych. I jeszcze następne pytanie, na które odpowiedzi pokazano na rysunku 5. z podaniem liczby osób i procentu ankietowanych.



Źródło: Błażuk-Dworakowska A., Propozycja wdrożenia systemu klasy ITS w ruchu drogowym miejskim (na przykładzie miasta Opolu), op. cit., rys. 15.

Rys. 5. Ocena istniejących rozwiązań ITS

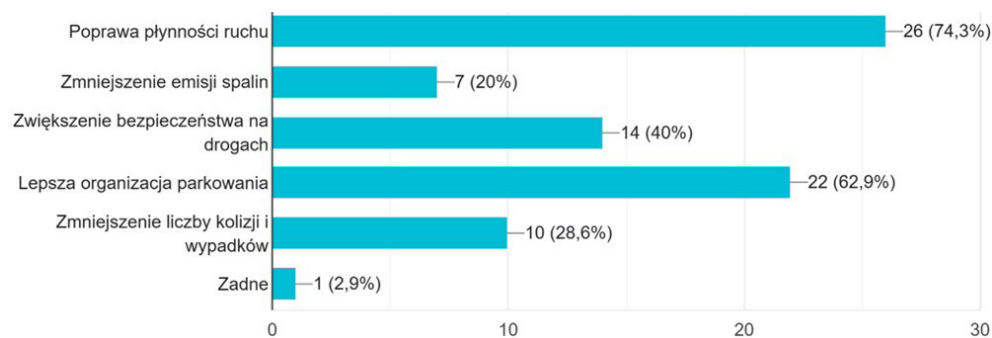
Na podstawie odpowiedzi na pytanie „Jakie dodatkowe funkcje systemu ITS pożądane są przez Ciebie w Opolu (zaznaczyć 3 odpowiedzi)?”, opracowano wykres pokazany na rysunku 6.



Źródło: Błażuk-Dworakowska A., Propozycja wdrożenia systemu klasy ITS w ruchu drogowym miejskim (na przykładzie miasta Opolu), op. cit., rys. 16.

Rys. 6. Ocena istniejących rozwiązań ITS

Dominują zatem „Aplikacje mobilne z informacją o dostępnych miejscach parkingowych (62,9%), a także „System ostrzegania o kolizjach i wypadkach (51,4%). Natomiast na pytanie „Jakie są największe problemy związane z transportem w Opolu (Można zaznaczyć maksymalnie 3 opcje)?” największy udział procentowy w strukturze odpowiedzi uzyskały opcje: korki i zatory drogowe (82,9%); niewystarczająca liczba miejsc parkingowych (54,3%). Znacząca liczba respondentów, bo 37,1% uważa, że wprowadzenie nowych funkcji ITS w Opolu wpłynęłoby na poprawę sytuacji drogowej. W następnym pytaniu – 19. struktura odpowiedzi była jak na rysunku 7.

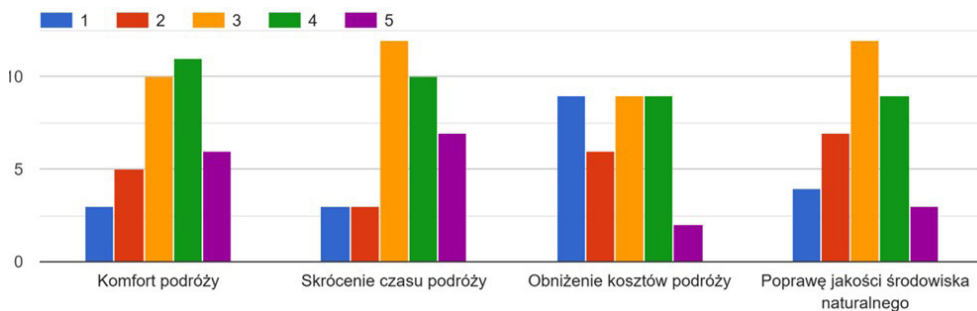


Źródło: Błażuk-Dworakowska A., Propozycja wdrożenia systemu klasy ITS w ruchu drogowym miejskim (na przykładzie miasta Opolu), op. cit., rys. 19.

Rys. 7. Korzyści dalszego rozwijania ITS w Opolu

Na kolejne pytanie ocenę pozytywną „Zgadzam się” odnośnie chęci korzystania w przyszłości z nowych funkcji ITS w Opolu wyraziło 11 osób, na 35 ankietowanych.

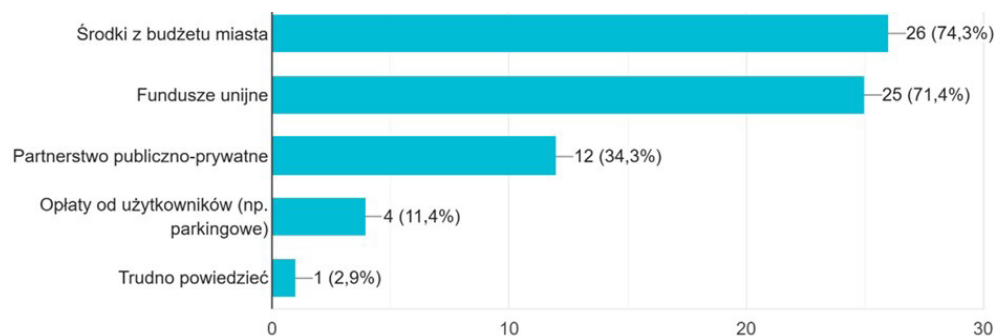
Zainteresujmy się teraz oceną punktową respondentów (w skali 1-5) w odniesieniu do podróży w zakresie: komfortu, skrócenia czasu, obniżenia kosztów, poprawy jakości środowiska naturalnego (zob. rys. 8).



Źródło: Błażuk-Dworakowska A., Propozycja wdrożenia systemu klasy ITS w ruchu drogowym miejskim (na przykładzie miasta Opolu), op. cit., rys. 21.

Rys. 8. Przewidywane cechy wpływu inteligentnych systemów transportowych

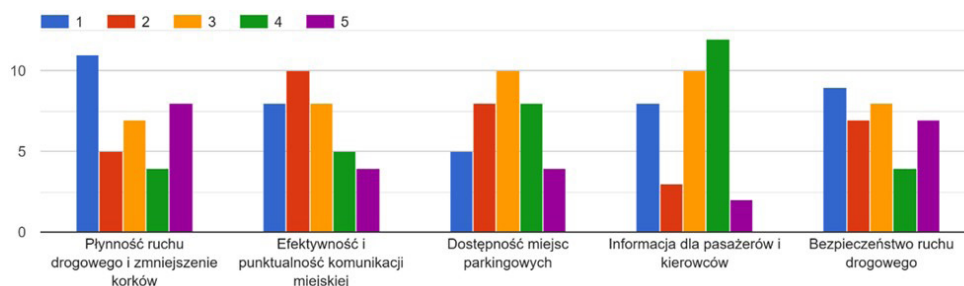
Zapytano 35. ankietowanych „Czy Twoim zdaniem dalszy rozwój systemów określonych skrótem ITS powinien być realizowany przez: zewnętrzne firmy technologiczne, współpracę publiczno-prywatną, Miejski Zakład Dróg w Opolu. Najwięcej, bo 34,3% respondentów opowiedziało się za Miejskim Zakładem Dróg w Opolu. Zwróćmy teraz uwagę, jakie jest odczucie pytanym, odnośnie źródeł finansowania rozwiązań wchodzących w skład grupy zintegrowanych systemów transportowych – ITS (zob. rys. 9).



Źródło: Błażuk-Dworakowska A., Propozycja wdrożenia systemu klasy ITS w ruchu drogowym miejskim (na przykładzie miasta Opolu), op. cit., rys. 23.

Rys. 9. Źródła finansowania systemów ITS

Aż 26 osób, spośród 35. opowiedziało się za środkami z budżetu miasta. W kolejnym pytaniu, dotyczącym obywatelskiego wsparcia inicjatywy wdrożenia ITS, w szerszym zakresie ze swoich środków finansowych, w formie dodatkowego podatku lokalnego jest skłonnych wydać 11,4% ankietowanych. W ankiecie zwrócono się też o opinię 35. ankietowanych odnośnie obszarów wymagających pilnego usprawnienia, poprzez wdrożenie lub rozbudowę systemów ITS - skala 1-5. Graficzne przedstawienie struktur odpowiedzi podgrup ankietowanych w 5. obszarach zaprezentowano na rys. 10.



Źródło: Błażuk-Dworakowska A., Propozycja wdrożenia systemu klasy ITS w ruchu drogowym miejskim (na przykładzie miasta Opola), op. cit., rys. 25.

Rys. 10. Poprawa funkcjonowania transportu miejskiego z zastosowaniem ITS

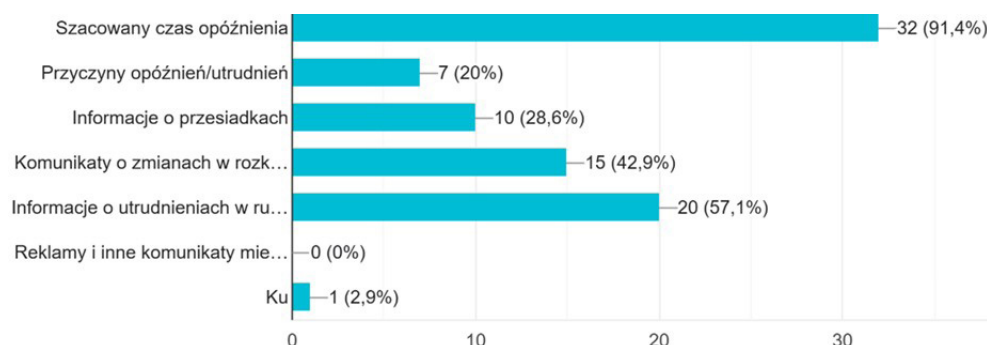
W przypadku rozbudowy w przyszłości systemu dynamicznego sterowania ruchem w Opolu za pomocą rozwiązań ITS, zapytano na jakich typach skrzyżowań powinno się skupić w pierwszej kolejności. Struktura odpowiedzi na tak postawione pytanie była następująca:

- na skrzyżowaniach o największym natężeniu ruchu (57,1%),
- - na skrzyżowaniach w pobliżu szkół i placówek oświatowych (2,9%),
- - na skrzyżowaniach, gdzie często dochodzi do kolizji (14,3%),
- - na wszystkich skierowaniach w obrębie centrum miasta (25,7%).

Zapytano także o przydatne informacje o miejscach parkingowych, uzyskując odpowiedzi np. w aplikacji na smartfona, w ujęciu liczby odpowiadających i struktury procentowej:

- liczba wolnych miejsc na poszczególnych parkingach - w czasie rzeczywistym (28; 80%);
- lokalizacja parkingów – wraz z lokalizacją (12; 34,3%);
- cennik parkingów (12; 34,3%);
- możliwość rezerwacji miejsc parkingowych (10; 28,6%);
- informacje o dostępności miejsc dla osób z niepełnosprawnością (4; 11,4%);
- informacje o możliwościach płatności (8; 22,9%).

Jakie dodatkowe informacje powinny być wyświetlane na elektronicznych tablicach informacji pasażerskiej (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)? To kolejne pytanie zadane grupie 35. ankietowanych, uzyskując odpowiedzi zaprezentowane na rysunku 11.



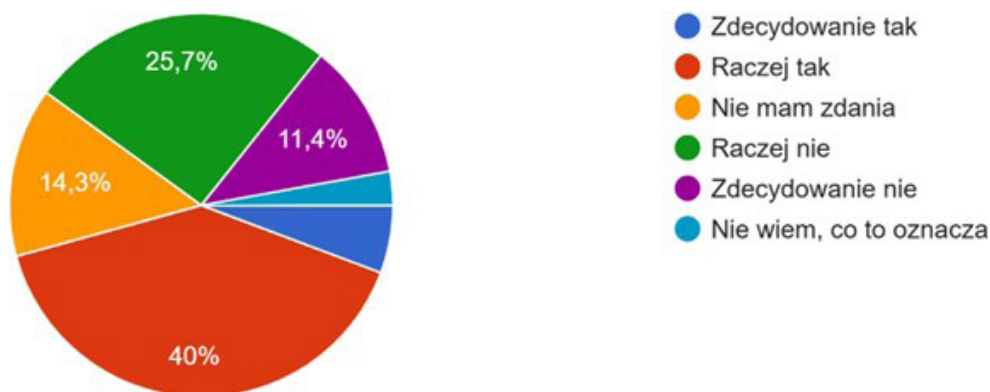
Źródło: Błażuk-Dworakowska A., Propozycja wdrożenia systemu klasy ITS w ruchu drogowym miejskim (na przykładzie miasta Opola), op. cit., rys. 28.

Rys. 11. Dodatkowe informacje na tablicach informacji pasażerskiej

Traktując ankietowanych jako przyszłych uczestników ruchu drogowego miejskiego w Opolu, zadano pytanie „Jakie nowe funkcjonalności powinna posiadać idealna aplikacja mobilna, integrująca usługi transportowe w Opolu (maksymalnie wybrać 3 najważniejsze odpowiedzi)?”. Ranking odpowiedzi był następujący:

*Korki na żywo, zakup biletu do parkowania z podaniem numeru rejestracyjnego, rozkład mzk. Czas opóźnień, zmiany w rozkładzie jazdy, mapa przystanków.
Zintegrowany system planowania podróży i zakupu biletów.
Informacje w czasie rzeczywistym – aktualizacje o odjazdach, opóźnieniach, dostępności pojazdów współdzielonych tj. hulajnóg, rowerów).
Personalizacja i ekologiczna analiza trasy.*

Na pytanie „Czy jesteś skłonny udostępnić anonimowe dane, dotyczące swoich podróży tj. lokalizację, preferowane trasy po mieście Opole, w zamian za bardziej spersonalizowane informacje i usługi ze strony systemów ITS, struktura odpowiedzi była jak na rysunku 12.



Źródło: Błażuk-Dworakowska A., Propozycja wdrożenia systemu klasy ITS w ruchu drogowym miejskim (na przykładzie miasta Opolu), op. cit., rys. 30.
Rys. 12. Zgoda na anonimowe udostępnianie danych

I tak jesteśmy teraz przy pytaniu końcowym „Jaką formę informacji o nowych i rozbudowanych systemach ITS należy preferować?”. Uzyskano następującą strukturę ilościowo-procentowej odpowiedzi:

- komunikaty na stronie internetowej miasta Opole (23; 65,7%);
- informacje w mediach lokalnych tj. prasa, radio, telewizja (11; 31,4%);
- ulotki i plakaty informacyjne (5; 14,3%);
- posty w mediach społecznościowych miasta (21; 60%);
- specjalne spotkania informacyjne/konsultacje (1; 2,9%).

Uwagi ankietowanych w stosunku do obecnego systemu zbliżonego do klasy ITS były następujące:

- jeżdżąc po Opolu, sygnalizacja świetlna wydaje się być losowa, a nie inteligentna, np. stanie na pustych skrzyżowaniach w nocy jest standardem;
- dodatkowe informacje dla osób podróżujących są zawsze nadmierne.

5. Propozycja wdrożenia podstawowych systemów inteligentnych w lokalizacjach strategicznych ruchu miejskiego

Na poziomie Unii Europejskiej podstawowym dokumentem regulującym kwestie ITS jest Dyrektywa 2010/40/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 7 lipca 2010 roku [20], która ustanawia ramy dla wdrażania inteligentnych systemów transportowych w obszarze transportu drogowego oraz dla interfejsów z innymi rodzajami transportu. Dyrektywa ta zobowiązuje państwa członkowskie do opracowania krajowych planów wdrażania ITS oraz wprowadzenia interpretacyjnych i zgodnych z normami europejskimi rozwiązań technologicznych. W ramach dyrektywy Komisja Europejska może wydawać akty delegowane, które precyzują wymagania techniczne dla poszczególnych aplikacji ITS, takich jak systemy zarządzania ruchem, informacja o ruchu drogowym, czy eCall.

W obliczu narastających problemów komunikacyjnych w Opolu, charakteryzujących się okresowymi zatorami drogowymi, wydłużającym się czasem podróży oraz negatywnym wpływem na komfort życia mieszkańców, zasadnym staje się poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań w zakresie zarządzania ruchem [1, s. 48]. Warto w ograniczonym zakresie w pierwszej kolejności wprowadzić inteligentne systemy sygnalizacji świetlnej w strategicznych lokalizacjach miasta Opolu. Ilustrację działającej inteligentnej sygnalizacji świetlnej na ulicy Oleskiej w Opolu pokazano na rysunku 13.



Źródło: <https://www.google.com/maps>.

Rys. 13. Przykład inteligentnej sygnalizacji świetlnej

Inteligentne systemy sygnalizacji świetlnej (Adaptive Traffic Signal Control – ATSC) wdrażane przez Miejski Zarząd Dróg w Opolu, stanowią fundamentalny element nowoczesnego zarządzania ruchem. W odróżnieniu od tradycyjnych, stało czasowych cykli sygnalizacji, systemy ATSC wykorzystują dane z czujników ruchu np. pętle indukcyjne, kamery wideo, radary do dynamicznego dostosowywania długości faz świateł w czasie rzeczywistym. Dzięki temu możliwe jest reagowanie na aktualne natężenie ruchu na poszczególnych wlotach skrzyżowania, optymalizowanie przepływu pojazdów, minimalizacja czasu oczekiwania na światłach oraz redukcja liczby niepotrzebnych zatrzymań [1, s. 49].

Każde państwo członkowskie jest zobowiązane do przygotowania i przedłożenia Komisji krajowego planu działania dotyczącego wdrażania ITS. W Polsce najważniejszym aktem prawnym w zakresie ITS jest Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych [22], która została znowelizowana w celu wdrożenia dyrektywy unijnej. W ustawie tej wprowadzono definicję ITS oraz określono, że zarządcy dróg mają obowiązek stosowania rozwiązań ITS w celu poprawy bezpieczeństwa i efektywności ruchu drogowego. Kolejnym istotnym dokumentem jest Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym [23], w której zawarte są regulacje dotyczące urządzeń służących do nadzoru nad ruchem drogowym, takich jak kamery, czujniki czy systemy automatycznego poboru opłat. Nie można również pominąć dokumentów strategicznych i wykonawczych, takich jak Krajowa Architektura ITS oraz Krajowy Plan Wdrażania ITS, które określają szczegółowe kierunki działań administracji publicznej i podmiotów zarządzających ruchem drogowym. Dokumenty te powstają na podstawie obowiązujących ustaw i rozporządzeń, stanowiąc pomost między przepisami prawa, a praktyką wdrażania nowoczesnych technologii w transporcie.

Adaptacyjne sterowanie ruchem w miejskiej sieci drogowej może znacząco poprawić płynność ruchu na głównych arteriach, skrócić czas podróży dla kierowców i pasażerów komunikacji miejskiej, a także przyczynić się do zmniejszenia emisji spalin, poprzez ograniczenie liczby zatrzymań i przyspieszeń [24]. W cytowanym już opracowaniu zaproponowano pilotażowe wdrożenie inteligentnych systemów sygnalizacji świetlnej na kilku strategicznych skrzyżowaniach w Opolu [1, s. 50]. Wdrożenie wymienionej sygnalizacji wymaga doposażenia w następujące rozwiązania [25]: czujniki ruchu, jednostka centralna sterowania komputerowego z systemem o zaawansowanym algorytmie sterowania ruchem, kontrolery sygnalizacji świetlnej, zapewnienie szybkiej komunikacji między urządzeniami, intuicyjny interfejs użytkownika dla operatorów i inżynierów ruchu.

Bardzo istotny jest odpowiedni wybór doświadczonego dostawcy technologii systemów sygnalizacji świetlnej (ATSC). Ważne jest też ciągłe monitorowanie i optymalizacja systemu ATSC, regularna analiza danych i dostosowywanie parametrów pracy systemu w celu osiągnięcia maksymalnej efektywności [26]. Przewiduje się, że koncentracja na strategicznych skrzyżowaniach sieci drogowej Opola zbuduje zaufanie społeczeństwa i da podstawy dalszej implementacji zaawansowanych technologii ITS.

Wdrożenie, choć w ograniczonym zakresie, systemu monitorowania i analizy ruchu w czasie rzeczywistym stanowi istotny etap w kierunku ITS. Taki system dostarczy danych, które mogą być wykorzystane do optymalizacji istniejących rozwiązań, planowania przyszłych inwestycji oraz informowania uczestników ruchu. Trzeba dodać, że system monitorowania i analizy ruchu w czasie rzeczywistym polega na ciągłym zbieraniu danych o parametrach ruchu drogowego (natężenie, prędkość, zajętość pasów, klasyfikacja pojazdów) za pomocą różnorodnych sensorów i urządzeń [27]. Wdrożenie systemu monitorowania i analizy ruchu przyczyni się do bardziej adekwatnego planowania długookresowego. Przykład tablicy inteligentnego powiadamiania pasażerów pokazano na rysunku 14.



Źródło: Opracowanie na podstawie - Błażuk-Dworakowska A., Propozycja wdrożenia systemu klasy ITS w ruchu drogowym miejskim (na przykładzie miasta Opola), op. cit., rys. 34.

Rys. 14. Inteligentny system powiadamiania pasażerów MZK – tablica informacyjna (ulica Plac Kopernika - Uniwersytet)

Jak już wspomniano, na początek przewiduje się pilotażowe wdrożenie systemu monitorowania i analizy ruchu w czasie rzeczywistym na kilku głównych arteriach wjazdowych/wyjazdowych z Opola oraz na głównych ulicach w centrum miasta. Wdrożenie wspomnianego systemu w Opolu wymagałoby między innymi następującego wyposażenia: sieć sensorów ruchu (pętle indukcyjne, kamery wideo z analizą obrazu, radary i lidary, czujniki Bluetooth/Wi-Fi); sieć komunikacyjna w celu zapewnienie szybkiej transmisji danych z sensorów do centralnego systemu przetwarzania. Ponadto, trzeba zbudować centralny system gromadzenia i analizy danych o odpowiednich serwerach z oprogramowaniem umożliwiającym gromadzenie, przetwarzanie, analizowanie i wizualizację danych o ruchu w czasie rzeczywistym. System powinien także umożliwiać generowanie raportów, alarmów o zdarzeniach oraz udostępnianie danych innym systemom (np. systemowi informacji dla kierowców). Wdrożenie w ograniczonym zakresie systemu monitorowania i analizy ruchu w czasie rzeczywistym na głównych arteriach Opola stanowić będzie strategiczną inwestycję w przyszłość ITS.

I jeszcze kilka zdań dotyczących technologii ITS w zakresie zarządzania wypadkami i informowania kierowców. System Zarządzania Wypadkami ma na celu szybkie wykrywanie, reagowanie i usuwanie skutków wypadków drogowych, minimalizując zakłócenia w ruchu i poprawiając bezpieczeństwo. Wdrożenie tej klasy systemu wymaga jednak sporych nakładów finansowych na [1, s. 57]:

- systemy detekcji (kamery wideo, z analizą obrazu do automatycznego wykrywania wypadków, zatorów i innych zdarzeń drogowych);
- czujniki na drodze (pętle indukcyjne, radary, lidary do monitorowania ruchu i wykrywania nagłych zmian);
- system eCall (automatyczne powiadamianie służb ratunkowych o wypadkach z pojazdów wyposażonych w tę technologię);
- Centrum Zarządzania Ruchem (gromadzenie i analiza danych z systemów detekcji, współpraca ze służbami ratunkowymi, policją i pomocą drogową);
- koordynację działań w celu szybkiego usunięcia skutków wypadków;
- systemy komunikacji (łączność radiowa i telefoniczna między służbami, systemy wymiany danych np. platformy wymiany informacji o ruchu).

Natomiast celem Systemu Informowania Kierowców jest dostarczanie kierowcom aktualnych i wiarygodnych informacji o warunkach ruchu, utrudnieniach i zagrożeniach, umożliwiając im podejmowanie świadomych decyzji. I tu również trzeba rozszerzyć lub zmienić istniejącą infrastrukturę drogową, wprowadzając do praktyki:

- tablice zmiennej treści – VMS (wyświetlanie komunikatów o korkach, wypadkach, objazdach i innych ważnych informacjach);
- systemy nawigacji (integracja z systemami nawigacji w pojazdach i aplikacjami mobilnymi);
- aplikacje mobilne (dostarczanie informacji o ruchu w czasie rzeczywistym, planowanie tras, ostrzeżenia o zagrożeniach);
- radio (nadawanie komunikatów o ruchu drogowym).

Proponowany zakres wdrożenia ITS w Opolu można podzielić na 2 etapy ²:

1. Pilotaż, a w ramach niego: wdrożenie systemu zarządzania wypadkami i informowania kierowców na jednej lub dwóch głównych arteriach wlotowych/wylotowych z Opolu, integracja z centrum zarządzania ruchem, wykorzystanie kamer wideo, czujników na drodze i tablic VMS, opracowanie aplikacji mobilnej dla kierowców w Opolu.
2. Rozszerzenie, obejmujące: rozprzestrzenienie systemu na pozostałe główne arterie i kluczowe ulice w mieście, integracja z systemami nawigacji, współpraca z lokalnymi mediami w celu rozpowszechniania informacji o ruchu.

Przewiduje się, że system zarządzania wypadkami i informowania kierowców w Opolu, nawet w ograniczonym zakresie, przyniesie znaczące korzyści dla bezpieczeństwa i płynności ruchu. Przykład tablicy informacyjnej powiadamiania kierowców pokazano na rysunku 15.



Źródło: Opracowanie na podstawie - Błażuk-Dworakowska A., Propozycja wdrożenia systemu klasy ITS w ruchu drogowym miejskim (na przykładzie miasta Opolu), op. cit., rys. 35.
Rys. 15. ITS - tablica informacyjna dla kierowców (ulica Wrocławska)

W celu zwiększenia przepustowości dróg w Opolu i minimalizacji zatorów, proponuje się wdrożenie w ograniczonym zakresie technologii ITS, skupiające się na systemach proaktywnego zarządzania ruchem i optymalizacji wykorzystania istniejącej infrastruktury. W ramach tego tematu należy wdrożyć System wczesnego ostrzegania

² Aktualna sytuacja w chwili czytania tego materiału może być już nieco odmienna, gdyż cały czas trwają prace modernizacyjne w zakresie przebudowy lub tworzenia nowych inteligentnych rozwiązań transportowych w Opolu.

o potencjalnych zatorach. Wymaga to jednak analizy danych z monitoringu ruchu w czasie rzeczywistym, algorytmów predykcyjnych – prognozujących prawdopodobieństwo powstania zatoru (korka) w określonych lokalizacjach i czasie. Wprowadzenie także w praktyce Systemu powiadamiania, a w ramach niego zainstalowanie tablic zmiennej treści (VMS). Ponadto, opracowania aplikacji mobilnych, w ramach już stosowanych przez użytkownika programów miejskich nawigacyjnych, także doprowadzenie do integracji z systemami nawigacji w pojazdach.

Odrębnym zagadnieniem jest Dynamiczne Zarządzanie Pasami Ruchu, sprowadzające się do zwiększenia przepustowości w określonych kierunkach, w zależności od pory dnia lub natężenia ruchu. Takie zarządzanie wymaga jednak oznakowania zmiennego nad pasami, umożliwiające dynamiczną zmianę przeznaczenia pasów ruchu, a także centralnego systemu kontrolującego oznakowanie zmienne, na podstawie danych z monitoringu ruchu.

Usprawniające zamierzenia, w tym zastosowanie techniki ITS dotyczy też komunikacji miejskiej, przy czym ich celem jest zwiększenie przepustowości dróg dla autobusów. Niezbędnymi rozwiązaniami w tym zakresie są: Systemy detekcji pojazdów komunikacji miejskiej, Inteligentne systemy sygnalizacji świetlnej. Zwróćmy teraz uwagę na proponowany zakres dynamicznego zarządzania pasami ruchu, podzielonymi w Opolu również na dwie fazy:

1. Pilotaż, a w ramach niego:

- wdrożenie systemu wczesnego ostrzegania o zatorach na jednej lub dwóch głównych arteriach wjazdowych/wylotowych,
- testowe wdrożenie dynamicznego zarządzania pasami ruchu na jednym wybranym odcinku drogi,
- priorytety dla komunikacji miejskiej na kilku strategicznych skrzyżowaniach na trasach autobusowych.

2. Rozszerzenie systemu wczesnego ostrzegania o zatorach na pozostałe główne arterie i główne ulice w mieście, wdrożenie dynamicznego zarządzania pasami ruchu na kolejnych odcinkach dróg, priorytety dla komunikacji miejskiej na większej liczbie skrzyżowań.

Wnioski

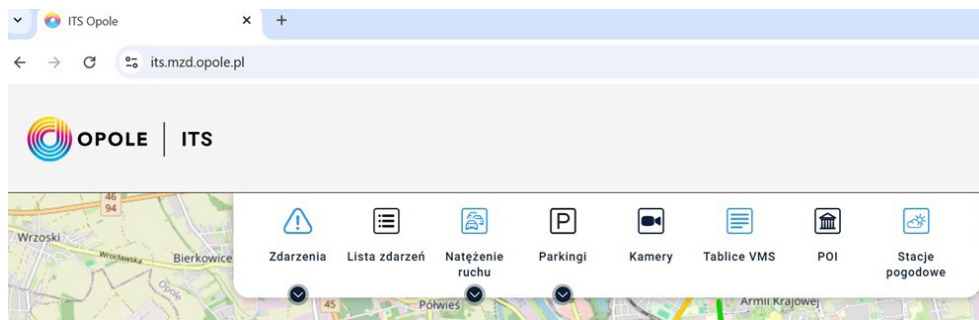
Zwrócenie uwagi na światowe tendencje w zakresie zarządzania ruchem miejskim oraz udogodnień w zakresie informowania użytkowników arterii komunikacyjnych i spojrzenie krytyczne na stan obecny w przykładowym mieście Opolu, moim zdaniem jest impulsem do modernizacji miejskiej infrastruktury drogowej. Cenne jest zebranie opinii m. in. wśród mieszkańców i kierowców Opola na temat niedomagań w ruchu miejskim. Opinie te, uzyskane za pomocą ankiet lub wywiadów, pozwoliły na identyfikację problemów, takich jak korki, brak miejsc parkingowych, czy nieefektywna sygnalizacja. Podkreślono konieczność wdrożenia monitorowania i analizy ruchu w czasie rzeczywistym za pomocą kamer i czujników, co pozwoli na szybkie reagowanie na zmieniające się warunki drogowe.

Istotnym elementem propozycji jest również rozwój systemów zarządzania wypadkami i informowania kierowców, które automatycznie powiadamiają odpowiednie służby ratunkowe. Zaprezentowane rozwiązania dla Opola stanowią realne kroki w kierunku poprawy jakości życia mieszkańców, redukcji zanieczyszczeń oraz zwiększenia bezpieczeństwa na drogach. Stopniowe wdrażanie systemów klasy ITS, jak już nadmieniono, wymaga sporych nakładów inwestycyjnych między innymi na:

- nowoczesne sieci detekcji (czujniki, kamery, radary);
- systemy łączności, przykładem są sieci światłowodowe, LTE, 5G;
- serwery zarządzające i centra monitoringu ruchu;
- oprogramowanie do analizy i wizualizacji danych.

Obecnie, według informacji internetowej, Inteligentne Systemy Transportowe (ITS) w Opolu obejmują w ograniczonym zakresie m. in. monitoring ruchu drogowego na głównych skrzyżowaniach, sterowanie sygnalizacją świetlną, system informacji parkingowej oraz zintegrowane Centrum Zarządzania Ruchem i Transportem Publicznym. System wykorzystuje zaawansowane technologie, takie jak automatyczne rozpoznawanie tablic rejestracyjnych, kamery CCTV i światłowodową sieć transmisji danych [28].

ITS Opole monitoruje natężenie ruchu na 49. kluczowych skrzyżowaniach, co pozwala na bieżącą analizę i optymalizację przepustowości dróg. Nowe Centrum Zarządzania Ruchem i Transportem Publicznym w Opolu koordynuje pracę wszystkich elementów systemu ITS, integrując dane z różnych źródeł i pozwalając na efektywne zarządzanie ruchem. System dysponuje aplikacją dla operatorów, która obejmuje podsystem obszarowego sterowania ruchem SCATS, wykorzystywany do optymalizacji ruchu w konkretnych obszarach miasta, co poprawia płynność ruchu na danym obszarze. Ponadto, można skorzystać z portalu internetowego ITS Opole, na którym można znaleźć informacje o wolnych miejscach parkingowych, warunkach drogowych i innych aspektach związanych z ruchem w Opolu (zob. rys. 16).



Źródło: [29]

Rys. 16. Fragment strony głównej portalu ITS Opole

Bibliografia

- [1] Błażuk-Dworakowska A., Propozycja wdrożenia systemu klasy ITS w ruchu drogowym miejskim (na przykładzie miasta Opola, ANS-WSZiA w Opolu, 2025.
- [2] <https://www.its.waw.pl/4084,pl,Dzialalnosc-naukowa.html>.
- [3] Gaca, S., Suchorzewski, W., & Tracz, M., Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności WKŁ, Sulejówek 2014.
- [4] Banach M., Od inteligentnego transportu do inteligentnych miast, cykl Nowoczesne miasta, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2020, <https://www.newsauto.pl/czyli-inteligentne-systemy-transportowe/>.
- [5] Gaca, S., Suchorzewski, W., & Tracz, M., Inżynieria ruchu drogowego, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2008.
- [6] <https://www.google.com/search?q=inteligentne+systemy+transportowe+przyk%C5%82ady&rlz.....>
- [7] <https://www.google.com/search?q=carsharing+co+to...>
- [8] Feng Chen i inni, Fifth generation of bike-sharing, „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport”, 99, 2018, s. 5–13.
- [9] <https://traficar.pl/wynajem-samochodu-wroclaw/>.
- [10] <https://botland.com.pl/blog/sensor-ruchu-co-to-jest-i-do-czego-sluzyl/>.
- [11] https://www.google.com/search?q=LTE&rlz=1C1FKPE_plPL930PL930&oq...
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/Split_Cycle_Offset_Optimisation_Technique...
- [13] <https://itssingapore.org.sg/about#our-mission>.
- [14] <https://www.singsaver.com.sg/blog/erp-timing-singapore>.
- [15] <https://www.google.com/search?q=GNSS&rlz...>
- [16] <https://www.google.com/search?q=Inteligentny+system+transportowy+w+Londynie...>
- [17] <https://www.spcc.pl/node/15310>.
- [18] <http://pks.ostrowwlkp.pl/analiza-najbardziej-efektywnych-systemow-komunikacji-zbiorowej-na-swiecie>.
- [19] <https://mzd.opole.pl/miejski-zarzad-drog-w-opolu/>.
- [20] Dyrektywa 2010/40/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 7 lipca 2010 r.
- [21] <https://www.google.com/maps>.
- [22] Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych
- [23] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym
- [24] Sokół P., Majcher J., Inteligentne sterowanie sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniach za pomocą mikrokontrolera, Poznan University of Technology Academic Journals, Poznań 2018.
- [25] <https://www.hella.com/techworld/pl/Lounge/Sztuczna-inteligencja-w-sygnalizacji-swietlnej-optimalizuje-ruch-drogowy-91403/>.
- [26] <https://helpfind.pl/blog/sygnalizacja-swietlna-w-praktyce>.
- [27] <https://wedos.protection.pl/real-time-traffic-analysis/>.
- [28] www.google.com/search?q=Przyk%C5%82ady+inteligentnych+system%C3%B3w+transportowych+w+Opolu...
- [29] <https://its.mzd.opole.pl/>.

ITS IN URBAN ROAD TRAFFIC

ABSTRACT

Agricultural restructuring and global warming have caused a significant influx of people from rural areas, especially to large cities, so as to search of work. This phenomenon is also observed in medium-sized cities like Opole. Increased pedestrian traffic and the large number of vehicles in urban areas re-quire the implementation of new solutions in urban traffic management. Following the example of large metropolises such as Shanghai, Tokyo, and London, Polish cities are gradually implementing the so-called Intelligent Transport Systems, also known as ITS. This study includes this topic, that is it presents actions already undertaken in Opole and offers suggestions for further implementation. Interviews with pedestrians and vehicle drivers were the basis of assessments of the functioning of the still fragmented ITS solutions. Further ICT systems, including intelligent traffic lights, as well as infrastructure solutions at specific critical urban intersections, were recommended for rapid implementation.

KEYWORDS

intelligent transport systems, intersection infrastructure, modern traffic lights.



Artykuł udostępniony na licencjach Creative Commons/ Article distributed under the terms of Creative Commons licenses: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0). License available: www.creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/