

**Krzysztof Orłowski**

krzysztof.orlowski@wat.edu.pl; nr ORCID:0000-0003-4852-4359  
Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Logistyki, Instytut Logistyki

# Wybrane aspekty inżynierii ruchu w transporcie drogowym

## *Selected aspects of traffic engineering in road transport*

*Inżynieria ruchu drogowego jest skomplikowaną dziedziną nauki, która podczas projektowania dróg lub organizowania ruchu musi wziąć pod uwagę wiele istotnych czynników. Cały system jest wspomagany przez różnego rodzaju technologie – sygnalizację świetlną, systemy sterowania ruchem, detektory. W referacie podjęto próbę optymalizacji przepustowości wybranego skrzyżowania poprzez modyfikację sygnalizacji świetlnej. W wyniku przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że nawet niewielka zmiana w funkcjonowaniu sygnalizacji świetlnej jest w stanie w znacznym stopniu poprawić przepustowość skrzyżowania.*

*Słowa kluczowe: inżynieria ruchu, sygnalizacja świetlna, optymalizacja.*

*Traffic engineering is a complex field of science that has to take into account many important factors when designing roads or organizing traffic. The whole system is supported by various technologies - traffic lights, traffic control systems, detectors. The paper attempts to optimize the capacity of the selected intersection of roads by modifying the traffic lights. As a result of the conducted calculations, it can be concluded that even a small change in the functioning of traffic lights is able to significantly improve the intersection capacity. Key words: traffic engineering, traffic lights, optimization.*

## **WSTĘP**

Inżynieria ruchu jest to dziedzina inżynierii, która stara się sprostać problemom komunikacyjnym, związanym w dużej mierze z ruchem drogowym. Projektowanie dróg, stosowanie systemów telematycznych, przepływ ruchu, a także jego organizacja i prawidłowe zarządzenia to elementy wchodzące w skład systemu, dzięki któremu możliwe jest sprawne i bezpieczne przemieszczanie osób i towarów. Głównym zadaniem inżynierii ruchu jest projektowanie dróg oraz ciągów pieszych, a także badanie ruchu oraz jego optymalizacja pod kątem płynności i bezpieczeństwa.

Organizacja efektywnego, sprawnego ruchu drogowego w obrębie systemu dróg, uzyskiwana jest głównie przez zmianę natężenia ruchu, regulację skrzyżowań, wyznaczenie pór i miejsc parkowania.

Głównym celem referatu jest analiza ruchu drogowego, oraz ustalenie możliwości poprawy jego funkcjonowania. Aby zrealizować tak zdefiniowany cel przeprowadzono analizę funkcjonowania wybranego systemu technicznego sygnalizacji świetlnej oraz oceniono wpływ czynników dodatkowych na przepustowość obiektu. Obiekt został wybrany ze względu na

panującą w jego otoczeniu kongestię oraz ze względu na doświadczenia autora, ponieważ znajduje się na drodze przejazdu do pracy. Zakłada się, że modyfikacja programu sygnalizacji wpłynie na poprawę płynności ruchu na skrzyżowaniu.

Do zrealizowania tak postawionego celu referatu niezbędne były odpowiednie metody badawcze. Analiza dokumentów, stron internetowych oraz literatury posłużyła do poznania funkcjonowania ruchu drogowego, obserwacja natomiast była pomocna do określenia aktualnych warunków ruchu panujących na badanym obiekcie. Metodykę obliczeniową i wzory do modyfikacji sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu zaczerpnięto z Instrukcji Głównej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDKiA), Instrukcja obliczania Highway Capacity Manual (HCM) 2010.

## **1 ISTOTA INŻYNIERII RUCHU**

### **1.1 Rola człowieka w kształtowaniu inżynierii ruchu**

Inżynieria ruchu jest to dziedzina inżynierii, która stara się sprostać problemom komunikacyjnym, związanym w dużej mierze z ruchem drogowym. Projektowanie dróg, stosowanie systemów telematycznych, przepływ ruchu, a także jego organizacja i prawidłowe zarządzania to elementy wchodzące w skład systemu, dzięki któremu możliwe jest sprawne i bezpieczne przemieszczanie osób i towarów. Holistyczne podejście do systemu ruchu drogowego pozwala wyłonić z niego człowieka i usytuować go w roli jednostki sterującej w połączeniu z drogą oraz pojazdem. Podejście inżynierii ruchu drogowego do problemów poddanych analizie, polega przede wszystkim na rozpatrzeniu obiektu całościowo – traktując go, jako system człowiek-pojazd-droga. Wielkość oraz zaawansowanie systemu związanego z przemieszczaniem się pojazdów przejawia się także w różnorodności celów, do których dąży idea inżynierii ruchu – bezpieczeństwo, wpływ na środowisko, przepustowość, ekonomikę.[1].

Istotną rolę w rozwoju inżynierii ruchu drogowego stanowi człowiek, a szczególnie jego potrzeby. Do głównych źródeł potrzeb transportowych kreowanych przez ludność można zaliczyć potrzeby [2]:

- przestrzenne;
- społeczne;
- ekonomiczne;
- technologiczne;
- kooperacyjne;
- produkcyjne.

Analiza problematyki inżynierii ruchu zaczyna się od centralnego elementu systemu, czyli człowieka. To on jest odpowiedzialny za organizację ruchu na drodze, otaczającą infrastrukturę, a przede wszystkim za sterowanie pojazdów. To właśnie ta czynność przyczynia się do wykorzystania przez człowieka zmysłów, dlatego do rozwiązywania podstawowych problemów ruchu istotna jest wiedza w tym obszarze.

## 1.2 Organizacja ruchu drogowego

Zarządzanie ruchem drogowym to zespół działań mający na celu jak najlepsze wykorzystanie infrastruktury drogowej do stworzenia efektywnie działającego ruchu ulicznego. W skład zespołu działań składającego się na realizację tego celu, wchodzi projektowanie systemu organizacji ruchu, a także następnie jego wdrożenie oraz odpowiednia eksploatacja. Działania te angażują wiele instytucji i służb poczynając od zarządu dróg i policji kończąc na służbach medycznych i pomocy drogowej. Ponadto efektywne starowanie ruchem wiąże się z użyciem zarówno środków masowego przekazu, jak i urządzeń wyposażonych w nowoczesne systemy technologiczne. Prawidłowe zarządzanie ruchem charakteryzuje się szerokim zakresem działania a zwłaszcza monitorowanie aktualnych sytuacji oraz interweniowanie w razie: wypadków, nadmiernego zatłoczenia, nietypowych wydarzeń, czasowych zmian organizacji, jak i klęsk żywiołowych.

Potrzeba, jaką jest stworzenie sprawnie działającego systemu ruchu drogowego jest tym większa im więcej pojazdów porusza się po drogach. To one generują duże natężenie, tłok, korki w godzinach szczytu – generują problemy, z którymi musi poradzić sobie zarząd ruchu w połączeniu z nowoczesnymi systemami. O ile na drogach zamiejskich problem organizacji ruchu nie jest tak duży, to w mieście należy dokonać szczegółowych analiz w celu zaprojektowania dróg o odpowiedniej przepustowości. Do podstawowych celów zarządzania ruchem drogowym można zaliczyć: zwiększenie przepustowości dróg, ułatwienie ruchu pojazdom i pieszym, obniżenie kosztów ruchu, poprawa bezpieczeństwa, zmniejszenie szkodliwego oddziaływania na środowisko, poprawę warunków ruchu w wybranych grupach. Cele te będą możliwe do zrealizowania poprzez stosowanie odpowiednich środków takich jak znaki drogowe poziome i pionowe, sygnalizacja, przepisy ruchu oraz nadzór [4].

Sygnalizacja świetlna jest niezbędnym elementem do prawidłowo funkcjonującego systemu inżynierii drogowej. Jednym z jej głównych zadań jest sterowanie ruchem drogowym i pieszym poprzez podawanie uczestnikom ruchu odpowiednich komunikatów.[5]. Sygnalizacja świetlna wspomagająca sterowanie ruchem na skrzyżowaniu drogowym zapewnia zachowanie płynności poruszania się pojazdów poprzez zmniejszanie czasu oraz liczby

zatrzymania, a przez to oszczędności także w zużyciu paliwa. Jej celem jest odpowiednia organizacja ruchu, jednak nie może być ona tworzona kosztem bezpieczeństwa, które w każdym aspekcie jest najważniejsze. Fazy, które przygotowane plany zarówno dla okresów wzmożonego natężenia ruchu jak i okresów międzyszczytowych. Nowoczesne systemy sygnalizacyjne polegają na stałym monitorowaniu obszarów poprzez odpowiednie detektory oraz generowaniu planów na podstawie dostarczonych danych. Systemy te są systemami scentralizowanymi, które działają poprawnie poprzez właściwą pracę sterownika centralnego. Praca systemów zdecentralizowanych oparta jest na podejmowaniu decyzji sterujących ruchem przez pojedyncze jednostki sterujące znajdujące się na skrzyżowaniach. Centralna jednostka wykorzystywana jest do pełnienia kontroli nad poszczególnymi podsystemami oraz do ewentualnej korekty zarządzania priorytetami na skrzyżowaniach.

Sygnalizacja świetlna umożliwia segregację strumieni pojazdów i pieszych, które przecinają się. Poprzez zarządzanie ruchem oraz wydzielanie konkretnych jego strumieni powoduje zminimalizowanie liczby punktów kolizyjnych, co przekłada się na znaczne poprawienie ogólnego bezpieczeństwa.[6].

## **2 WPLYW INFRASTRUKTURY DROGOWEJ I ROZWIĄZAŃ TECHNICZNYCH NA PŁYNNOŚĆ RUCHU**

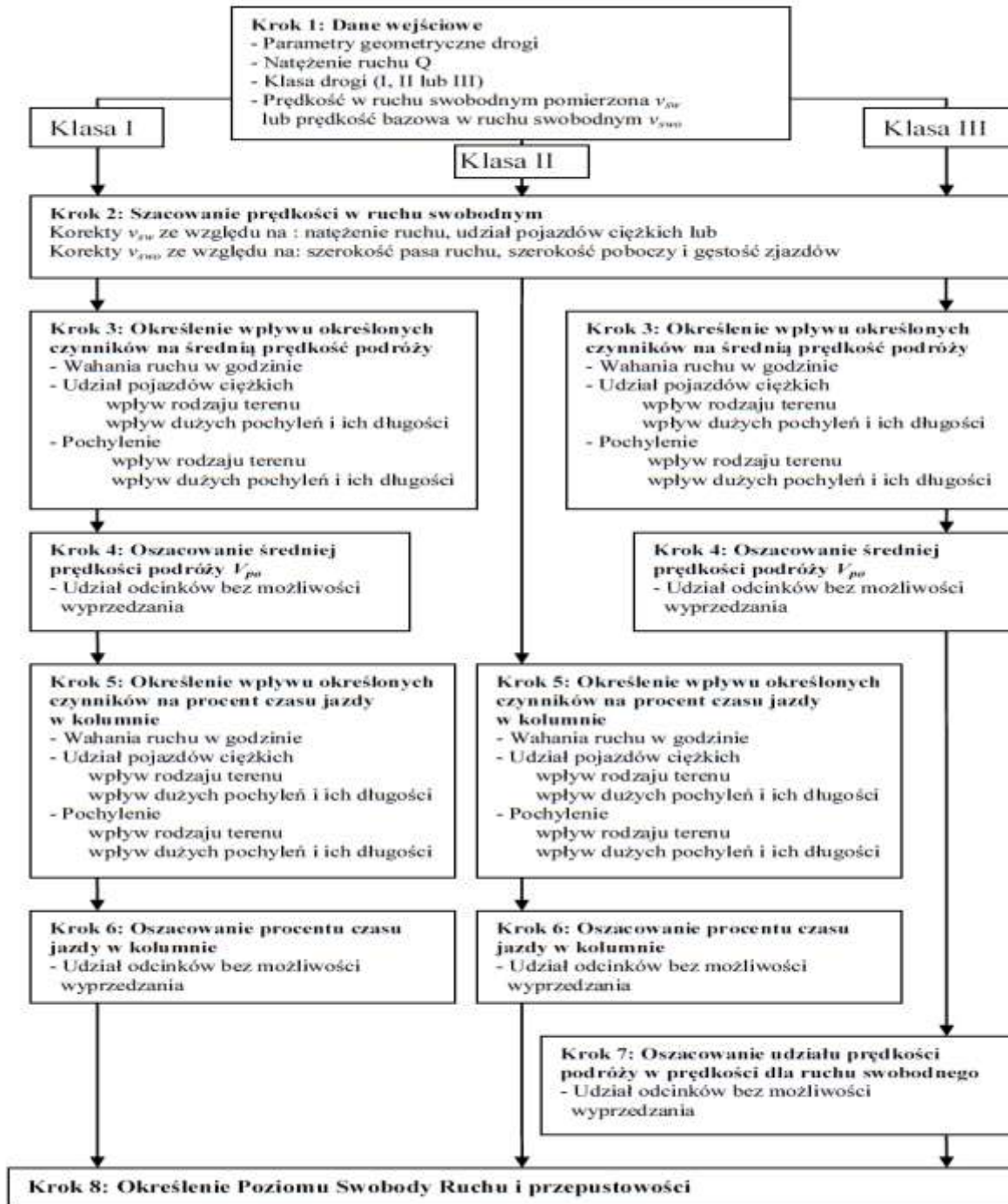
Przepustowość, która bezpośrednio wiąże się z płynnością ruchu jest to największa ilość jednostek, pieszych bądź pojazdów, która może przejechać przez przekrój ulicy w konkretnych warunkach zarówno drogowych jak i ruchowych, w danej jednostce czasu. Zazwyczaj, jako jednostkę czasu przyjmuje się jedną godzinę. Wynika z tego, że przepustowość drogi zależy nie tylko od jej fizycznych cech, ale także od warunków zewnętrznych i zachowań osób kierujących pojazdami. Warunkami zewnętrznymi, czyli drogowymi są cechy geometryczne dróg i ulic, ukształtowania poprzecznego drogi oraz parametry przebiegu wysokościowego. [7].

Ponadto zespół czynników, które mogą mieć wpływ na zachowanie kierujących i tym samym płynność ruchu są warunki ruchowe. W skład nich wchodzi: warunki pogodowe, oświetlenie, znajomość drogi i otoczenia. Przepustowość liczona w tych samych warunkach może się różnić ze względu zmianę określonych czynników w jednostce czasu. Zazwyczaj podczas obliczeń przyjmuje się ustalone warunki panujące w określonych jednostkach czasu. Ważnym pojęciem jest również poziom swobody ruchu, która określa klasyfikację warunków poruszania się po drogach poprzez pryzmat jakości. Idea tych poziomów jest ustalenie liczby klas warunków ruchu od najlepszego wariantu do najgorszego. W inżynierii ruchu określa się

także pojęcie, krytycznego natężenia bezpośrednio związanego z poziomem swobody. Jest to takie natężenie ruchu, przy którym poziom swobody jest utrzymywany na określonym poziomie, po jego przekraczaniu warunki na drodze znacznie pogarszają się.[1].

Warunki ruchu jak i przepustowość dróg są niezwykle istotne przy projektowaniu, budowaniu i późniejszym użytkowaniu. W Polsce z płynnością i przepustowością ruchu związana jest m.in. wspomniana wcześniej instrukcja obliczania przepustowości HCM 2010, która obowiązuje w odniesieniu do dróg dwupasowych dwukierunkowych. Instrukcja ta zawiera niezbędne kroki, które stanowią podstawę do obliczenia przepustowości drogi i tym samym określenia na niej płynności ruchu. [3].

Szczegółowa analiza metodyki HCM przedstawiona jest została ze wszystkimi krokami na rysunku 1.



Rys. 1. Kroki metody HCM 2010

Źródło: Kieć M., Ostrowski K., 2015, *Wybrane aspekty analizy warunków ruchu na odcinkach dróg dwupasowych, dwukierunkowych*, Logistyka, nr 3/2015.

### 3 ANALIZA I OPTIMALIZACJA WYBRANEGO OBIEKTU

### 3.1 Opis wybranego obiektu

Badanym obiektem jest skrzyżowanie w mieście Warszawa zlokalizowane na Mościskach. Punkt skrzyżowania dróg obejmuje ulice: Estrady, 3 Maja oraz Arkuszową. Położenie skrzyżowania w skali miasta zaprezentowano na rysunku 2.

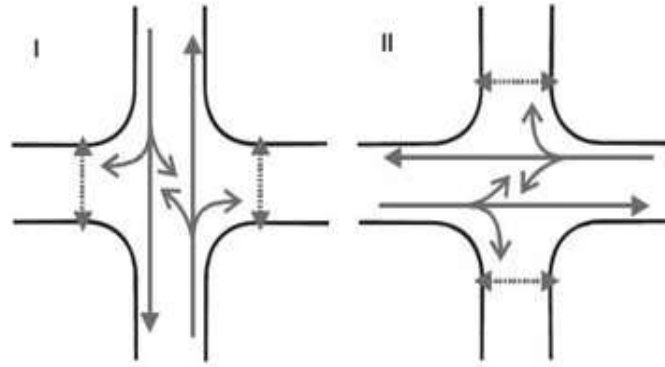


Rys. 2. Lokalizacja badanego skrzyżowania na mapie Warszawy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie google.maps.

Skrzyżowanie to stanowi ważny punkt sieci drogowej, jeśli chodzi o połączenie między Izabelinem, a dzielnicą Warszawy – Bielaniami. Ponadto ulica Radiowa przechodząca w Estrady pozwala na przedostanie się mieszkańcom z dzielnicy Bemowo do miejscowości leżącej pod Warszawą - Łomiankami. Fragment ulicy 3 Maja, a także cała ulica Arkuszowa należą do drogi wojewódzkiej o nr. 898 o łącznej długości 12km.

Jest to skrzyżowanie czterowlotowe współpracujące ze stałą czasową dwufazową sygnalizacją świetlną. Program sygnalizacji podzielony jest na dwie fazy, gdzie pierwsza faza otwiera ruch dla wlotu A oraz C, druga faza natomiast pozwala na przejazd pojazdom znajdującym się na wlotach B i D. Ruch organizowany jest jak na rysunku 3.



Rys. 3. Program sygnalizacji na badanym skrzyżowaniu

Źródło: <http://www.bwir.org/sygnalizacja-swietlna/program-sygnalizacji/>

(stan na 17.03.2019).

Pomimo niewielkich rozmiarów, skrzyżowanie to szczególnie w godzinach szczytu charakteryzuje się dużym natężeniem ruchu na wszystkich wlotach. Z większych obiektów znajdujących się w pobliżu, które w dużej mierze generują ruch są: Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, węzeł przesiadkowy Metro Młociny, Cmentarz Komunalny Północny „Wólka Węglowa”, Wojskowa Akademia Techniczna oraz centrum handlowe Łomianki. Ponadto w pobliżu skrzyżowania zlokalizowane są również obiekty takie jak stacja paliw, supermarkety, sklepy ogrodnicze, salon samochodowy, punkt obsługi pojazdów, szkoła podstawowa czy sala bankietowa. Obiekt ten został przedstawiony na rysunku nr. 4.

Badanie obiektu polegało na analizie warunków ruchu na skrzyżowaniu oraz jego natężenia pod względem przejeżdżających pojazdów. Dane te będą niezbędne do obliczenia przepustowości wlotów oraz określenie stopnia wykorzystania przepustowości w stosunku do rzeczywistego natężenia ruchu. Dane te pozwolą na analizę sytuacji na skrzyżowaniu w warunkach wzmożonego ruchu, a także będą pomocne do jego optymalizacji w zakresie sterowania sygnalizacją świetlną. Badanie przeprowadzono 14 marca między godziną 7:30, a 8:30. Pomiar wykonano techniką obserwacji, zliczając pojazdy przejeżdżające przez skrzyżowanie odpowiednio dla każdego z wlotu. Dane wynikające z pomiarów rzeczywistych przedstawiono w tabeli 1.





Rys. 4. Skrzyżowanie Arkuszowa – Estrady

Źródło: opracowanie własne na podstawie google.maps.

Tab. 1. Dane pomiarowe skrzyżowania

Dane empiryczne		
Nazwa	Jednostka	Wartość
Promień skrętu	m	6
Długość cyklu sygnalizacji	s	80
Długość sygnału zielonego	s	35
Szerokość pasów ruchu	m	3,2
Natężenie ruchu wlot A	[P/h]	601
Natężenie ruchu wlot B	[P/h]	564
Natężenie ruchu wlot C	[P/h]	498
Natężenie ruchu wlot D	[P/h]	413
Natężenie ruchu przechodniów wlot A	[Ps/h]	65
Natężenie ruchu przechodniów wlot B	[Ps/h]	95
Natężenie ruchu przechodniów wlot C	[Ps/h]	36
Natężenie ruchu przechodniów wlot D	[Ps/h]	95
Średnie pochylenie pasa	%	0
Wskaźnik pochylenia pasa	-	-

Źródło: opracowanie własne.

Skrzyżowanie zostało zbadane pod kątem natężenia ruchu, programu sygnalizacji świetlnej oraz rozwiązania geometrycznego. Natężenie ruchu na wszystkich wlotach charakteryzuje się różnorodnymi wartościami. Najwięcej pojazdów, bo aż 601 zarejestrowano na wlocie A znajdującym się na ulicy Estrady od strony warszawskiego Bemowa. Kolejno

drugim wlotem pod względem ilość nadjeżdżających pojazdów był wlot B znajdujący się na ulicy 3 Maja pozwalającym na przejazd aut od Izabelina w Kierunku Bielan, z ilością 564 pojazdów. Wlot C na ulicy Estrady od strony Łomianek, zajmuje trzecie miejsce pod względem intensywności ruchu z liczbą pojazdów 498. Najmniej obleganym wlotem był wlot D znajdujący się na ulicy Arkuszowej od strony warszawskich Bielan z liczbą pojazdów liczącą 413. Jeśli chodzi o ruch pieszych to mimo porannych godzin szczytu nie należy on do licznych. Najwięcej, 95 osób zarejestrowano na przejściach dla pieszych na wlotach B i D, następnie 65 osób korzystało z przejścia na wlocie A, najmniej osób, bo 36 chciało przedostać się na drugą stronę ulicy wlotu C. Ponadto na wlocie D w odległości 80 m od skrzyżowania usytuowany jest przystanek autobusowy. Jest on elementem infrastruktury, który również wpływa na warunki ruchowe na skrzyżowaniu. Średnia liczba autobusów zatrzymujących się tam w ciągu godziny wynosi 7. Długość zatoczki przystankowej to 25m, a autobusy potrzebują średnio 30 sekund na obsługę pasażerów.

Ruch na skrzyżowaniu organizowany jest za pomocą sygnalizacji świetlnej, która działa w sposób cykliczny stało czasowy. Długość całego cyklu sygnalizacji wynosi 80 sekund, natomiast światło zielone, zapewniające przejazd pojazdom jest dostępne przez 35 sekund. Oprócz długości światła zielonego sygnalizacji świetlnej i oraz natężenia ruchu pieszego i samochodowego, istotną rolę do określenia sytuacji na skrzyżowaniu oraz obliczeniu przepustowości odgrywa także rozwiązanie geometryczne badanego skrzyżowania. Promień skrętu pasa ruchu, czyli wewnętrzna krawędź pasa ruchu dla pojazdów skręcających w prawo wynosi 6m. Oprócz promienia skrętu ważną rolę szczególnie w przepustowości tworzy szerokość pasa, po którym poruszają się pojazdy – w tym przypadku jest to 3,2 m. Geometrię skrzyżowania uzupełnia średnie pochylenie pasa ruchu na odcinku 30 m od linii zatrzymania oraz wskaźnik pochylenia pasa ruchu, jednak obie te wartości przyjmują wartość 0 ze względu na brak pochylenia skrzyżowania z którejkolwiek ze stron. Pełna geometria skrzyżowania określa także, wskaźnik położenia pasa ruchu, który w zależności od umiejscowienia skrzyżowania wynosi 0, w momencie, kiedy pas ruchu nie sąsiaduje z chodnikiem oraz 1 w przeciwnym wypadku. Drugim wskaźnikiem jest wskaźnik przejazdu przez torowisko tramwajowe, które również określony jest zero jedynkowo i wynosi 1, w momencie utrudnień przejazdu przez skrzyżowanie spowodowane kolizją z tramwajem oraz 0 w momencie braku kolizji. Wartość wskaźników przedstawiona jest w tabeli 2.

Tab. 2. Dodatkowe wskaźniki określające geometrię skrzyżowania

Nazwa	Ocena	Jednostka	Wartość
$\delta t$ wskaźnik przejazdu przez torowisko	0/1	-	0
$\delta k$ wskaźnik położenia pasa ruchu	0/1	-	1

Źródło: opracowanie własne.

Analiza ruchu pojazdów na skrzyżowaniu obejmuje nie tylko ich zliczenie, ale także ustalenie relacji skrętnych, czyli procentowy udział pojazdów jadących na wprost, skręcających w prawo lub w lewo. Proporcje relacji skrętnych lub jazdy na wprost są odmienne dla każdego z wlotów. Relacje skrętne zależą głównie od wlotu, z którego wychodzą i podyktowane są głównie miejscami, które wynikają z celów podróży. Zebrane relacje podczas pomiaru dla każdego z wlotu przedstawione zostały w postaci tabeli 3.

Tab. 3. Procentowy udział relacji skrętnych oraz jazdy na wprost

Wlot	Procentowy udział pojazdów w relacji		
	Wprost	Prawo	Lewo
A	46%	41%	13%
B	42%	9%	49%
C	40%	36%	24%
D	78%	12%	10%

Źródło: opracowanie własne.

Dane z tabeli pokazują, że najbardziej równomierny rozkład pojazdów jadących w trzech różnych kierunkach następuje na wlocie C. Najwięcej, bo aż 78% pojazdów poruszających się wlotem D jedzie prosto, relację skrętne w lewo bądź prawo są w tym przypadku bardzo niewielkie. Najmniejsza wartość procentową osiągającą 9% przypisana jest pojazdom wjeżdżającym wlotem C, które chcą skręcić w lewo. Największą wartością dla relacji skrętnej w lewo wynoszącą 49% charakteryzuje się wlot B. Oprócz natężenia ruchu samochodowego oraz pieszego, a także relacji skrętnych przedstawionych procentowo, istotne znaczenie w obliczeniach ma również procentowy udział pojazdów ciężkich. Dla każdego z wlotów przedstawiony on został w tabeli 4.

Tab. 4. Procentowy udział pojazdów ciężkich w ruchu na skrzyżowaniu

494

Włot	Procentowy udział pojazdów ciężkich
A	2,6%
B	2,1%
C	2,8%
D	3,2%

Źródło: opracowanie własne.

### 3.2 Przepustowość skrzyżowania

Zarówno drogi jak i różnego rodzaju skrzyżowania posiadają określoną przepustowość, która jest zależna od wielu czynników. Dane przedstawione w poprzednim podrozdziale, a także odpowiednie wzory z instrukcji GDDKiA, pozwolą na obliczenie przepustowości kolejno dla każdego z wlotu badanego skrzyżowania.

Przykładem procedury obliczeń będzie wlot A, który jak pokazują dane z tabelki jest wlotem o największym natężeniu ruchu. Początkowym krokiem jest policzenie nasycenia natężenia ruchu, czyli maksymalnego możliwego odpływu pojazdów z kolejki dla każdej z relacji: wprost, prawo oraz lewo. Nasycenie natężania relacji na wprost obliczane jest z wzoru:

$$S_w = [S_o + 200 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta_i \cdot i] \cdot \frac{1}{1+u_c} \quad (1)$$

gdzie:

$S_o$  – wyjściowe natężenia nasycenia [P/h]; 1900 w momencie, gdy na pasie występują wyłącznie relacje bezkolizyjne; 1700 gdy na pasie występują także relacje skrętne

$w$  – szerokość pasa ruchu;

$\delta_i$  – wskaźnik kierunku pochylenia (1 – wznios, 0 – spadek);

$i$  – średnie pochylenie pasa ruchu na wlocie

$u_c$  – wskaźnik pojazdów ciężkich w ruchu

Do obliczeń wartość wyjściowego natężenia nasycenia przyjęto 1700 ze względu na relacje skrętne występujące na pasie ruchu, które w znacznym stopniu utrudniają przejazd pojazdom kierującym się na wprost. Szerokość pasa ruchu oraz wskaźnik udziału pojazdów ciężki przyjęto z tabel, wskaźnik pochylenia pasa ruchu jak i średnie pochylenie przyjęło wartość zerową. Znaczenie miał również udział w ruchu pojazdów ciężkich, który w przypadku wlotu A wyniósł 2,6%. Po podstawieniu do wzoru wartości nasycenie natężenia pojazdów dla relacji na wprost wlotu A wyniosła 1598. W praktyce oznacza to, że jeśli przez godzinę otwarty by był ruch dla wlotu A oraz żadne relacje skrętne nie przeszkadzałyby w ruchu to przez ten wlot na wprost przejechałoby 1598 pojazdów. Jednak skrzyżowanie dopuszcza także relacje skrętne zarówno w prawo jak i lewo, dlatego też zostaną one uwzględnione oraz przedstawione

w postaci kolejnych obliczeń. Po największym procentowym udziale jazdy na wprost, drugi pod względem częstotliwości na badanym skrzyżowaniu jest skręt w prawo. Natężenie nasycenia dla relacji skrętnej w prawo oblicza się ze wzoru:

$$S_x = S_o + 80 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta_i \cdot i - 160 \cdot \delta_k - 75 \cdot \delta_t \quad (2)$$

$$S_r = S_x \cdot \frac{10^{-3} \cdot R + 1,025}{1 + \frac{2}{R}} \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad (3)$$

gdzie:

$\delta_k$  – wskaźnik położenia pasa ruchu (1 – przy chodniku, 0 – niesąsiadujący z chodnikiem)

$\delta_t$  – wskaźnik przejazdu przez torowisko tramwajowe

$R$  – promień skrętu [m]

Pozostałe oznaczenia jak we wzorze (1)

Po podstawieniu wartości uzyskanych w czasie badań natężenie nasycenia dla relacji skrętnej w prawo wyniosło 1329. Wskaźnik przejazdu przez torowisko tramwajowe przyjmuje wartość 0 ze względu na brak infrastruktury tramwajowej, w przeciwieństwie do wskaźnika położenia pasa ruchu, gdzie wartość 1 oznacza usytuowanie chodnika blisko jezdni skrzyżowania, który w niewielkim stopniu pogarsza ruch na skrzyżowaniu. Liczba ta jednak zostanie poddana redukcji ze względu na wpływ przechodniów, którzy również mają sygnał zielony i tamują ruch pojazdów skręcających w prawo. Współczynnik uwzględniający wpływ ruchu pieszych został obliczone ze wzoru:

$$f_p = 1 - \frac{1}{G_e} \cdot \left[ \frac{1}{\frac{S_r}{(QP \cdot T) + 0,024}} - 1,3 \cdot \sqrt{l} + 1 \right] \quad (4)$$

gdzie:

$QP$  – natężenie ruchu pieszych na przejściach [ps/h]

$l$  – długość drogi dojazdu pojazdów skręcających w prawo, mierzona od linii zatrzymań do kolizyjnego przejścia dla pieszych [m],

$G_e$  – efektywny sygnał zielony [s]

$T$  – długość cyklu sygnalizacji [s]

$S_r$  – natężenie nasycenia dla relacji skrętnej w prawo [p/h]

W przypadku pojazdów skręcających z wlotu A w prawo, obliczając współczynnik uwzględniający wpływ ruchu pieszego należy przyjąć wartość natężenie ruchu pieszego dla wlotu D, który w tym przypadku wynosi 95 osób na godzinę. Ponadto ze względu na małe rozmiary skrzyżowania, odległość drogi od linii zatrzymań do kolizyjnego przejścia dla pieszych jest niewielka i wynosi 6 m. Współczynnik ten poprzez wpływ pieszych utrudniających ruch, zmniejsza liczbę natężenia nasycenia ruchu pojazdów skręcających w prawo, który widoczny jest we wzorze:

$$S_R = S_r \cdot f_p \cdot \frac{1}{1+u_c} \quad (5)$$

gdzie:

$f_p$  – współczynnik uwzględniający wpływ ruchu pieszego

Pozostałe oznaczenia mają takie samo znaczenie

Uwzględniając współczynnik wpływu ruchu pieszego oraz procent natężenia ruchu pojazdów ciężkich, nasycenie natężenia dla relacji skrętnej w prawo wyniosło 1170 pojazdów. W porównaniu z relacją skrętną w prawo na wlocie A w momencie nie uwzględniania wpływu pieszych, widoczna jest znaczna różnica maksymalnego odpływu. Przejście dla pieszych tamuje maksymalny odpływ zmniejszając go o 160 pojazdów w ciągu godziny, co stanowi blisko 12% wszystkich pojazdów chcących skręcać w prawo.

Ostania relacją pozwalającą na obliczenie rzeczywistego natężenia nasycenia na wlocie A jest relacja skrętna w lewo. Jest ona najbardziej kolizyjną relacją ze względu na utrudnienia w przejeździe w postaci kolumny samochodów jadących z przeciwnego wlotu a także ewentualnych pieszych chcących się przedostać nawlocie po stronie lewej. Nasycenie natężenia tej relacji zostało policzone używając do tego wzoru:

$$S_L = [S_{LG} + S_{LM} - S_{LP} \cdot \frac{1}{1+u_c}] \quad (6)$$

gdzie:

$S_{LG}$  – natężenie nasycenia w lukach strumienia priorytetowego [P/h]

$S_{LM}$  – natężenie nasycenia wynikające ze zjazdów pojazdów w czasie między zielonym [P/h].

$S_{LP}$  – poprawka uwzględniająca ruch pieszych [Ps/h].

Pozostałe oznaczenia mają takie samo znaczenie

Powyższy wzór pozwolił uzyskać wartość natężenia nasycenia w liczbie 691 pojazdów. Poprawka uwzględniająca ruch pieszych to liczba pojazdów, o które zostało pomniejszone główne natężenie nasycenia. Podstawą wyliczeń jest natężenie nasycenia w lukach strumienia priorytetowego, czyli liczba pojazdów, które skręcają w lewo w momencie, gdy na przeciwnym pasie ruchu utworzy się wystarczająca przerwa do wykonania bezpiecznego manewru. Wartość ta została powiększona o natężenie nasycenia wynikające ze zjazdów aut w czasie między zielonym, czyli czasie między chwilami zakończenia i rozpoczęcia sygnałów zielonych dla dwóch wzajemnie kolizyjnych strumieni ruchu.

Obliczone wartości nasycenia natężenia wszystkich możliwych relacji wlotu A na skrzyżowaniu pomogą w ocenie oraz w obliczeniach ogólnej wartości nasycenia natężenia na danym wlocie. Nasycenie natężenie musi zostać policzone dla wspólnego pasa, gdyż nie ma osobnych pasów dla relacji skrętnych – wszystkie trzy relacje realizowane są z jednego pasa. Do wyliczeń dla wspólnego pasa posłuży wzór:

$$S_j^w = \frac{1}{\frac{u_l}{s_l} + \frac{u_w}{s_w} + \frac{u_p}{s_p}} \quad (7)$$

gdzie:

$S_l, S_w, S_p$  – natężenia nasycenia na analizowanym pasie ruchu odpowiednio dla relacji w lewo, na wprost, w prawo [P/h]

$u_l, u_w, u_p$  – procentowy udział w ruchu na analizowanym pasie odpowiednio dla relacji w lewo, na wprost, w prawo

Wspólny pas z trzema relacjami po wyliczeniach posiada natężenie nasycenia o wartości 1210 pojazdów na godzinę światła zielonego. Dla porównania wartości natężeń nasycenia dla wszystkich relacji z wlotu A przedstawia tabela 5.

Tab. 5. Natężenie nasycenia dla relacji wlotu A

Natężenie nasycenia dla relacji na wlocie A		
Na wprost	W prawo	W lewo

1598	1170	691
Udział procentowy		
46%	41%	13%

Źródło: opracowanie własne.

Tabela przedstawia wartości natężenia nasycenia dla wszystkich relacji wlotu A. Widoczna jest różnica w maksymalnej liczbie pojazdów mogących opuścić skrzyżowanie, gdzie przyjmuje wartość największą w przypadku jazdy na wprost, najmniejszą zaś dla najbardziej kolizyjnej relacji w lewo. Uzyskana wartość 1210 dla wspólnego pasa jest bliższa natężeniu nasycenia dla relacji na wprost ze względu na największy udział procentowy tej relacji w ruchu na wlocie A, które osiąga wartość 46%.

Ostatnim elementem, który wpływa na przepustowość wlotu jest sygnalizacja świetlna. Istotną wartością jest długość efektywnego sygnału zielonego, który w przeciwieństwie do długości światła zielonego, pomniejszony jest o straty czasu spowodowane ruszaniem oraz chwilą zapalenia się sygnału żółtego. Wartość tą można obliczyć ze wzoru:

$$G_e = G + \dot{Z} - (t_r + t_z) \quad (8)$$

gdzie:

$G$  – długość sygnału zielonego [s]

$\dot{Z}$  – długość sygnału żółtego [s]

$t_r$  – czas tracony na początku sygnału zielonego [s]

$t_z$  – czas tracony na końcu sygnału żółtego [s]

Czas tracony na początku sygnału zielonego trwał przeciętnie 3 sekundy, koniec sygnału żółtego pochłaniał 2 sekundy. Sygnał zielony trwający 35 sekund oraz sygnał żółty 2 sekundowy pozwala uzyskać efektywny sygnał zielony w postaci 32 sekund. Całkowity czas cyklu sygnalizacji na badanym skrzyżowaniu trwa 80 sekund.

Powyższe obliczone wartości posłużą do wyliczenia przepustowości wlotu A. Wcześniejsze obliczenia były konieczne do uwzględnienia wszystkich niezbędnych czynników wpływających na przepustowość wlotu. Wzór, który posłuży do jej obliczenia przedstawia się, jako:

$$C = S \cdot \frac{G_e}{T} \quad (9)$$



gdzie:

$C$  – przepustowość pasa ruchu [P/h]

$S$  – nasycenie natężenia [E/hz]

$G_e$  – długość efektywnego światła zielonego [s]

$T$  – długość cyklu [s]

Wzór na przepustowość pasa pozwolił na obliczenie wartości przepustowości wlotu A w postaci 461 pojazdów na godzinę. Jak widać z powyższego wzoru głównymi czynnikami decydującymi o przepustowości są możliwy maksymalny odpływ pojazdów, który uwarunkowany jest zarówno warunkami ruchowymi jak i geometrią skrzyżowania oraz stosunek długości efektywnego światła zielonego do całkowitej długości cyklu.

Przepustowość wlotu D ze względu na obecność w okolicach wlotu przystanku autobusowego został pomniejszony o współczynnik korygujący. Do jego obliczenia niezbędna była wartość określająca sumaryczne zmniejszenie czasu blokowania na linii zatrzymań w ciągu godziny. Wzór pozwalający obliczyć daną wartość ma postać:

$$t_0 = \frac{l_a}{u_w \cdot l_p} \cdot \frac{3600}{S_j^w} \cdot Q_a \quad (10)$$

gdzie:

$l_a$  – odległość do przystanku do skrzyżowania [m]

$u_w$  – udział w ruchu na analizowanym pasie na wprost [%]

$l_p$  – przeciętna długość stanowiska pojazdu [m]

$S_j^w$  – nasycenie natężenia wspólnego pasa ruchu [P/h]

$Q_a$  – natężenie autobusów zatrzymujących się na przystanku [P/h]

Wartość ta jest niezbędna do wyliczenia współczynnika korygującego uwzględniającego wpływ przystanku autobusowego, który określony jest wzorem:

$$f_a = 1 - \frac{Q_a \cdot t_b - t_0}{3600} \cdot Q_a \quad (11)$$

gdzie:

$t_b$  – średni efektywny czas blokowania przez autobus [s]

$t_0$  – sumaryczne zmniejszenie czasu blokowania na linii zatrzymań w ciągu godziny [s]

Wpływ przystanku położonego nieopodal skrzyżowania oraz częstotliwość kursowania autobusów zmniejszyła przepustowość wlotu z 513 do 497 pojazdów na godzinę.

Przykład pokazuje czynności niezbędne do wyliczenia przepustowości, które zostały zastosowane również w przypadku wlotów B, C oraz D. Dane niezbędne do obliczeń pozostałych wlotów, które można ze sobą porównać zostały przedstawione kolejno w tabelach.

Tabela 6 przedstawia natężenie nasycenia pasa ruchu dla wszystkich relacji w prawo, na wprost i w lewo.

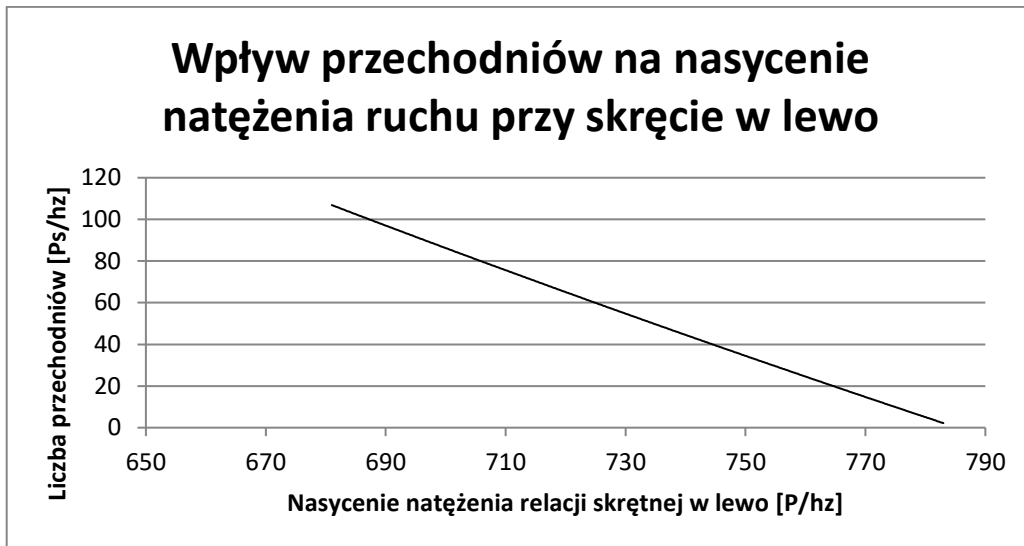
Tab. 6. Natężenie nasycenia dla relacji na wszystkich wlotach

Włot	Natężenie nasycenia pasa ruchu [P/hz]			
	Wprost	Prawo	Lewo	Wspólne
A	1598	1181	691	1215
B	1606	1263	749	1013
C	1595	1179	691	1107
D	1589	1321	721	1388

Zródło: opracowanie własne.

Dane zawarte w tabeli pokazują, że na wszystkich badanych wlotach skrzyżowania maksymalny odpływ pojazdów jest największy w relacji na wprost, kolejno dla relacji w prawo a następnie w lewo. Tabela ilustruje także nasycenie natężenia wspólnego pasa ruchu po uwzględnieniu procentowego wpływu relacji na ogólne natężenie nasycenia.

Przy uwzględnianiu relacji skrętnych wspólnym z czynników utrudniających przejazd są piesi przechodzący na drugą stronę ulicy. Każdy z wlotów posiada inną liczbę przechodniów pokonujących przejście przez godzinę, która w różnoraki sposób wpływa na natężenie nasycenia. Wpływ przechodniów na natężenie nasycenia dla relacji skrętnej w lewo przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Wpływ ilości przechodniów na nasycenie natężenia ruchu przy skręcie w lewo.

Źródło: opracowanie własne.

Mając do dyspozycji obliczone przepustowości poszczególnych wlotów oraz natężenia ruchu pozyskane podczas obserwacji, porównując odpowiednie wartości można dojść do wniosku, że natężenie ruchu badane w godzinach szczytu jest większe niż przepustowość skrzyżowania, co może wskazywać na kongestie oraz długi czas oczekiwania na przejazd przez skrzyżowanie. Porównanie wartości natężenia ruchu z przepustowością danego wlotu przedstawia tabela 7.

Tab. 7. Porównanie wartości natężenia ruchu z przepustowością danego wlotu

Wlot	Przepustowość [P/h]	Natężenie ruchu [P/h]
A	486	601
B	405	564
C	443	498
D	537	413

Źródło: opracowanie własne.

Według danych w tabeli największą przepustowość posiada wlot D, jak i również, jako jedyny wlot posiada większą wartość przepustowości od natężenia ruchu, co wskazuje na największą płynność ruchu. Jest ona związana głównie z największym udziałem procentowym relacji na wprost, a także stosunkowo małą liczbą przechodniów utrudniających relacje skrętne.. Największe natężenie ruchu, bo aż 601 pojazdów odnotowano na wlocie A. Największą różnicę między przepustowością a natężeniem ruchu odnotowano na wlocie B, co

może świadczyć o najgorszych warunkach panujących na tym wlocie. Różnice tę określa stopień wykorzystania przepustowości, który określony jest wzorem:

$$X = \frac{Q}{C} \quad (12)$$

gdzie:

$Q$  – natężenie ruchu [P/h]

$C$  – przepustowość wlotu [P/h]

Stopień wykorzystania przepustowości jest wskaźnikiem, określającym procentowo lub bezmianowo wykorzystanie danego wlotu, czyli stosunek natężenia ruchu do jego przepustowości. (tabela 8).

Tab. 8. Stopień wykorzystania przepustowości wlotów

Wlot	Stopień wykorzystania przepustowości wlotu
A	1,2363
B	1,3915
C	1,1249
D	0,7686

Źródło: opracowanie własne.

Dane z tabeli pokazują, że najbardziej obciążony jest wlot B, a następnie A oraz C. Jedynym wlotem, który posiada zapas przepustowości charakteryzujący się wartością ok. 23 % jest wlot D.

### 3.3. Optymalizacja przepustowości

Optymalizacja polega na rozwiązaniach w zakresie sygnalizacji świetlnej, które poprawią warunki na drodze upłynniając ruch. Organizacja ruchu drogowego jest jak na większości skrzyżowań skomplikowana ze względu na różne czynniki, które wpływają na jej funkcjonowanie. Rozpatrując analizę przeprowadzoną wcześniej, zauważalna jest znaczna różnica w przepustowości i stopniu jej wykorzystania na wlocie B oraz D. Jest to ta sama faza ruchu, w której występuje duże natężenie ruchu na wprost na wlocie D oraz jednocześnie największe natężenie ruchu w relacji skrętnej w lewo 49% na wlocie B. Jednocześnie ze względu na warunki geometryczne skrzyżowania, nie ma możliwości na jego rozbudowę w postaci dodatkowego pasa ruchu, w którymkolwiek kierunku.

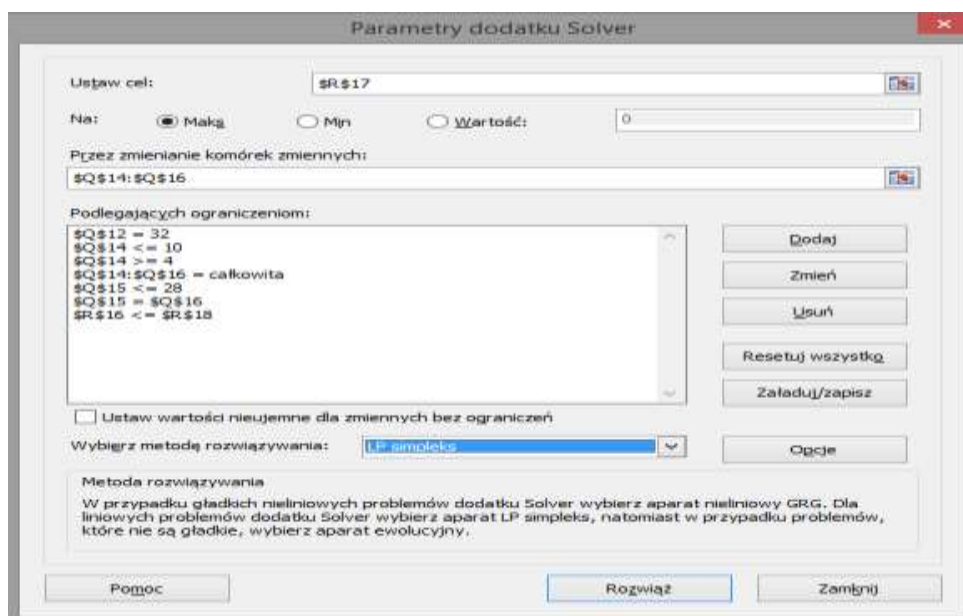
Biorąc pod uwagę możliwości, jakie daje nam skrzyżowanie, zaproponowanym rozwiązaniem optymalizacyjnych w zakresie badanego obiektu będzie zmiana programu sygnalizacji świetlnej z dwufazowej na dwufazową z podfazą. Rozwiązanie to zostało wybrane ze względu na duże natężenie pojazdów relacji skrętnej w lewo na wlocie B, dlatego zostanie ono zaimplementowane wyłącznie na tym wlocie. Usprawnienie będzie polegało na wcześniejszym zamknięciu wlotu D, co umożliwi przejazd dużej liczbie aut w lewo z wlotu B. Skrócenie odpowiednio czasu sygnalizacji wlotu D nie będzie wpływało na pogorszenie warunków ruchu ze względu na zapas, jaki posiada wlot D. Jednak, w celu znalezienia optymalnego rozwiązania zostanie użyty dodatek solver w programie Microsoft Excel, który metodą programowania liniowego sprawdzi, jaki czas zamknięcia wlotu D nie wpłynie na pogorszenie jego przepustowości a usprawni w pewnym stopniu funkcjonowanie wlotu B. Dane obliczeniowe przedstawione zostały w tabeli 9.

Tab. 9. Parametry do optymalizacji solverem

Wlot	Efektywny sygnał zielony	Przepustowość
Bs	0	0
Bw	0	0
D	0	0
Funkcja celu		0

Źródło: opracowanie własne

Parametry dodatku Solver zostały przedstawione na rysunku nr. 6.



Rys. 6. Okno dodatku Solver

Źródło: opracowanie własne.

Podczas obliczania optymalnego rozwiązania tabela została podzielona na 3 wiersze: czas tylko dla wlotu B, czas wspólny dla wlotu B i D, oraz czas wlotu D. Czas tylko dla wlotu B charakteryzuje się większą przepustowością niż w przypadku wlotu wspólnego ze względu na brak uwzględniania pieszych oraz potoku priorytetowego. Natężenie nasycenia wspólnego pasa ruchu przy relacjach bezkolizyjnych w przypadku wlotu B podnosi wartość z 1013 do 1393 P/h co daje większy odpływ pojazdów aż o 380 P/h. Wlot D również musiał zostać uwzględniony ze względu, iż zwiększanie czasu bezkolizyjnej relacji skrętnej w lewo dla wlotu B, zmniejsza tym samym czas na wlocie D. Funkcja celu została przedstawiona, jako suma przepustowości na wlocie D, na wlocie B podczas wspólnego ruchu oraz na wlocie B tylko dla ruchu bezkolizyjnej relacji skrętnej w lewo o wzorze:

$$C_D + C_{BW} + C_{BS} \rightarrow \max \quad (13)$$

gdzie:

$C_D$  – przepustowość wlotu D [P/h]

$C_{BW}$  – przepustowość wlotu B wspólnie z D [P/h]

$C_{BS}$  – przepustowość wlotu B z zamknięciem ruchu wlotu D [P/h]

Komórkami zmiennymi są czasy efektywnego sygnału zielonego, od których zależy przepustowość. Ograniczeniami nałożonymi są:

- Suma efektywnego sygnału tylko dla wlotu B oraz dla wspólnego ruchu musi być równa 32 sekundy

$$G_{e_{BS}} + G_{e_{BW}} = 32 \quad (14)$$

gdzie:

$G_{e_{BS}}$  – czas efektywnego światła zielonego dla wlotu B z wyłączeniem ruchu z wlotu D [s]

$G_{e_{BW}}$  – czas efektywnego światła zielonego dla wlotu B wraz z wlotem D

- Wartość otwarcia czasu sygnału zielonego dla wlotu D musi być równa wartości czasu zielonego dla wspólnego ruchu wlotu B i D

$$G_{e_D} = G_{e_B} \quad (15)$$

- Wartości efektywnego sygnału zielonego muszą być liczbami całkowitymi

$$G_{e_{BS}}, G_{e_{BW}}, G_{e_D} \text{ całkowite} \quad (16)$$

- Wartość efektywnego sygnału zielonego dla bezkolizyjnej relacji skrajnej w lewo musi się mieścić w przedziale między 4 a 10

$$4 < G_{e_{Bs}} < 10 \quad (17)$$

- Wartość przepustowości wlotu D nie powinna przekraczać 437 P/h

$$C_D < 437 \quad (18)$$

Po ustawieniu wszystkich ograniczeń, zmiennych decyzyjnych oraz funkcji celu za pomocą dodatku solver wyliczono optymalne czasy dla programu sygnalizacji dwufazowego z podfazą. Wyniki przedstawiono w tabeli nr. 10.

Tab. 10. Rozwiązanie optymalizacyjne

Włot	Efektywny sygnał zielony	Przepustowość
Bs	7	121
Bw	25	316
D	25	433
Funkcja celu		871

Zródło: opracowanie własne.

Algorytm Simplex, który był bazą do obliczenia wartości w tabeli pozwolił na wyznaczenie optymalnych czasów sygnału zielonego, które maksymalizują wartości przepustowości. Skrócenie czasu sygnału zielonego na wlocie D o 7 sekund spowodowało zwiększenie przepustowości na wlocie B do 437 P/h. Mimo zmniejszenia przepustowości wlotu D nadal posiada on zapas, pozwalający na sprawny przejazd przez skrzyżowanie. Przepustowość wlotu B wrosła o 32 P/h, co stanowi blisko 8% przepustowości wlotu B przed optymalizacją. Stopień wykorzystania przepustowości przed i po optymalizacji przedstawia tabela nr. 11.

Tab. 11. Stopień wykorzystania przepustowości przed i po optymalizacji

Włot	Stopień wykorzystania przepustowości	
	Przed optymalizacją	Po optymalizacji
A	1,2363	1,2363
B	<u>1,3915</u>	<u>1,2872</u>
C	1,1249	1,1249
D	0,7686	0,9839

Zródło: opracowanie własne.

Zastosowanie programu sygnalizacji dwufazowej z podfazą obniżyło stopień wykorzystania przepustowości o blisko 10,4%.

## PODSUMOWANIE

Celem referatu było przedstawienie problematyki inżynierii ruchu drogowego, analiza ruchu oraz możliwość optymalizacji jego działania. Przeprowadzanie analizy ruchu oraz optymalizacji wykazało, że małym nakładem możliwe jest uzyskanie większej przepustowości skrzyżowania,

Analiza wybranego skrzyżowania pokazała, że w godzinach szczytu stopień wykorzystania przepustowości jest w przypadku wlotów A, B oraz C większy, od 1, co świadczy o większej liczbie pojazdów chcących przejechać przez skrzyżowanie niż przepustowość danych wlotów. Wartość stopnia wykorzystania przepustowości była największa w przypadku wlotu B i wynosiła 1,3915. Pomimo, że natężenie pojazdów na tym wlocie w porównaniu do innych nie było największe to kluczowe znaczenie miała struktura kierunkowa pojazdów. Najwięcej na wlocie B, bo aż 49% pojazdów chciało skręcić w lewo, czyli w kierunku, w którym natężenie nasycenia było najmniejsze ze względu na kolizyjność zarówno potoku priorytetowego z wlotu D jak i pieszych. Ponadto badania jak i obliczenie przepustowości z uwzględnieniem charakterystycznych cech skrzyżowania pokazały, że nawet w godzinach szczytu wlot D jest wlotem najmniej wykorzystywanym gdzie stopień wykorzystania przepustowości oscylował w granicach 77%.

Powyższe wartości przyczyniły się do podjęcia próby optymalizacji skrzyżowania poprzez wprowadzenie podfazy do programu dwufazowego sygnalizacji na skrzyżowaniu. W znalezieniu optymalnego rozwiązania użyty został dodatek Solver arkusza kalkulacyjnego Excel. Uwzględniając przeciążenie wlotu B oraz zapas na wlocie D, podfaza zamykająca wcześniej wlot D, oraz otwierająca tym samym pełne możliwości dla wszystkich relacji na wlocie B szczególnie dla relacji skrętnych w lewo przyniosła oczekiwane efekty. Otwarcie wszystkich relacji tylko dla wlotu B na 7 sekund pozwoliło na poprawę przepustowości w ilości 32 P/h co stanowi blisko 8% przepustowości wlotu B przed optymalizacją. Mimo spadku przepustowości na wlocie D dalej zachowuje on przepustowość pozwalającą na płynne przemieszczanie się. Optymalizacja w zakresie sygnalizacji świetlnej pozwoliła na zmniejszenie wykorzystania stopnia przepustowości o blisko 10,4%.

Widać, że na płynność ruchu oprócz geometrii skrzyżowania w dużej mierze wpływa sygnalizacja świetlna. Odpowiednio dostosowana do warunków panujących na drogach, a także do rozwiązań infrastrukturalnych na skrzyżowaniach pozwala na bezpieczne oraz płynne przemieszczanie się. Ponadto zmieniające się otoczenie, rozbudowa osiedli czy przedsiębiorstw



powoduje zmiany w natężeniu ruchu, które wpływają również na warunki panujące na danym obiekcie. Dlatego przy projektowaniu bardzo ważna jest szczegółowa analiza z uwzględnieniem wszystkich aspektów, które w przyszłości mogą wpłynąć na funkcjonowanie skrzyżowań, obecne obiekty powinny być stale monitorowane w celu korygowania błędów, które mogą przyczynić się do pogorszenia warunków na drodze. Powyższy przykład pokazuje również jak w obecnych czasach istotne są systemy techniczne, w których nawet niewielka zmiana może mieć duży wpływ na płynność ruchu.

## LITERATURA

- Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., 2011, Inżynieria ruchu drogowego, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, ( 11 – 12), (161 – 162).
- Bąkowski W., Podstawy organizacji i zarządzania w transporcie, 1987, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, ( 59).
- Kieć M., Ostrowski K., 2015, Wybrane aspekty analizy warunków ruchu na odcinkach dróg dwupasowych, dwukierunkowych, Logistyka, nr 3/2015.
- Leśko M., Guzik J., 2000, Sterowanie ruchem drogowym. Sygnalizacja świetlna i detektory ruchu pojazdów, Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej,
- Ghazal B., ElKhatib K., Chahine K., Kherfan M., 2016, Smart Traffic Light Control System, Conference: Conference: Third International Conference on Electrica, April.
- Bhouri N., Mayorano F. J., Lotito P. A., 2016, Public Transport Priority for Multimodal Urban Traffic Control, Bulgarian Academy of Science, Cybernetics and Information Technologies, Volume 15, No. 5.
- Lejda K., Mądziel M., 2016, Ocena efektywności wybranych rozwiązań skrzyżowań wielopasmowych typu rondo, Autobusy 12/2016, (675 – 677).