



1

Układy sterowania
Klasyfikacja


Zalety i wady
Detekcja ruchu
Funkcje
detekcji
Funkcjonalność
detektorów
Zasady
lokalizacji
detektorów
Układy detekcji
Parametry
sterowania

Klasyfikacja układów sterowania

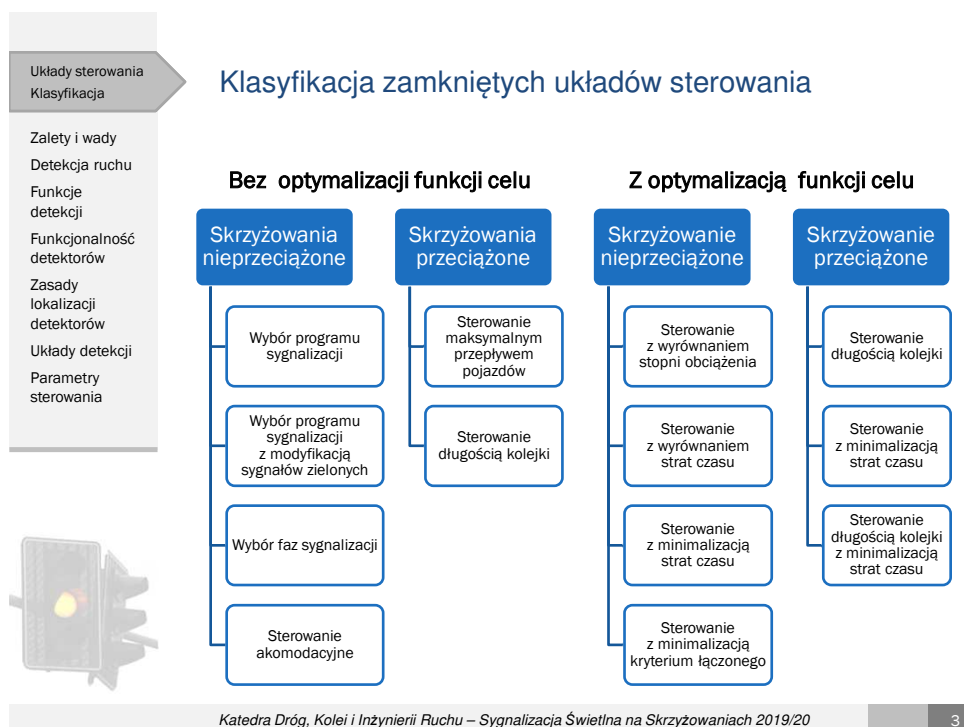
Sterowanie – wpływanie na procesy zachodzące w ruchu drogowym za pomocą sygnalizacji świetlnej, mające na celu zapewnienie jego przebiegu w pożądanym sposób.

Metody sterowania ze względu na sposób powiązania z układem sterowanym:

- otwarte (bez sprzężenia zwrotnego) – bez możliwości wpływu wielkości zakłócających na przebieg procesu (*sterowanie cykliczne, stałoczasowe, fixed-time control*)
- zamknięte (ze sprzężeniem zwrotnym) – układy regulacji (*sterowanie zależne od ruchu, akomodacyjne, adaptacyjne, traffic-dependent control, traffic responsive control, actuated control, adaptive control*)



2



3

**Układy sterowania
Klasyfikacja**

Zalety i wady
Detekcja ruchu
Funkcje detekcji
Funkcjonalność detektorów
Zasady lokalizacji detektorów
Układy detekcji
Parametry sterowania

Podział sygnalizacji wg Dz.U. 2311. (Załącznik 3)

§ Dz.U. 2311 z 2019 r.

Sygnalizacja cykliczna
Program sygnalizacji cyklicznej stałoczasowej charakteryzuje się stałą długością cyklu i niezmiennymi długościami i kolejnością poszczególnych faz. Wyróżnia się sygnalizację cykliczną stałoczasową jedno- i wieloprogramową.

W sygnalizacji wieloprogramowej każdy program ma swoją ustaloną długość cyklu oraz długości i sekwencje poszczególnych faz. Wybór programu może odbywać się zgodnie z ułożonym wcześniej harmonogramem pracy (wybór zależny od czasu) lub w zależności od wybranych charakterystyk ruchu (wybór zależny od ruchu).

W sygnalizacji cyklicznej zmiennoczasowej ustalana jest pewna możliwa sekwencja faz, zaś czasy trwania wybranych faz są zmiennie od 5 do n sekund i zależą od chwilowych charakterystyk ruchu.

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

4

Układy sterowania
Klasyfikacja

Zalety i wady
Detekcja ruchu
Funkcje
detekcji
Funkcjonalność
detektorów
Zasady
lokalizacji
detektorów
Układy detekcji
Parametry
sterowania

Podział sygnalizacji wg Dz.U. 2311. (Załącznik 3)

§ **Dz.U. 2311 z 2019 r.**


Sygnalizacja acykliczna

Sygnalizacja acykliczna charakteryzuje się tym, że realizuje sterowanie według dowolnie zmiennych sekwencji faz. Jest ona w pełni zależna od ruchu, fazy mogą być w niej tworzone na bieżąco (z pominięciem pewnych faz włącznie), a ich długość jest zmienna i zależy od określonych charakterystyk ruchu. Rodzajem sygnalizacji acyklicznej jest **sygnalizacja wzbudzana**, która charakteryzuje się pracą według następującego układu:

stan ustalony → stan wzbudzenia → stan ustalony

Stan ustalony sygnalizacji polega na ciągłym nadawaniu na każdym sygnalizatorze ustalonego sygnału stałego lub przerywanego; możliwa jest sytuacja, gdy na pewnych sygnalizatorach sygnał nie jest nadawany w ogóle.

Stan wzbudzenia jest to stan pracy sygnalizacji cyklicznej lub acyklicznej wywołany zgłoszeniem się co najmniej jednego z wybranych strumieni ruchu.



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

5

5

Układy sterowania
Klasyfikacja

Zalety i wady
Detekcja ruchu
Funkcje
detekcji
Funkcjonalność
detektorów
Zasady
lokalizacji
detektorów
Układy detekcji
Parametry
sterowania

Podział sygnalizacji wg Dz.U. 2311. (Załącznik 3)

Sygnalizacja
światlna

cykliczna

acykliczna


stałoczasowa

zmiennoczasowa
(akomodacyjna)

Sterowanie wg dowolnie zmiennych sekwencji faz, w pełni zależna od ruchu

Stała długość cyklu, niezmiennie długości i kolejność poszczególnych faz

Ustalana możliwa sekwencja faz ruchu, czasy trwania faz są zmienne i zależne od chwilowych charakterystyk ruchu



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

6

6

Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach

3

Układy sterowania
Klasyfikacja
Zalety i wady
Detekcja ruchu
Funkcje detekcji
Funkcjonalność detektorów
Zasady lokalizacji detektorów
Układy detekcji
Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna (zmiennoczasowa)

- Sygnalizacja cykliczna – sygnalizacja o powtarzalnej, ustalonej sekwencji faz ruchu
- Sygnalizacja adaptacyjna – sygnalizacja zależna od ruchu, zmiennoczasowa
- Sygnalizacja akomodacyjna – sygnalizacja zależna od ruchu, w którym metoda sterowania wykorzystuje badanie luk czasowych pomiędzy poruszającymi się pojazdami



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

7

7

Układy sterowania
Klasyfikacja
Zalety i wady
Detekcja ruchu
Funkcje detekcji
Funkcjonalność detektorów
Zasady lokalizacji detektorów
Układy detekcji
Parametry sterowania

Sposób sterowania

- Sterowanie fazowe
 - w programie sygnalizacji wyróżnia się fazy ruchu i tzw. przejścia międzyfazowe
 - warunki sterowania odnoszą się do faz ruchu (minimum fazy, maksimum fazy ruchu itp.)
- Sterowanie grupowe
 - w programie sygnalizacji fazy ruchu są wyznaczane (tworzone) na bieżąco przez algorytm sterowania
 - warunki sterowania odnoszą się do grup sygnalizacyjnych i związków między nimi (minimum sygnału zielonego w grupie, maksymalny czas oczekiwania na sygnał zielony itp.)
- Sterowanie grupowo-fazowe (hybrydowe)
 - kombinacja powyższych metod



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

8

8

Zalety i wady
sygnalizacji zm.

Detekcja ruchu
Funkcje
detekcji
Funkcjonalność
detektorów
Zasady
lokalizacji
detektorów
Układy detekcji
Parametry
sterowania
Sygnalizacja
adaptacyjna

Zalety sygnalizacji adaptacyjnej

- poprawa warunków ruchu w okresie pozaszczytowym (możliwość efektywnego działania),
- możliwość uprzywilejowania wybranych uczestników ruchu (komunikacji zbiorowej),
- mniejsza wrażliwość na wahania ruchu (większa adaptacyjność do bieżących potrzeb ruchowych),
- wzrost przepustowości wynikający z reakcji na wahania ruchu.



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

9

9

Zalety i wady
sygnalizacji zm.

Detekcja ruchu
Funkcje
detekcji
Funkcjonalność
detektorów
Zasady
lokalizacji
detektorów
Układy detekcji
Parametry
sterowania
Sygnalizacja
adaptacyjna

Wady sygnalizacji adaptacyjnej

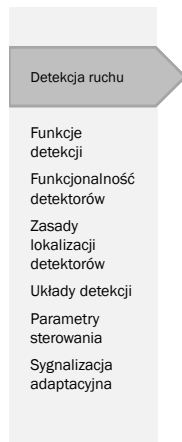
- wyższy koszt instalacji i wyposażenia skrzyżowania,
- wyższy koszt nadzoru i utrzymania sprawności technicznej,
- trudniejsza i bardziej skomplikowana w projektowaniu,
- możliwość pogorszenia warunków ruchu w szczególnych przypadkach,
- mniej intuicyjna i zrozumiała dla użytkownika (zwłaszcza sygnalizacja acykliczna i adaptacyjna).



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

10

10



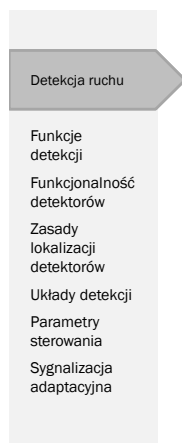
Wypozażenie skrzyżowania

- urządzenie sterujące – sterownik (mikroprocesorowy)
- sygnalizatory (o źródłach światła standardowych, halogenowych, diodowych)
- czujniki + układy formujące
 - detektory punktowe (przejazdu), rejestrują fakt przejazdu pojazdu nad detektorem,
 - detektory obszarowe (obecności), rejestrują stan zajętości w obszarze detekcji,

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światlna na Skrzyżowaniach 2019/20

11

11



Detektory

§

Dz.U. 2311 z 2019 r.

Detektor

element wykrywający poszczególne grupy uczestników ruchu (pojazdy lub pieszych), którego działanie polega na wytworzeniu sygnału przy każdym wykryciu uczestnika ruchu znajdującego się w strefie detekcji. Sygnał wytwarzany jest automatycznie w przypadku pojazdów, a w sposób wymuszony bądź automatyczny w przypadku pieszych. Detektory dzielą się na:

- ręczne (przyciski sterownicze)
- działające samoczynnie (indukcyjne, magnetyczne, podczerwone, mikrofalowe, radarowe, laserowe, rezonansowe, akustyczne, radiowe, wideo, zbliżeniowe i podobne).

Detektory dla pojazdów dzielą się ponadto pod względem instalacji na wbudowane w nawierzchnię i nadjezdniowe oraz na czynne (wysyłające wiązkę fal i odbierające część wiązki odbitą od obiektu) i bierne (odbierające wiązkę fal wysyłaną przez obiekt).


Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światlna na Skrzyżowaniach 2019/20

12

12

Detekcja ruchu

Funkcje detekcji
Funkcjonalność detektorów
Zasady lokalizacji detektorów
Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna



Detektory

§

Dz.U. 2311 z 2019 r.

3.3.4 Wymagania funkcjonalne dla urządzeń detekcyjnych

Urządzenia detekcyjne dla pojazdów powinny zapewniać wiarygodność działania w zakresie prędkości od 0 do co najmniej 150 km/h, być trwałe i łatwe w montażu i eksploatacji. Powinny być one skonstruowane tak, by detektor znajdował się w miejscu zapewniającym wiarygodność działania w stosunku do zakładanej funkcji (np. pod miejscem bezpośredniego pomiaru, nad nim lub w pobliżu w przypadku detektorów wideo), a strefę detekcji dało się łatwo wyznaczyć; element przetwarzający może być umieszczony w sterowniku lub zintegrowany z detektorem. Urządzenia detekcyjne dla pojazdów występujące w postaci wbudowanej w nawierzchnię powinny zapewnić regulację czułości w zakresie od wykrywania pojedynczych obiektów o niewielkich rozmiarach (np. rowerów) do pojazdów samochodowych, także w pobliżu wbudowanych w nawierzchnię lub pod nią mas metalowych (szyny tramwajowe, ciepłociągi itp.). Wymagane jest, aby elementy przetwarzające miały możliwość automatycznego dostrajania się do poziomu tła.


Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

13

13

Detekcja ruchu

Funkcje detekcji
Funkcjonalność detektorów
Zasady lokalizacji detektorów
Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna



Zadania detekcji:

- wykrywanie uczestników ruchu w celu przydzielenia sygnału zielonego,
- przydzielanie odpowiedniej długości sygnału zielonego w zależności od obecności pojazdów lub mierników ruchu,
- zliczanie pojazdów, pomiar natężenia ruchu, gęstości ruchu, prędkości itp.

Podział detekcji ze względu na wykrywanych uczestników ruchu:

- detekcja pojazdów,
- detekcja pieszych (rowerzystów),
- detekcja tylko wybranych rodzajów pojazdów (np. tramwajów, autobusów).

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

14

14

Detekcja ruchu

Funkcje detekcji

Funkcjonalność detektorów

Zasady lokalizacji detektorów

Układy detekcji

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna

Rodzaje detekcji ze względu na zasadę działania:

- Pętle indukcyjne
- Wideodetektory
- Magneto-metryczne
- Magnetyczne
- Radarowe
- Na podczerwień
- Przyciskowe (mechaniczne, sensorowe)






Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światlna na Skrzyżowaniach 2019/20
15

15

Detekcja ruchu

Funkcje detekcji

Funkcjonalność detektorów

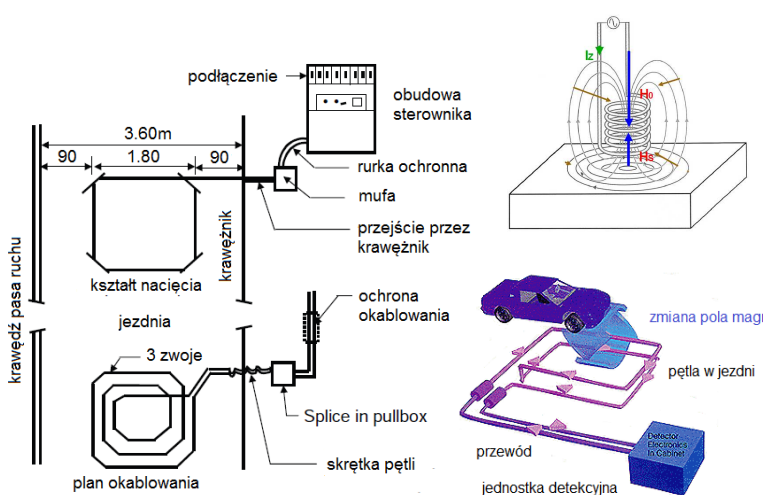
Zasady lokalizacji detektorów

Układy detekcji

Parametry sterowania

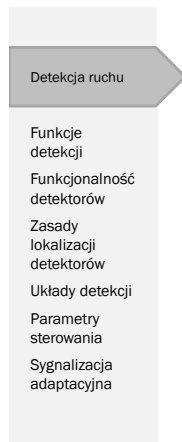
Sygnalizacja adaptacyjna

Pętle indukcyjne:



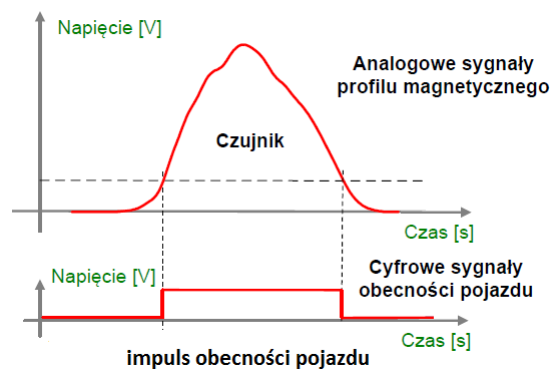
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światlna na Skrzyżowaniach 2019/20
16

16



Pętle indukcyjne:

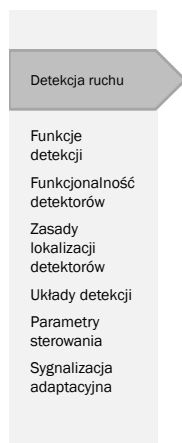
Wykrywanie zmian indukcyjności spowodowanej obecnością pojazdu (ferromagnetyka) nad pętlą indukcyjną. Zmiana napięcia przetwarzana jest na sygnał zajętości detektora.



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

17

17



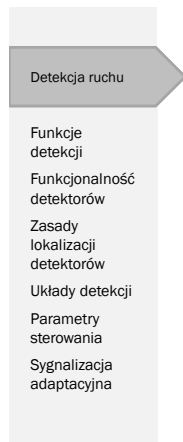
Pętle indukcyjne – zalety technologii:

- rozwiązanie znane i sprawdzone,
- możliwość dostosowania do danych warunków (różne rozmiary i kształty strefy detekcji),
- znakomity detektor obecności,
- możliwy pomiar większości parametrów ruchu (obecność, zajętość, natężenie ruchu, prędkość, odstęp międzypojazdowy, luka między pojazdami),
- wciąż jedno z najlepszych rozwiązań do pomiaru natężenia ruchu,
- łatwe w instalacji,
- zdolne do detekcji małych pojazdów,
- niski koszt materiałów i montażu.

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

18

18



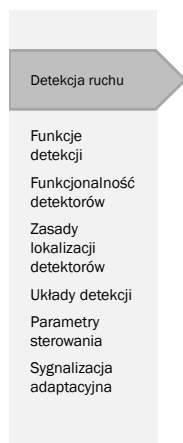
Pętle indukcyjne – wady technologii:

- ingerencja w nawierzchnię,
- wymagany dobry stan nawierzchni,
- niewłaściwy montaż obniża trwałość konstrukcji nawierzchni,
- podatne na uszkodzenia związane z naprężeniami nawierzchni (od ruchu, temperatury)
- montaż pętli powoduje ograniczenia w ruchu przez zamknięcie części pasów,
- zmiana lokalizacji pętli wymaga ponownych prac,
- dokładność detekcji spada w przypadku potrzeby klasyfikacji większej liczby typów pojazdów,
- problematyczne wykrywanie zróżnicowanych typów grup pojazdów (np. motocykle i pojazdy ciężkie)

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

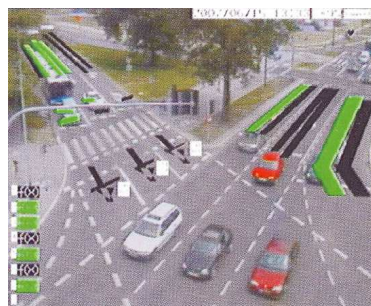
19

19



Wideodetekcja:

Wykrywanie zmian obrazu w zdefiniowanych obszarach w stosunku do matrycy obrazu dostarczanego przez kamery.



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

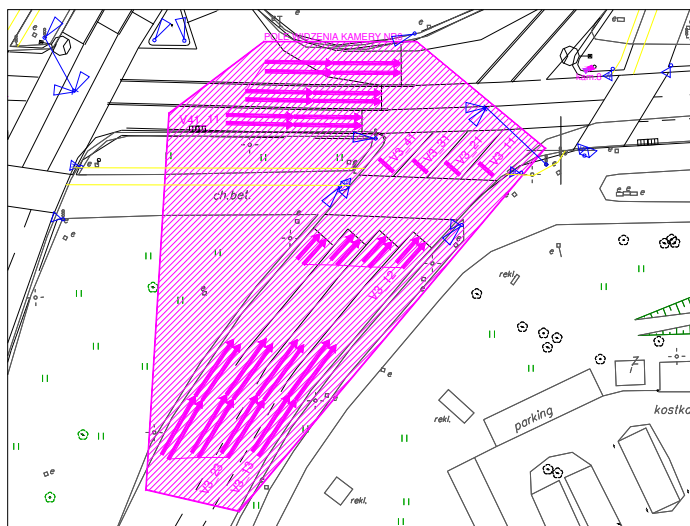
20

20

Detekcja ruchu
Funkcje detekcji
Funkcjonalność detektorów
Zasady lokalizacji detektorów
Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna



Wideodetekcja:



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

21

21

Detekcja ruchu
Funkcje detekcji
Funkcjonalność detektorów
Zasady lokalizacji detektorów
Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna



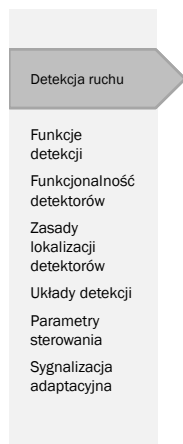
Wideodetekcja – zalety technologii:

- można objąć więcej niż jeden pas ruchu i pól detekcji za pomocą jednej kamery,
- szerokie strefy detekcji,
- łatwość obsługi i zmiany parametrów pętli wirtualnych,
- wykrywa kierunkowość,
- instalacja nie ingeruje w nawierzchnię jezdni,
- duża elastyczność systemu detekcji,
- możliwość wykonywania szerokiej gamy pomiarów ruchu (przy sprawnej i właściwie skalibrowanej detekcji).

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

22

22



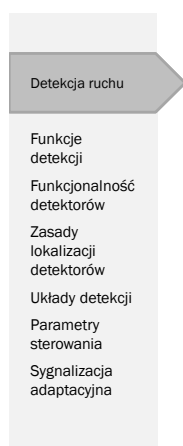
Wideodetekcja – wady technologii:

- może dochodzić do wzajemnego przesłaniania wirtualnych pętli przez duże pojazdy jadące na sąsiednich pasach ruchu,
- szereg czynników może zakłócać poprawność detekcji: pogoda ograniczająca pole widzenia kamer (mgła, śnieg), pora dnia, cienie, kontrast między pojazdem a nawierzchnią itp.,
- wymagana duża stabilność konstrukcji wsporczych kamer oraz duża wysokość instalacji niezbędna do poprawnego wykrywania obecności i pomiarów prędkości,
- poprawne działanie w nocy wymaga oświetlenia ulicznego,
- trudniejsza identyfikacja błędów detekcji,
- wysokie koszty urządzeń.

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

23

23



Detekcja rowerzystów:

- radarowa
- pętle indukcyjne
- wideodetekcja



- magneto-metryczna
- magnetyczna
- (przyciskowa - mechaniczna)

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

24

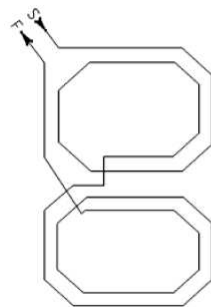
24

Detekcja ruchu
Funkcje detekcji
Funkcjonalność detektorów
Zasady lokalizacji detektorów
Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna

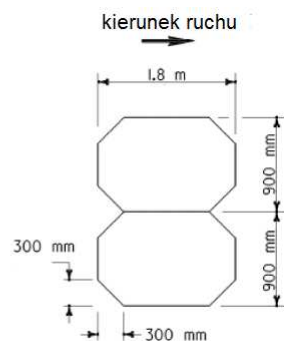


Detekcja rowerzystów:

▪ Pętle indukcyjne



detal uzwojenia



detal wycięcia w nawierzchni

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

25

25

Detekcja ruchu
Funkcje detekcji
Funkcjonalność detektorów
Zasady lokalizacji detektorów
Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna



Detekcja rowerzystów:

▪ Pętle indukcyjne



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

26

26

Detekcja ruchu

Funkcje detekcji

Funkcjonalność detektorów

Zasady lokalizacji detektorów

Układy detekcji

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna

Detekcja tramwajów:

1. jak dla pojazdów (np. pętle indukcyjne)
2. czujniki trakcyjne (ślizgowe i zwarciove)
3. podczerwień
4. sygnały ze zwrotnic
5. radio, systemy pozycjonowania pojazdu

2



3



4



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

27

Detekcja ruchu

Funkcje detekcji

Funkcjonalność detektorów

Zasady lokalizacji detektorów

Układy detekcji

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna

Detekcja pieszych:

- przyciski (dotykowe i sensorowe)
- radar
- podczerwień
- wideodetekcja
- płyty naciskowe





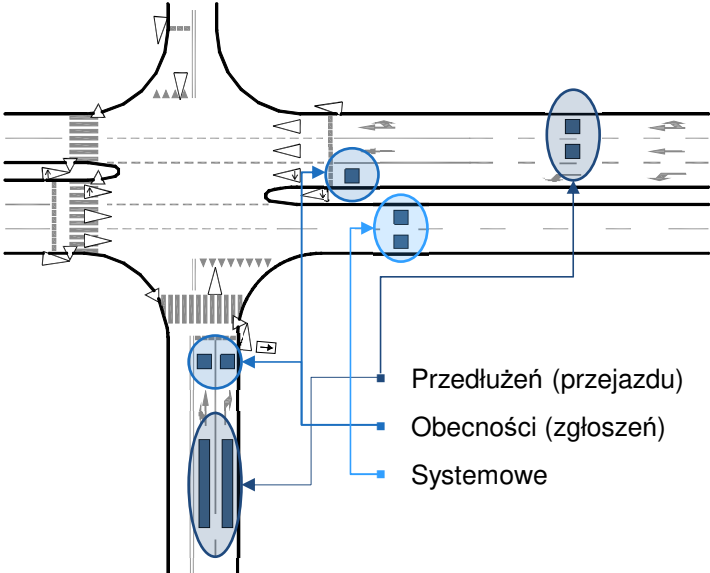
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

28

Funkcje detekcji

- Funkcjonalność detektorów
- Zasady lokalizacji detektorów
- Układy detekcji
- Parametry sterowania
- Sygnalizacja adaptacyjna
- Program bazowy
- Układ faz

Funkcje detektorów:



- Przedłużeń (przejazdu)
- Obecności (zgłoszeń)
- Systemowe

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

29

29

Funkcjonalność detektorów

- Zasady lokalizacji detektorów
- Układy detekcji
- Parametry sterowania
- Sygnalizacja adaptacyjna
- Program bazowy
- Układ faz

Metoda sterowania akomodacyjnego:

- Długość sygnałów zielonych (zezwalających) fazy i zawiera się w przedziale

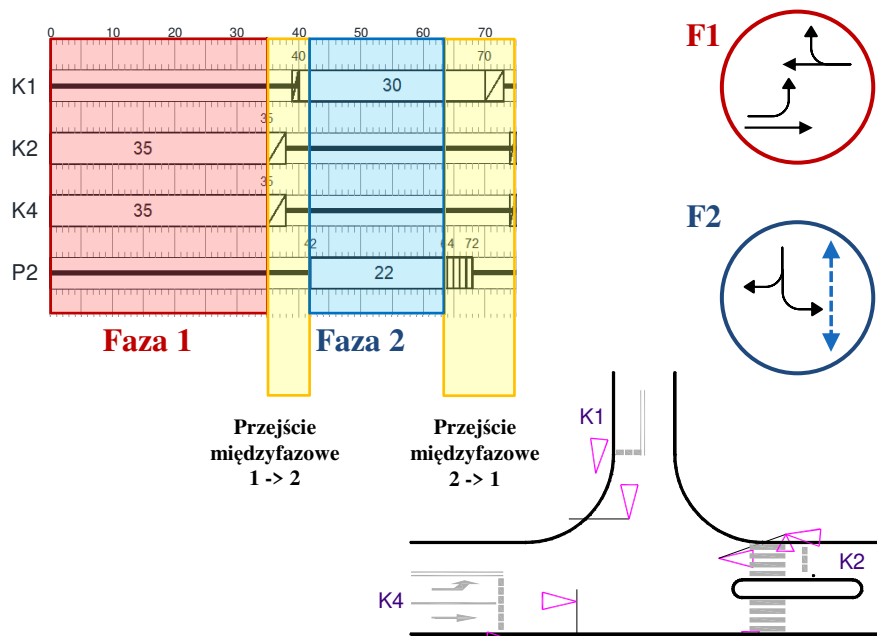
$$G^i \in \langle G_{min}^i, G_{max}^i \rangle$$

- Zmienny czas trwania faz w bieżącym cyklu sygnalizacyjnym zależy od charakterystyk ruchu na skrzyżowaniu,
- Przerwanie fazy ruchu zależy od jego stanu i historii (zwykle kilka s) zgłoszeń na detektorze w chwili t

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

30

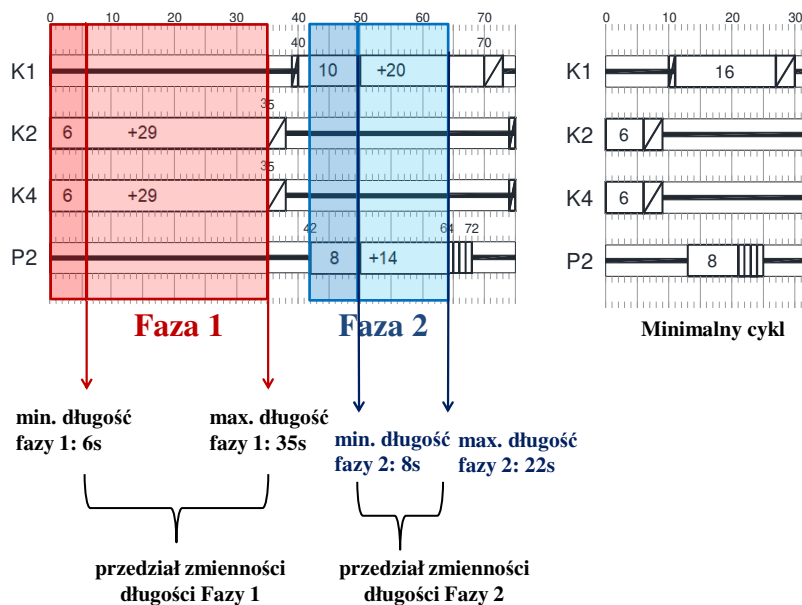
30



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

31

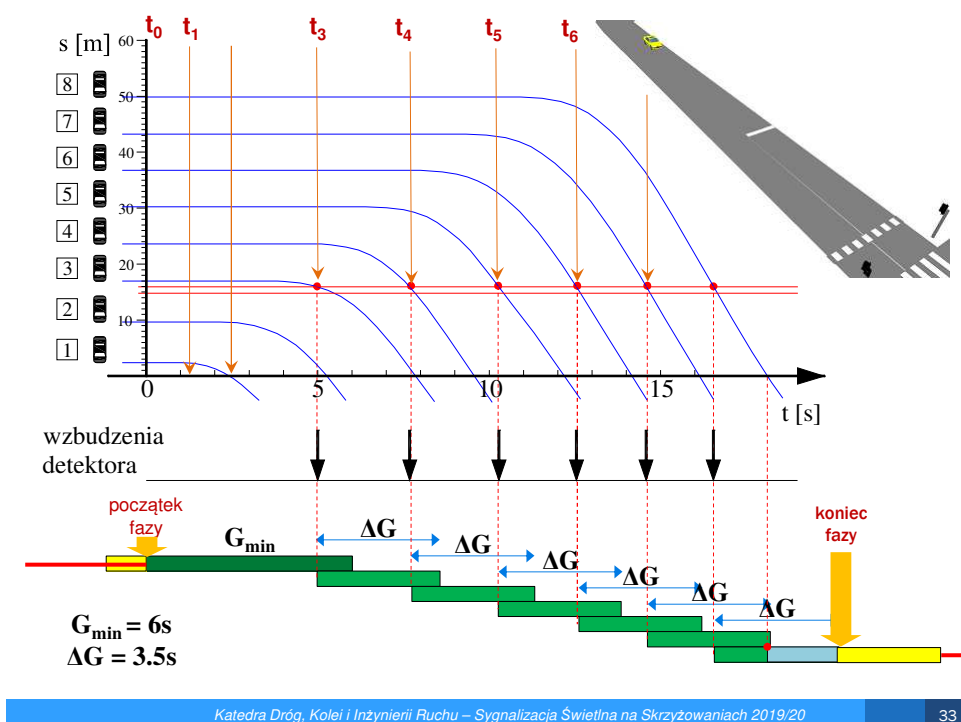
31



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

32

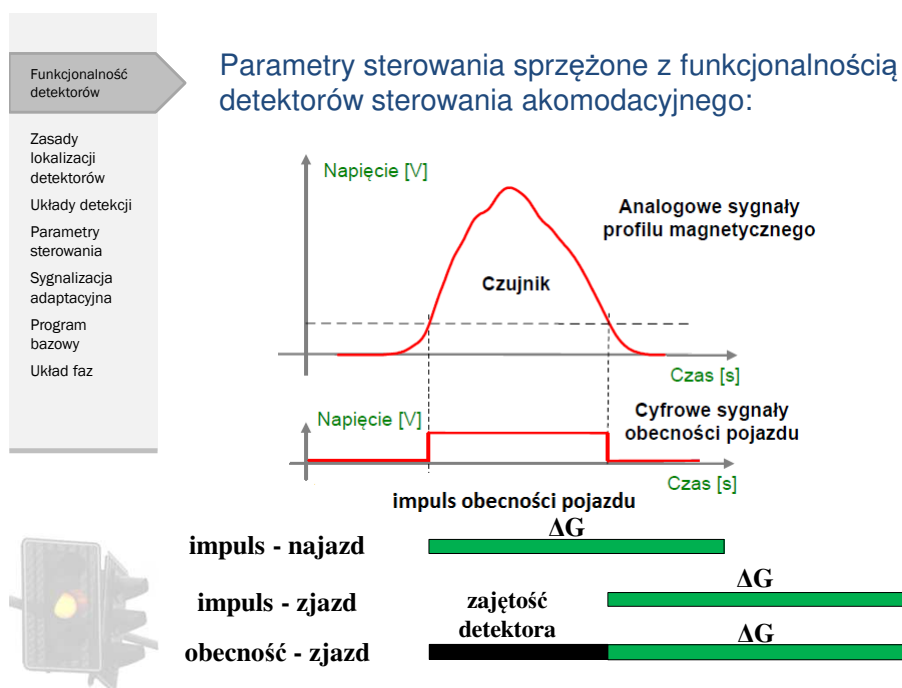
32



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

33

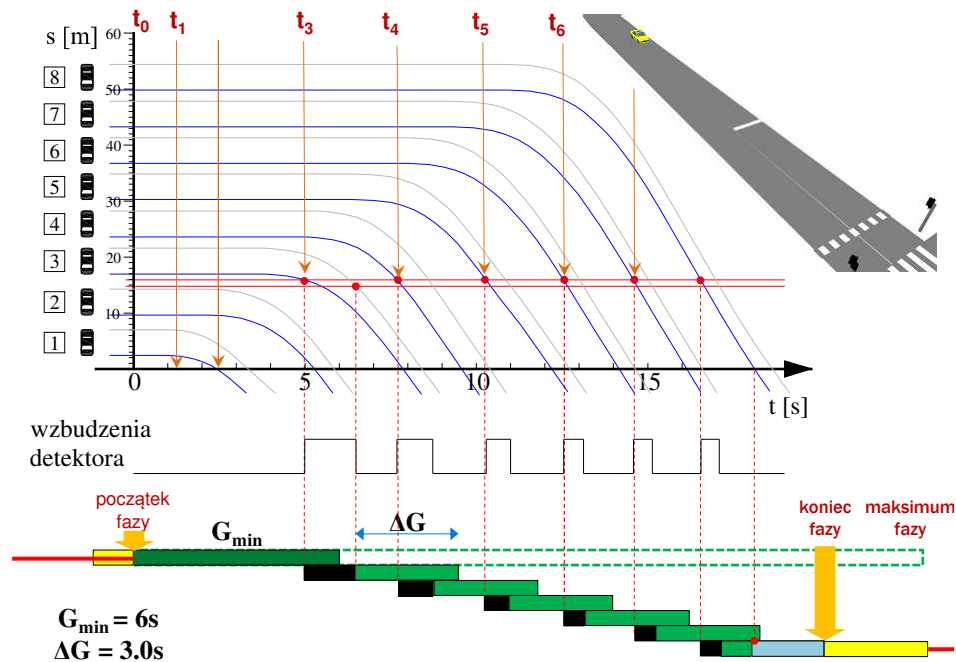
33



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

34

34



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

35

35

Funkcjonalność
detektorów

Zasady
lokalizacji
detektorów
Układy detekcji
Parametry
sterowania
Sygnalizacja
adaptacyjna
Program
bazowy
Układ faz

Parametry sterowania sprzężone z funkcjonalnością detektorów sterowania akomodacyjnego:

- jednostkowe przedłużenie sygnału zielonego ΔG ,
- skracanie przedłużenia jednostkowego:
 - opóźnienie redukcji,
 - czas na redukcję,
 - minimalne i maksymalne przedłużenie,
- okres aktywacji,
- opóźnienie zgłoszenia,
- sprzężenie wystąpienia luk czasu poszczególnych detektorów.



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

36

36

Funkcjonalność
detektorów

Zasady
lokalizacji
detektorów
Układy detekcji
Parametry
sterowania
Sygnalizacja
adaptacyjna
Program
bazowy
Układ faz

Jednostkowe przedłużenie sygnału zielonego ΔG :

- Podtrzymuje sygnał zielony w grupie sygnałowej tak aby:
 - umożliwić dojazd pojazdu do linii zatrzymania, względnie kolejnego aktywnego detektora przedłużeń,
 - umożliwić obsługę kolejki – kolejne pojazdy najeżdżają na detektor przed upłynięciem ΔG .



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

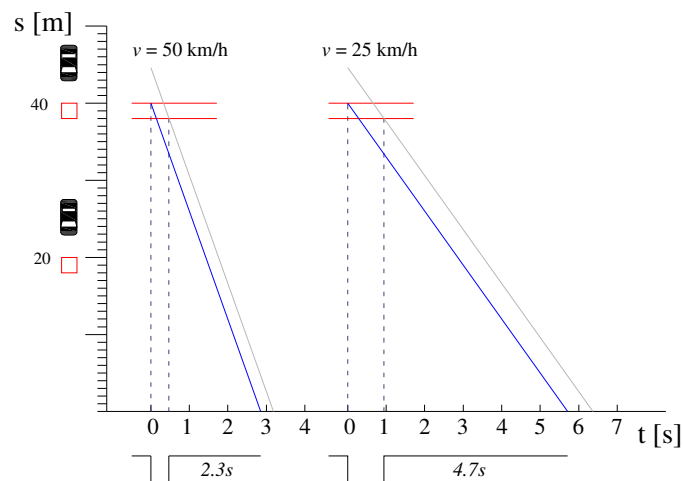
37

37

Funkcjonalność
detektorów

Zasady
lokalizacji
detektorów
Układy detekcji
Parametry
sterowania
Sygnalizacja
adaptacyjna
Program
bazowy
Układ faz

Jednostkowe przedłużenie sygnału zielonego ΔG :



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

38

38

Funkcjonalność
detektorów

Zasady
lokalizacji
detektorów
Układy detekcji
Parametry
sterowania
Sygnalizacja
adaptacyjna
Program
bazowy
Układ faz

Jednostkowe przedłużenie ΔG a maksymalny dopuszczalny odstęp międzypojazdowy:

- Impulsowy tryb zgłoszeń:

$$h_{max} = \Delta G$$



h_{max} – maksymalny dopuszczalny odstęp czasu między pojazdami nieprzerwywający sygnału zielonego

ΔG – jednostkowe wydłużenie

v – prędkość pojazdu

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światlna na Skrzyżowaniach 2019/20

39

39

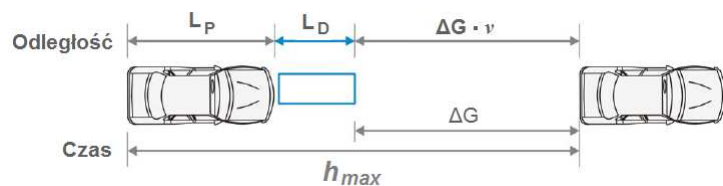
Funkcjonalność
detektorów

Zasady
lokalizacji
detektorów
Układy detekcji
Parametry
sterowania
Sygnalizacja
adaptacyjna
Program
bazowy
Układ faz

Jednostkowe przedłużenie ΔG a maksymalny dopuszczalny odstęp międzypojazdowy:

- Tryb obecności:

$$h_{max} = \Delta G + \frac{L_D + L_P}{v}$$



h_{max} – maksymalny dopuszczalny odstęp czasu między pojazdami

ΔG – jednostkowe wydłużenie

v – prędkość pojazdu

L_D – efektywna długość detektora

L_P – długość pojazdu



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światlna na Skrzyżowaniach 2019/20

40

40

Funkcjonalność
detektorów

Zasady
lokalizacji
detektorów
Układy detekcji
Parametry
sterowania
Sygnalizacja
adaptacyjna
Program
bazowy
Układ faz

Jednostkowe przedłużenie ΔG a maksymalny dopuszczalny odstęp międzypojazdowy:

- Układ wielodetektorowy:

$$h_{max} = \frac{L_P + L_{D1} + (L_{Dzi} - L_{Dz1})}{v_{sr}} + \Delta G$$



L_{Dzi} – odległość najdalszego aktywnego detektora od linii zatrzymania

L_{Dz1} – odległość najbliższego aktywnego detektora od linii zatrzymania

v_{sr} – średnia prędkość potoku pojazdów



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

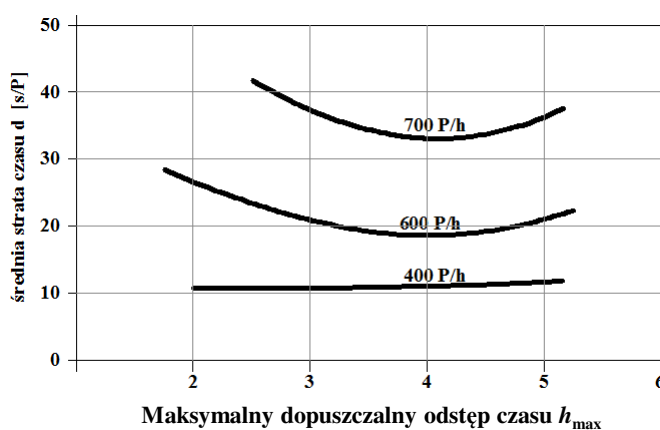
41

41

Funkcjonalność
detektorów

Zasady
lokalizacji
detektorów
Układy detekcji
Parametry
sterowania
Sygnalizacja
adaptacyjna
Program
bazowy
Układ faz

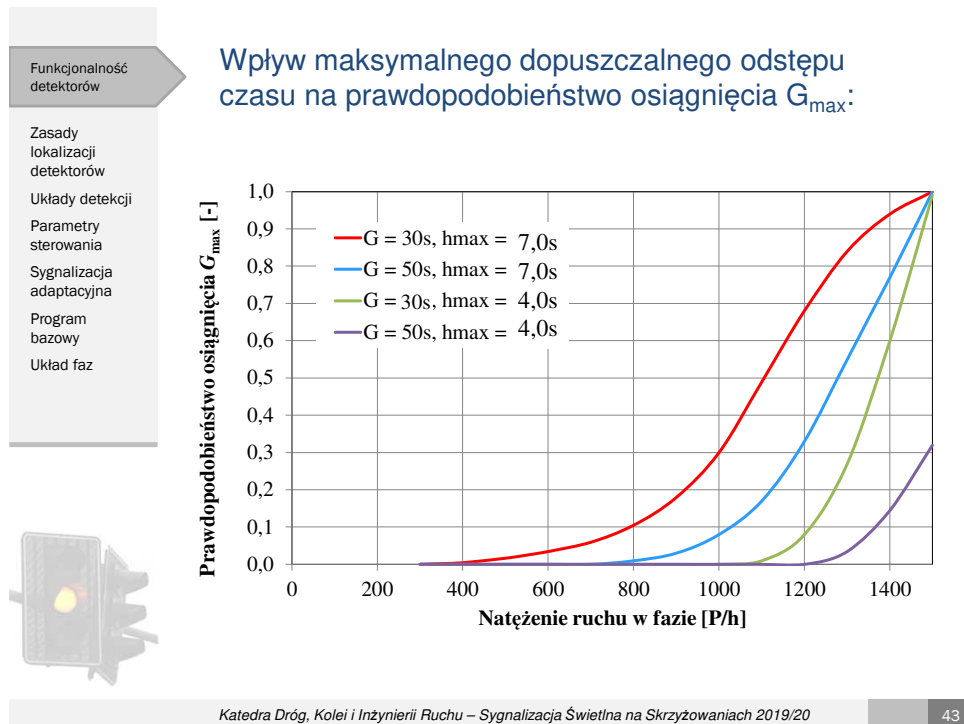
Wpływ jednostkowego przedłużenia ΔG na straty czasu pojazdów:



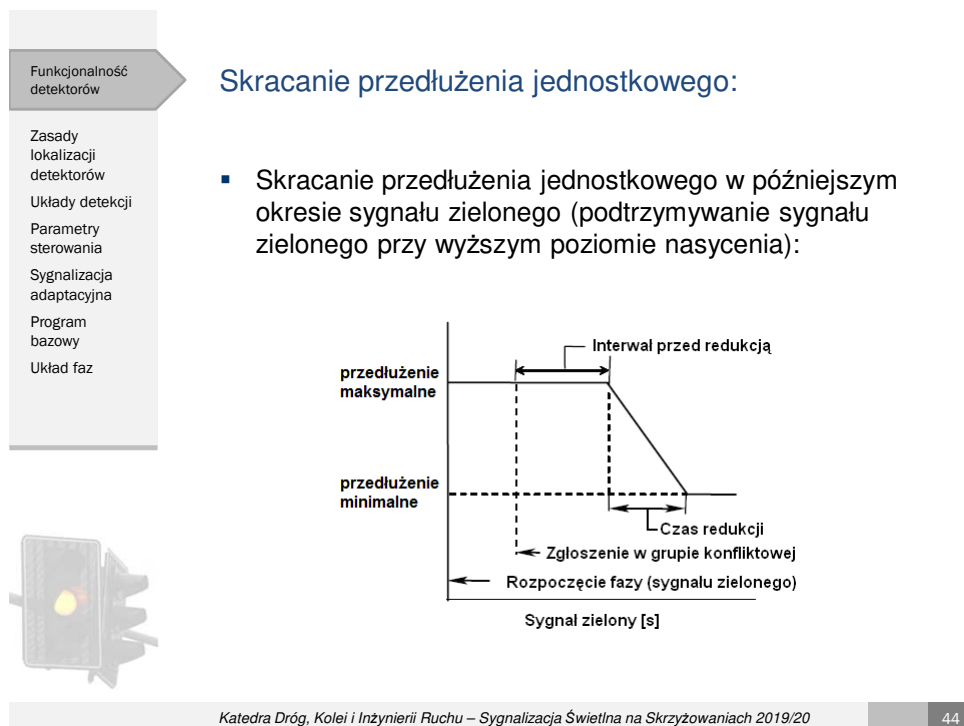
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

42

42



43



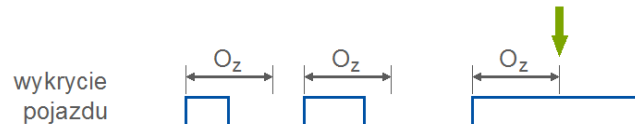
44

Funkcjonalność detektorów
Zasady lokalizacji detektorów
Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz



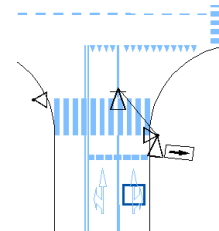
Opóźnienie zgłoszenia O_z :

- Pojazdy będą zgłaszane po przekroczeniu zdefiniowanego czasu zajętości czujnika:



Możliwe zastosowanie:

- zielona strzałka,
- przystanki na wlocie.



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

45

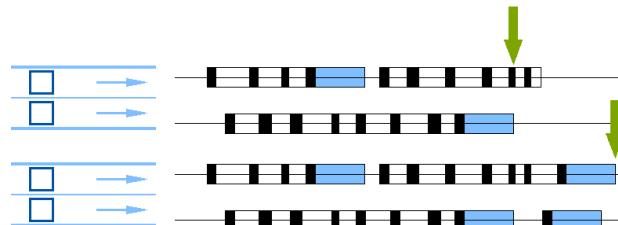
45

Funkcjonalność detektorów
Zasady lokalizacji detektorów
Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz



Sprężenie luk czasu – warunek przerywający sygnał zielony dla układu wielodetektorowego:

- W przypadku zastosowania więcej niż jednego czujnika przypisanego do danej grupy sygnałowej określa się konieczność wystąpienia luki czasu na obu detektorach niezbędnej do przerywania sygnału zielonego:
 - luki muszą wystąpić równocześnie,
 - luki muszą być zarejestrowane na każdym z detektorów lecz mogą wystąpić w różnych interwałach



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

46


46

Zasady lokalizacji detektorów

Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz

Czynniki wpływające na lokalizację detektorów:

- prędkość potoku pojazdów (w tym lokalizacja strefy dylematu),
- natężenie ruchu pojazdów i struktura rodzajowa,
- zasięg kolejek,
- preferencje dla obsługi danego kierunku,
- sposób obsługi pojazdów w fazie (kolizyjny/bezkolizyjny),
- logika sterowania (np. przy braku wzbudzeń),
- ograniczenia praktyczne (np. długość pasa ruchu),
- metoda sterowania i specyfika systemu sterowania ruchem (zasady działania, lokalizacja detektorów strategicznych)



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

47

47


Zasady lokalizacji detektorów

Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz

Zasady lokalizacji detektorów:

- sterowanie powinno zapewniać obsługę pojazdów, które zostaną wykryte przez detektory,
- zainstalowane czujniki detektorów określają „na stałe” obszar pomiaru zgłoszeń,
- od lokalizacji czujników zależą wartości niektórych parametrów sterowania.

Zależności między lokalizacją detektorów a podstawowymi parametrami sterowania akomodacyjnego kierunkują sposób rozmieszczenia detektorów w celu optymalizacji obsługi pojazdów (zwiększenia pewności obsługi, zmniejszenia bezwładności działania sygnalizacji).



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

48

48

Zasady lokalizacji
detektorów

Układy detekcji
Parametry
sterowania
Sygnalizacja
adaptacyjna
Program
bazowy
Układ faz
Sterowanie przy
braku
wzbudzeń
Sekwencja faz

Zasady lokalizacji detektorów:

Lokalizacja ustalana w sposób arbitralny:

$$L_{Dz} = 15 \div 40 \text{ [m] od linii zatrzymania}$$

Lokalizacja ustalana z warunku obsługi kolejki
zgromadzonej między detektorem a linią zatrzymania:

$$L_{Dz} \leq L_u \left(\frac{G_{min}}{h^k} - 1 \right)$$

L_{Dz} – odległość czujnika od linii zatrzymania [m]

L_u – efektywna długość pojazdu [m],

G_{min} – minimalny sygnał zielony [s],

h^k – odstęp czasu między pojazdami kolejki [s].



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światlna na Skrzyżowaniach 2019/20

49

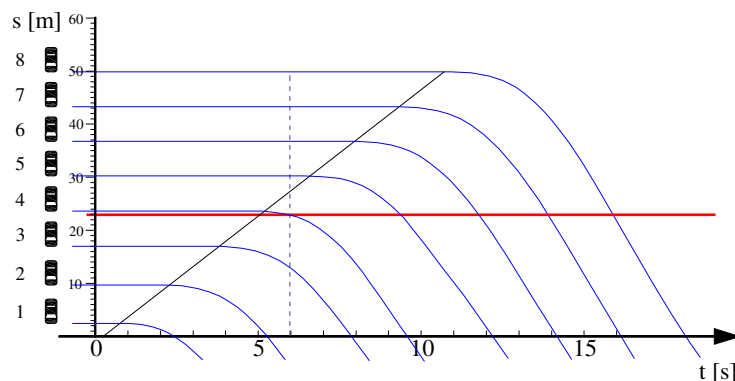
49

Zasady lokalizacji
detektorów

Układy detekcji
Parametry
sterowania
Sygnalizacja
adaptacyjna
Program
bazowy
Układ faz
Sterowanie przy
braku
wzbudzeń
Sekwencja faz

Zasady lokalizacji detektorów:

Lokalizacja ustalana w zależności od rozruchu pierwszego
pojazdu zatrzymanego przed czujnikiem detektora
a wartością minimalnego sygnału zielonego G_{min} :



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światlna na Skrzyżowaniach 2019/20

50

50

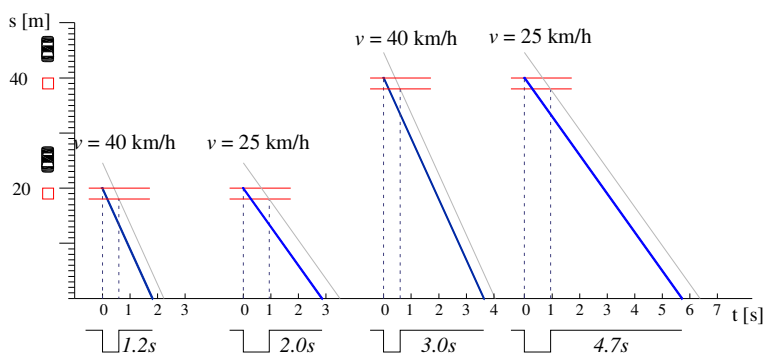
Zasady lokalizacji detektorów
Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz



Zasady lokalizacji detektorów:

Lokalizacja ustalana na podstawie prędkości oraz nastaw w sterowniku (jednostkowego wydłużenia):

$$L^D = V^{50\%} \times \Delta G$$



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

51

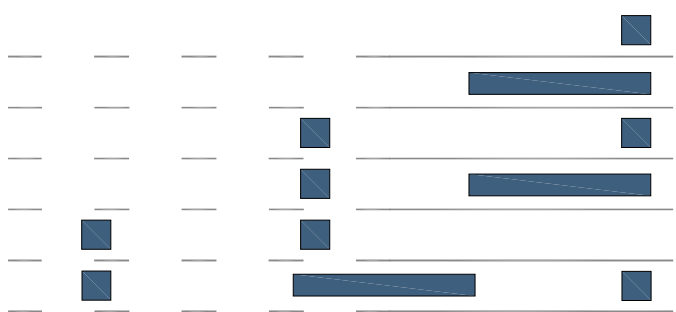
51

Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz
Przejścia międzyfazowe



Układy detekcji:

- jednodetektorowe
- wielodetektorowe
- z długą pętlą stopową/przejazdową
- z detektorem obecności przy LZ
- bez detektora obecności przy LZ



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

52

52

Układy detekcji

- Parametry sterowania
- Sygnalizacja adaptacyjna
- Program bazowy
- Układ faz
- Sterowanie przy braku wzbudzeń
- Sekwencja faz
- Przejścia międzyfazowe



Układy detekcji:

- detektory przejazdu i detektory zajętości z długą pętlą na wlotach podporządkowanych oraz detektory przejazdu na wlotach głównych,
- detektory przejazdu i zajętości z długą pętlą na wszystkich wlotach,
- detektory zajętości i przejazdu na wszystkich wlotach oraz detektory przejazdu umieszczone w odległości 100 m przed linią zatrzymania,
- duży obszar detekcji z krótkim czasem przedłużenia,
- detektory oddalone od linii zatrzymania oraz brak detektora przed linią zatrzymania.

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

53

53

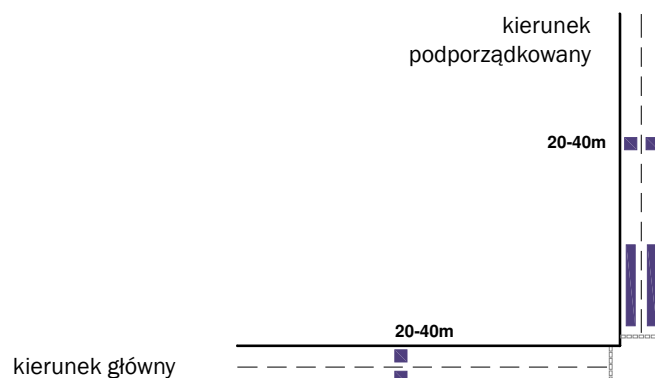
Układy detekcji

- Parametry sterowania
- Sygnalizacja adaptacyjna
- Program bazowy
- Układ faz
- Sterowanie przy braku wzbudzeń
- Sekwencja faz
- Przejścia międzyfazowe



Układy detekcji:

Detektory przejazdu i detektory zajętości z długą pętlą na wlotach podporządkowanych oraz detektory przejazdu na wlotach głównych



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

54

54

Układy detekcji

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna

Program bazowy

Układ faz

Sterowanie przy braku wzbudzeń

Sekwencja faz

Przejścia międzyfazowe

Układy detekcji:

Detektory przejazdu i zajętości z długą pętlą na wszystkich wlotach

wloty podporządkowane, o niższych prędkościach

kierunek równorzędny 20-40m

20-40m

kierunek równorzędny

55

55

Układy detekcji

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna

Program bazowy

Układ faz

Sterowanie przy braku wzbudzeń

Sekwencja faz

Przejścia międzyfazowe

Układy detekcji:

Detektory zajętości i przejazdu na wszystkich wlotach oraz detektory przejazdu umieszczone w odległości 100 m przed linią zatrzymania

- sterowanie typu „all red”

(kierunki równoważne) 100-120m

40m

100-120m 40m

(kierunki równoważne)

56

56

Układy detekcji

- Parametry sterowania
- Sygnalizacja adaptacyjna
- Program bazowy
- Układ faz
- Sterowanie przy braku wzbudzeń
- Sekwencja faz
- Przejścia międzyfazowe

Układy detekcji:

Detektory oddalone od linii zatrzymania oraz brak detektora przed linią zatrzymania

Skrzyżowania o dużych prędkościach na kierunku głównym z preferencją dla tego kierunku

57

57

Układy detekcji

- Parametry sterowania
- Sygnalizacja adaptacyjna
- Program bazowy
- Układ faz
- Sterowanie przy braku wzbudzeń
- Sekwencja faz
- Przejścia międzyfazowe

Układy detekcji:

Detektory z długą pętlą przejazdową / stopową

58

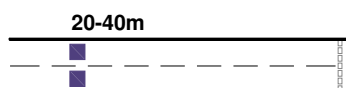
58

Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz
Przejścia międzyfazowe



Układy detekcji:

Detektor z pętlą oddaloną od linii zatrzymania



- kierunek główny z fazą preferowaną,
- umiarkowane i znaczne natężenia ruchu,
- problematyczne w przypadku wlotów jednopasowych oraz długich sygnałów świetlnych (prawdopodobieństwo przzerwania obsługi kolumny pojazdów).

Układy detekcji
Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz
Przejścia międzyfazowe



Układy detekcji:

Układ z długą pętlą przejazdową



- kierunek główny bądź podporządkowany o znaczącym natężeniu ruchu,
- długa pętla przejazdowa umożliwia dostosowanie jednostkowego przedłużenia do lokalizacji pętli,
- uwzględnia zmienną prędkość rozładowania kolejki

Układy detekcji

- Parametry sterowania
- Sygnalizacja adaptacyjna
- Program bazowy
- Układ faz
- Sterowanie przy braku wzbudzeń
- Sekwencja faz
- Przejścia międzyfazowe

Układy detekcji:

Układ z długą pętlą przejazdową

Wpływ prędkości na rozmieszczenie detektorów

*M – skrzyżowania miejskie,
Z – skrzyżowanie zamiejskie*

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

61

61

Układy detekcji

- Parametry sterowania
- Sygnalizacja adaptacyjna
- Program bazowy
- Układ faz
- Sterowanie przy braku wzbudzeń
- Sekwencja faz
- Przejścia międzyfazowe

Układy detekcji:

Długa pętla przy linii zatrzymania

- wloty podporządkowane, słabo obciążone o niewielkich prędkościach przejazdu,
- relacje skrajne, relacje obsługiwane w sposób kolizyjny (duży rozrzut czasu obsługi kolejki),
- krótkie jednostkowe przedłużenie umożliwia szybsze zakończenie sygnału zezwalającego.

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

62

62

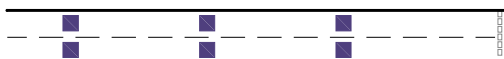
Układy detekcji

Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz
Przejścia międzyfazowe



Układy detekcji:

Układy wielodetektorowe o dalekim zasięgu detekcji



- kierunek główny, preferowany
- faza preferowana, stan ustalony
- wysokie prędkości dojazdu do skrzyżowania (umożliwia ochronę strefy dylematu)
- nie jest zalecany dla przeciążonych wlotów

Układy detekcji

Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz
Przejścia międzyfazowe



Układy detekcji:

Układy specjalne dla skrzyżowań o wysokich prędkościach dojazdu do skrzyżowania (LHOVRA)

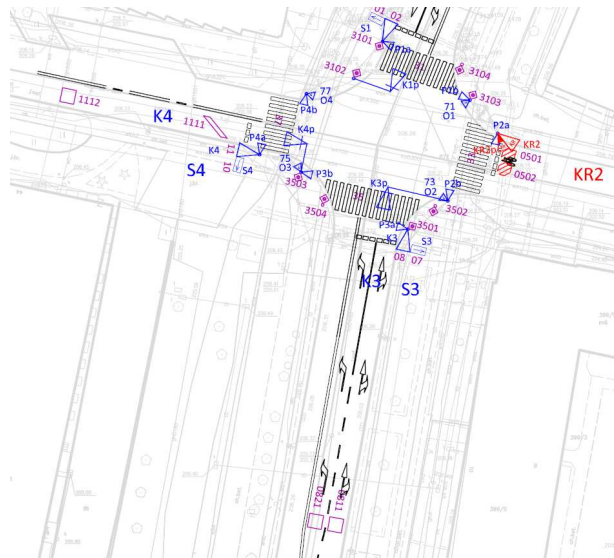
Funkcje detektorów w systemie LHOVRA (V = 70 km/h)					
L	L				
H		H	H		
O			O	O	
V				V	V
R				R	
A			A	A	A

Układy detekcji

Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekuencja faz
Przejścia międzyfazowe



Przykłady:



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

65

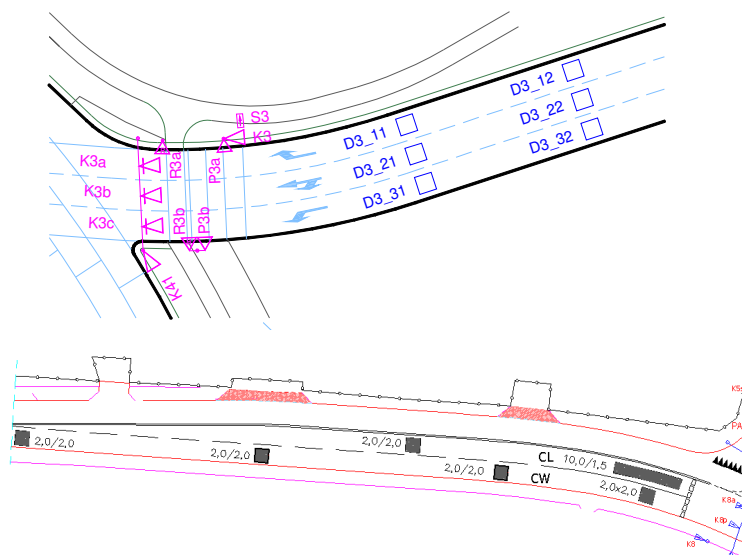
65

Układy detekcji

Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekuencja faz
Przejścia międzyfazowe



Przykłady:



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

66

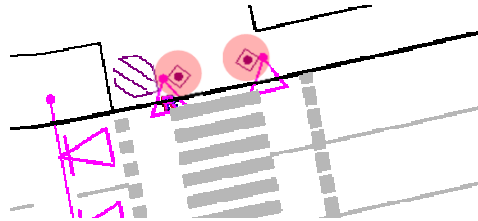
66

Układy detekcji

Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz
Przejścia międzyfazowe

Przyciski dla pieszych:

- stosowane w razie potrzeby (strategia sterowania na skrzyżowaniu),
- uwzględniające kierunek dojścia pieszego (główne ciągi piesze, np. od przystanku komunikacji zbiorowej),
- minimalizujące konieczność nakładania drogi przez pieszego.



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

67

67

Układy detekcji

Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz
Przejścia międzyfazowe

Detekcja rowerzystów:

- stosowana w razie potrzeby (decyduje strategia sterowania ruchem na skrzyżowaniu),
- przy linii zatrzymania przed przejazdem dla rowerzystów, w miejscu oczekiwania rowerzysty,
- oddalona, kierunkowa (wczesne zgłoszenie zapotrzebowania, wydłużenie sygnału zielonego).



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

68

68

Układy detekcji

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna

Program bazowy

Układ faz

Sterowanie przy braku wzbudzeń

Sekwencja faz

Przejścia międzyfazowe

Detekcja rowerzystów:

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

69

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna

Program bazowy

Układ faz

Sterowanie przy braku wzbudzeń

Sekwencja faz

Przejścia międzyfazowe

Algorytm sterowania

Podstawowe parametry sterowania akomodacyjnego:

Podstawowe parametry sterowania:

- Minimalny sygnał zielony G_{min}
- Maksymalny sygnał zielony G_{max}
- Jednostkowe wydłużenie sygnału zielonego ΔG

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

70

Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz
Przejścia międzyfazowe
Algorytm sterowania



Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Przedłużenie jednostkowe ΔG

(odstęp czasu, lokalizacja czujników detektorów)

- z zależności:

$$\Delta G = 0.4 \frac{L_{Dz}}{v_{sr}}$$

- z zależności:

$$\Delta G = \frac{L_{Dz}}{v_{20}}$$

- z zależności:

$$\Delta G = \sqrt{2 \cdot \frac{L_U + L_{Dz}}{a}}$$

L_{Dz} – odległość detektora od linii zatrzymania [m]

L_U – efektywna długość pojazdu (stanowiska w kolejce) [m]

v_{sr} – średnia prędkość potoku pojazdów [m/s]

v_{20} – kwantyl 20% prędkości pojazdów [m/s]

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

71

71

Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz
Przejścia międzyfazowe
Algorytm sterowania



Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Przedłużenie jednostkowe ΔG

- z warunku stochastycznego efektywnego funkcjonowania sterowania akomodacyjnego (duże prawdopodobieństwo obsługi pojazdów z kolejki)

$$\Delta G = \max \left\{ \left(h_{sr}^K + 3\sigma_{h^K} \right); \left(t_{sr}^{przej} + 3\sigma_{t^{przej}} \right) \right\}$$

h_{sr}^K – wartość średnia odstępu czasu między pojazdami kolejki w przekroju detektora [s]

σ_{h^K} – odchylenie standardowe odstępu czasu

t_{sr}^{przej} – wartość średnia z czasów przejazdu przez pojazdy kolejki odcinka drogi pomiędzy czujnikiem detektora a linią zatrzymania

$\sigma_{t^{przej}}$ – odchylenie standardowe czasu przejazdu

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

72

72

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna

Program bazowy

Układ faz

Sterowanie przy braku wzbudzeń

Sekwencja faz

Przejścia międzyfazowe

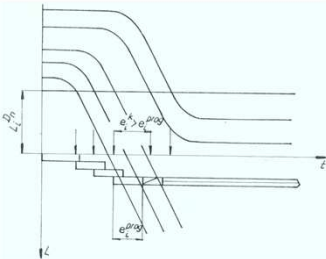
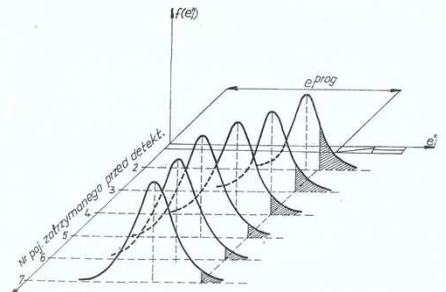
Algorytm sterowania

Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Przedłużenie jednostkowe ΔG

- z warunku stochastycznego efektywnego funkcjonowania sterowania akomodacyjnego (duże prawdopodobieństwo obsługi pojazdów z kolejki)

$$\Delta G = \max\left\{\left(h_{sr}^K + 3\sigma_{h^K}\right); \left(t_{sr}^{przej} + 3\sigma_{t^{przej}}\right)\right\}$$

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

73

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna

Program bazowy

Układ faz

Sterowanie przy braku wzbudzeń

Sekwencja faz

Przejścia międzyfazowe

Algorytm sterowania

Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Minimalny sygnał zielony G_{min}

(warunki sterowania dopuszczalnego – percepcja uczestników ruchu, warunki geometryczne, lokalizacja czujników)

- arbitralnie – spełniające wymagania formalne i percepcji uczestników ruchu,
- z uwagi na potrzeby innych uczestników ruchu, np. pieszych.

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

74

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna

Program bazowy

Układ faz

Sterowanie przy braku wzbudzeń

Sekwencja faz

Przejścia międzyfazowe

Algorytm sterowania



Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Minimalny sygnał zielony G_{min}

- arbitralnie – spełniające wymagania formalne i percepcji uczestników ruchu,

Typ relacji	Klasa drogi		Minimum sygnału zielonego oczekiwane przez kierowców
Relacja na wprost i relacja w prawo	Główne arterie komunikacyjne (autostrady, drogi ekspresowe i główne ruchu przyspieszonego)	prędkości powyżej $65 \frac{km}{h}$	$10 \div 15s$
		prędkości mniejsze lub równe $65 \frac{km}{h}$	$7 \div 15s$
	Drogi główne		$4 \div 10s$
	Drogi zbiorcze, lokalne i dojazdowe		$2 \div 10s$
Relacja w lewo	Każda klasa drogi		$2 \div 5s$

Źródło: The Signal Timing Manual. FHWA, 2008

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

75

75

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna

Program bazowy

Układ faz

Sterowanie przy braku wzbudzeń

Sekwencja faz

Przejścia międzyfazowe

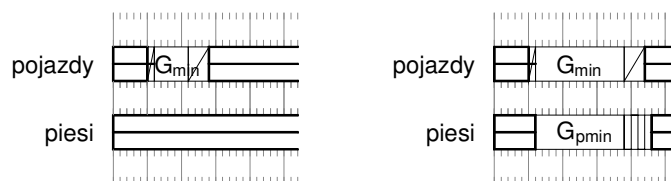
Algorytm sterowania



Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Minimalny sygnał zielony G_{min}

- z uwagi na potrzeby innych uczestników ruchu, np. pieszych.



Sygnał zielony dla pieszych:

czas przejścia:

$$G_{min}^{p,r} = \frac{l_{p,r}}{\bar{v}_{p,r}} [s]$$

z uwzględnieniem liczby pieszych n_p

$$G_{min}^p = 3,2 + \frac{l_p}{v_{sr}} + 0,81 \cdot \frac{n_p}{w_p}$$

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

76

76

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekuencja faz
Przejścia międzyfazowe
Algorytm sterowania

Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Minimalny sygnał zielony G_{min}

- z przekształcenia zależności dotyczącej lokalizacji czujników (obsługa kolejki na sygnale zielonym):

$$G_{min} \geq h^k \cdot \left(\frac{L_{Dz}}{L_U} + 1 \right)$$

- z uwzględnieniem czasu reakcji i intensywności odpływu

$$G_{min} = \frac{1}{S} \cdot \frac{L_{Dz}}{L_U} + t_r$$

t_r – czas reakcji kierowcy na podanie sygnału zielonego [s]
 S – intensywność nasycenia [1/s]



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światlna na Skrzyżowaniach 2019/20

77

77

Parametry sterowania

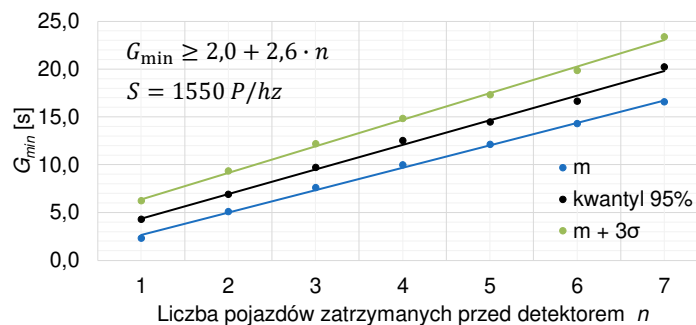
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekuencja faz
Przejścia międzyfazowe
Algorytm sterowania

Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Minimalny sygnał zielony G_{min}

zjazd pojazdów z kolejki przed detektorem:

$$G_{min} = 4 + 2 \cdot \frac{L_{Dz}}{L_U} \quad G_{min} = 2 + 2n \text{ [s]} \quad G_{min} = 5 + 2n \text{ [s]}$$



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światlna na Skrzyżowaniach 2019/20

78

78

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekuencja faz
Przejścia międzyfazowe
Algorytm sterowania

Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Minimalny sygnał zielony G_{\min}

- z warunku „stochastycznego” efektywnego funkcjonowania sterowania akomodacyjnego (duże prawdopodobieństwo obsługi pojazdów z kolejki)

$$G_{\min} = t_{sr}^{zgt} + 3\sigma t_{zgt}$$

t_{sr}^{zgt} – wartość średnia z chwil zgłoszeń nad czujnikiem detektora;

σt_{zgt} – odchylenie standardowe chwil zgłoszeń



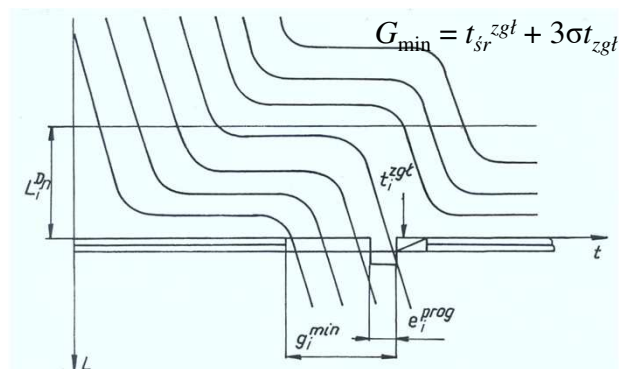
Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekuencja faz
Przejścia międzyfazowe
Algorytm sterowania

Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Minimalny sygnał zielony G_{\min}

- z warunku „stochastycznego” efektywnego funkcjonowania sterowania akomodacyjnego (duże prawdopodobieństwo obsługi pojazdów z kolejki)



Parametry sterowania

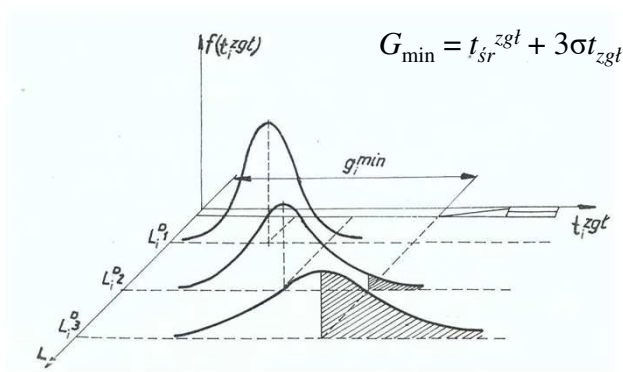
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekuencja faz
Przejścia międzyfazowe
Algorytm sterowania



Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Minimalny sygnał zielony G_{\min}

- z warunku „stochastycznego” efektywnego funkcjonowania sterowania akomodacyjnego (duże prawdopodobieństwo obsługi pojazdów z kolejki)



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

81

81

Parametry sterowania

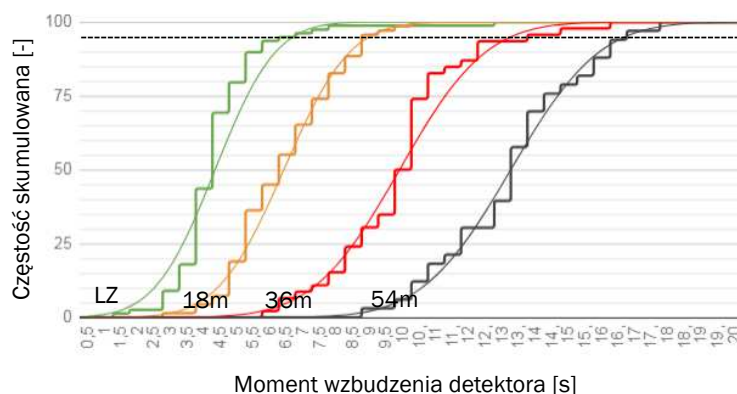
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekuencja faz
Przejścia międzyfazowe
Algorytm sterowania



Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Minimalny sygnał zielony G_{\min}

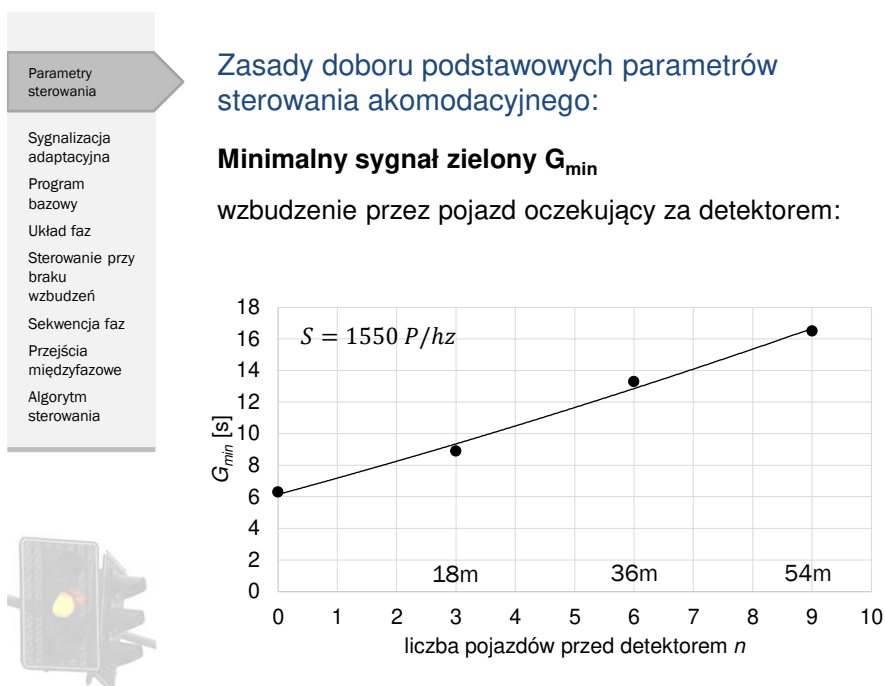
wzbudzenie przez pojazd oczekujący za detektorem:



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

82

82



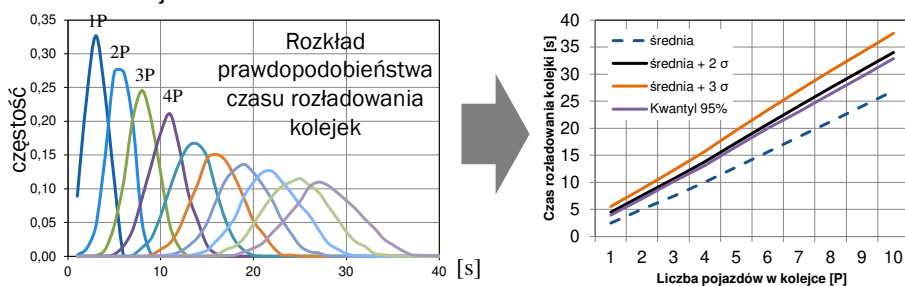
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

83

83

Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Badania krajowe:



Lp.	Odległość detektora od linii zatrzymań [m]	Liczba pojazdów w kolejce [P]	Minimum sygnału zielonego [s]		
			p. wew. (zam).	p. zewn. (zam).	p. skrajny (Krk)
1	6,2 ÷ 12,4	1	4 (5)*	4 (5)*	5
2	12,4 ÷ 18,6	2	7	7	7
3	18,6 ÷ 24,8	3	10	10	10
4	24,8 ÷ 31,0	4	13	13	13
5	31,0 ÷ 37,2	5	16	17	15
6	37,2 ÷ 43,4	6	18	20	18

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

84

84

Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz
Przejścia międzyfazowe
Algorytm sterowania

Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Maksymalny sygnał zielony G_{\max}

(warunki ruchu, ograniczenia górne czasu cyklu, aspekty psychologiczne kierowców)

- Arbitralnie w zakresie uzależnionym od lokalizacji skrzyżowania
- Optymalny czas cyklu dla maksymalnych współczynników obciążenia skrzyżowania – G_{\max} proporcjonalny do wartości stopni nasycenia
- Uwzględniając akceptowalny czas oczekiwania przy sygnale zabraniającym na wjazd/wejście na skrzyżowanie



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

85

85

Parametry sterowania
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekwencja faz
Przejścia międzyfazowe
Algorytm sterowania

Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Maksymalny sygnał zielony G_{\max}

- Arbitralnie w zakresie uzależnionym od lokalizacji skrzyżowania

Typ relacji	Klasa drogi		Maksimum sygnału zielonego
Relacja na wprost i relacja w prawo	Główne arterie komunikacyjne (autostrady, drogi ekspresowe i główne ruchu przyspieszonego)	prędkości powyżej $65 \frac{km}{h}$	$50 \div 70s$
		prędkości mniejsze lub równe $65 \frac{km}{h}$	$40 \div 60s$
	Drogi główne		$30 \div 50s$
	Drogi zbiorcze, lokalne i dojazdowe		$20 \div 40s$
Relacja w lewo	Każda klasa drogi		$15 \div 30s$

Źródło: The Signal Timing Manual. FHWA, 2008



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

86

86

Parametry sterowania

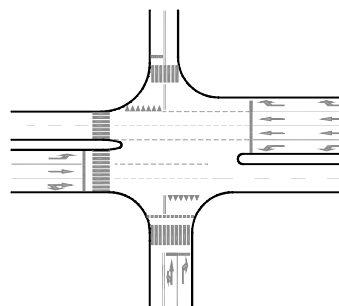
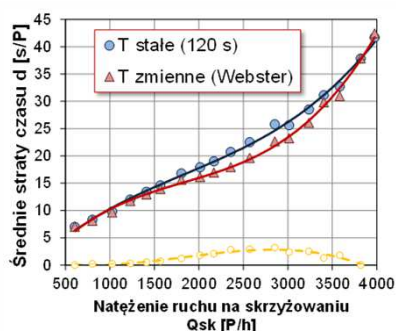
Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekuencja faz
Przejścia międzyfazowe
Algorytm sterowania



Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Maksymalny sygnał zielony G_{\max}

- Optymalny czas cyklu dla maksymalnych współczynników obciążenia skrzyżowania – G_{\max} proporcjonalny do wartości stopni nasycenia



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

87

87

Parametry sterowania

Sygnalizacja adaptacyjna
Program bazowy
Układ faz
Sterowanie przy braku wzbudzeń
Sekuencja faz
Przejścia międzyfazowe
Algorytm sterowania

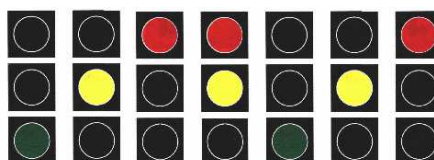


Zasady doboru podstawowych parametrów sterowania akomodacyjnego:

Minimalny sygnał czerwony R_{\min}

(warunki sterowania dopuszczalnego – percepcja uczestników ruchu)

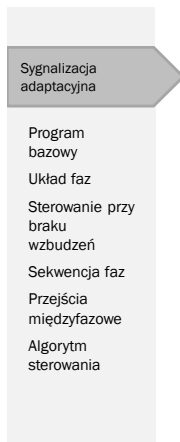
- arbitralnie w zakresie $2 \div 5$ [s]



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

88

88



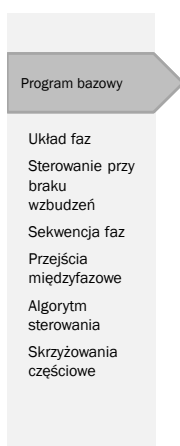
Etapy projektowania sygnalizacji adaptacyjnej:

1. wybór sposobu i metody sterowania,
2. wybór rodzaju algorytmu,
3. opracowanie programu bazowego
4. wyznaczenie zestawu faz ruchu sygnalizacji adaptacyjnej z opracowaniem schematu faz ruchu (fazy podstawowe, fazy możliwe, sekwencja faz),
5. zaprojektowanie programów przejść międzyfazowych,
6. zaprojektowanie rozmieszczenia i określenie funkcji detektorów (warunków logicznych),
7. wyznaczenie warunków czasowych,
8. opracowanie schematu blokowego (sieci działań algorytmu).

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

89

89



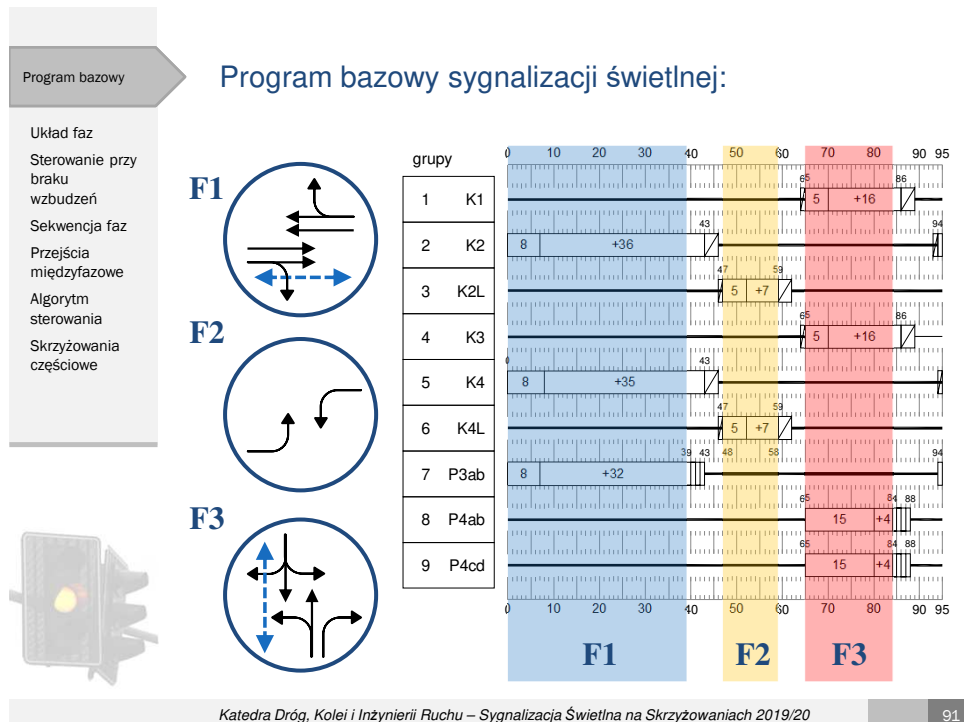
Program bazowy sygnalizacji świetlnej:

- Program cykliczny (stałoczasowy) stanowiący podstawę do opracowania programu adaptacyjnego
- Wyznaczany z kryterium przepustowości skrzyżowania i warunków ruchu (długość cyklu, długość sygnałów zielonych, sekwencja faz ruchu)
- Sposób opracowania warunkuje ograniczenia na opracowanie algorytmu sterowania ruchem:
 - ograniczenie górne długości cyklu sygnalizacji adaptacyjnej
 - ograniczenie dolne maksymalnej długości sygnałów zielonych
- Program bazowy powinien uwzględniać adaptacyjny sposób sterowania ruchem.

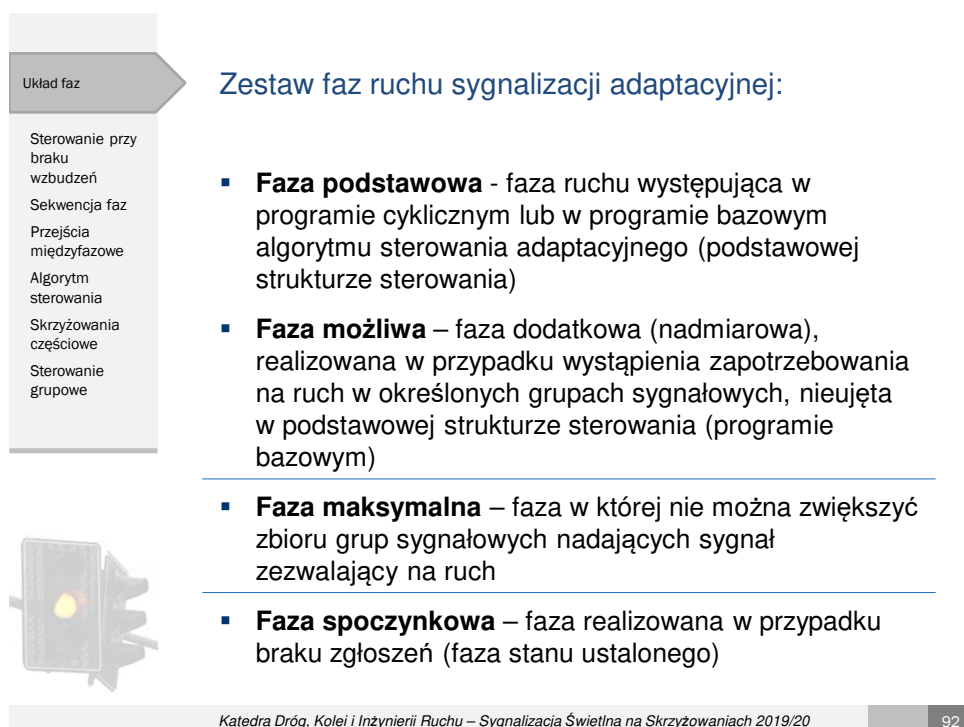
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

90

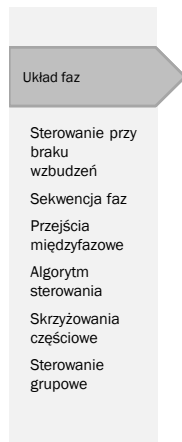
90



91



92



Kryteria wprowadzania faz możliwych:

Wprowadzanie faz możliwych ma na celu:

- poprawę efektywności sterowania (dostosowanie do bieżącego zapotrzebowania na ruch)
- zwiększenie elastyczności sterowania ruchem (skrócenie czasu do nadania sygnału zezwalającego w grupach, w których zarejestrowano zgłoszenie)

Fazy możliwe zwiększają elastyczność działania sygnalizacji świetlnej w przypadku braku zgłoszeń w części grup sygnałowych.

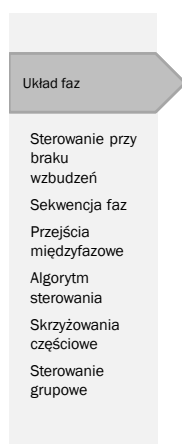


Wzrost liczby faz możliwych znacząco komplikuje algorytm sterowania – ich wprowadzenie powinno być uzasadnione.

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

93

93



Kryteria wprowadzania faz możliwych:

Zbiór faz podstawowych może być rozszerzony o fazy możliwe ze względu na:

- duże różnice w minimalnych długościach sygnałów zielonych obsługiwanych w fazie,
- duże różnice w czasach międzyzielonych (czasach przełączeń) następujących po poszczególnych grupach sygnałowych obsługiwanych w danej fazie,
- możliwość jednoczesnej obsługi kombinacji strumieni ruchu, która nie jest przewidywana w układzie faz podstawowych,
- małe prawdopodobieństwo zgłoszenia uczestnika ruchu w trakcie trwania fazy ruchu



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

94

94

Układ faz

Sterowanie przy
braku
wzbudzeń

Sekwencja faz

Przejścia
międzyfazowe

Algorytm
sterowania

Skrzyżowania
częściowe

Sterowanie
grupowe

Kryteria wprowadzania faz możliwych:

Faz możliwych nie wprowadza się, jeśli:

- nie poprawiają efektywności sterowania oraz nie zmniejszają bezwładności działania sygnalizacji świetlnej,
- mogą prowadzić do dezorientacji użytkowników i w konsekwencji pogorszenia bezpieczeństwa ruchu,
- są niepożądane ze względu na sekwencję faz ruchu,
- prawdopodobieństwo realizacji danej fazy w algorytmie sterowania jest niskie.



Układ faz

Sterowanie przy
braku
wzbudzeń

Sekwencja faz

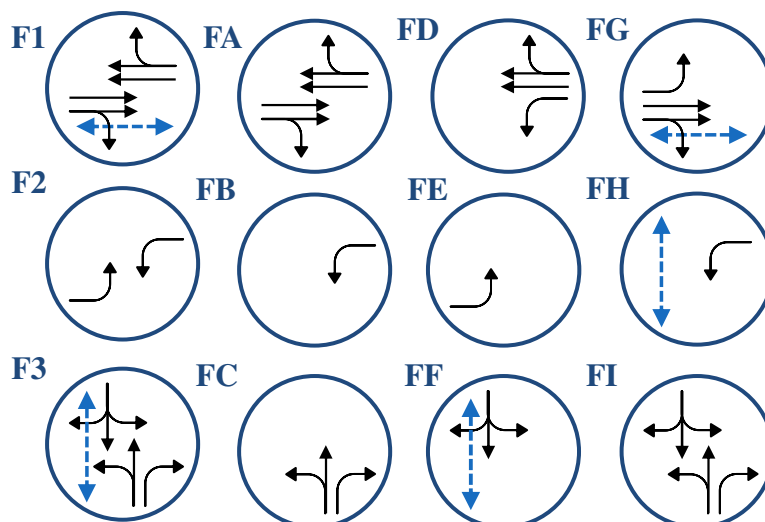
Przejścia
międzyfazowe

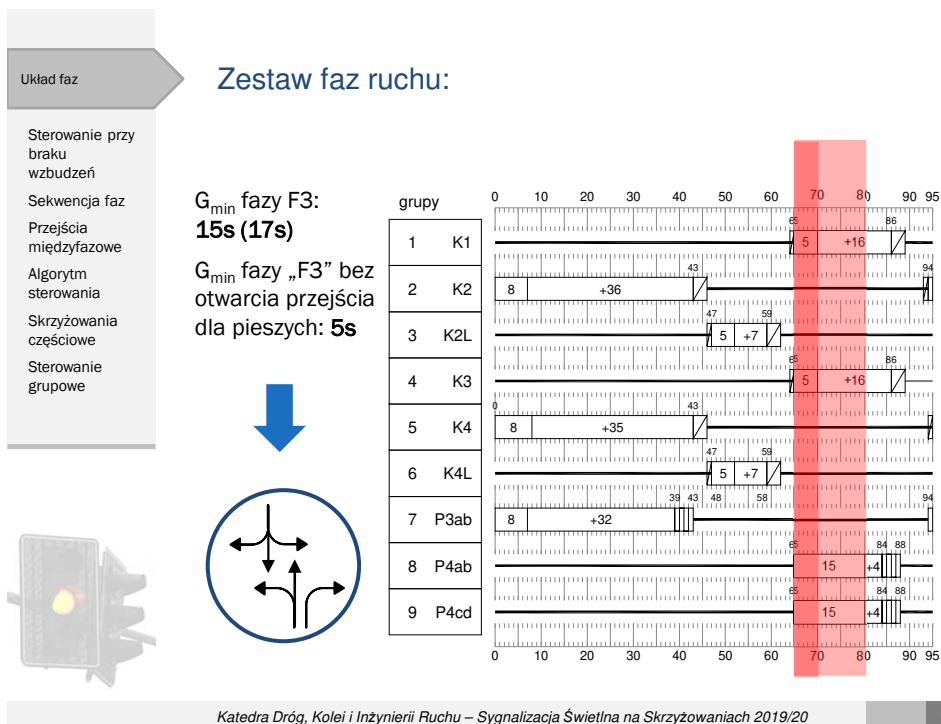
Algorytm
sterowania

Skrzyżowania
częściowe

Sterowanie
grupowe

Zestaw faz ruchu sygnalizacji adaptacyjnej:

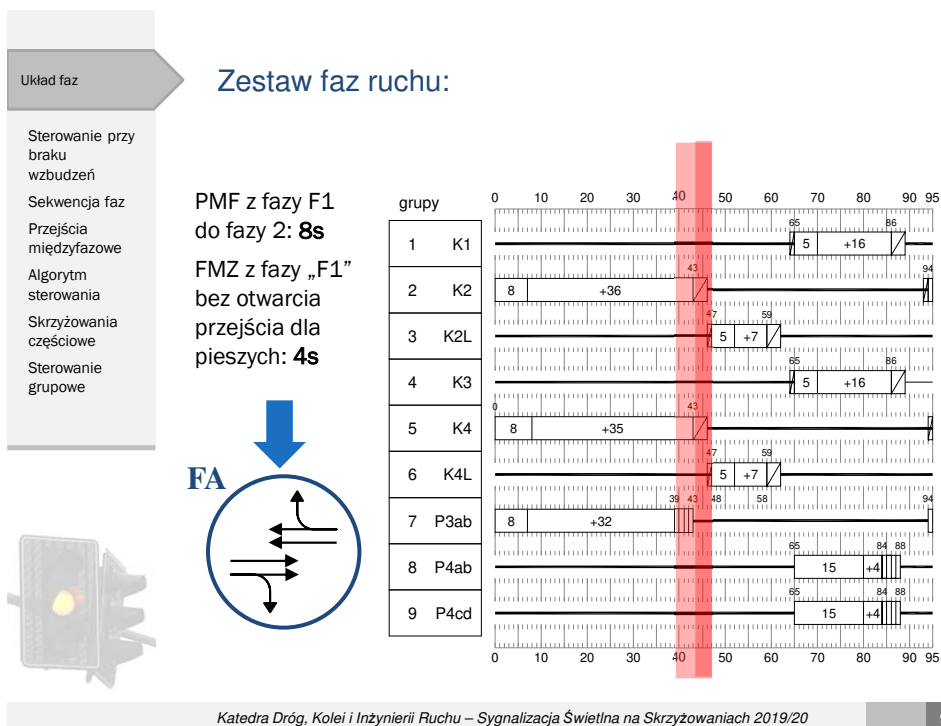




Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

97

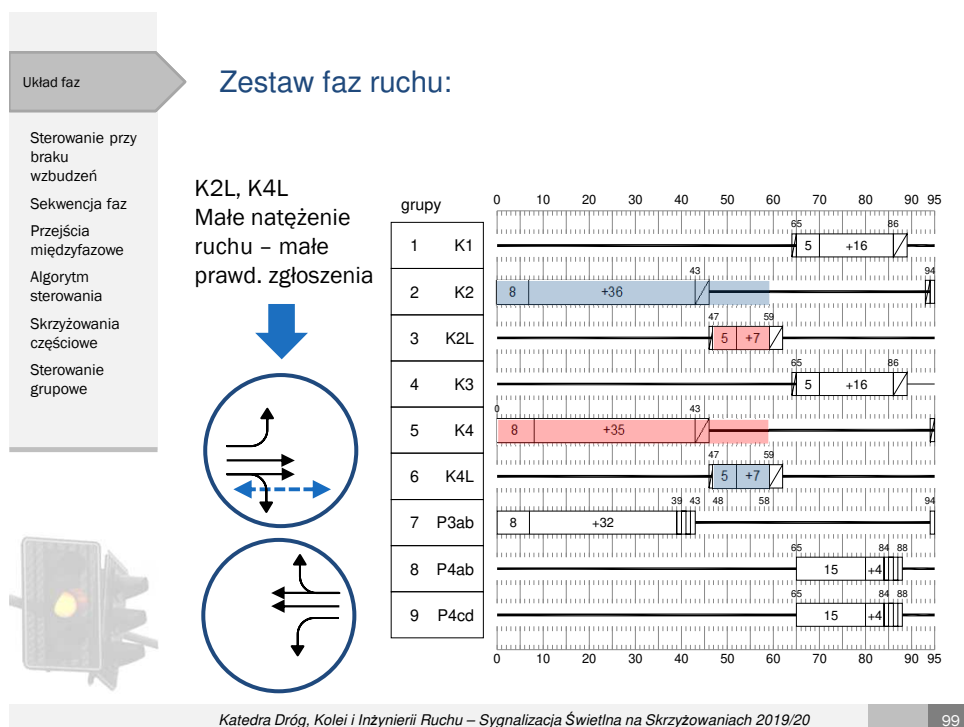
97



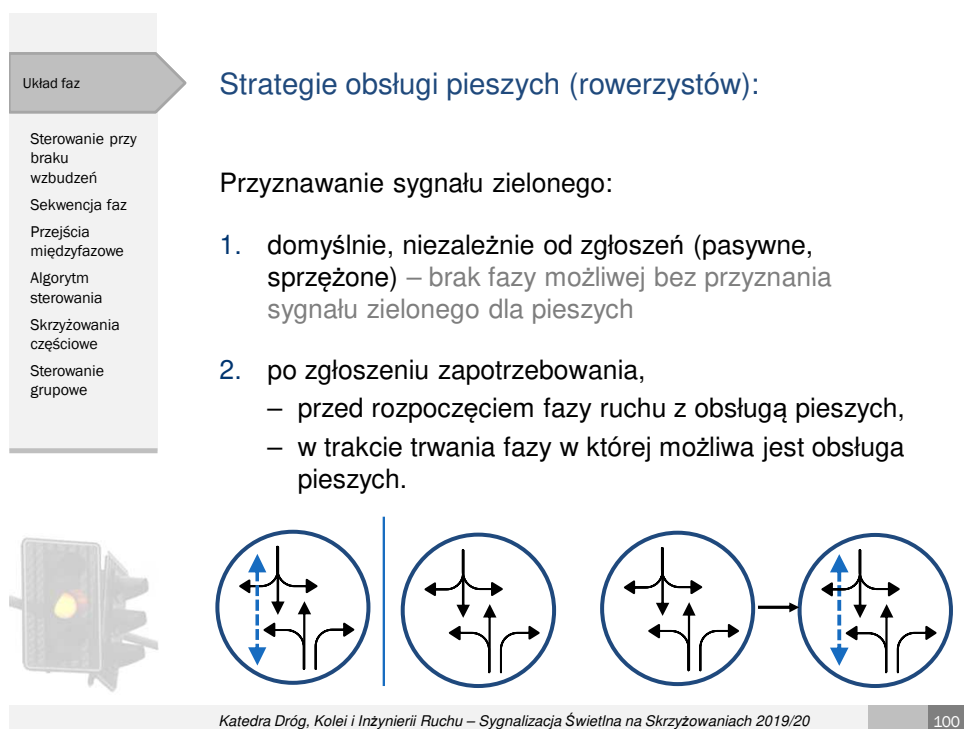
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

98

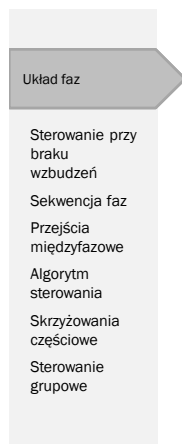
98



99



100



Strategie obsługi pieszych (rowerzystów):

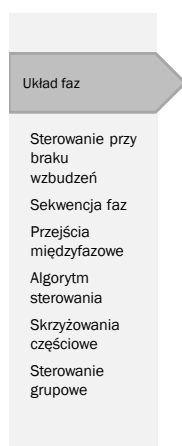
Przyznawanie sygnału zielonego:

- domyślnie, niezależnie od zgłoszeń (pasywne, sprzężone)
 - uprzywilejowany ruch pieszy (centra miast),
 - w fazach wywoływanych cyklicznie niezależnie od zgłoszeń, w fazie preferowanej,
 - potrzeby pieszych nie wydłużają istotnie minimum czasu trwania fazy ruchu,
 - piesi nie wpływają wyraźnie na długość trwania przejścia międzyfazowego,
 - natężenia ruchu we współbieżnych grupach kołowych są duże,
 - natężenia ruchu pieszych są znaczne ($Q_{Ps} > 200 \text{ Ps/h}$)

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

101

101



Strategie obsługi pieszych (rowerzystów):

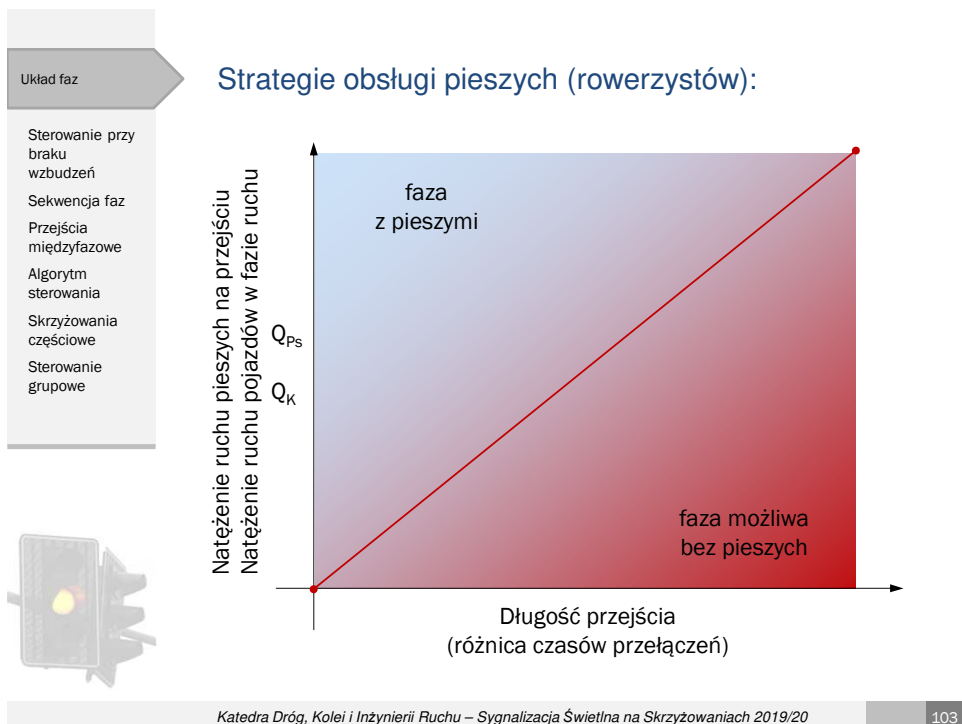
Przyznawanie sygnału zielonego:

- po zgłoszeniu zapotrzebowania
 - w fazach wywoływanych po zgłoszeniu zapotrzebowania,
 - potrzeby pieszych wydłużają istotnie minimum czasu trwania fazy ruchu w porównaniu do potrzeb ruchowych grup kołowych
 - piesi nie wydłużają czas trwania przejścia międzyfazowego,
 - natężenia ruchu we współbieżnych grupach kołowych są niewielkie,
 - natężenia ruchu pieszych są małe ($Q_{Ps} < 100 \text{ Ps/h}$)

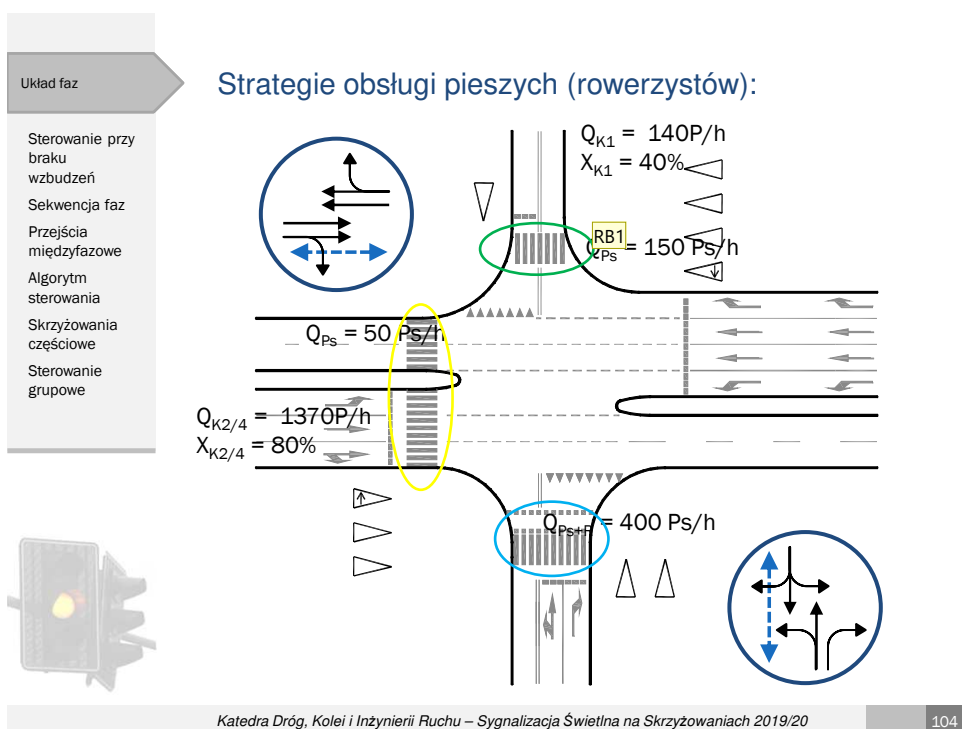
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

102

102



103



104

Slajd 104

RB1

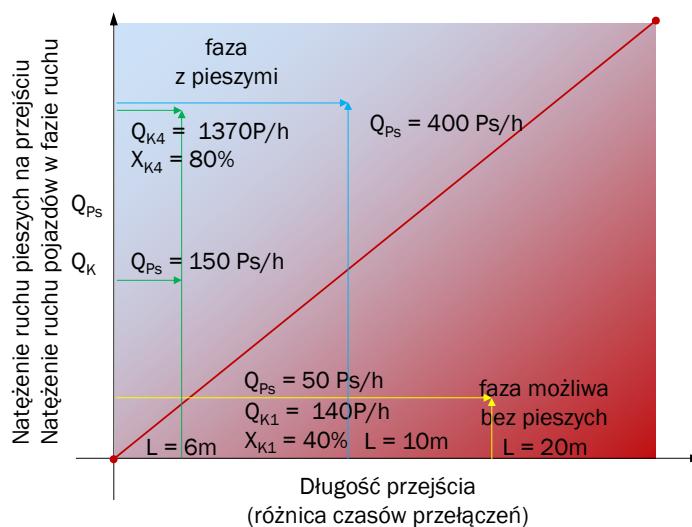
Radoslaw Bak; 27.09.2019

Układ faz

- Sterowanie przy braku wzbudzeń
- Sekwencja faz
- Przejścia międzyfazowe
- Algorytm sterowania
- Skrzyżowania częściowe
- Sterowanie grupowe



Strategie obsługi pieszych (rowerzystów):



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

105

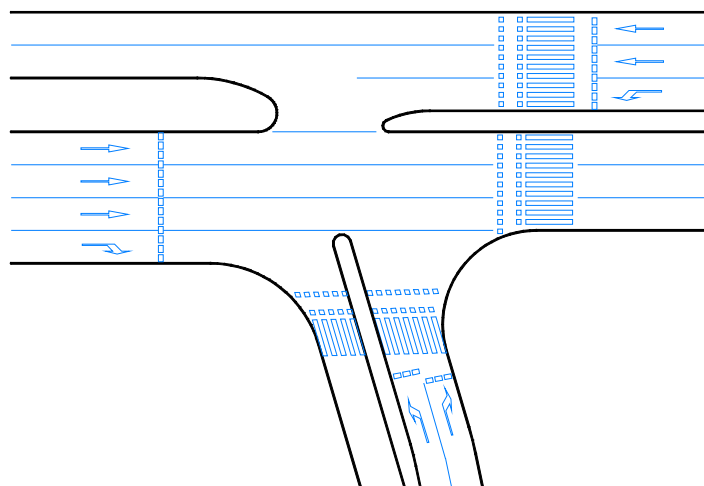
105

Układ faz

- Sterowanie przy braku wzbudzeń
- Sekwencja faz
- Przejścia międzyfazowe
- Algorytm sterowania
- Skrzyżowania częściowe
- Sterowanie grupowe



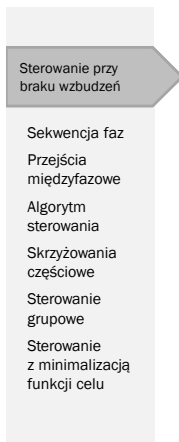
Strategie obsługi pieszych (rowerzystów):



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

106

106



Zasada pracy przy braku wzbudzeń (stan ustalony):

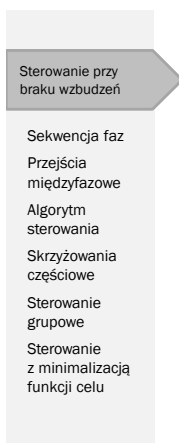
Strategie sterowania przy braku wzbudzeń:

- z fazą preferowaną
- wszędzie czerwone („all red”)
- praca cykliczna z określonym programem minimalnym
- oczekiwanie w aktualnej fazie ruchu

Czynniki wpływające na wybór strategii sterowania:

- geometria skrzyżowania,
- układ detekcji,
- natężenie ruchu i struktura kierunkowa,
- hierarchia krzyżujących się ulic,
- tryb pracy (izolowany, koordynacja).

107



Sterowanie z fazą preferowaną:

- potrzeba uprzywilejowania wybranego kierunku ruchu,
- dominujące natężenia ruchu w jednej z faz,
- krótkie przejścia międzyfazowe
- strumienie ruchu w jednej z faz nie są objęte detekcją,
- skrzyżowanie funkcjonuje w koordynacji liniowej

Zalety:

- zrozumiała praca sygnalizacji,
- prostszy algorytm sterowania,
- możliwe ograniczenie rozbudowy układu detekcji na pasach ruchu obsługiwanych w fazie preferowanej

Wady:

- wzrost strat czasu relacji podporządkowanych

108

Sterowanie przy
braku wzbudzeń

Sekwencja faz
Przejścia
międzyfazowe
Algorytm
sterowania
Skrzyżowania
częściowe
Sterowanie
grupowe
Sterowanie
z minimalizacją
funkcji celu

Sterowanie „all red”:

- brak wyróżnionego kierunku ruchu,
- zbliżone natężenia ruchu w poszczególnych fazach,
- długie przejścia międzyfazowe,
- wszystkie strumienie ruchu są objęte detekcją,
- skrzyżowanie pracuje w trybie izolowanym
- niedopuszczalne na drogach krajowych w zarządzie GDDKiA

Polecenie GDDKiA z dnia 31.08.2007 r.:

„Wyeliminować z sieci dróg krajowych programy sygnalizacji świetlnej z akomodacją w trybie „all red” i zastąpić je programami sterowania zapewniającymi w stanie ustalonym preferencję dla kierunku głównego”



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

109

109

Sterowanie przy
braku wzbudzeń

Sekwencja faz
Przejścia
międzyfazowe
Algorytm
sterowania
Skrzyżowania
częściowe
Sterowanie
grupowe
Sterowanie
z minimalizacją
funkcji celu

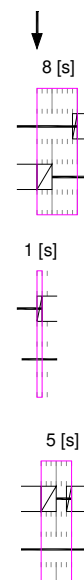
Sterowanie „all red”:

Zalety:

- minimalizacja czasu oczekiwania po zgłoszeniu zapotrzebowania na przejazd
- redukcja nadmiernych prędkości pojazdów przed skrzyżowaniem

Wady:

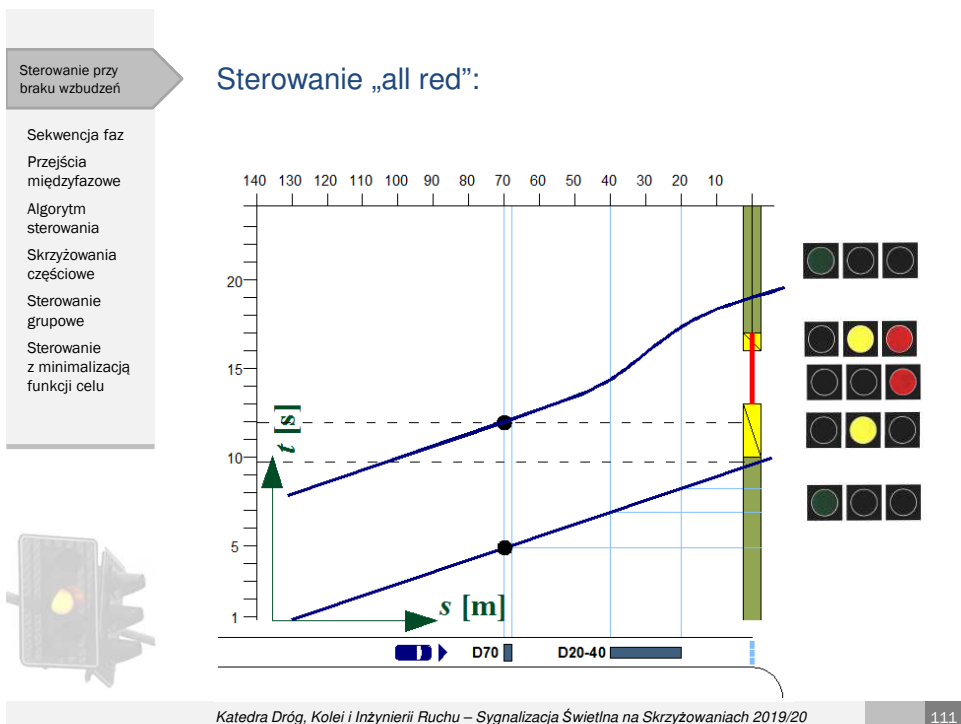
- zmiany sygnałów z punktu widzenia kierowcy mogą być uznawane za nieintuicyjne,
- do efektywnego działania potrzebny jest rozbudowany układ detekcji



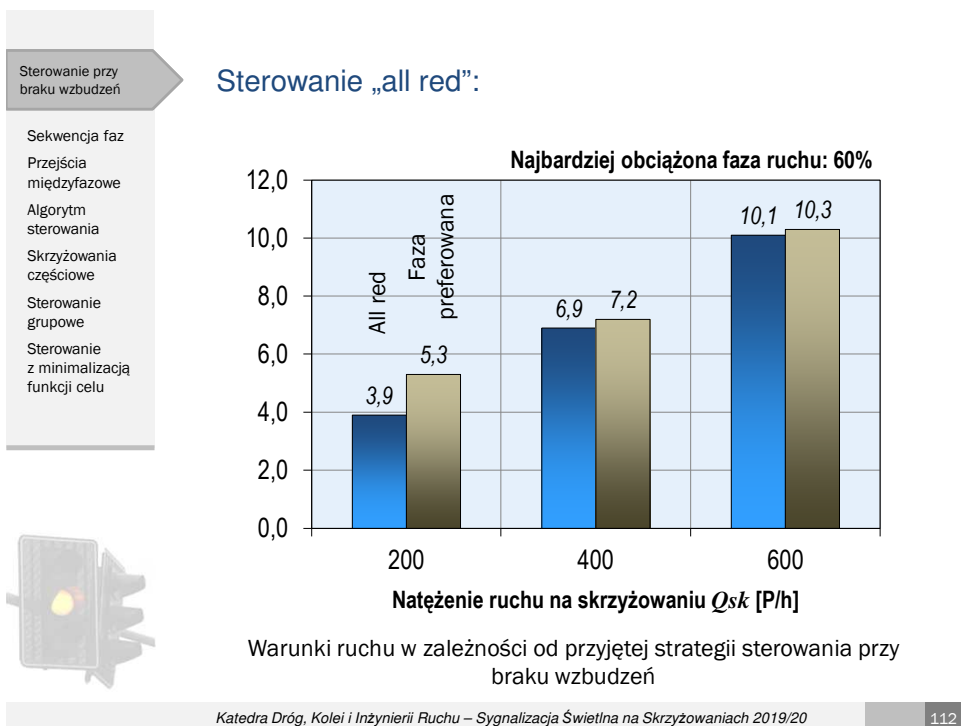
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

110

110



111



112

Sterowanie przy
braku wzbudzeń

Sekwencja faz
Przejścia
międzyfazowe
Algorytm
sterowania
Skrzyżowania
częściowe
Sterowanie
grupowe
Sterowanie
z minimalizacją
funkcji celu

Praca cykliczna z ustalonym programem:

- brak wyróżnionego kierunku ruchu na skrzyżowaniu charakteryzującego się intensywnym potokiem zgłoszeń (np. skrzyżowania z wyspą centralną),
- co najmniej dwa strumienie ruchu w różnych fazach nie są objęte detekcją (np. przejścia dla pieszych),
- skrzyżowanie funkcjonuje w koordynacji sieciowej.

Zalety:

- zrozumiałość pracy z punktu widzenia użytkownika
- prostszy algorytm sterowania,
- możliwość obsługi uczestnika ruchu przy braku identyfikacji zgłoszenia.

Wady:

- wzrost strat czasu na skrzyżowaniu.



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

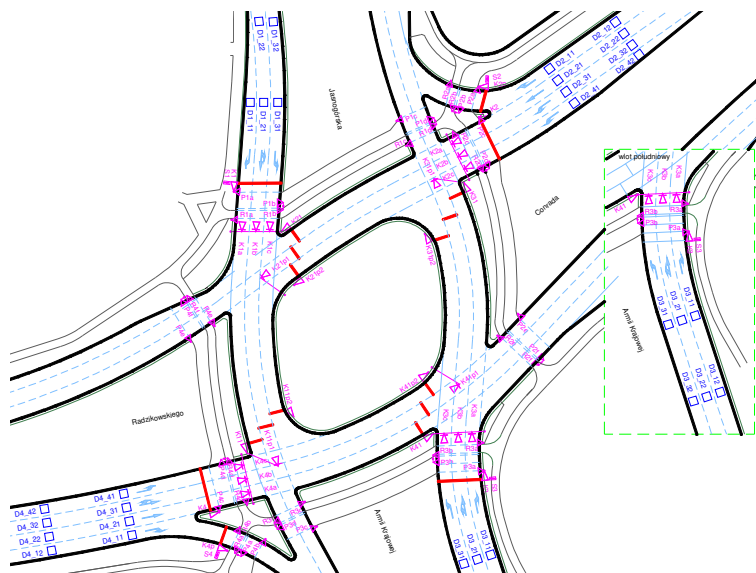
113

113

Sterowanie przy
braku wzbudzeń

Sekwencja faz
Przejścia
międzyfazowe
Algorytm
sterowania
Skrzyżowania
częściowe
Sterowanie
grupowe
Sterowanie
z minimalizacją
funkcji celu

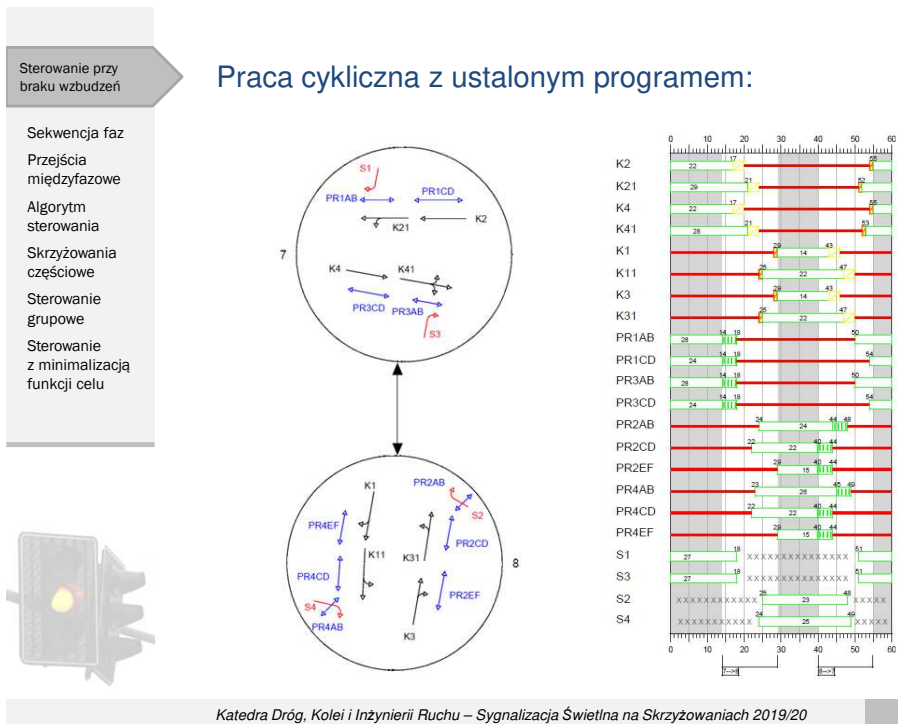
Praca cykliczna z ustalonym programem:



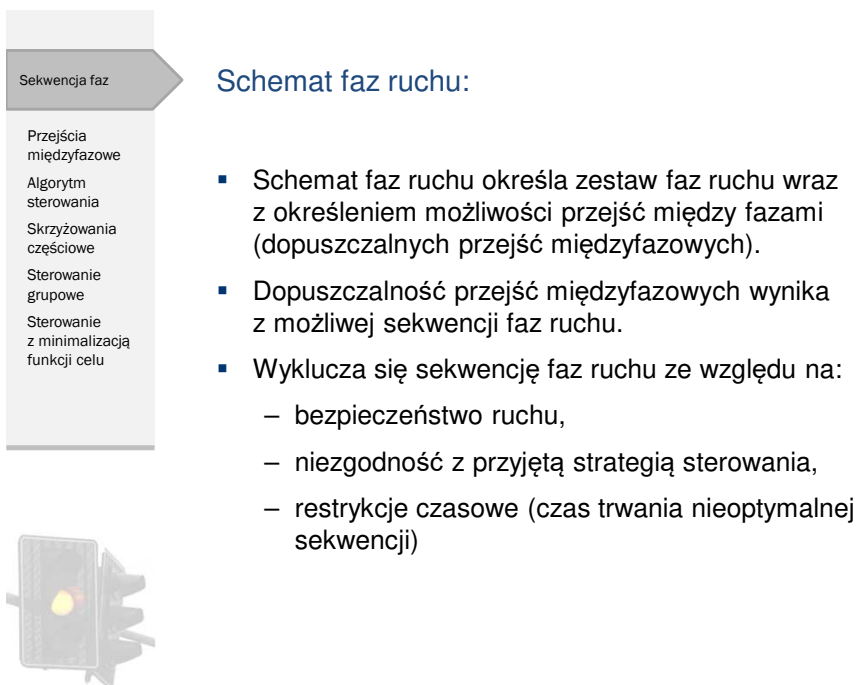
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

114

114



115



116

Sekwencja faz

Przejścia międzyfazowe

Algorytm sterowania

Skrzyżowania częściowe

Sterowanie grupowe

Sterowanie z minimalizacją funkcji celu

Schemat faz ruchu:

podfaza faza podfaza faza

§ Dz.U. 2311 z 2019 r.

8.3.2 Tworzenie podstawowych faz ruchu

Pary strumieni kolizyjnych o dopuszczalnym jednoczesnym zezwoleniu na ruch powinny być sterowane tak, aby strumień podporządkowany nie miał możliwości dojazdu do punktu kolizji wcześniej niż strumień z pierwszeństwem przejazdu lub przejścia.

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

117

117

Sekwencja faz

Przejścia międzyfazowe

Algorytm sterowania

Skrzyżowania częściowe

Sterowanie grupowe

Sterowanie z minimalizacją funkcji celu

Pierwotny schemat faz ruchu:

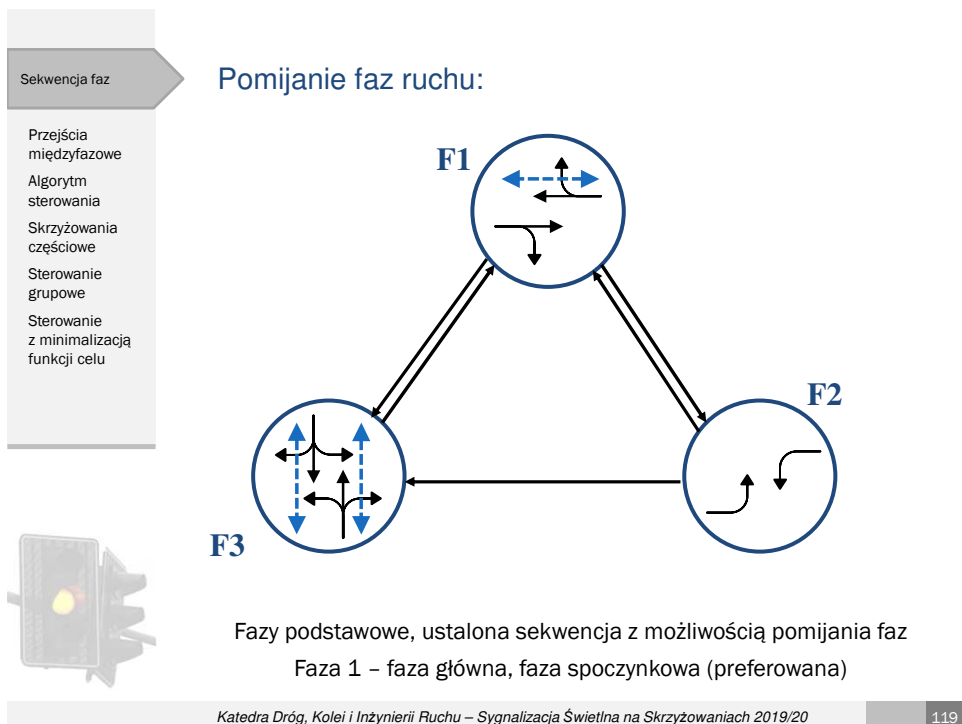
F1 F2 F3

Fazy podstawowe, ustalona sekwencja faz ruchu
Faza 1 – faza główna, faza spoczynkowa (preferowana)

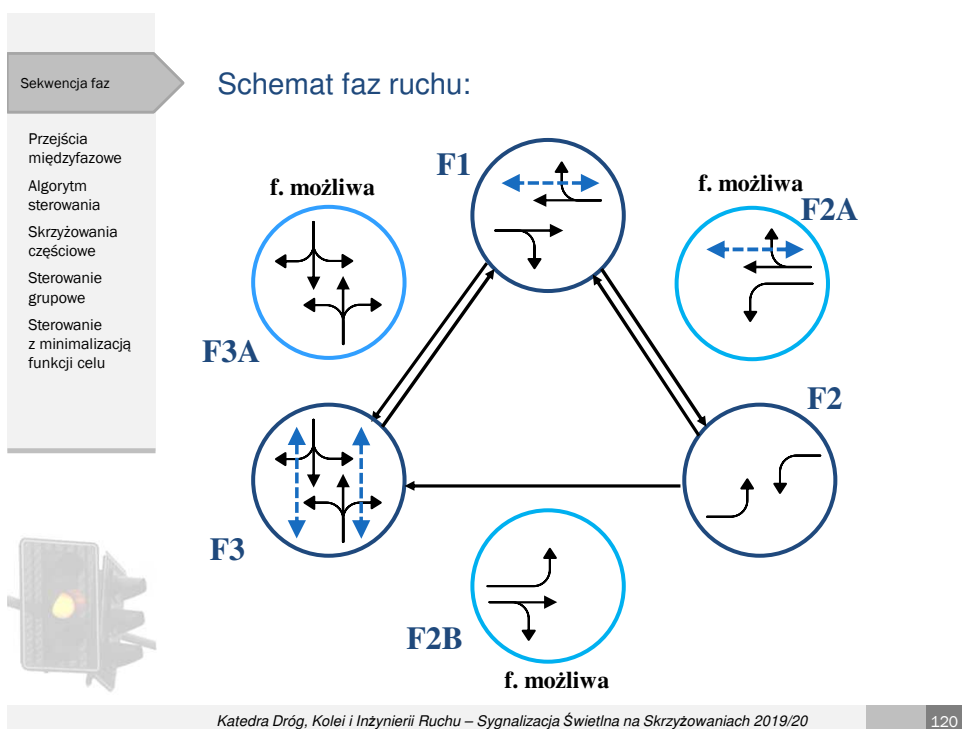
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

118

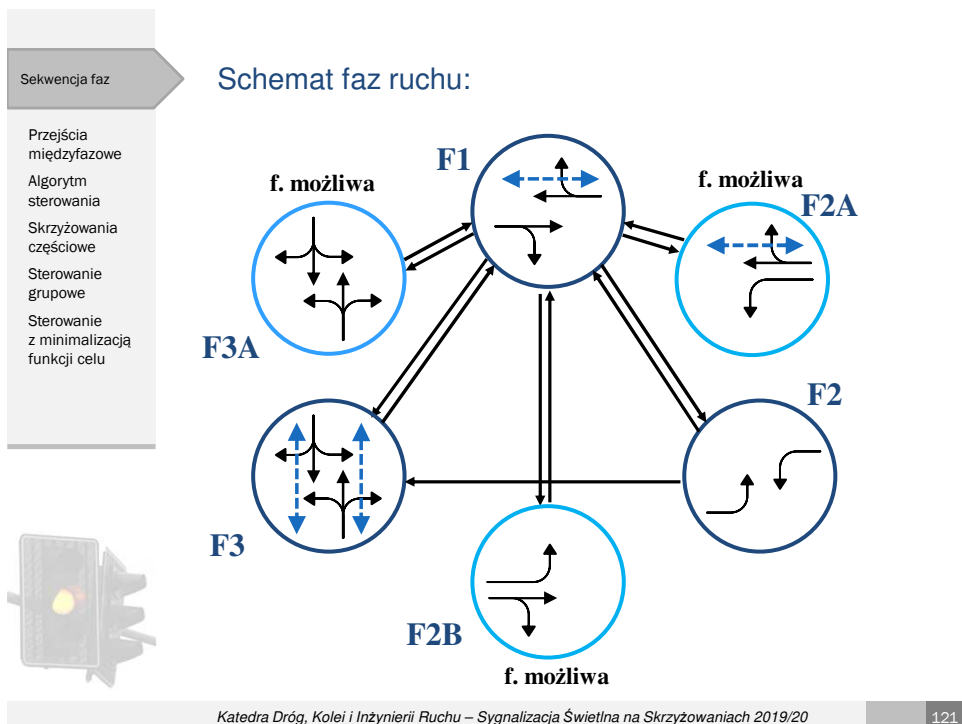
118



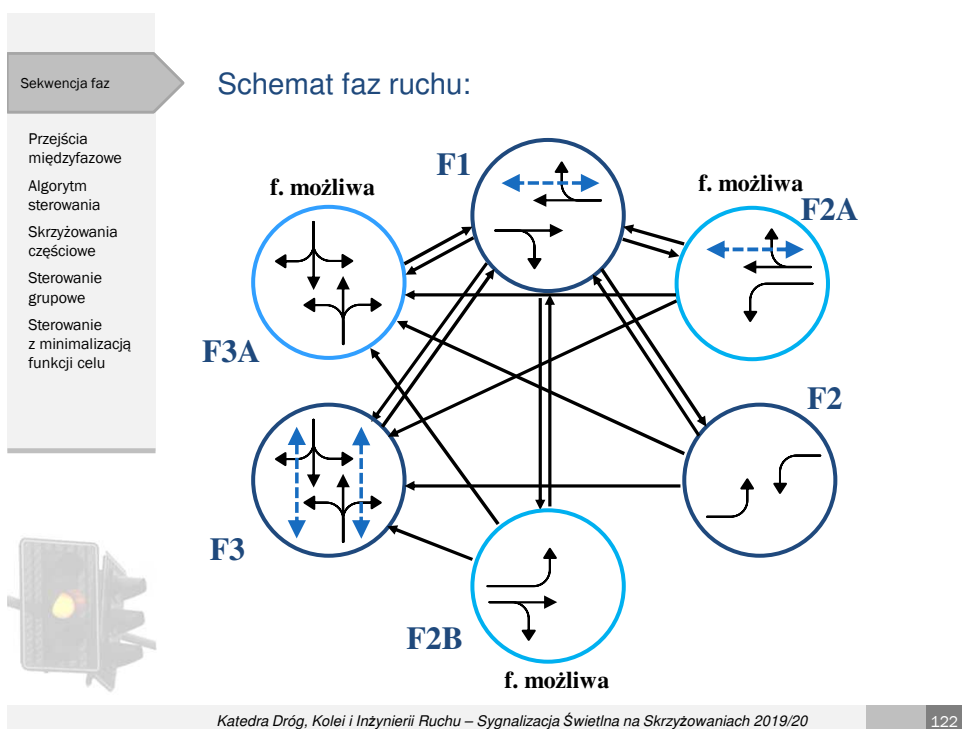
119



120



121



122

Przejścia międzyfazowe

Algorytm sterowania

Skrzyżowania częściowe

Sterowanie grupowe

Sterowanie z minimalizacją funkcji celu



Programy przejść międzyfazowych:

- Przejście międzyfazowe stanowi sekwencja sygnałów o ustalonym czasie trwania, która występuje pomiędzy dwiema fazami ruchu.
- W przejściach międzyfazowych są realizowane zależności czasowe zapewniające bezpieczeństwo uczestników ruchu.
- W skład przejść międzyfazowych wchodzi:
 - czas trwania sygnałów zielonych w grupach sygnalizacyjnych kończących ruch,
 - sygnał żółty lub zielony migający i ich odpowiedniki,
 - sygnał czerwony (sygnał zabraniający)
 - sygnały pomocnicze na początku fazy – czerwono-żółty i jego odpowiedniki,
 - początki sygnałów zielonych (zezwalających)

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

123

123

Przejścia międzyfazowe

Algorytm sterowania

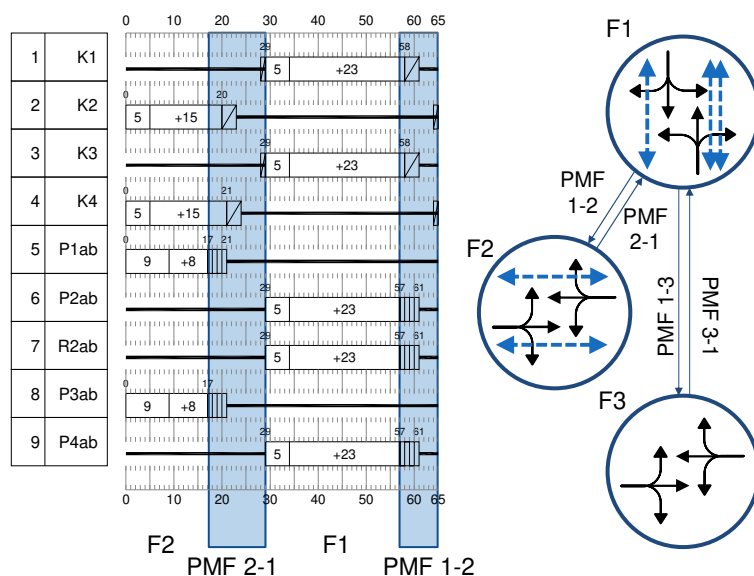
Skrzyżowania częściowe

Sterowanie grupowe

Sterowanie z minimalizacją funkcji celu



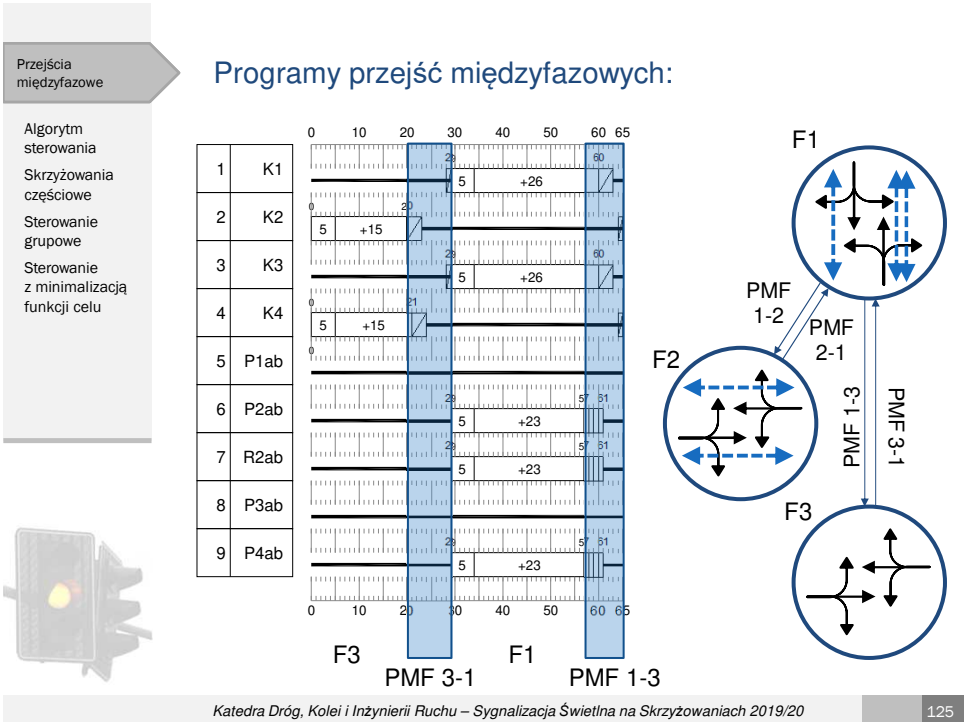
Programy przejść międzyfazowych:



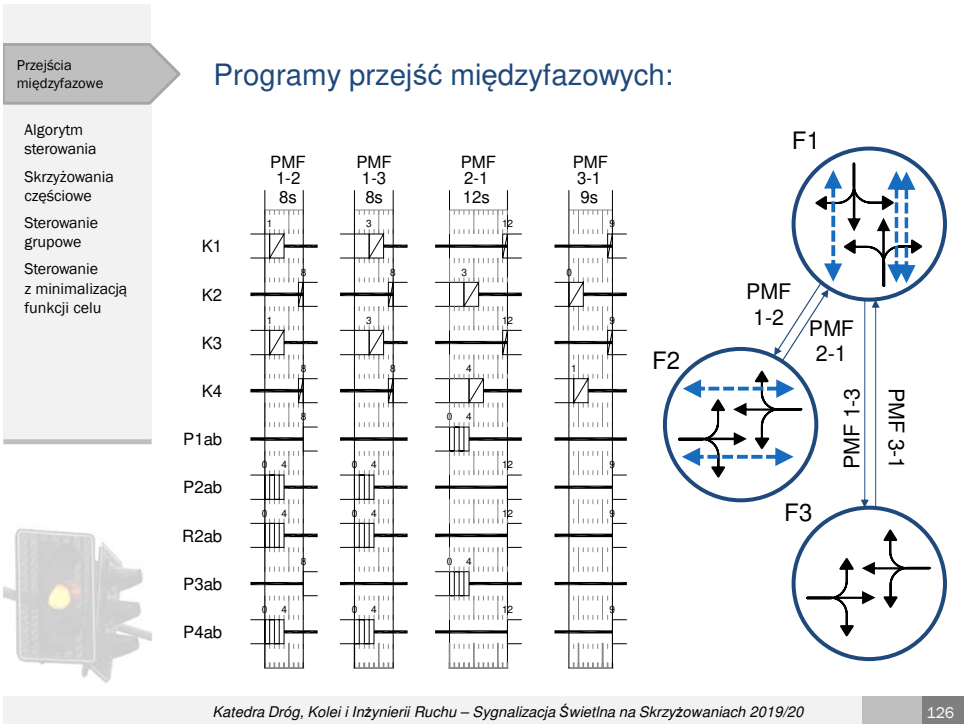
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

124

124



125



126

Algorytm sterowania

Skrzyżowania częściowe
Sterowanie grupowe
Sterowanie z minimalizacją funkcji celu


Algorytm sterowania:

§
Dz.U. Nr 220, poz. 2181 z 2003 r.

Algorytm sterowania
uporządkowany zbiór poleceń opisujący sposób sterowania ruchem na skrzyżowaniu z sygnalizacją akomodacyjną lub acykliczną w zależności od sytuacji rzeczywistej. Szczególnym przypadkiem algorytmu sterowania jest program sygnalizacyjny stałoczasowy.

W sygnalizacji akomodacyjnej lub acyklicznej projekt musi zawierać:

- algorytm sterowania,
- określenie minimalnych i maksymalnych wartości sygnałów zielonych w grupach poddanych akomodacji,
- określenie zależności grup akomodowanych od detektorów ruchu.



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

127

127

Algorytm sterowania

Skrzyżowania częściowe
Sterowanie grupowe
Sterowanie z minimalizacją funkcji celu


Algorytm sterowania w praktyce projektowej:

Algorytm sterowania sygnalizacją jest powiązany z:

- schematem faz ruchu i zestawem dopuszczalnych przejść międzyfazowych,
- programami przejść międzyfazowych,
- warunkami logicznymi i czasowymi algorytmu.

Warunki logiczne:

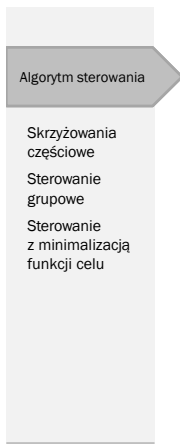
- zgłoszenie na detektorze
- wystąpienie luki czasowej na detektorze
- czas zajęcia detektora.



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

128

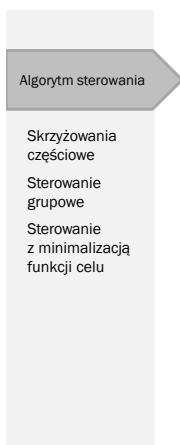
128



Algorytm sterowania:

Warunki czasowe:

- Minimalny czas trwania fazy
 - z uwagi na minimum sygnałów zezwalających,
 - z uwagi na czas przejścia pieszych
- Maksymalny czas trwania fazy
 - ze względu na kryterium przepustowości (programu bazowego),
 - przy określonej sekwencji faz ruchu,
 - przy określonej fazie poprzedzającej.
- Czas trwania cyklu
- Najwcześniejsza chwila zakończenia fazy
- Najpóźniejsza chwila zakończenia fazy



Algorytm sterowania w praktyce projektowej:

Algorytm sterowania w projektach sygnalizacji świetlnej przedstawiany jest w formie:

- opisowej i graficznej,
- tabelarycznej,
- schematu blokowego:
 - Norma ISO 5807 (DIN 66001),
 - Diagram Nassi'ego-Shneidermanna,
 - Tablice decyzyjne.

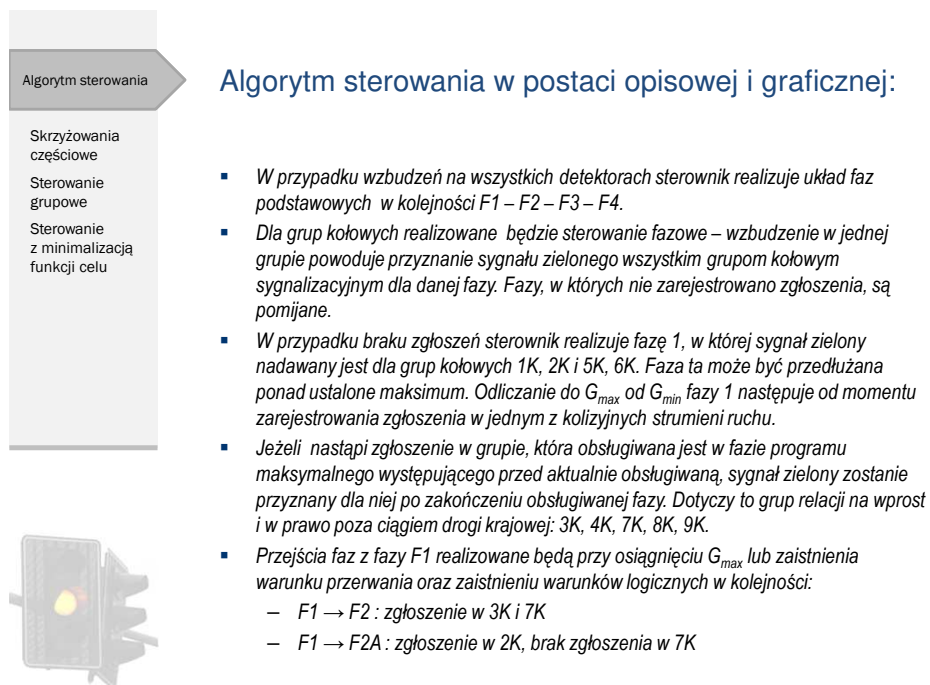




Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

131

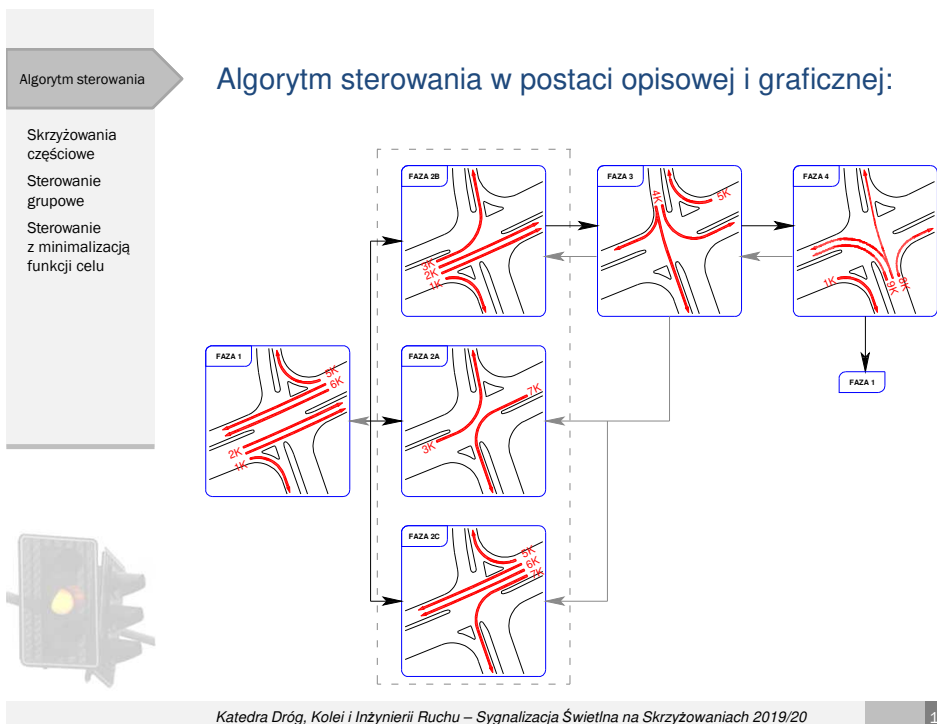
131



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

132

132



133

Algorytm sterowania

Skrzyżowania częściowe
Sterowanie grupowe
Sterowanie z minimalizacją funkcji celu

Algorytm sterowania w postaci tabelarycznej:

przejście	warunek minimum dla grupy	warunek wywołania danej fazy	warunek przzerwania realizowanej fazy	
			logiczny	czasowy
z Fazy 1				
do Fazy 3*	$Tg K8 \geq 5s$ $Tg S3 \geq 5s$ $Tg P7 \geq 10s$	$Z(D6L-1) \vee Z(D6L-2)$	L (K8)	$Tg K8 = K8_max_1$
do Fazy 4**	$Tg K6 \geq 5s$ $Tg K8 \geq 5s$ $Tg P7 \geq 10s$	$Z(P6a) \vee Z(P6b)$	L (K6 i K8)	$Tg K8 \geq K8_max_2$
do Fazy 5**	$Tg K6 \geq 5s$ $Tg K8 \geq 5s$ $Tg P7 \geq 10s$	$Z(D7-1) \vee Z(D7-2) \vee Z(D7-3) \vee Z(D7-4)$	L (K6 i K8)	$Tg K8 \geq K8_max_2$
do Fazy 3*	$Tg K8 \geq 5s$ $Tg S3 \geq 5s$ $Tg P7 \geq 10s$	$Z(D6L-1) \vee Z(D6L-2)$	L (K8)	$Tg K8 \geq K8_max_1$
z Fazy 3				
do Fazy 4*	$Tg K6 \geq 5s$ $Tg K6L \geq 5s$ $Tg S7 \geq 5s$	$Z(P6a) \vee Z(P6b)$	L (K6 i K6L)	$Tg K6L \geq K6L_max$
do Fazy 5*	$Tg K6 \geq 5s$ $Tg K6L \geq 5s$ $Tg S7 \geq 5s$	$Z(D7-1) \geq 7 \vee Z(D7-2) \geq 7s \vee Z(D7-3) \vee Z(D7-4)$	L (K6 i K6L)	$Tg K6L \geq K6L_max$
do Fazy 1	$Tg K6L \geq 5s$ $Tg S7 \geq 5s$	PD	L (K6L)	$Tg K6L \geq K6L_max$

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

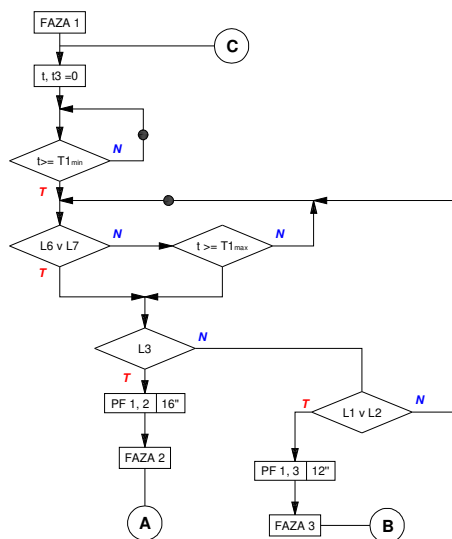
134

Algorytm sterowania

Skrzyżowania
częściowe
Sterowanie
grupowe
Sterowanie
z minimalizacją
funkcji celu



Algorytm sterowania w postaci schematu blokowego
(DIN 66001):



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światłna na Skrzyżowaniach 2019/20

135

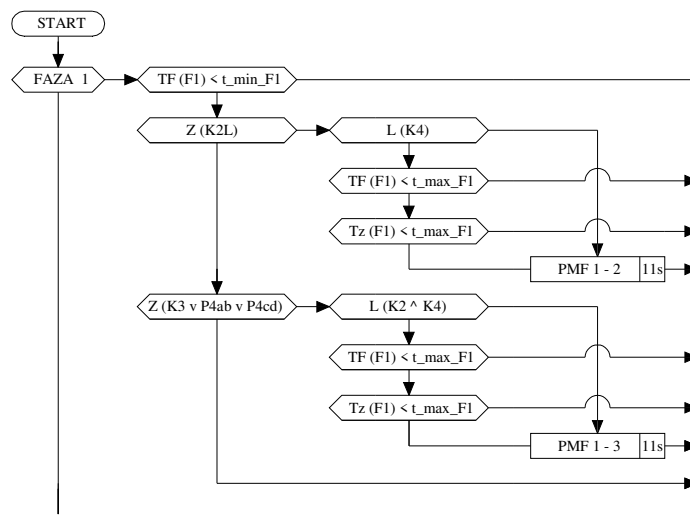
135

Algorytm sterowania

Skrzyżowania
częściowe
Sterowanie
grupowe
Sterowanie
z minimalizacją
funkcji celu



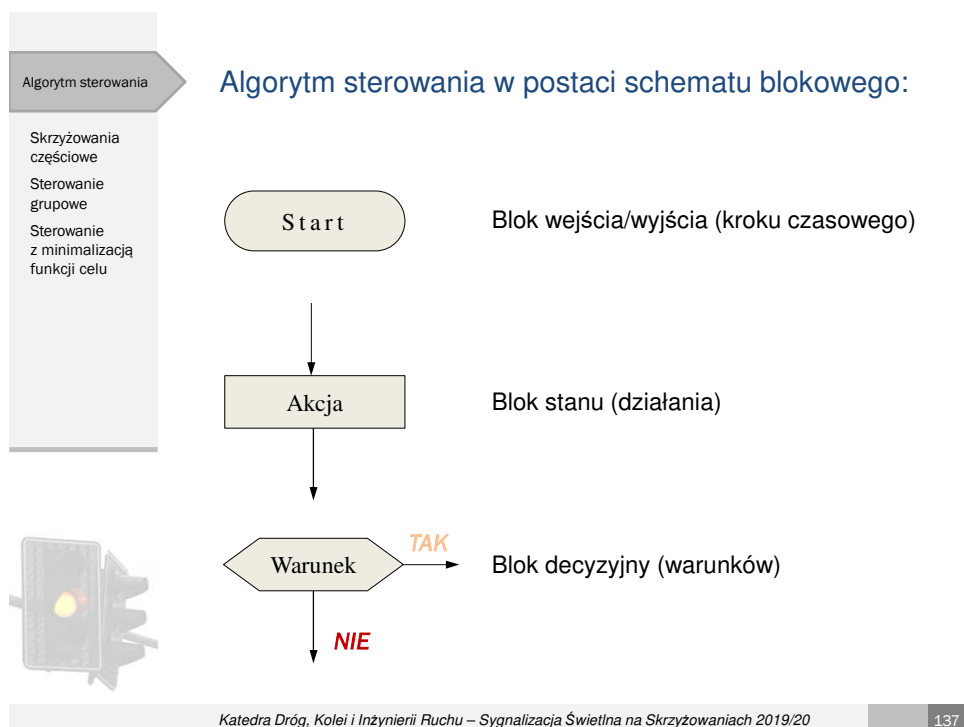
Algorytm sterowania w postaci schematu blokowego
(Nassi'ego-Shneidermanna):



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światłna na Skrzyżowaniach 2019/20

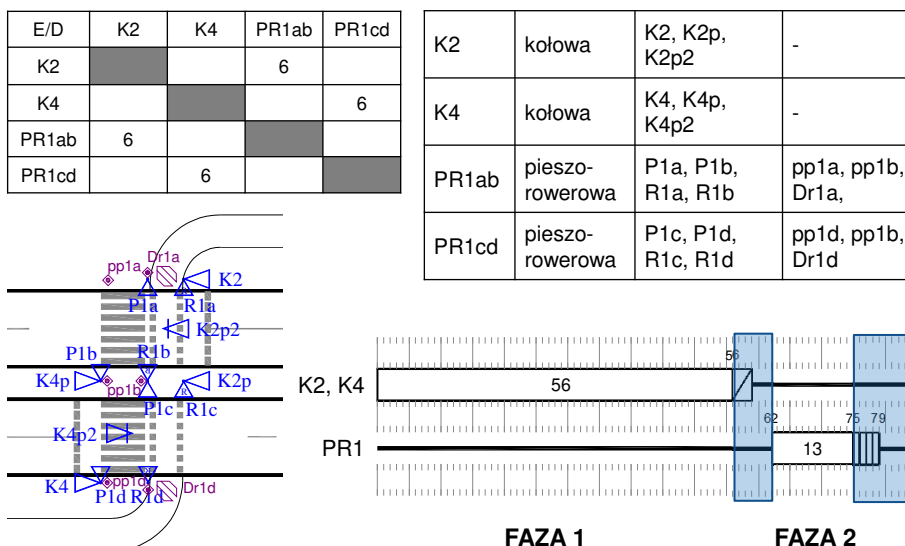
136

136



137

Przeście dla pieszych z przejazdem rowerowym:



138

Przejście dla pieszych z przejazdem rowerowym:

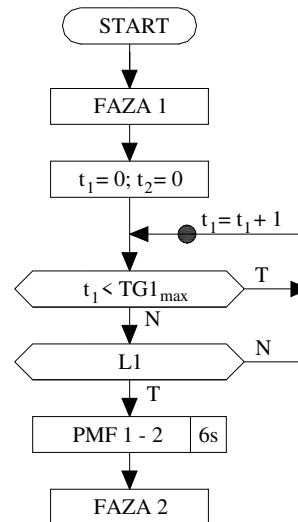
Warunki logiczne:

L1 – wzbudzenie przycisków **pp1a** lub **pp1b** lub **pp1c** lub **pp1d** lub pętli **Dr1a** lub **Dr1d**.

Warunki czasowe:

TG1_{max} – maksymalny czas sygnału zielonego dla Fazy 1 (grupa K2, K4): 56 s.

TG2 – czas sygnału zielonego dla Fazy 2 (grupy PR1ab, PR1cd) : 13 s.



Przejście dla pieszych z przejazdem rowerowym:

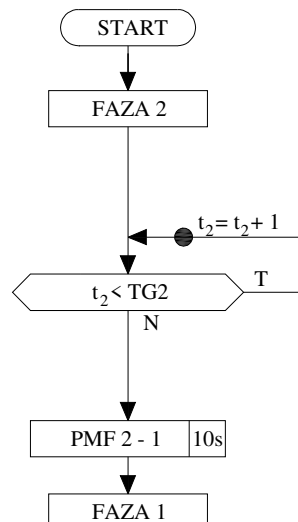
Warunki logiczne:

L1 – wzbudzenie przycisków **pp1a** lub **pp1b** lub **pp1c** lub **pp1d** lub pętli **Dr1a** lub **Dr1d**.

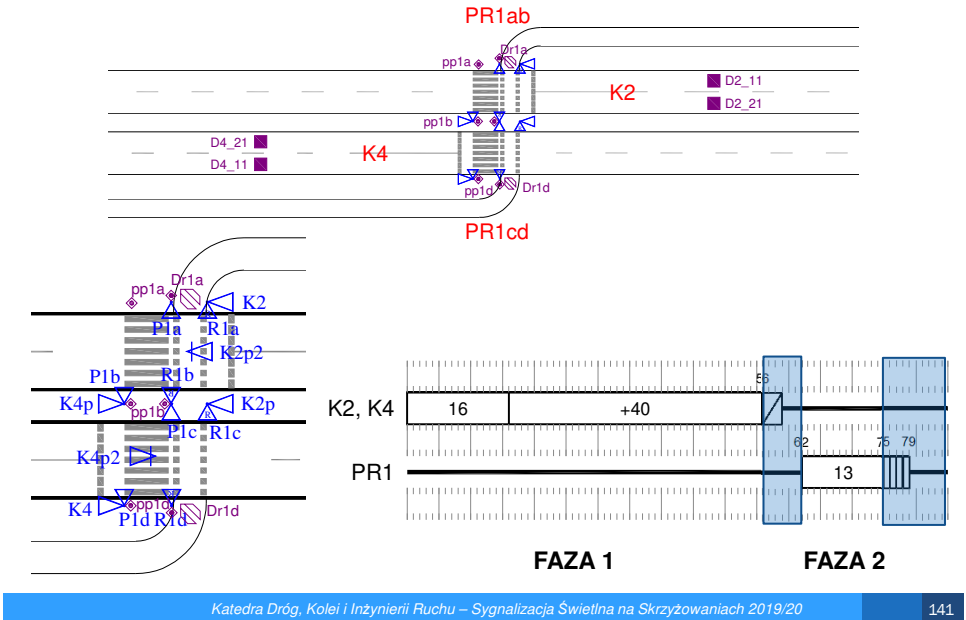
Warunki czasowe:

TG1_{max} – maksymalny czas sygnału zielonego dla Fazy 1 (grupa K2, K4): 56 s.

TG2 – czas sygnału zielonego dla Fazy 2 (grupy PR1ab, PR1cd) : 13 s.

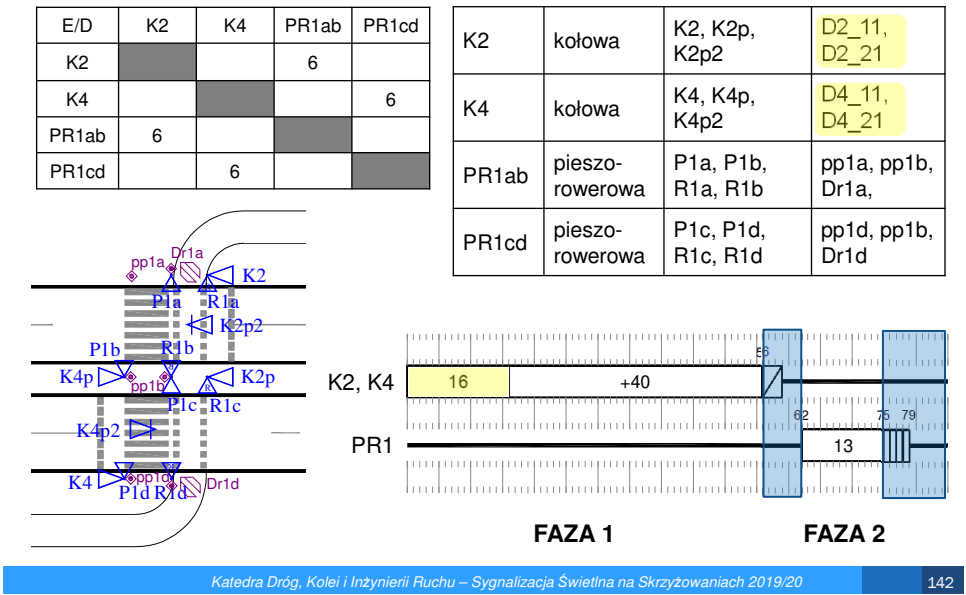


Przejście dla pieszych z przejazdem rowerowym:



141

Przejście dla pieszych z przejazdem rowerowym:



142

Przejsie dla pieszych z przejazdem rowerowym:

Warunki logiczne:

L1 – wzbudzenie przycisków **pp1a** lub **pp1b** lub **pp1c** lub **pp1d** lub pętli **Dr1a** lub **Dr1d**.

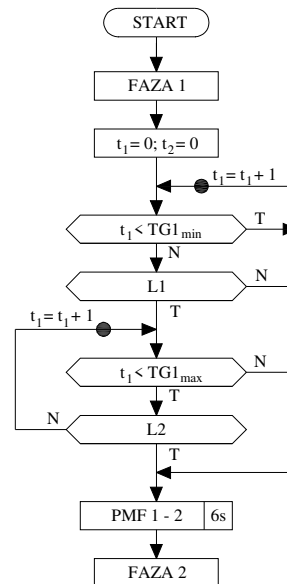
L2 – odstęp czasu pomiędzy pojazdami na detektorach **D2_11** i **D2_21** i **D4_11** i **D4_21** jest mniejszy od ustalonej wartości progowej.

Warunki czasowe:

TG1_{min} – minimalny czas sygnału zielonego dla Fazy 1 (grupa K2, K4): 16 s.

TG1_{max} – maksymalny czas sygnału zielonego dla Fazy 1 (grupa K2, K4): 56 s.

TG2 – czas sygnału zielonego dla Fazy 2 (grupy PR1ab, PR1cd) : 13 s.



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

143

143

Algorytm sterowania

Skrzyżowania
częściowe
Sterowanie
grupowe
Sterowanie
z minimalizacją
funkcji celu

Algorytm sterowania wg RiLSA 2010:

- Można pominąć bloki stanu aktualizujące zmienne czasowe (długości sygnałów zielonych, faz, czasu oczekiwania itp.)
- Aktualizacja kroku obliczeniowego jest pomijana (brak pętli czasowych)
- W bloku decyzyjnym nie wskazuje się kierunku prawda/fałsz (prawda – wyjście w prawo, fałsz – wyjście „w dół”)
- Definiuje się warunki logiczne i czasowe względem grup sygnałowych (zalecenie).
- Definiuje się warunki czasowe względem grup sygnałowych bądź faz ruchu.



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

144

144

Przeście dla pieszych z przejazdem rowerowym:

Warunki logiczne:

$L(x)$ – luka na detektorach przypisanych do grupy x

$Z(x)$ – zgłoszenie zapotrzebowania w grupie x

Warunek przerwania	
$L(K2)$	$L(D2_11) \geq 3.5s \wedge L(D2_21) \geq 3.5s$
$L(K4)$	$L(D4_11) \geq 3.5s \wedge L(D4_21) \geq 3.5s$
Warunek zgłoszenia	
$Z(PR1)$	$Z(pp1a) \vee Z(pp1b) \vee Z(pp1c) \vee Z(pp1d) \vee Z(Dr1a) \vee Z(Dr1d)$

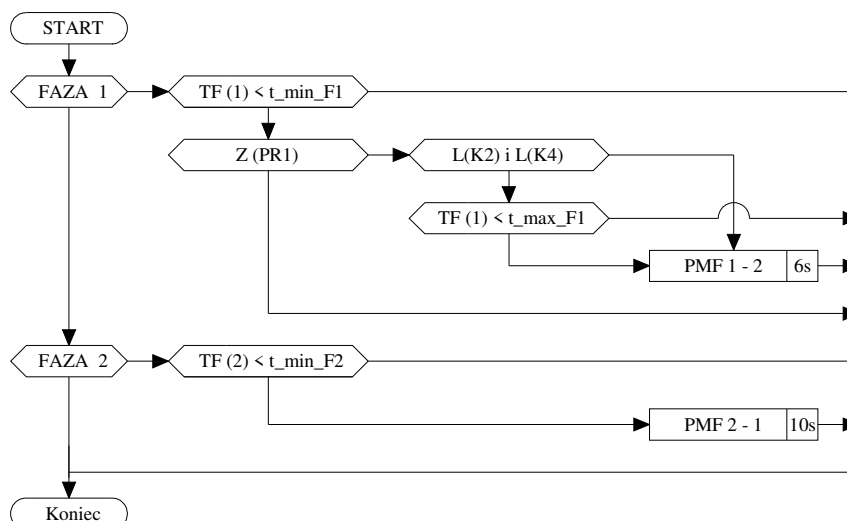
Warunki czasowe:

$TF(i)$ – czas trwania fazy i

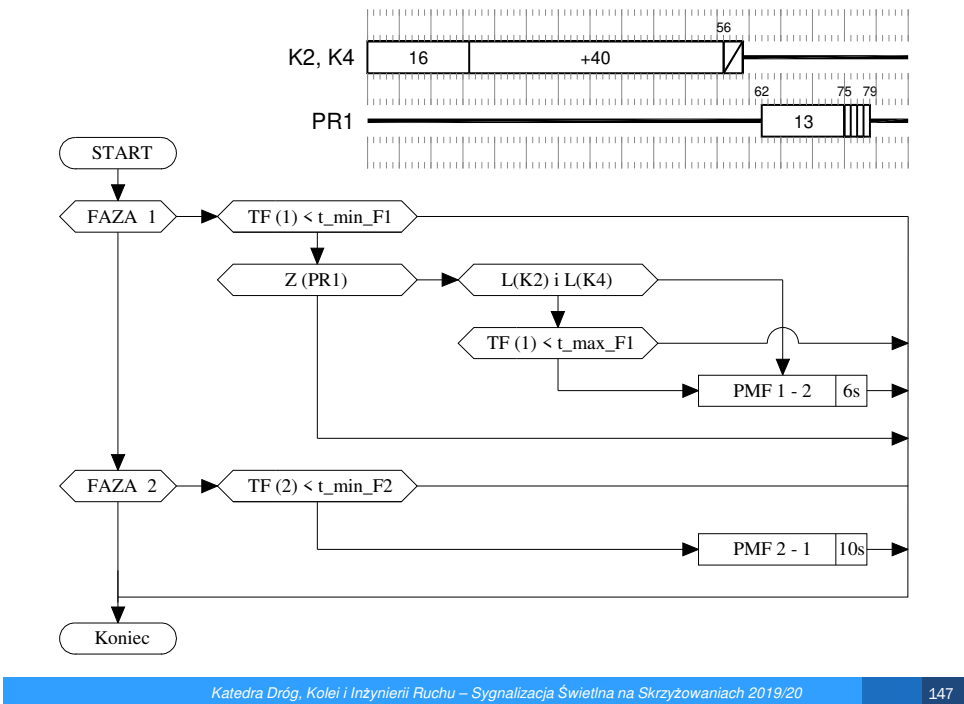
Minimum trwania fazy		Maksimum trwania fazy	
t_{min_F1}	16s	t_{max_F1}	56s
t_{min_F2}	13s	-	-

145

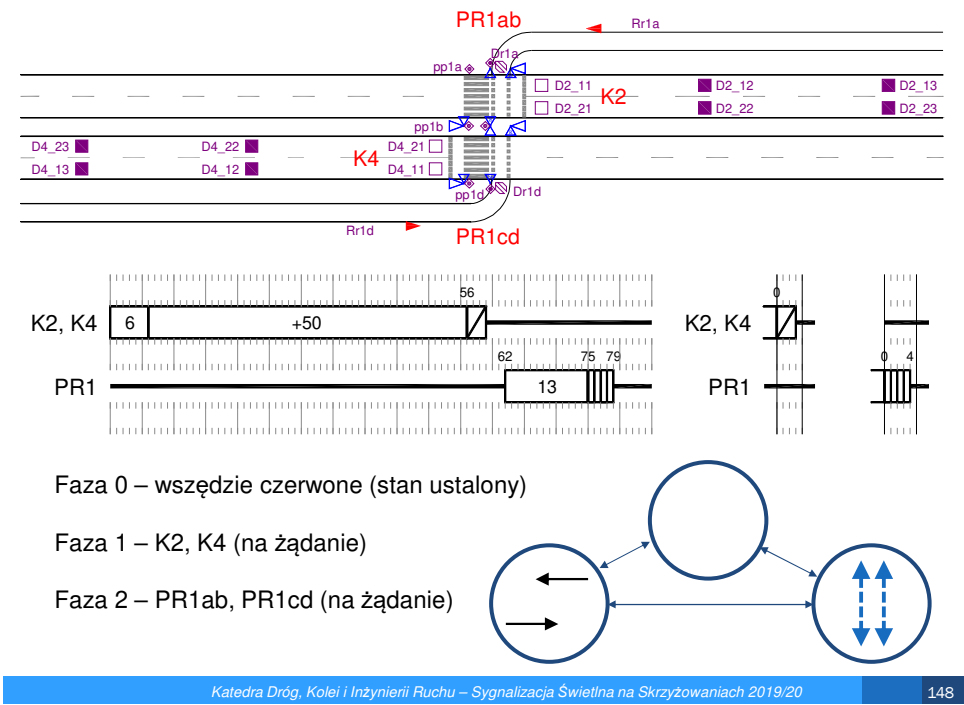
Przeście dla pieszych z przejazdem rowerowym:



146



147



148

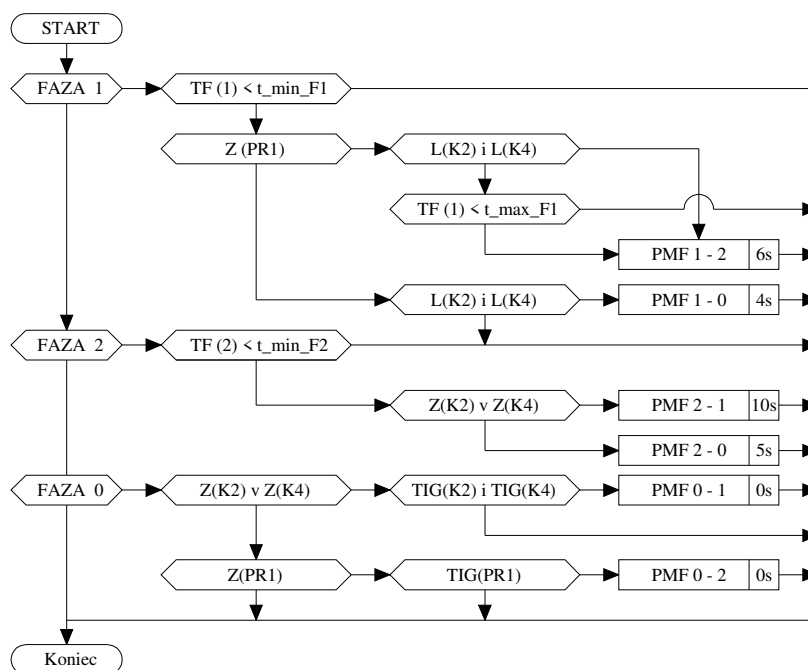
Przejście dla pieszych:

Warunek przerwania	
L (K2)	<p>dla $TF(1) < 16s$ $L(D2_11) \geq 4.0s \wedge L(D2_12) \geq 3.5s \wedge L(D2_13) \geq 3.0s$ $L(D2_21) \geq 4.0s \wedge L(D2_22) \geq 3.5s \wedge L(D2_23) \geq 3.0s$</p> <p>dla $TF(1) \geq 16s$ $L(D2_12) \geq 3.5s \wedge L(D2_13) \geq 3.0s$ $L(D2_22) \geq 3.5s \wedge L(D2_23) \geq 3.0s$</p>
L (K4)	<p>dla $TF(1) < 16s$ $L(D4_11) \geq 4.0s \wedge L(D4_12) \geq 3.5s \wedge L(D4_13) \geq 3.0s$ $L(D4_21) \geq 4.0s \wedge L(D4_22) \geq 3.5s \wedge L(D4_23) \geq 3.0s$</p> <p>dla $TF(1) \geq 16s$ $L(D4_12) \geq 3.5s \wedge L(D4_13) \geq 3.0s$ $L(D4_22) \geq 3.5s \wedge L(D4_23) \geq 3.0s$</p>

Przejście dla pieszych:

Warunek zgłoszenia	
Z1 (PR1)	$Z(pp1a) \vee Z(pp1b) \vee Z(pp1c) \vee Z(pp1d) \vee Z(Dr1a) \vee Z(Dr1d) \vee$ $Z(Rr1a) \vee Z(Rr1d)$
Z2 (PR1)	$Z(pp1a) \vee Z(pp1b) \vee Z(pp1c) \vee Z(pp1d) \vee Z(Dr1a) \vee Z(Dr1d)$
Z (K2)	$Z(D2_11) \vee Z(D2_12) \vee Z(D2_13) \vee$ $Z(D2_21) \vee Z(D2_22) \vee Z(D2_23)$
Z (K4)	$Z(D4_11) \vee Z(D4_12) \vee Z(D4_13) \vee$ $Z(D4_21) \vee Z(D4_22) \vee Z(D4_23)$

TIG(x) – zapewnione są długości czasów międzyzielonych przy przejściu do grupy sygnałowej x

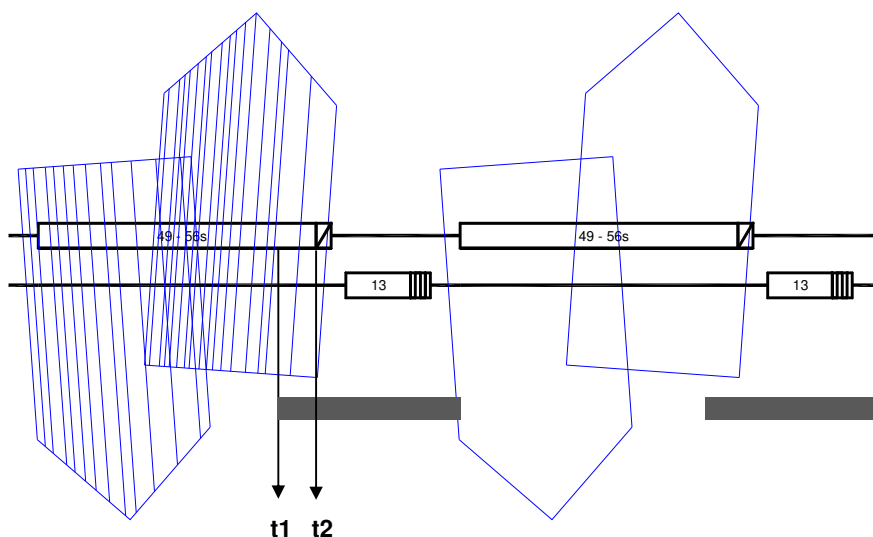


Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

151

151

Przejście dla pieszych w koordynacji z sąsiednimi skrzyżowaniami:



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

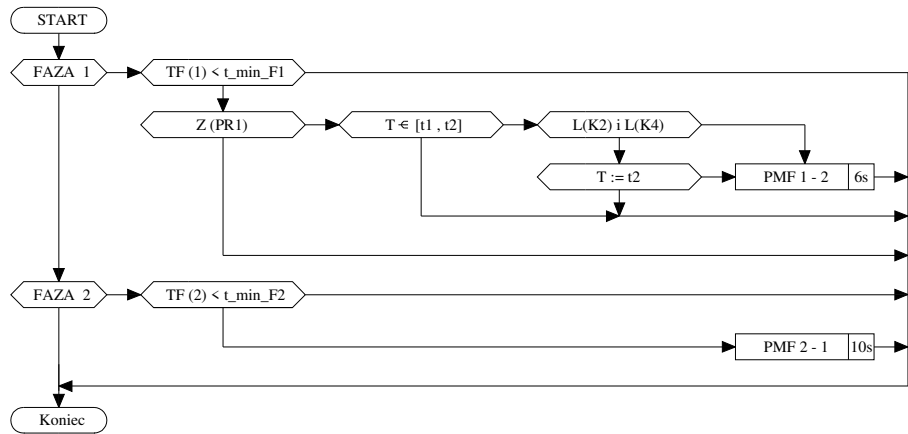
152

152

Warunki czasowe:

T – sekunda cyklu (Tmax = 85s)

Sekunda cyklu			
Najwcześniejszy moment przejścia		Najpóźniejszy moment przejścia	
t1	49s	t2	56s



Skrzyżowania częściowe

Sterowanie grupowe

Sterowanie z minimalizacją funkcji celu

Skrzyżowania częściowe:

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

154

Skrzyżowania częściowe

Sterowanie grupowe
Sterowanie z minimalizacją funkcji celu

Skrzyżowania częściowe:

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

155

155

Skrzyżowania częściowe

Sterowanie grupowe
Sterowanie z minimalizacją funkcji celu

Skrzyżowania częściowe:

Skrzyżowanie 1

Skrzyżowanie 2

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

156

156

Algorytm sterowania grupowego

Sterowanie z minimalizacją funkcji celu



Sterowanie grupowe:

- Warunki logiczne i czasowe odnoszą się do grup sygnałowych zamiast do faz ruchu.
- Trudniejsze w projektowaniu i kontroli przez projektanta (większe znaczenie oprogramowania urządzenia sterującego).
- Trudniejsze w minimalizacji czasu traconego w cyklu oraz obsługi ruchu pieszego.
- W szczególnych przypadkach zwiększa elastyczność sterowania (dostosowanie do stanu ruchu na skrzyżowaniu).

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

157

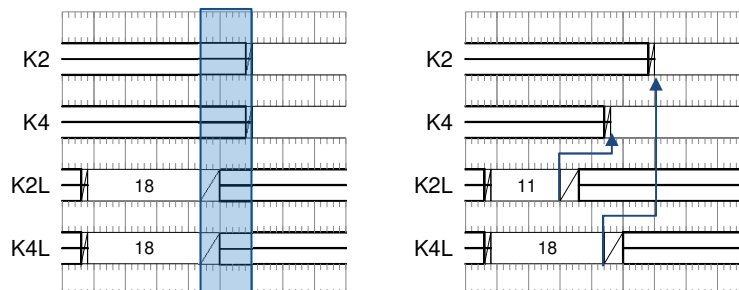
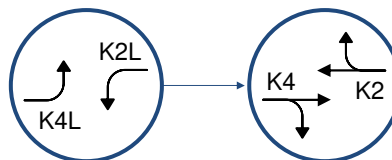
157

Algorytm sterowania grupowego

Sterowanie z minimalizacją funkcji celu



Sterowanie grupowe:



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

158

158

Sterowanie z
minimalizacją f. celu

Sterowanie z minimalizacją funkcji celu:

- Określa się funkcję celu sterowania:
 - minimalizacja strat czasu,
 - minimalizacja liczby zatrzymań,
 - kryterium łączone (ocena wielokryterialna)
- Na podstawie danych o stanie sygnałów i stanie ruchu w chwili t (i danych historycznych) planowany jest optymalny program sygnalizacji (minimalizujący funkcję celu przy określonych warunkach brzegowych)
 - ustalone i optymalizowane elementy algorytmu sterowania,
 - częstość aktualizacji planowania programu,
 - horyzont czasowy,



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

159

159

Sterowanie z
minimalizacją f. celu

Sterowanie izolowane EPICS:

Określa się:

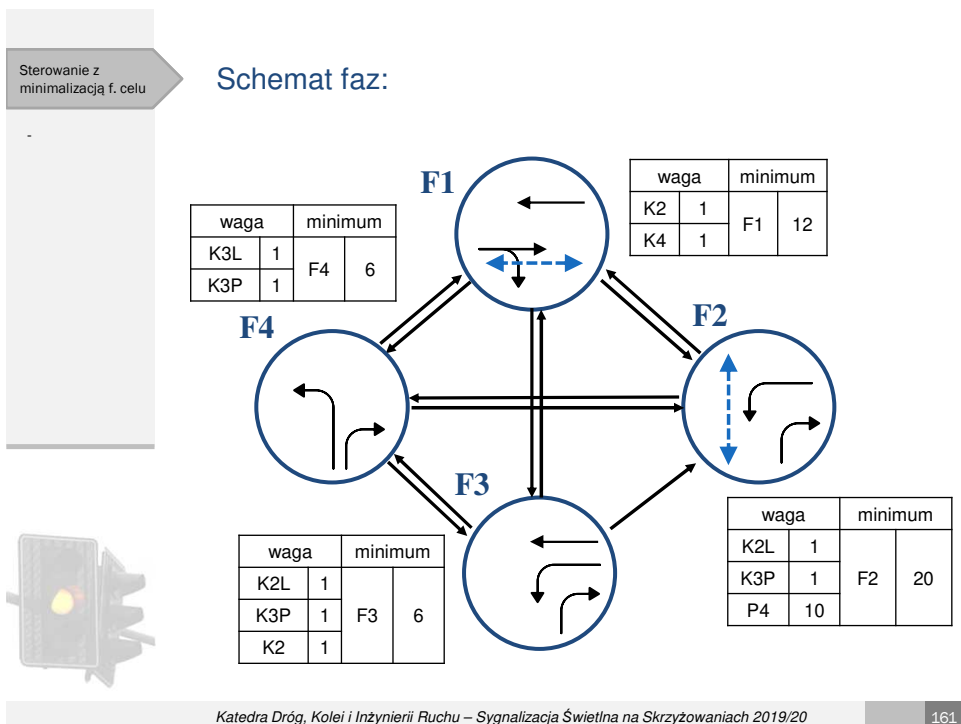
- schemat faz ruchu (zbiór faz oraz dopuszczalne przejścia między fazami),
- programy przejść międzyfazowych,
- minimalne i maksymalne długości faz ruchu,
- maksymalny dopuszczalny czas oczekiwania na sygnał zielony,
- najwcześniejszy moment rozpoczęcia fazy w cyklu,
- najpóźniejszy moment zakończenia fazy w cyklu,
- wagi funkcji celu poszczególnych grup sygnałowych.



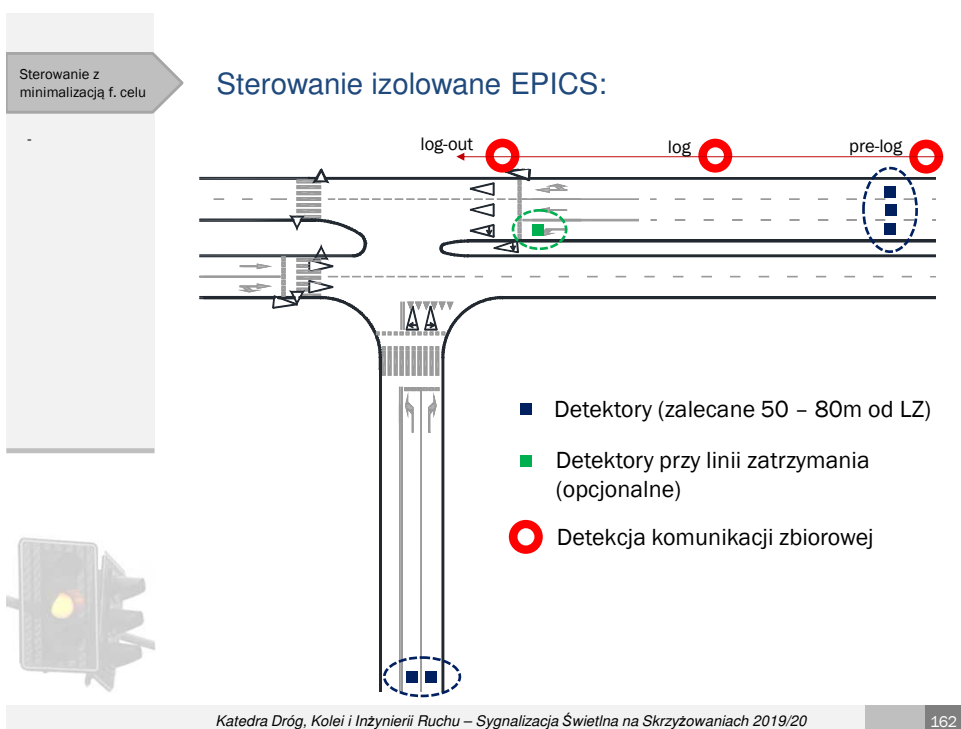
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20

160

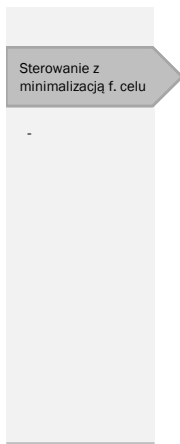
160



161



162



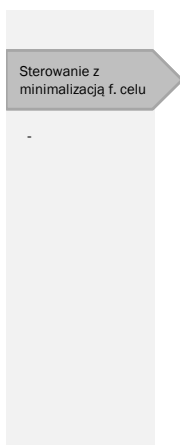
Sterowanie izolowane EPICS:

- Model ruchu:
 - pojazdy opuszczają kolejkę z ustalonymi odstępami potoku nasyconego (algorytm umożliwia auto-kalibrację odstępów)
 - pojazdy przejeżdżające nad detektorem są dodawane do kolejki
 - w przypadku wykrycia ciągłego zajęcia detektora liczba pojazdów w kolejce za detektorem jest prognozowana
 - moment dojazdu pojazdu komunikacji zbiorowej do linii zatrzymania określany jest poprzez rozkład prawdopodobieństwa

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światłna na Skrzyżowaniach 2019/20

163

163



Funkcja celu EPICS:

Funkcja celu:

$$PI = \sum_{i=1}^{SG} \alpha_i D_i(sp) + \beta \Delta(ref, sp)$$

PI – funkcja celu (performance index)

SG – liczba grup sygnałowych

$D_i(\overline{sp})$ – prognozowana sumaryczna strata czasu w grupie i w przypadku realizacji programu sygnalizacji sp

$\Delta(ref, sp)$ – odstępstwo planowanego programu sp od programu bazowego (ref)

α_i – waga grupy sygnałowej i

β – waga odstępstwa od programu bazowego ref

Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Światłna na Skrzyżowaniach 2019/20

164

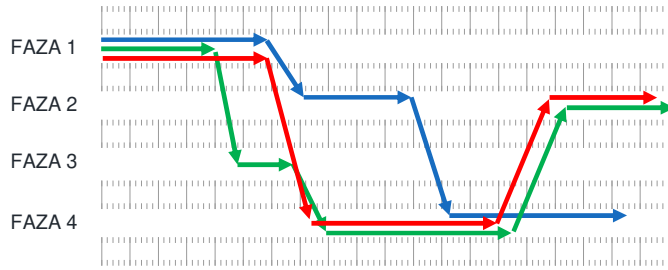
164

Sterowanie z
minimalizacją f. celu

Schemat faz:

Złożony problem optymalizacyjny:

- horyzont obliczeniowy – 100s
- aktualizacja funkcji celu co 1s
- dwuetapowe wyznaczenie programu
 - sekwencja faz (algorytm Branch-and-Bound)
 - długości sygnałów (algorytm Hill-Climbing)



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20
165

165

Dziękuję za uwagę



Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu – Sygnalizacja Świetlna na Skrzyżowaniach 2019/20
166

166