

#### 4.5. Koncepcja koordynacji ciągu sygnalizacji świetlnych – dotyczy zadań nr 5,12,19

##### 1. **Podstawowe założenia zaawansowanego systemu acyklicznej, dynamicznej koordynacji sygnalizacji świetlnej:**

- algorytm sam ocenia obciążenie w sieci (zgodnie z przyjętymi przez projektanta założeniami) i w przypadku niewielkiego natężenia ruchu, automatycznie przełącza pracę wszystkich lub tylko pojedynczych sygnalizacji w tryb pracy lokalnej z wykorzystaniem programu typu „all-red”,
- jeśli algorytm uzna za stosowne (dla kolejki pojazdów 2,5 szt.), automatycznie dokona złożenia koordynacji sygnalizacji dla tylko jednego, bądź obu kierunków ruchu (tzw. dynamiczna zielona fala wzdłuż drogi),
- jeśli algorytm uzna za możliwe (dla kolejki pojazdów 2,5 szt.), dokona złożenia koordynacji sygnalizacji świetlnych jedynie w obszarze od węzła, w którym pojazdy pojawiły się do miejsca ich wyjazdu (tzw. dynamiczna podzielona fala),
- „dynamiczna zielona fala” generowana jest acyklicznie, afazowo i dynamicznie rozszerzana w zależności od przyjętych przez projektanta założeń i aktualnych potrzeb wynikających z bieżącego automatycznego pomiaru ruchu, w tym z wykorzystaniem mechanizmu przedstartu,
- algorytm sam dostosowuje „dynamiczną zieloną falę” do istniejących na drodze warunków, w tym sytuacji wyjątkowych, np. różnych zdarzeń powodujących blokowanie pasów ruchu,
- jeśli z przeprowadzonych przez algorytm wyliczeń wyniknie, iż znajdujące się na zewnątrz koordynowanych węzłów pojazdy nie zostaną w całości obsłużone przez „dynamiczną zieloną falę”, automatycznie uruchomiony zostanie system bramkowania nadmiaru pojazdów przed wjazdem w strefę koordynowanych węzłów – przed węzłami brzegowymi,
- celem nadrzędnym algorytmu sterowania ma być minimalizacja liczby zatrzymań pojazdów, maksymalizacja przepustowości pojazdów w obszarze koordynowanych węzłów (skrzyżowań), a tym samym minimalizacja współczynników generowania hałasu, drgań oraz emisji zanieczyszczeń wydobywających się z uczestniczących w ruchu pojazdów.

##### 2. **Połączenie Sterowników**

Sterowniki sygnalizacji świetlnych powinny komunikować się ze sobą wymieniając informację dotyczące sterowania na poziomie lokalnym. Wymiana informacji powinna następować jedynie pomiędzy sąsiednimi sterownikami. Połączenia realizowane są za pośrednictwem standardowej komunikacji szeregowej RS-232. Poszczególne sterowniki powinny być połączone są ze sobą szeregowo, realizując połączenie typu punkt-punkt. W celu zwiększenia zasięgu należy zastosować pętle prądowe. Wymiana danych następuje z wykorzystaniem uniwersalnego protokołu komunikacyjnego UCF (Universal Communication Function).

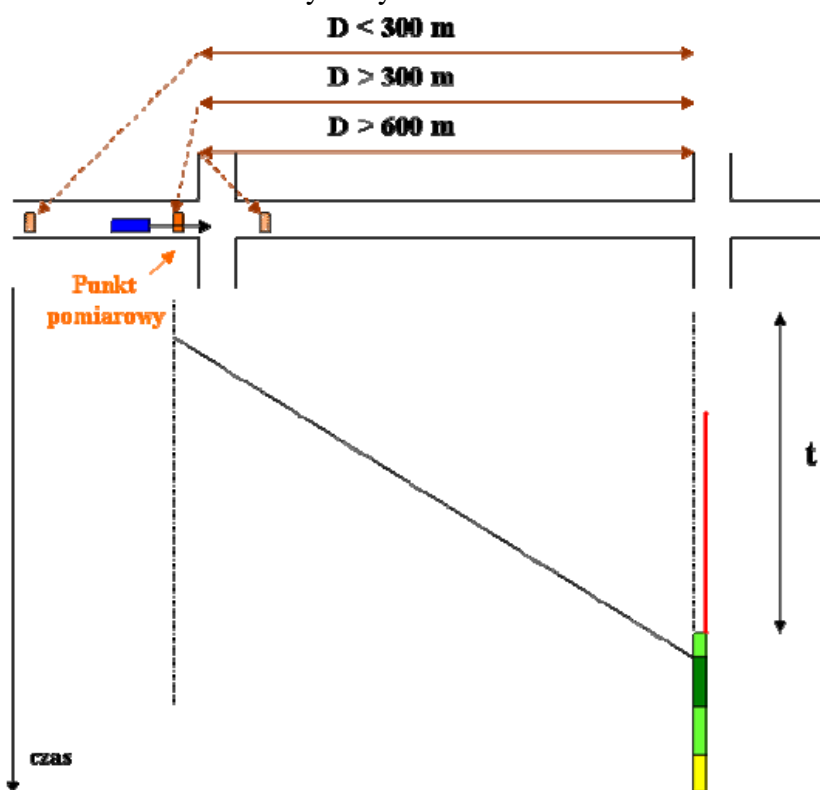
##### 3. **Monitoring – Komunikaty SMS**

O wszelkich awariach w prawidłowej pracy sygnalizacji świetlnej musi być na bieżąco informowany konserwator systemu za pośrednictwem krótkich wiadomości tekstowych SMS. Ze względów ekonomicznych, w skład projektowanego zaawansowanego systemu acyklicznej koordynacji sygnalizacji świetlnych w ciągu skrzyżowań wzdłuż drogi krajowej wchodzi 2 sterowniki sygnalizacji świetlnej, jednak tylko jeden ze sterowników powinien zostać wyposażony w modem GSM.

Pozostałe sterowniki, informację o ich błędnej pracy będą przesyłały do sterownika wyposażonego w modem za pośrednictwem połączenia pomiędzy sterownikami. Sterownik ten za pośrednictwem wiadomości SMS, powinien przysyłać następnie tę informację do konserwatora systemu.

#### 4. Rozmieszczenie Punktów Pomiarowych

Informacje o stanie ruchu na skrzyżowaniach powinny być zbierane są przez sterowniki sygnalizacji świetlnej, przy wykorzystaniu zainstalowanych w jezdni punktów pomiarowych. Rozmieszczenie punktów pomiarowych zależy od odległości pomiędzy liniami zatrzymania poszczególnych koordynowanych grup sygnalizacyjnych. Gdy odległość ta jest większa, niż 300 m, punktami pomiarowymi mogą być detektory znajdujące się przy liniach zatrzymania. Jeżeli natomiast odległość ta jest mniejsza, niż 300 m, należy wykorzystać inny detektor, który będzie oddalony o co najmniej 300 m w górę strumienia ruchu. W przypadku, gdy odległość ta jest większa, niż 600 m, wówczas można zastosować detektor pomiędzy skrzyżowaniami, który zlicza również inne pojazdy, w tym te spoza strumienia głównego. Wówczas, wiązka koordynowana nie jest powiązana z grupą sygnałową sąsiedniego skrzyżowania, tylko z grupą pojazdów niezależnych od kierunku źródłowego ruchu. Usytuowanie detektorów (punktów pomiarowych) jest istotne ze względu na ciągłe dostosowywanie się pracy sąsiednich skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Proces ten wymaga określonego czasu, który wynika z potrzeby zakończenia obsługi grup kolizyjnych, zapewnienia minimalnych czasów międzyzielonych oraz zablokowania wyświetlenia sygnału zielonego nieobsługiwanych w danym momencie grup kolizyjnych. Rysunek 4.1 i tabela 4.1 przedstawiają usytuowanie detektorów i określają czas wynikający z przyjętej prędkości ruchu pojazdów oraz odległości rozmieszczenia punktów pomiarowych. Za odległość zadowalającą umieszczenia detektorów pomiarowych od linii zatrzymania względem sąsiedniego skrzyżowania uznaje się odległość 300-400 m. Wówczas bowiem, czas dojazdu w terenie zabudowanym wyniesie około 30 s.



Rysunek 4.1: Rozmieszczanie punktów pomiarowych

W celu zastosowania kalibracji algorytmu sterowania o średnią prędkość przejazdu pojazdów pomiędzy skrzyżowaniami, wykorzystać należy detekcję prędkości pojazdów. Zliczana uśredniona wartość prędkości jest następnie wykorzystywana do wyznaczania momentów związanych z koordynacją. Elementy detekcji prędkości umieszcza się pomiędzy poszczególnymi skrzyżowaniami, w odległości min. 100 m za skrzyżowaniem i min. 300 m przed kolejnym skrzyżowaniem. Odległość ta musi być na tyle duża, aby w przypadku normalnej pracy sygnalizacji świetlnej, kolejka pojazdów nie zajmowała stref detekcji prędkości. Przy odległościach pomiędzy sąsiednimi skrzyżowaniami mniejszych, niż 300 m, nie dokonuje się pomiarów prędkości, przyjmując stałą jej wartość wynikającą z ograniczenia prędkości na drodze przewidzianej przepisami o ruchu drogowym.

V [km/h]	D [m]	V [m/s]	t [s]
40	100	11,1	9
50	100	13,9	7,2
60	100	16,7	6
40	200	11,1	18
50	200	13,9	14,4
60	200	16,7	12
40	300	11,1	27
50	300	13,9	21,6
60	300	16,7	18
40	400	11,1	36
50	400	13,9	28,8
60	400	16,7	24
40	500	11,1	45
50	500	13,9	36
60	500	16,7	30

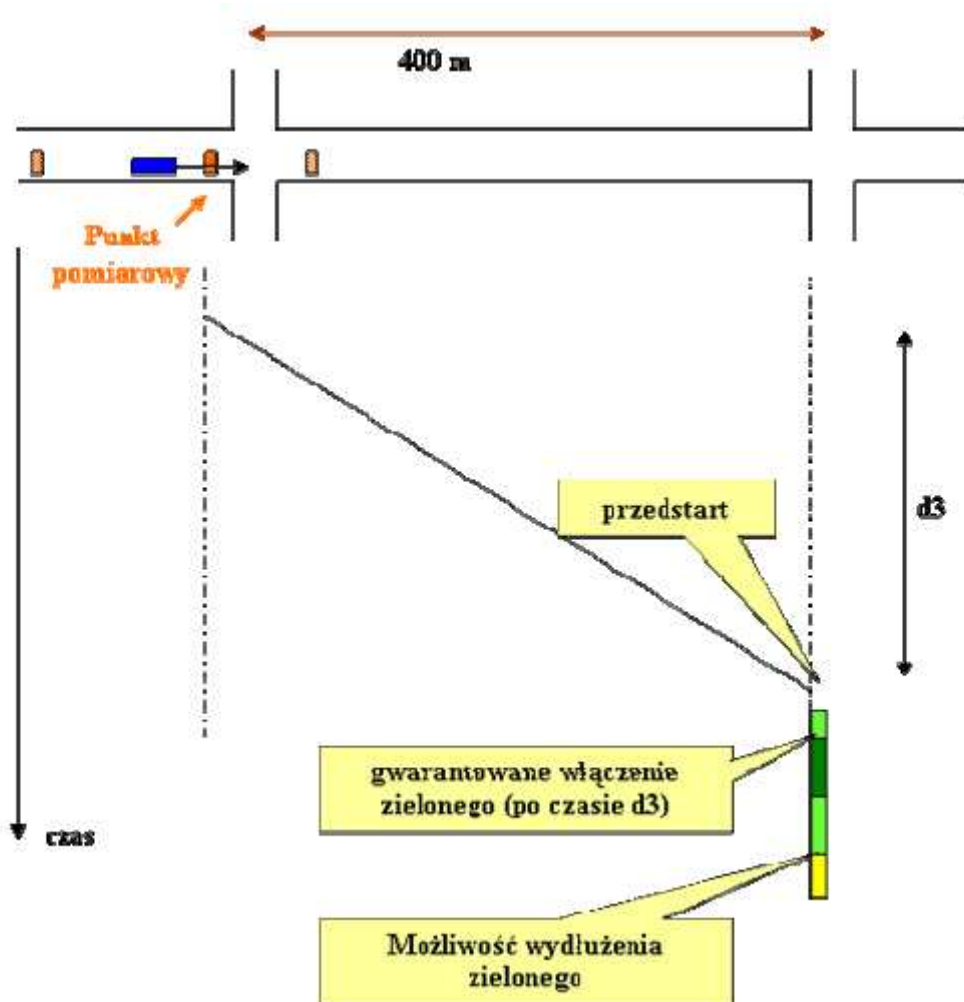
**Tabela 4.1: Wyznaczone czasy przejazdu w zależności od prędkości ruchu i lokalizacji punktu pomiarowego**

## 5. Funkcja żądająca (Wysyłanie Danych)

Podczas definiowania punktów pomiarowych, określa się dla nich tzw. współczynnik GAP, czyli lukę czasową pomiędzy pojazdami w strumieniu (z dokładnością do 0,1 s) oraz okres pomiarowy – czas zliczania impulsów z punktów pomiarowych. Oba te czasy podawane są w sekundach. Realizacja żądania funkcji koordynacji acyklicznej może być wykonywana na dwóch poziomach priorytetu: niskim lub wysokim. Poziom niski jest żądaniem realizacji koordynacji aktualnego skrzyżowania, przy wykorzystaniu tylko informacji ze skrzyżowania poprzedniego, tzn. nie ma możliwości wpływania na wystąpienie sygnału zielonego na poprzednim skrzyżowaniu. Koordynacja na tym poziomie nie zawsze jest gwarantowana, co wynika z możliwości dopasowania sygnału koordynowanego do aktualnej sytuacji ruchowej. Poziom wysoki jest realizacją wyższego poziomu, podczas którego możliwe jest wpływanie również na skrzyżowanie źródłowe. Dla obu poziomów definiuje się osobne, indywidualne parametry. Jeśli liczba pojazdów jest większa, niż zdefiniowana w parametrach tej funkcji, następuje wysłanie żądania realizacji koordynacji do następnego sterownika. Na poziomie wysokim, koordynacja jest gwarantowana, tzn. realizowana jest kosztem pozostałych grup sygnalizacyjnych. Natomiast na poziomie niskim, koordynacja realizowana jest z uwzględnieniem realizacji zgłoszeń w pozostałych grupach. Należy zapewnić możliwie wysoki poziom koordynacji na ciągu drogi krajowej nr 32

## 6. Kalkulacja Czasu Zapalenia Sygnałów Dla Grup (Odbieranie Danych)

Po odebraniu sygnału koordynującego, algorytm automatycznie wylicza czas  $d3$  do momentu zapalenia sygnału zielonego (rys. 6.1). Kalkulacja odbywa się zgodnie z parametrami wprowadzonych podczas definiowania funkcji. Algorytm bierze zatem pod uwagę wprowadzoną odległość pomiędzy skrzyżowaniami oraz podane lub zmierzone średnie prędkości pojazdów danego odcinka. Prędkość oblicza / definiuje się, jako 80 - 90% prędkości maksymalnej.



Rysunek 6.1: Wykres droga-czas dla koordynacji

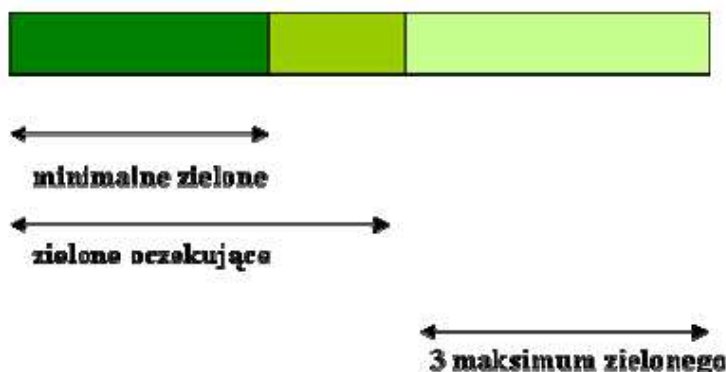
Możliwa jest również definicja czasu przedstartu, który zezwala na wcześniejsze zapalenie sygnału zielonego dla grupy. Wcześniejsze zapalenie zapewnia opróżnienie kolejki oczekujących na zjazd ze skrzyżowania pojazdów, które nie zrobiły tego na poprzednim sygnale zielonym. Przed realizacją obliczonego sygnału zielonego, algorytm wewnętrznie wysyła sygnał blokujący zapalenia grupy koordynowanej.

Czas trwania sygnału zielonego uzależniony jest od wartości następujących parametrów:

- minimalnego czasu zielonego dla grupy,
- zielonego oczekującego – stanu oczekiwania w zielonym, w przypadku braku pojazdów na detektorach,
- wydłużania zielonego – czas maksymalnego wydłużenia z detektorów.

Sterowanie ma na celu koordynację pojazdów w obu kierunkach. Wymieniając informację, sterowniki posiadają aktualne dane o stanie ruchowym i potrzebnym cyklu do obsługi

pojazdów na sąsiednich skrzyżowaniach. Docelowo skrzyżowania dostosowują swój aktualny cykl do najdłuższego potrzebnego cyklu w ciągu.



Rysunek 6.2: Stany grupy sygnalizacyjnej koordynowanej.

## 7. ZASADY STEROWANIA W CZASIE PRZESYCENIA

Zaproponowane sterowanie ma na celu eliminację tworzących się zatorów między skrzyżowaniami i udrożnienie kierunku nadrzędnego, w przypadku jakichkolwiek stanów przesycenia wynikłych z incydentalnych sytuacji ruchowych tj. zator po kolizji drogowej, imprezy okolicznościowe, sezonowe. Analiza ruchu dokonuje się poprzez obserwację prędkości w punktach pomiarowych oraz na podstawie analizy zajętości detektorów, podczas wyświetlanego sygnału zielonego dla danej grupy sygnalizacyjnej. Zbieżność pozytywnego wyniku obu sposobów analizy, tj. na zasadzie prędkości i zajętości jednocześnie, powoduje realizację zadań wynikających z tej drugiej – priorytet dla zajętości detektorów.

### 7.1. Sterowanie w Oparciu o Pomiar Prędkości

Skrzyżowania będą pracowały w koordynacji przy założeniu, że w żadnym punkcie pomiaru prędkości jej wartość średnia z ostatnich 5 minut nie spadnie poniżej 25 km/h.

Wydzielono trzy stany postępowania (rys. 2) w przypadku zmniejszania i utrzymywania się przesycenia.

#### Stan I

Jeśli średnia prędkość w punktach pomiarowych mierzona z ostatnich 5 minut spada poniżej 25 km/h wówczas następuje:

- wyłączenie funkcji koordynacji i każde ze skrzyżowań pracuje lokalnie z aktywną funkcją maksymalizacji przepustowości,
- ograniczenie maksymalnej długości światła zielonego o 1/3 na głównych wlotach do sieci

*Wyjście ze stanu I:  $V_{sr} > 35 \text{ km/h}$  przez ostatnie 5 minut*

#### Stan II

Jeśli średnia prędkość, pomimo zadziałania algorytmu wg stanu I, spadła poniżej 20 km/h przez następne 15 minut, wówczas następuje:

- ograniczenie długości światła zielonego na wszystkich pozostałych wlotach do sieci o 1/3 (boczne wloty skrzyżowań).

*Wyjście ze stanu II:  $V_{sr} > 25 \text{ km/h}$  przez ostatnie 15 minut*

#### Stan III

Jeśli średnia prędkość, pomimo zadziałania algorytmu wg stanu II, spadła poniżej 15 km/h przez następne 15 minut, wówczas następuje:

- ograniczenie maksymalnej długości światła zielonego do 50% wartości założonej dla głównych wlotów do sieci,
- wydłużenie zielonego dla wylotów z sieci o 1/3 długości.

*Wyjście ze stanu III:  $V_{sr} > 20 \text{ km/h}$  przez ostatnie 15 minut*

## **7.2 Sterowanie w Oparciu o Pomiar Liczby Pojazdów**

### ***Przejeżdżających na Zielonym Świecie (Analiza Zajętości)***

Analizując zajętość detektorów, podczas wyświetlania sygnału zielonego dla grupy, można w sposób jednoznaczny określić, czy ruch odbywa się płynnie, czy też istnieją przeszkody uniemożliwiające swobodne opuszczenie skrzyżowania przez pojazdy. Zaproponowany algorytm ma za zadanie w sposób ciągły kontrolować liczbę pojazdów przejeżdżających w każdych 10 sekundach wyświetlanego sygnału zielonego (poza pierwszymi 10 sekundami światła zielonego). Podczas gdy detektory drugiej i trzeciej strefy detekcji są zajęte, a detektory przy linii stopu zliczają mniej niż jeden pojazd w ciągu 10 sekund zielonego, należy uznać, iż za skrzyżowaniem utworzył się zator uniemożliwiający opuszczenie go przez pojazdy.

#### **Stan A**

W sytuacji, gdy przynajmniej 65% średniej wartości ze wszystkich „10-sekundówek” czasu sygnału zielonego z ostatnich 5 minut spełnia ww. zasady, system automatycznie wyłącza koordynację i przechodzi w stan likwidowania zatoru poprzez:

- ograniczenie dopływów do tego skrzyżowania poprzez zmniejszenie długość światła zielonego o 1/3 dla grupy na poprzednim skrzyżowaniu,
- udrożnienie odpływu poprzez zwiększenie o 1/3 długości światła zielonego dla grupy na skrzyżowaniu następnym w ciągu.

*Wyjście ze stanu A:  $> 65\%$  ( $\#10s > 1$ ) w ciągu ostatnich 5 minut.*

#### **Stan B**

Jeżeli powyższy stan utrzymuje się przez kolejne 15 minut, wówczas następuje:

- ograniczenie dopływów do tego skrzyżowania poprzez zmniejszenie długość światła zielonego o 1/2 dla grupy na poprzednim skrzyżowaniu,
- udrożnienie odpływu poprzez zwiększenie o 1/2 długości światła zielonego dla grupy na skrzyżowaniu następnym w ciągu.

*Wyjście ze stanu B:  $> 65\%$  ( $\#10s > 1$ ) w przeciągu kolejnych 15 minut.*

Sterowanie w oparciu o analizę liczby pojazdów przejeżdżających w trakcie każdych 10 sekund zielonego dotyczy wszystkich analizowanych skrzyżowań