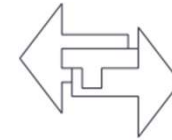




**TRAMWAJE
WARSZAWSKIE**



**Wydział
Transportu**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Bezpieczna prędkość ewakuacji tramwaju na skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną

J. Szustek, A. Górka

KONGRES BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2026

Kraków, 25-27 marca 2026 r.

www.konferencjespecjalistyczne.pl

Czas międzyzielony - definicja

czas międzyzielony – w programie sygnalizacji świetlnej jest to czas buforowy, umożliwiający bezpieczne zakończenie ruchu przez dany strumień, zanim kolejny, konfliktowy strumień ruchu otrzyma zezwolenie na ruch

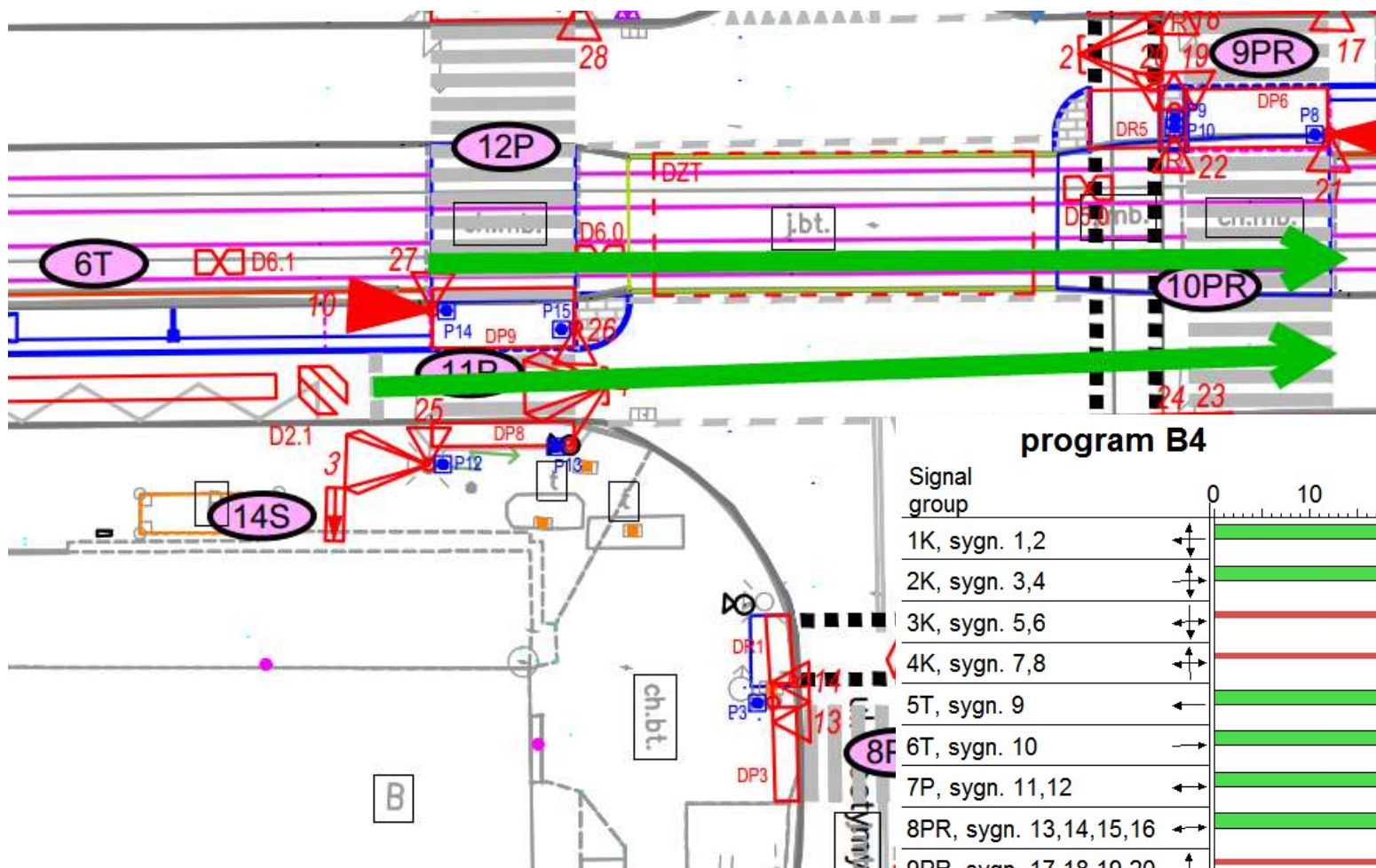
- zapewnia margines bezpieczeństwa na skrzyżowaniu
- wpływa na czas tracony w programie i na przepustowość

$$t_m^{\min}(i, j) = t_z + t_e(i, j) - t_d(i, j)$$

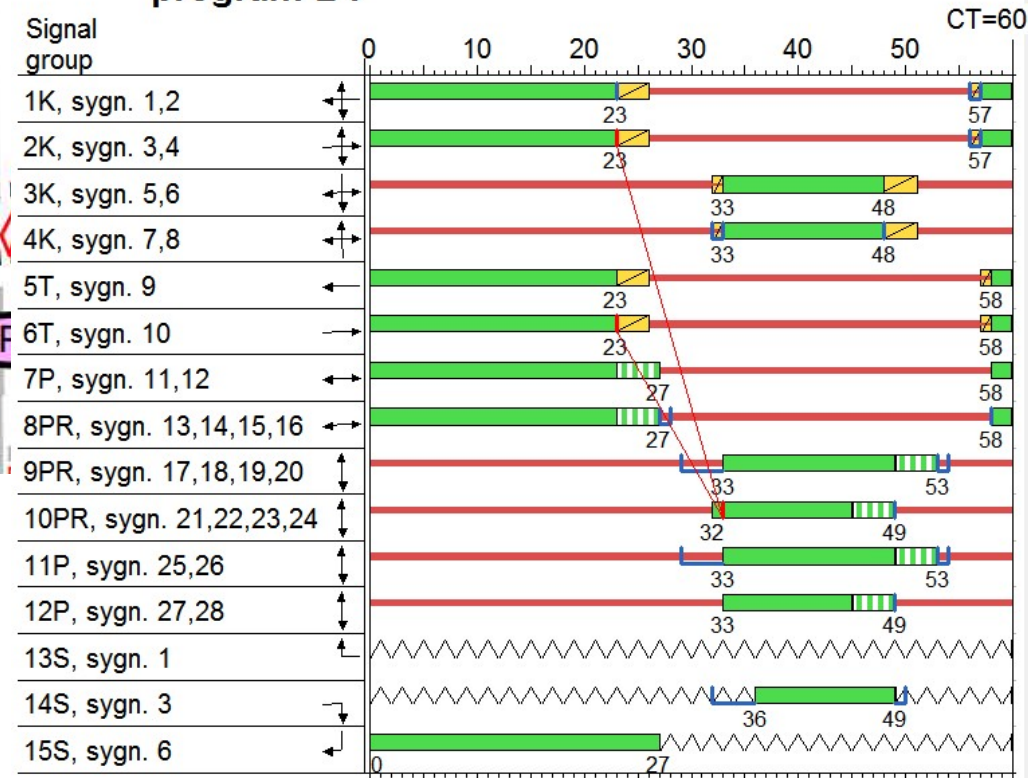
gdzie:

- $t_m^{\min}(i, j)$ - minimalny czas międzyzielony pomiędzy ewakuującym się strumieniem „i” a dojeżdżającym strumieniem „j”,
- t_z - czas trwania sygnału żółtego lub jego odpowiednika (3s) dla strumienia „i”,
- $t_e(i, j)$ - czas trwania ewakuacji strumienia „i” za punkt kolizji ze strumieniem „j”,
- $t_d(i, j)$ - czas trwania dojazdu strumienia „j” do punktu kolizji ze strumieniem „i”.

Czas międzyzielony – cel stosowania



program B4



Czas ewakuacji tramwajów - problem

czas ewakuacji – kluczowy składnik wzoru na czas międzyzielony, reprezentujący czas opuszczania strefy kolizji przez strumień kończący ruch

- zależy od długości pojazdu
- odwrotnie proporcjonalny do prędkości ewakuacji

$$t_e(i, j) = \frac{l_e(i, j) + l_p}{v_e(i)}$$

gdzie:

- $l_e(i, j)$ - droga ewakuacji strumienia „i” za punkt kolizji ze strumieniem „j”,
- l_p - długość pojazdu w strumieniu ewakuującym się (dla strumienia pieszych przyjmuje się 0),
- $v_e(i)$ - prędkość strumienia ewakuującego się „i”.

dla tramwajów $v_e \leq 10$ m/s (36 km/h)

Długości tramwajów



105N i pokrewne:

$l_p=13,5m$ (27m)

$te_{min}=2s$ (3s)



120Na Swing

$l_p=30m$

$te_{min}=(3s)$

Długości tramwajów – c.d.



140N

$l_p=32,9m$

$te_{min}=4s$



2014N Krakowiak

$l_p=42,8m$

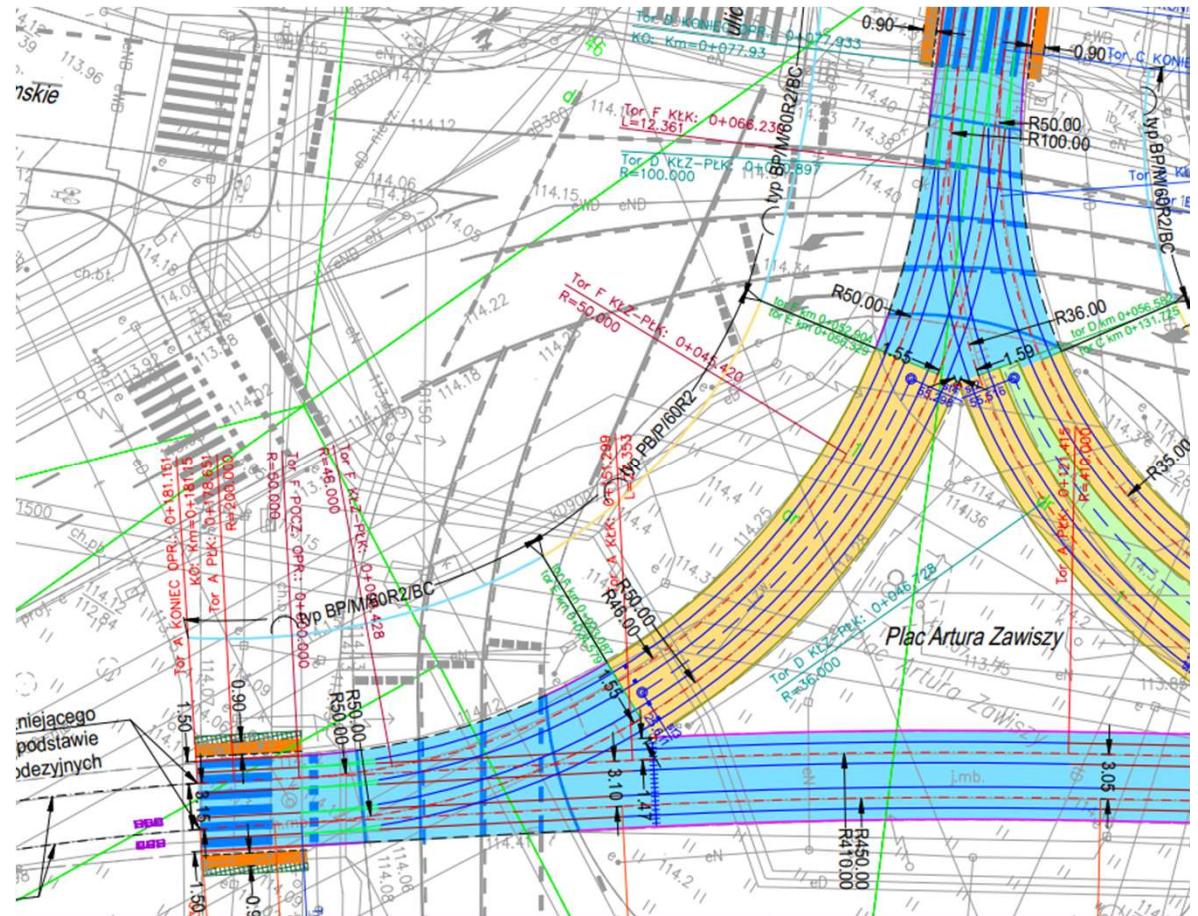
$te_{min}=(5s)$

źr.: mpk.krakow.pl

Bezpieczna prędkość na skrzyżowaniu

Aspekty techniczne do uwzględnienia:

- obecność rozjazdów i krzyżownic (15 / 30 km/h)
- promień łuku
- przechyłka na łuku
- krzywa przejściowa



Bezpieczna prędkość na skrzyżowaniu

(14) Wartość przyspieszenia niezrównoważonego na łuku z przechytką toru oblicza się według wzoru (7.1.3.4):

$$a = \frac{V_{dp}^2}{12,96 \cdot R} - \frac{g \cdot D}{s} = \frac{V_{dp}^2 \cdot K}{12,96} - \frac{g \cdot D}{s}$$

gdzie:

a – przyspieszenie niezrównoważone [m/s^2],

V_{dp} – prędkość do projektowania układu geometrycznego [km/h],

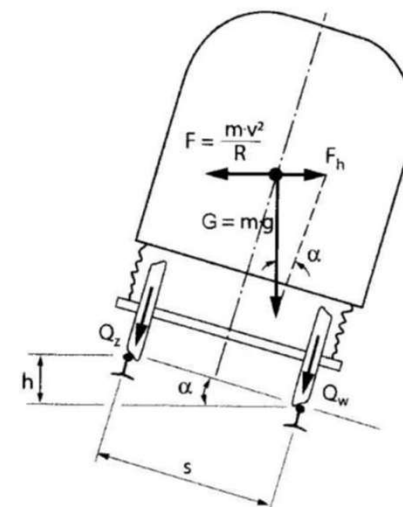
R – promień łuku [m],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

D – projektowana wartość przechytki toru [m],

s – rozstaw osiowy toków szynowych [mm],

K – krzywizna toru [$1/m$].

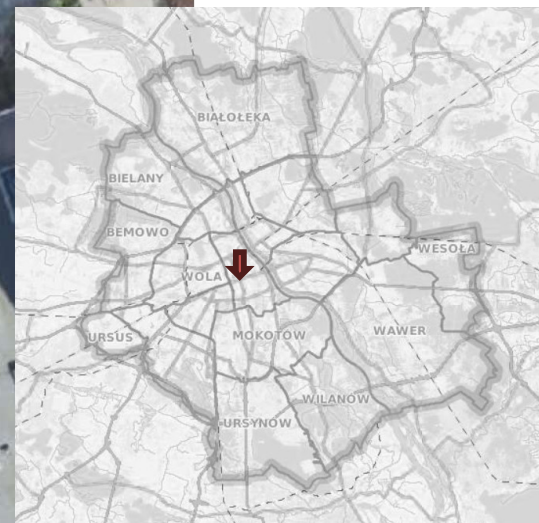
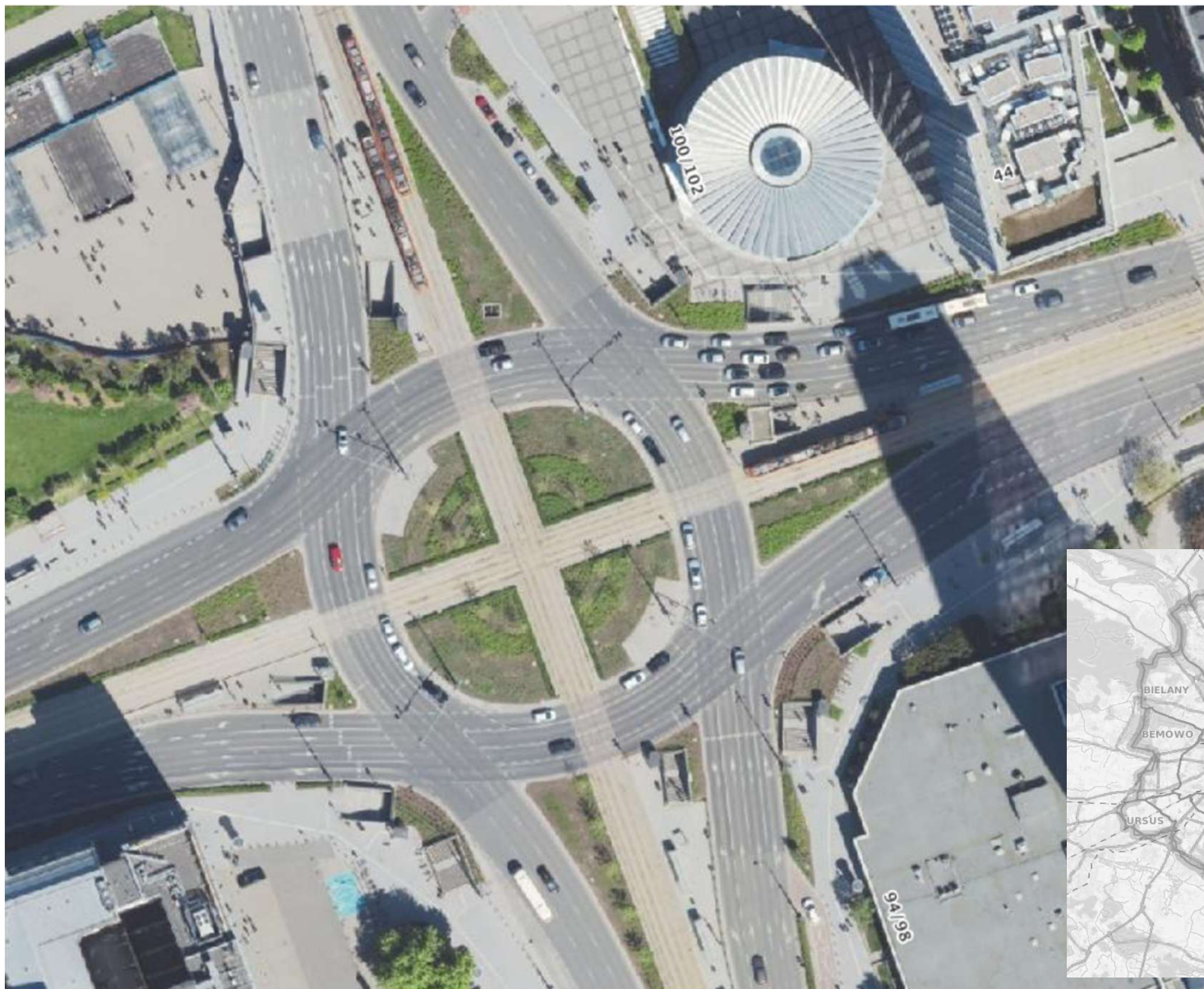


Tab. 7.1.2.2. Dopuszczalne wartości przyspieszenia niezrównoważonego a_{dop} [m/s^2]

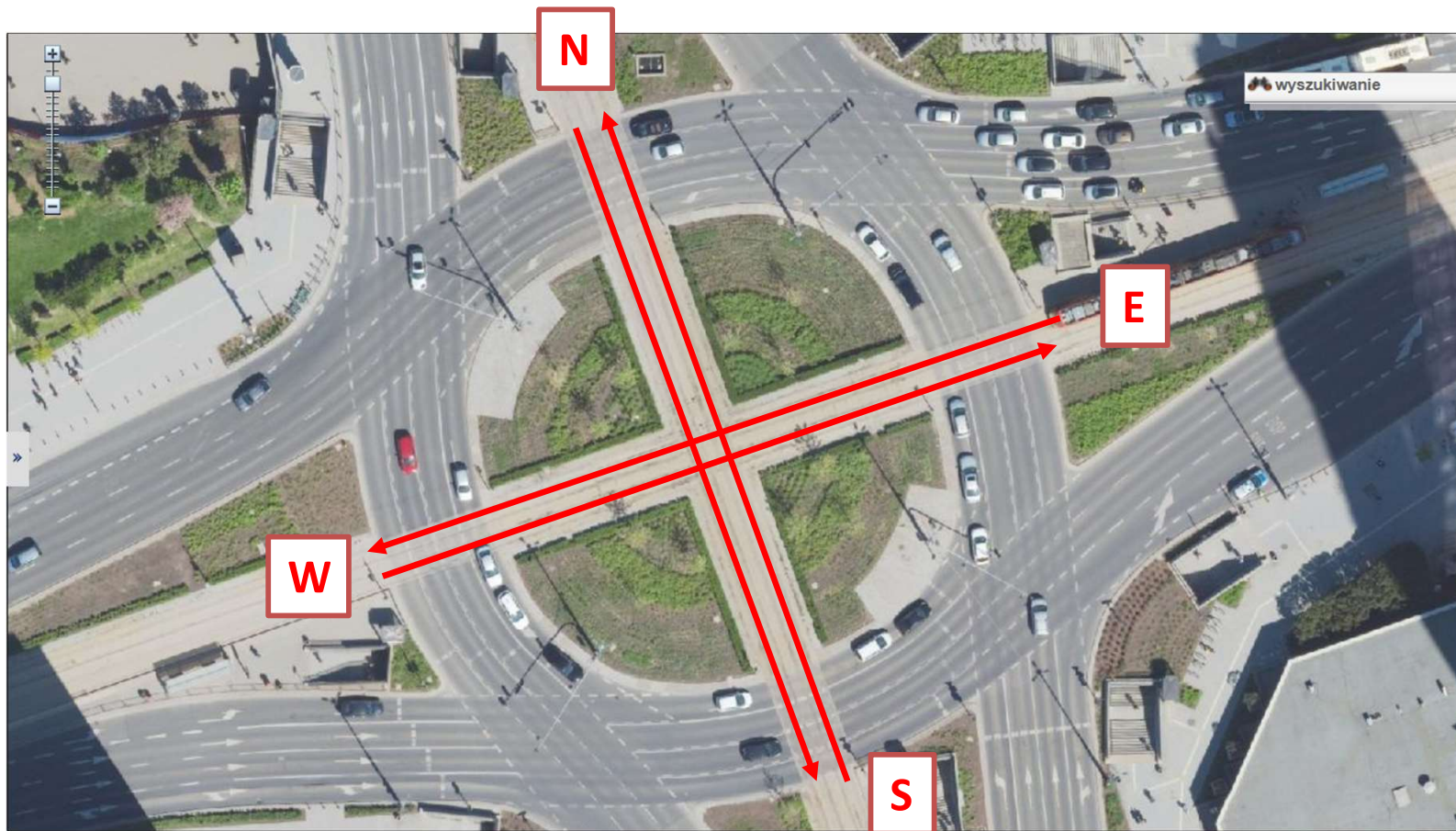
Zalecana			W trudnych warunkach
Trasa typu TS	Trasa typu TA lub TB	Trasa typu TC, TD lub TE	
0,30	0,67	0,80	1,00

Dla $R=25\ m$ przy $v=15\ km/h \rightarrow a=0,69$ $v=20\ km/h \rightarrow a=1,23$

Rondo Dmowskiego



Rondo Dmowskiego

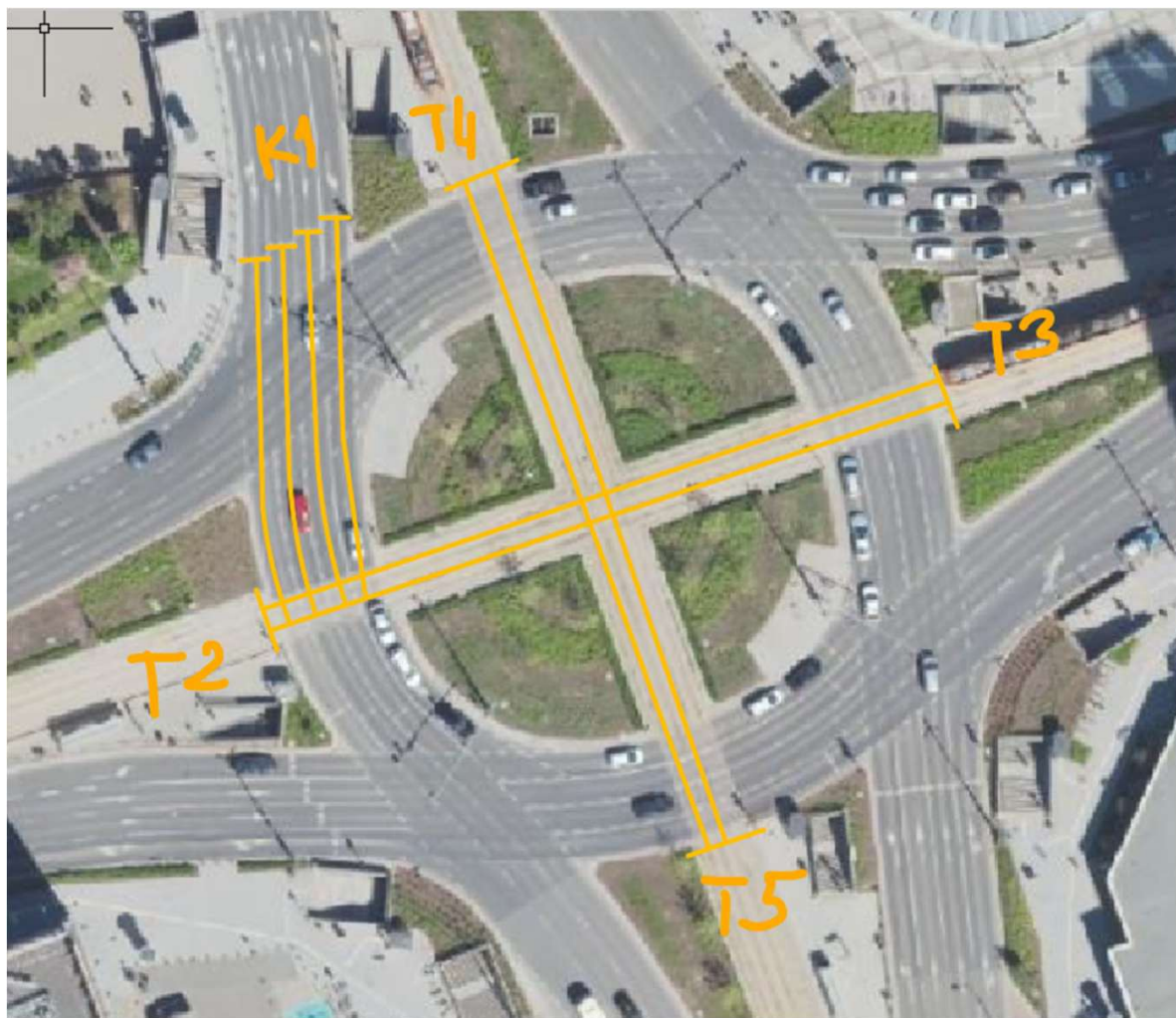


Realne czasy przejazdu

W -> E				E -> W				N -> S				S -> N			
Długość [m]	Czas [s]	Prędkość [m/s]	Prędkość [km/h]	Długość [m]	Czas [s]	Prędkość [m/s]	Prędkość [km/h]	Długość [m]	Czas [s]	Prędkość [m/s]	Prędkość [km/h]	Długość [m]	Czas [s]	Prędkość [m/s]	Prędkość [km/h]
78	15	5,2	18,72	77,73	23	3,4	12,17	77,42	16	4,8	17,42	77,5	19	4,1	14,68
78	15	5,2	18,72	77,73	14	5,6	19,99	77,42	14	5,5	19,91	77,5	21	3,7	13,29
78	15	5,2	18,72	77,73	16	4,9	17,49	77,42	16	4,8	17,42	77,5	24	3,2	11,63
78	13	6,0	21,60	77,73	17	4,6	16,46	77,42	14	5,5	19,91	77,5	24	3,2	11,63
78	14	5,6	20,06	77,73	16	4,9	17,49	77,42	15	5,2	18,58	77,5	16	4,8	17,44
78	13	6,0	21,60	77,73	16	4,9	17,49	77,42	14	5,5	19,91	77,5	21	3,7	13,29
78	15	5,2	18,72	77,73	16	4,9	17,49	77,42	14	5,5	19,91	77,5	22	3,5	12,68
78	15	5,2	18,72	77,73	15	5,2	18,66	77,42	15	5,2	18,58	77,5	17	4,6	16,41
78	14	5,6	20,06	77,73	14	5,6	19,99	77,42	15	5,2	18,58	77,5	17	4,6	16,41
78	13	6,0	21,60	77,73	17	4,6	16,46	77,42	16	4,8	17,42	77,5	18	4,3	15,50
78	16	4,9	17,55	77,73	14	5,6	19,99	77,42	14	5,5	19,91	77,5	16	4,8	17,44
78	14	5,6	20,06	77,73	13	6,0	21,53	77,42	15	5,2	18,58	77,5	20	3,9	13,95
78	14	5,6	20,06		Średnia	5,0	17,9		Średnia	5,2	18,8		Średnia	4,0	14,5
78	16	4,9	17,55		Odch. st.	0,7	2,4		Odch. st.	0,3	1,0		Odch. st.	0,6	2,1
	Średnia	5,4	19,55												
	Odch. st.	0,4	1,39												

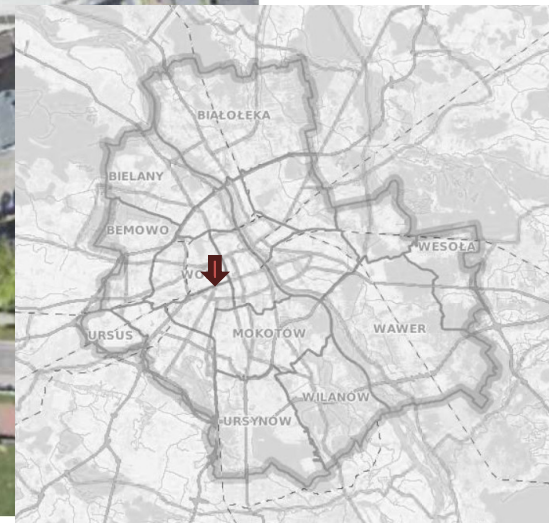
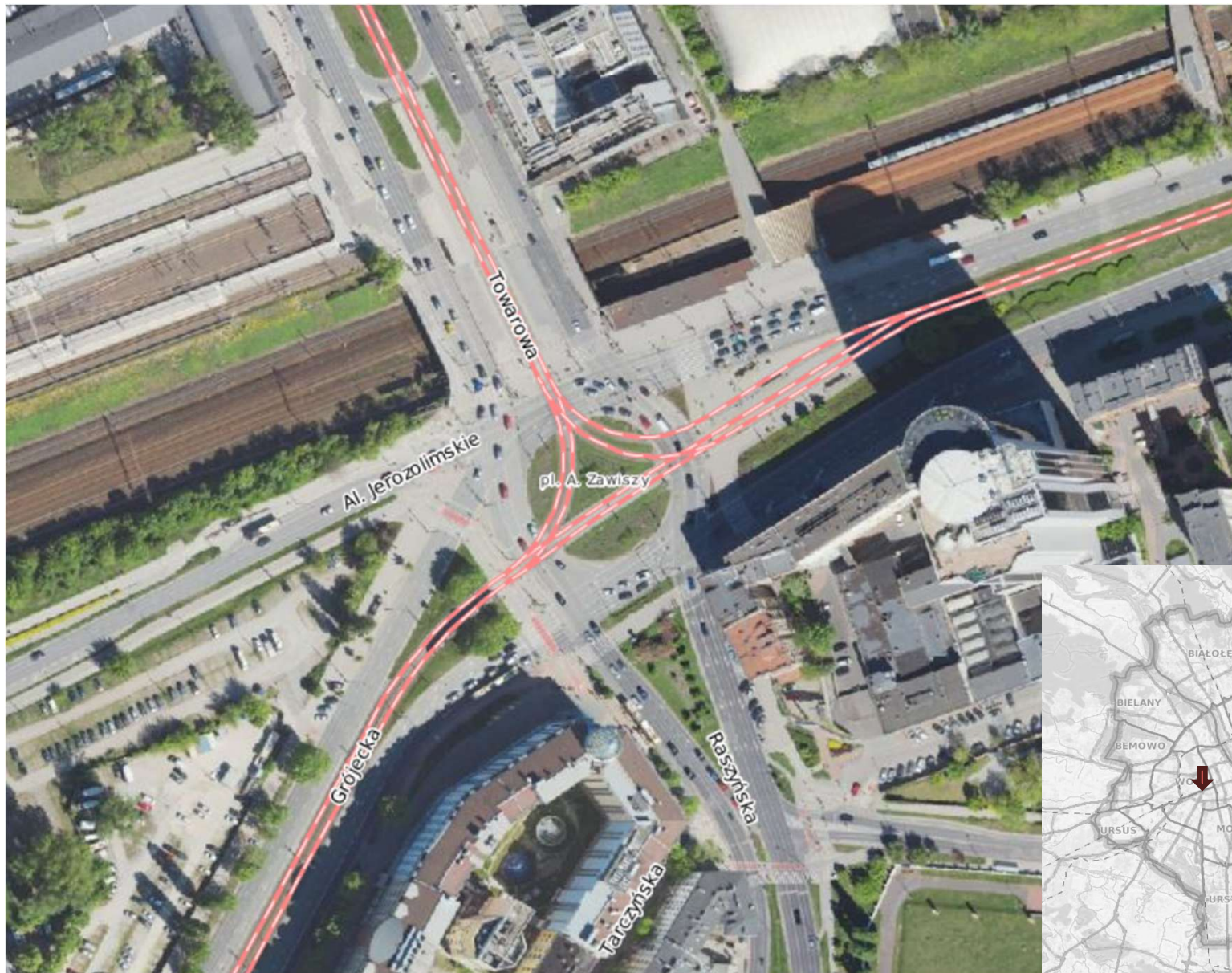
Średnia v (m/s)	5,4	5,0	5,2	4,0
Odch. st.	0,4	0,7	0,3	0,6
V max. (m/s)	6,0	6,0	5,5	4,8

Czasy międzyzielone

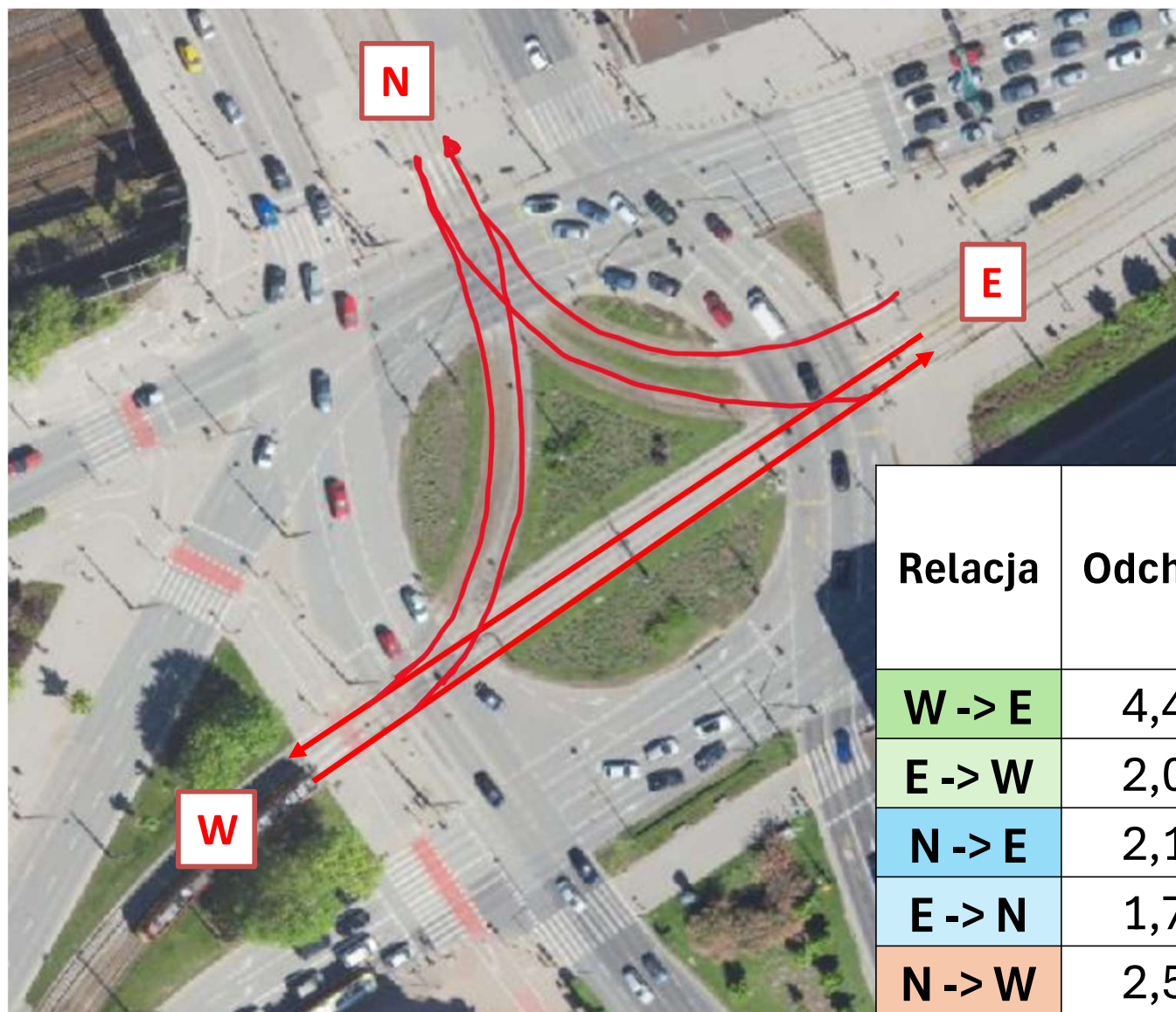


x	1K	2T	3T	4T	5T
1K	x	7	3		
2T	5	x		8	8
3T	11		x		8
4T		8		x	
5T		8	8		x

Plac Zawiszy



Realne czasy przejazdu



Relacja	Odch. st.	Średnia prędkość [m/s]	Maksymalna prędkość [m/s]
W -> E	4,42	5,41	7,76
E -> W	2,03	5,26	6,25
N -> E	2,12	4,92	5,32
E -> N	1,75	5,33	5,90
N -> W	2,56	5,51	6,70
W -> N	3,95	4,26	5,04

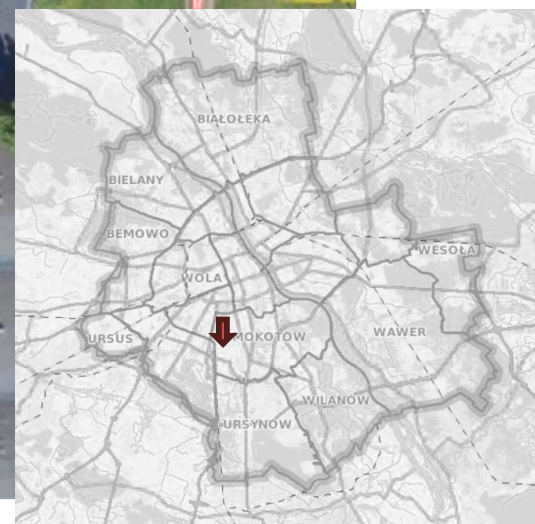
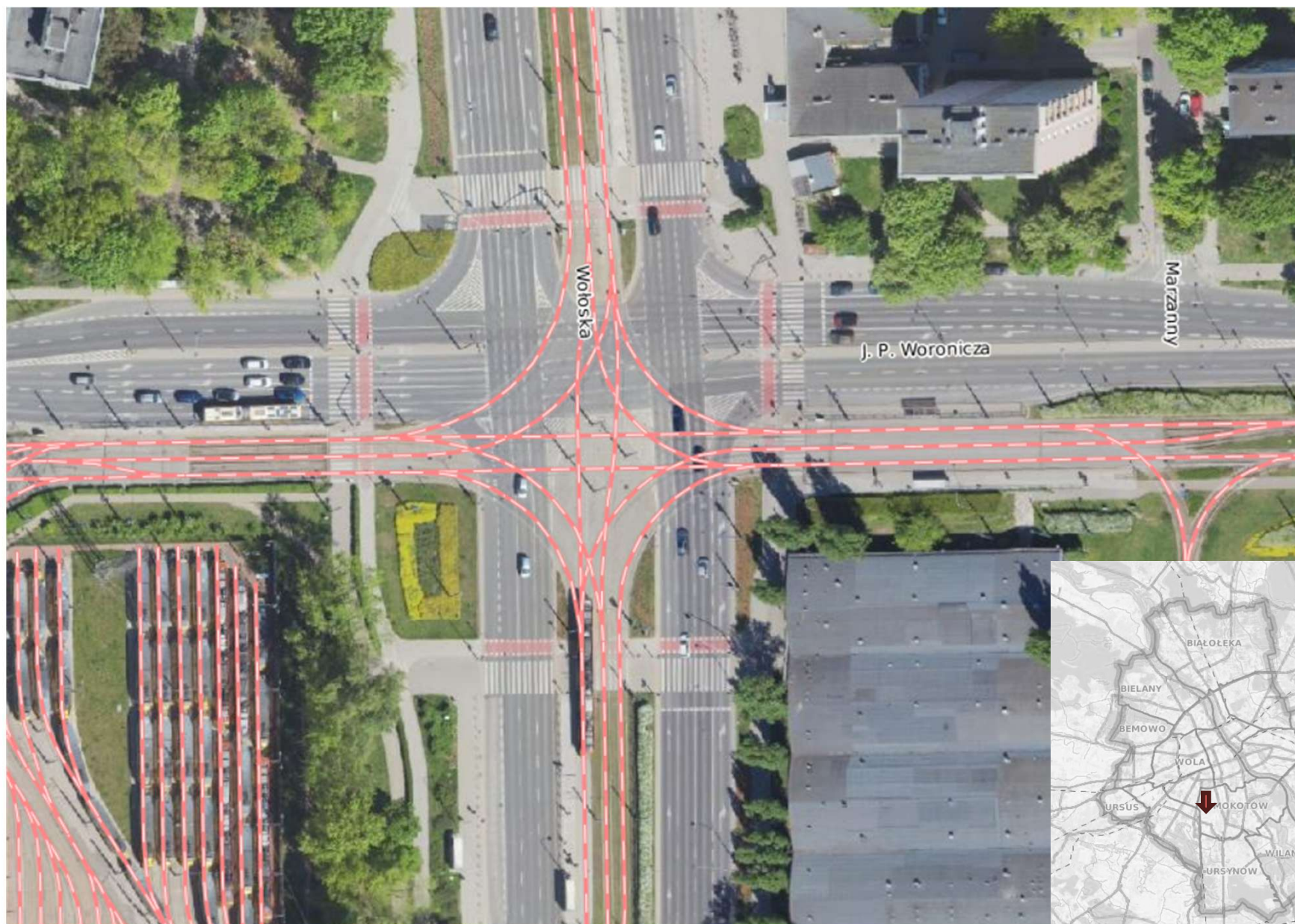
Jak długi może być czas ewakuacji?

Droga ewakuacji w skrajnym przypadku może wynosić ponad 100 metrów

v [km/h]	36	30	25	20	15	10
v [m/s]	10,00	8,33	6,94	5,56	4,17	2,78
27	12,7	15,24	18,288	22,86	30,48	45,72
33	13,3	15,96	19,152	23,94	31,92	47,88
43	14,3	17,16	20,592	25,74	34,32	51,48



Woronicza - Wołoska



Czasy międzyzielone

Skrzyżowanie ulic Wołoskiej i Woronicza

Grupy rozpoczynające (dojeżdżające)

1K

2K

3K

5K

6K

7K

8K

9T

10T

11T

12T

13T

14T

15T

16T

17T

18T

19T

20T

21PAR

22PAR

23PAR

24PAR

25PAR

26PAR

27PAR

28PAR

29PAR

30PAR

31PAR

32PAR

33S

34S

35O

Grupy kończące (ewakuujące się)

1K

2K

3K

5K

6K

7K

8K

9T

10T

11T

12T

13T

14T

15T

16T

17T

18T

19T

20T

21PAR

22PAR

23PAR

24PAR

25PAR

26PAR

27PAR

28PAR

29PAR

30PAR

31PAR

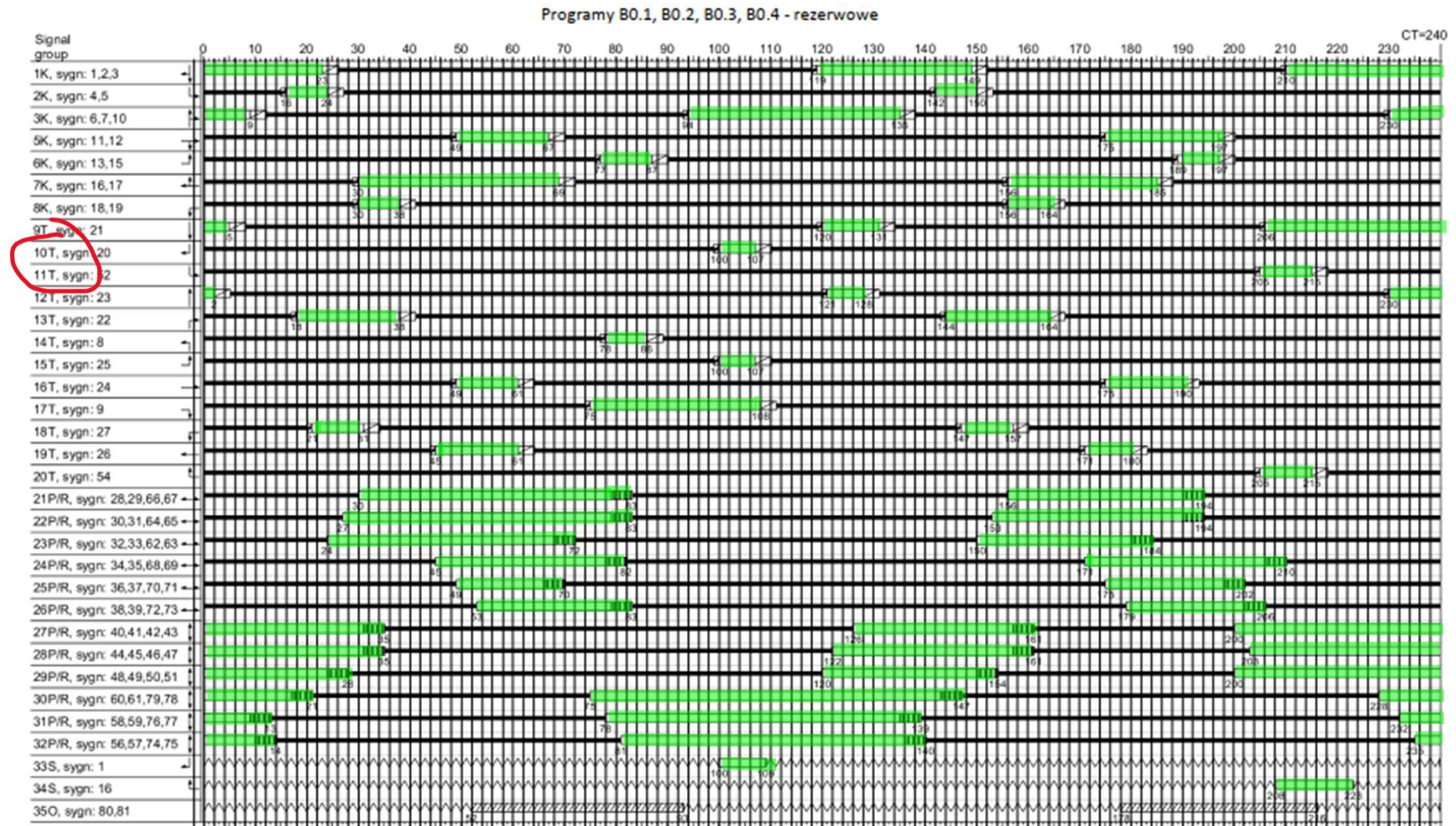
32PAR

33S

34S

35O

Program bazowy



Propozycja

Zakładając obniżenie wartości tramwajów w obliczeniach:

- Do obliczeń TMZ należy brać realne prędkości tramwajów zarówno przy ewakuacji, jak i dojeździe
- Do obliczeń TMZ z „dojazdem” grup pieszych uwzględniać długość przejścia, a nie pojazdu.

Grupa E	Grupa D	se	lp [m]	ve [m/s]	sd	vd [m/s]	Aktualna metoda	Obniżone Ve	Obniżone ve i vd
3 K	18 T	47	10	10	15	6,94	9	9	8
9 T	14 T	70	27	6,94	29	6,94	12	16	13
9 T	18 T	84	27	6,94	58	6,94	11	16	11
9 T	25 P	98	27	6,94	0	1,4	16	22	22
12 T	7 K	72	27	6,94	36	10	11	16	14
12 T	20 T	110	27	6,94	55	6,94	14	20	15
16 T	13 T	81	27	6,94	57	6,94	11	16	11
25 P	12 T	10,5	0	1,4	0	6,94	8	8	8



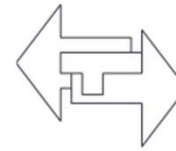
fot. Dariusz Borowicz <https://bi.im-g.pl/im/24/6c/1a/z27707940IEG,Miejsce-potracaenia-pieszej-przez-tramwaj-na-Brodni.jpg>

Wnioski

- Projektowanie geometrii skrzyżowań nie może odbyć się bez „konsultacji” z projektantem sygnalizacji świetlnej.
- Obecne sposoby liczenia czasów międzyzielonych dla tramwajów nie odpowiadają rzeczywistości.
- Próbuąc poprawić bezpieczeństwo możemy realnie je pogorszyć.
- Możliwe jest urealnienie obliczeń nie tracąc przy tym na efektywności sterowania



**TRAMWAJE
WARSZAWSKIE**



**Wydział
Transportu**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

PYTANIA?

Jarosław Szustek

jszustek@tw.waw.pl

Tel: +48 693 792 329

Anna Górka

anna.gorka@pw.edu.pl

Tel: +48 698 206 307