

# Návrh signálního plánu pro světelně řízenou křižovatku

Ing. Michal Dorda, Ph.D.

# Použitá literatura

- **TP 81 – Zásady pro navrhování světelných signalizačních zařízení na pozemních komunikacích.**
- ~~**TP 235 – Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek.**~~
- **TP 188 – Posuzování kapacity křižovatek a úseků pozemních komunikací**

# Úvodní poznámky

- **Pevný signální program** (plán) je program řízení SSZ, který určuje pořadí a délku signálních dob jednotlivých světelných signálů.
- Návrh signálního plánu sestává z následujících kroků:
  - Sestavení fázového schématu.
  - Výpočet mezičasů.
  - Výpočet délky cyklu.
  - **Výpočet dob jednotlivých fází.**

# Úvodní poznámky

- Délku signálu volno můžeme dle technických podmínek stanovit těmito metodami:
  - **Metoda saturovaného toku (Websterova metoda).**
  - **Metoda spotřeby času.**
  - **Metoda postupného přibližování (iterace).**

# Metoda saturovaného toku

# Úvodní poznámky

- Metoda stanovuje délku cyklu a signálů volno v závislosti na stupni saturace pro jednotlivé fáze.
- Výpočetní období pro metodu je 1 h.

# Skladba dopravního proudu

Druh vozidla	Přepočtový koeficient
Jízdní kolo	0,5
Motocykl	0,8
Osobní vozidlo (včetně nákladních vozidel do hmotnosti 3,5 tuny)	1,0
Nákladní vozidla nad 3,5 tuny (mimo jízdní soupravy), autobus (mimo kloubové)	1,7
Jízdní souprava, kloubový autobus	2,5

# Saturovaný tok

- **Saturovaný tok** je nejvyšší počet vozidel, která mohou projet profilem stopčáry za jednotku času při ideálních dopravních podmínkách, a vyjadřuje se v jednotkových vozidlech za hodinu [j.v./h].
- Hodnotu saturovaného toku ovlivňuje šířka vjezdu, podélný sklon vozovky, poloměr oblouku a podíl odbočujících vozidel.



# Základní saturevaný tok

- **Základní saturevaný tok  $S_{zákl}$**  má hodnotu dle TP 188 hodnotu 2000 j.v./h.

# Saturovaný tok řadícího pruhu

- **Saturovaný tok řadícího pruhu  $S_i$**  získáme ze základního saturovaného toku vynásobením koeficienty, které zohledňují vliv podélného sklonu vozovky a velikosti oblouku:

$$S_i = S_{zákl} \cdot k_{skl} \cdot k_{obl} \cdot$$

# Koeficient sklonu

- **Koeficient sklonu**  $k_{skl}$  vyjadřuje vliv podélného sklonu vjezdu na saturovaný tok:

$$k_{skl} = 1 - 0,02 \cdot a ,$$

kde  $a$  je podélný sklon vjezdu v [%].

- Tento vztah platí pouze pro sklony do 10%. Pro vodorovný sklon nebo pro vjezd v klesání je  $a=0$ , pro sklon vjezdu vyšší než 10% je  $a=10$ .

# Koeficient oblouku

- **Koeficient oblouku**  $k_{obl}$  vyjadřuje vliv poloměru oblouku při odbočování a podílu odbočujících vozidel na saturovaný tok:

$$k_{obl} = \frac{R}{R + 1,5 \cdot f},$$

kde  $R$  je poloměr směrového oblouku při odbočování v [m] a  $f$  je podíl odbočujících vozidel z celkové intenzity vjezdu [-].

# Koeficient oblouku

- Pro samostatný vjezd pro odbočování je  $f=1$ .
- Jinak stanovíme hodnotu  $f$  jako podíl intenzity odbočujících vozidel v daném vjezdu a celkové intenzity vjezdu. Obě hodnoty dosazujeme v [j.v./h].

# Poloměr směrového oblouku při odbočování

- Skutečný poloměr oblouku se zadává, pokud:
  - Pravé odbočení (na samostatném i společném řadícím pruhu) není výrazně ovlivňováno proudem souběžně přecházejících chodců.
  - Levé odbočení je sice ve společném vjezdu s přímým směrem nebo pravým odbočením, ale levé odbočení není ovlivňováno souběžně jedoucím protisměrem (levé odbočení tedy nesmí být podmíněně kolizní).

# Poloměr směrového oblouku při odbočování

- Pro levé odbočení existuje samostatný řadící pruh, příp. pruhy.

# Poloměr směrového oblouku při odbočování

- Při společném vjezdu pro levé odbočení a přímý směr, příp. pravé odbočení, se v případě, že je levé odbočení podmíněně kolizní, toto snížení kapacity vjezdu zohledňuje fiktivním poloměrem oblouku  $R = 1,5$  m.



# Poloměr směrového oblouku při odbočování

- Pokud je pravé odbočení (na samostatném i společném řadícím pruhu) výrazně ovlivňováno proudem souběžně přecházejících chodců, potom se tento vliv vyjadřuje fiktivním poloměrem oblouku – viz tabulka.

# Poloměr směrového oblouku při odbočování

Intenzita chodců		Fiktivní poloměr oblouku
Úroveň	[osob/h]	R [m]
Nízká	cca 100	6,0
Střední	cca 300	4,0
Vysoká	cca 500	2,5
	cca 800	1,5
	$\geq 1000$	1,0

# Poloměr směrového oblouku při odbočování

- Pokud je levé odbočení (podmíněně kolizní i nekolizní s protisměrem) na společném řadícím pruhu s pravým odbočením (případně i s přímým směrem), stanoví se koeficienty oblouku zvlášť pro levé i pravé odbočení a pro výpočet se použije ta nižší hodnota.

# Saturovaný tok vjezdu

- **Saturovaný tok vjezdu  $S_v$**  je potom roven součtu saturovaných jednotlivých řadících pruhů, které tvoří jeden vjezd do křižovatky:

$$S_v = \sum_{i=1}^k S_i,$$

kde  $k$  označuje počet řadících pruhů na vjezdu.

# Stanovení délky cyklu

- Pro všechny vjezdy s automobilovou dopravou se určí **stupeň saturace  $y$**  podle vztahu:

$$y = \frac{I}{S_v},$$

kde  $I$  je intenzita příslušného vjezdu.

# Stanovení délky cyklu

- V každé fázi vybereme **kritický vjezd** ve fázi. Kritický vjezd ve fázi je takový vjezd, který má nejvyšší stupeň saturace ze všech vjezdů ve fázi –  $y_{krit}$ .
- **Celkový stupeň saturace  $Y$**  je dán součtem stupňů saturace kritických vjezdů pro jednotlivé fáze signálního plánu.

# Stanovení délky cyklu

- Pro celkový stupeň saturace  $Y$  tedy platí:

$$Y = \sum_{i=1}^n y_{krit_i} ,$$

kde  $i$  je index fáze a  $n$  je počet fází.

# Stanovení délky cyklu

- Pro každou fázi stanovíme **ztrátový čas  $I$** . Jeho určení vychází z tzv. **efektivní zelené  $z'$** , která odpovídá době, během které vozidla projíždějí stopčárou v saturovaném toku.
- Efektivní zelená odpovídá délce zelené, od které odečteme časovou ztrátu vzniklou rozjezdem vozidel a ke které přičteme vliv pojíždění žlutého signálu.



# Stanovení délky cyklu

- Pro efektivní délku zelené  $z'$  potom platí:  
$$z' = z - 1 + 2 = z + 1[s].$$

# Stanovení délky cyklu

- **Ztrátový čas ve fázi I** je doba mezi koncem efektivní zelené v této fázi a začátkem efektivní zelené v následující fázi. Stanoví se jako mezičas mezi kritickými vjezdy zkrácený o rozdíl mezi efektivní a skutečnou zelenou:

$$I = t_{m_{krit}} - (z' - z) = t_{m_{krit}} - (z + 1 - z) = t_{m_{krit}} - 1[s].$$

# Stanovení délky cyklu

- **Celkový ztrátový čas za cyklus  $L$**  je roven součtu ztrátových časů pro každou fázi, tedy:

$$L = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n t_{m_{krit,i}} - n[s],$$

kde  $i$  je index fáze a  $n$  je počet fází.

# Strukturální cyklus

- Strukturální cyklus  $C_{str}$  je cyklus s nejmenší možnou délkou, jeho velikost je dána rozhodujícími mezičasy mezi fázemi  $t_{m,r}$  a minimálními délkami zeleného signálu té signální skupiny, která má ze všech signálních skupin v této fázi nejdelší mezičas:

$$C_{str} = \sum_{i=1}^n \left( z_{\min_i} + t_{m,r_i} \right)$$

# Strukturální cyklus

- Signální plán se strukturálním cyklem nazýváme strukturálním signálním plánem.
- Pro řízení se nepoužívá, reálné signální plány z něho získáme prodlužováním jednotlivých fází.
- Používá se jako podklad pro dynamické řízení.

# Minimální cyklus pro zadané intenzity

- Minimální cyklus pro zadané intenzity  $C_{min}$  je nejkratší možná délka cyklu pro požadovanou rezervu kapacity  $Rez$  v [%] na kritických vjezdech ve fázích:

$$C_{min} = \frac{L}{1 - Y \cdot \frac{100}{100 - Rez}},$$

kde  $0 \leq Rez < (1 - Y) \cdot 100$  [%].

# Minimální cyklus pro zadané intenzity

- Minimální cyklus se rovněž pro řízení nepoužívá.
- Používá se při kapacitním posouzení křižovatky – dosadí se hodnota  $Rez=0\%$  a vyjde-li minimální cyklus  $C_{min} > 120$  s, potom SSZ kapacitně nevyhovuje.
- Signální plán s minimálním cyklem se nazývá minimální signální plán.

# Optimální a reálný cyklus pro izolovanou křižovatku

- Optimální cyklus  $C_{opt}$  pro izolovanou křižovatku odpovídá takovému cyklu, při němž je celkové zdržení vozidel minimální. Platí pro něj vztah:

$$C_{opt} = \frac{1,5 \cdot L + 5}{1 - Y}.$$



# Optimální a reálný cyklus pro izolovanou křižovatku

- Optimální cyklus slouží jako základ pro návrh reálného cyklu  $t_c$  pro izolovanou křižovatku.
- Optimální cyklus se v praxi často upravuje na reálný cyklus – zohledňují se tramvaje a dlouhé vyklizovací časy chodců na přechodech.

# Optimální a reálný cyklus pro izolovanou křižovatku

- Na základě optimálního cyklu se stanovuje reálný cyklus, pro který platí:

$$0,75 \cdot C_{opt} < t_c < 1,5 \cdot C_{opt}.$$

- Pro takto zvolené rozmezí platí, že nedochází k podstatnému nárůstu časových ztrát vozidel vzhledem k optimálnímu cyklu.

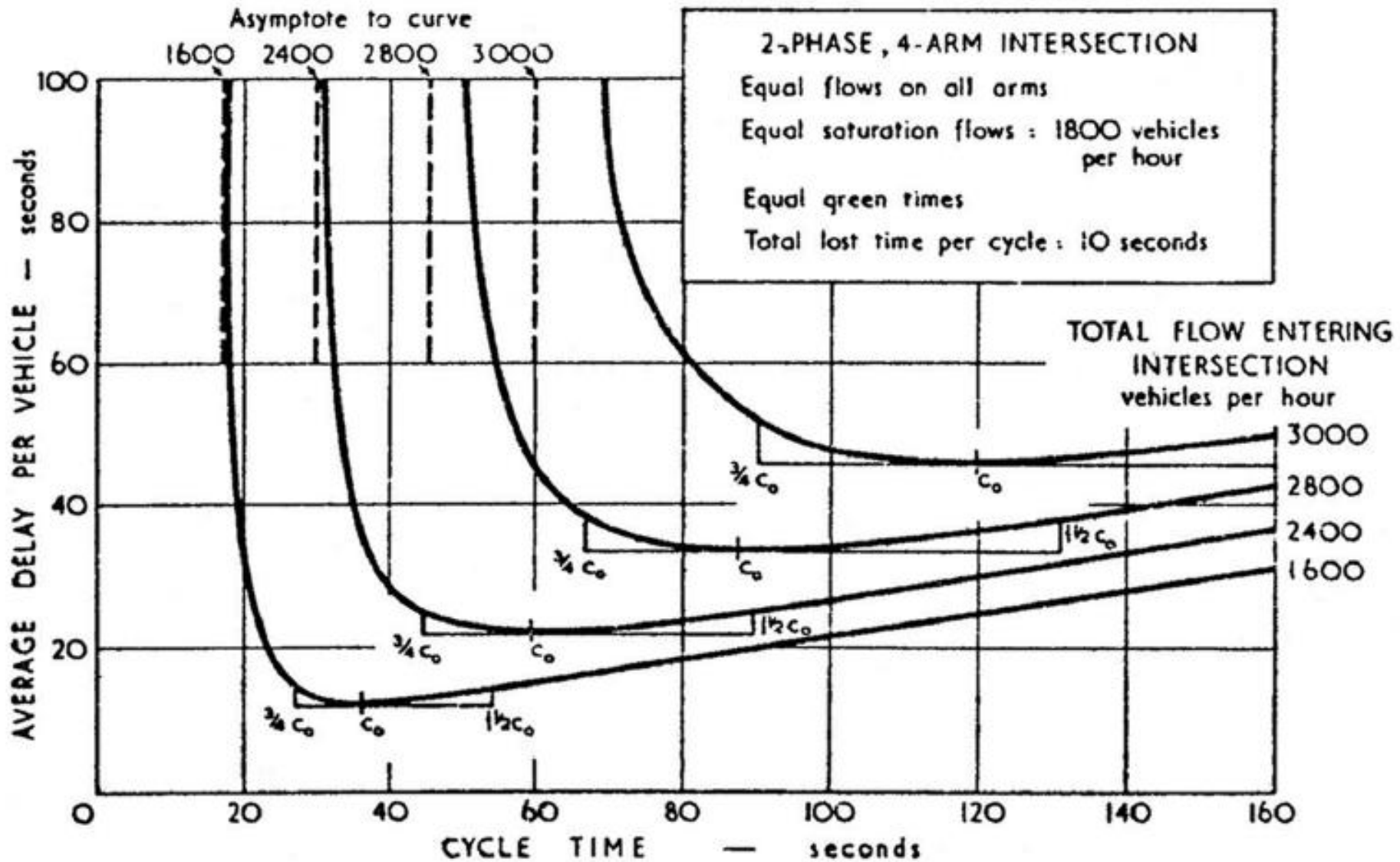


FIG. 7. EFFECT ON DELAY OF VARIATION OF THE CYCLE LENGTH

# Optimální a reálný cyklus pro izolovanou křižovatku

- Reálný cyklus nemůže být menší než strukturální cyklus.
- Reálný cyklus by neměl překročit hodnotu 100 s, výjimečně 120 s.

# Výpočet délek zelených signálů

- V jednotlivých fázích určíme délky zelených pro kritické vjezdy dle vztahu:

$$z_i = \frac{y_{krit_i} \cdot (t_c - L)}{Y} - 1[s].$$

- Délky zelených pro nekritické vjezdy v dané fázi se dopočítají podle tabulky mezičasů na základě hodnoty délky zelené pro kritický vjezd.

# Kapacitní posouzení návrhu dle TP 188

# Posouzení kvality dopravy

Úroveň kvality dopravy		Střední doba zdržení $t_w$ [s]
Označení	Charakteristiky kvality dopravy	
A	Velmi dobrá	$\leq 20$
B	Dobrá	$\leq 35$
C	Uspokojivá	$\leq 50$
D	Dostatečná	$\leq 70$
E	Nestabilní stav	$> 70$
F	Překročená kapacita	- (Rez $\leq 0$ )

# Posouzení kvality dopravy

- Podle ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích jsou požadovány alespoň tyto úrovně kvality dopravy:
  - Dálnice a silnice I. třídy – úroveň C.
  - Silnice II. třídy – úroveň D.
  - Silnice III. třídy – úroveň E.
  - Na rychlostních místních komunikacích – úroveň D.
  - Na místních komunikacích – úroveň E.



# Posouzení kvality dopravy

- Splnění podmínky se posuzuje pro všechny vjezdy do křižovatky.

# Kapacita běžného vjezdu

- **Kapacita běžného vjezdu  $C_v$**  závisí na saturovaném toku vjezdu  $S_v$ , délce efektivní zelené  $z'$  a délce cyklu  $t_c$ :

$$C_v = S_v \cdot \frac{z'}{t_c} [j.v./h].$$

# Kapacita běžného vjezdu

- Pro výpočet saturovaného toku se nově dle TP 188 používá trochu odlišný výpočet.
- Saturovaný tok řadící pruhu se sice pořád získává vynásobením základního saturovaného toku koeficientem sklonu a oblouku, **rozdíl je ale ve výpočtu koeficientu oblouku.**
- Nově se nedosazuje fiktivní poloměr oblouku, je-li vozidlový proud ovlivňován chodci.

# Koeficient oblouku

- **Koeficient oblouku  $k_{obl}$  je vyjádřen:**

$$k_{obl} = \frac{R_{obl}}{R_{obl} + 1,5 \cdot f},$$

kde  $R$  je poloměr směrového oblouku při odbočování v [m] a  $f$  je podíl odbočujících vozidel z celkové intenzity vjezdu [-].

# Poloměr směrového oblouku při odbočování

- Při společném vjezdu pro levé odbočení a přímý směr, příp. pravé odbočení, se v případě, že je levé odbočení podmíněně kolizní, používá fiktivní poloměr oblouku  $R_{obl} = 1,5 \text{ m}$ .

# Poloměr směrového oblouku při odbočování

- Pokud je levé odbočení (podmíněně kolizní i nekolizní s protisměrem) na společném řadícím pruhu s pravým odbočením (případně i s přímým směrem), stanoví se koeficienty oblouku zvlášť pro levé i pravé odbočení a pro výpočet se použije ta nižší hodnota.

# Kapacita běžného vjezdu

- Dle TP 188 jsou při výpočtu uvažovány hodnoty efektivní zelené dle tabulky uvedené dole.

Délka zeleného signálu $z$ [s]	Délka efektivní zelené $z'$ [s]
5 – 7	$z + 1,0$
8 – 10	$z + 0,5$
$\geq 11$	$z$

# Kapacita „zvláštních“ typů vjezdů

- Je-li odbočující proud vozidel ovlivňován chodci, zohledňuje se jejich vliv na kapacitu vjezdu (nově v TP 188).
- Je-li levé odbočení na samostatném odbočovacím pruhu ovlivněné protisměrem, zohledňuje se to ve výpočtu (bylo již v TP 235).



# Kapacita „zvláštních“ typů vjezdů

- Nově v TP 188 se zohledňuje vliv doplňkové zelené šipky (navyšuje kapacitu) a vliv krátkých řadících pruhů.
- Vzorce pro tyto typy vjezdů naleznete v TP 188, v prezentaci uvedeny nejsou.

# Rezerva kapacity

- **Rezerva kapacity vjezdu  $Rez$**  se stanovuje v [%] intenzity dopravy na vjezdu:

$$Re z = \left( 1 - \frac{I_v}{C_v} \right) \cdot 100,$$

kde  $I_v$  je návrhová intenzita dopravy na vjezdu v [j.v./h].

- Je-li  $Rez \leq 0$ , potom je úroveň kvality dopravy na stupni F.

# Střední doba zdržení

- Střední doba zdržení na vjezdu  $t_w$  v [s] se spočítá dle vztahu:

$$t_w = 0,45 \cdot \left[ \frac{(t_c - z')^2 \cdot C_v}{C_v \cdot t_c - I_v \cdot z'} + \frac{3600 \cdot I_v}{C_v^2 - I_v \cdot C_v} \right].$$

- Výpočet se provádí pouze, pokud  $C_v > I_v$ , jinak je úroveň dopravy na stupni F.

# Délka fronty

- Dle TP 188 upraven způsob výpočtu.
- Délka fronty  $L_f$  v řadícím pruhu na vjezdu:

$$L_f = 6 \cdot (N_{GE} + N_{iR}) [m],$$

kde:

- $N_{GE}$  v [j.v.] je střední počet vozidel ve frontě na konci zeleného signálu (tzv. zbytková fronta).
- $N_{iR}$  v [j.v.] je střední počet příjezdů během červené.

# Délka fronty

- Střední počet příjezdů během červené stanovíme dle vztahu:

$$N_{iR} = \frac{(t_c - z') \cdot I_v}{3600} [j.v.],$$

- Stupeň vytížení  $a_v$  je definován:

$$a_v = \frac{I_v}{C_v} [-].$$

# Délka fronty

Stupeň vytížení $a_v$ [-]	Zbytková fronta $N_{GE}$ na konci zelené [pvoz]
$a_v \leq 0,65$	0
$0,65 < a_v \leq 0,90$	$\frac{a_v - 0,65}{0,25} \cdot \frac{1}{0,26 + \frac{N_{ic}}{150}}$
$0,90 < a_v \leq 1,00$	$\frac{a_v - 0,9}{0,1} \cdot 0,3476 \cdot \sqrt{N_{ec}} \cdot U^{0,565} + \frac{1 - a_v}{0,1} \cdot \frac{1}{0,26 + \frac{N_{ic}}{150}}$
$1,00 < a_v \leq 1,20$	$\frac{a_v - 1}{0,2} \cdot (0,1 \cdot N_{ec} \cdot U + 0,5) + \frac{1,2 - a_v}{0,2} \cdot 0,3476 \cdot \sqrt{N_{ec}} \cdot U^{0,565}$
$1,20 < a_v$	$N_{ec} \cdot (a_v - 1) \cdot \frac{U}{2}$

# Délka fronty

- $N_{iC}$  označuje střední počet příjezdů za cyklus a stanoví se:

$$N_{iC} = \frac{I_v \cdot t_c}{3600} [j.v.].$$

- $N_{eC}$  označuje maximální počet odjezdů za cyklus:

$$N_{eC} = \frac{S_v \cdot z'}{3600} [j.v.].$$

# Délka fronty

- $U$  je počet cyklů za analyzované období  $T$ :

$$U = \frac{T}{t_c} [-].$$



## Protokol pro posouzení kapacity podle TP 188 - světelně řízené křižovatky

Název křižovatky				Schéma číslování dopravních proudů
Zatěžovací stav				
Počet prasků		Doba cyklu $t_c$ [s]		
Vypracoval		Datum		
<b>Kritérium výkonnosti</b>				
Paprsek	Název komunikace	Kategorie komunikace	UKD <sub>lim</sub> [-]	$t_{w,lim}$ [s]
1				
2				
3				
4				

Intenzity dopravy													
Paprsek	Název komunikace	Proud (vjezd - výjezd)	$I_{OA}$ [voz/h]	$I_{NA} + I_A$ [voz/h]	$I_{NS} + I_{AK}$ [voz/h]	$I_M$ [voz/h]	$I_C$ [cykl/h]			$\Sigma I_v$ [pvoz/h]	$I_{ped}$ [ch/h]		
								I [voz/h]	I [pvoz/h]				
1		1 (1-4)											
		2 (1-3)											
		3 (1-2)											
2		4 (2-1)											
		5 (2-4)											
		6 (2-3)											
3		7 (3-2)											
		8 (3-1)											
		9 (3-4)											
4		10 (4-3)											
		11 (4-2)											
		12 (4-1)											
Součet intenzity všech vjezdů do křižovatky													

**Geometrické uspořádání**

Paprsek	Název komunikace	Proud (vjezd - výjezd)	Počet řadicích pruhů	Číslo pruhu(ů) v rámci paprsku	Vjezd (signální skupina)
1		1 (1-4)			
		2 (1-3)			
		3 (1-2)			
2		4 (2-1)			
		5 (2-4)			
		6 (2-3)			
3		7 (3-2)			
		8 (3-1)			
		9 (3-4)			
4		10 (4-3)			
		11 (4-2)			
		12 (4-1)			



Posouzení kapacity vjezdů										
Papísek	Název komunikace	Vjezd (signální skupina)	Rez [%]	$a_v$ [-]	$t_w$ [s]	UKD [-]	$L_F$ [m]	$t_{w,lim}$ [s]		$t_w \leq t_{w,lim}$ Rez > 0
1										
2										
3										
4										
Celkové shrnutí										
Kapacita světelně řízené křižovatky vyhovuje?										
Komentář										