Příloha 31-02

31-02 SOFTWAROVÁ APLIKACE METODIKY PRO ROZDĚLENÍ INTENZIT DOPRAVY DO JÍZDNÍCH PRUHŮ (VÝSTUP V3)

Autor: Martin Hála, Jan Martolos, Luděk Bartoš, 14.06.2024

1. Úvod

Základnímu přerozdělení intenzit dopravy na vícepruhových vjezdech do turbo-okružní křižovatky se zabývá samostatná příloha 31-01. Výstup z této přílohy je zapracován do dodatku č. 1 TP 188 [2].

Toto základní přerozdělení intenzit závisí na intenzitách jednotlivých dopravních proudů na vjezdu do křižovatky a na tom, který pruh na vjezdu je průběžný. Toto přerozdělení intenzit bude sloužit jako první a zřejmě velmi často jako postačující vstupní krok při návrhu nové turbo-okružní křižovatky. Pokud některý pruh na vjezdu nevyhoví na požadovaný stupeň UKD, je možné ve druhém kroku upravit základní rozdělení intenzit těch proudů, které mají možnost volby jízdního pruhu na vjezdu tak, aby se výsledný stupeň UKD zlepšil. S rostoucím vytížením vjezdu a zmenšující se rezervou kapacity vjezdu totiž využívají řidiči s možností volby jízdního pruhu oba pruhy na vjezdu rovnoměrněji. Prakticky to znamená, že se ve výpočtu mohou upravit intenzity vozidel s možností volby jízdního pruhu v pruzích tak, aby byly co nejvíce vyrovnány na obou pruzích střední doby zdržení.

Výše uvedený druhý krok přerozdělení intenzit může projektant realizovat „ručně". Nicméně je možné též využít iterační algoritmus, který je dále popsán v této příloze.

Navrhovaný iterační algoritmus vychází z německé metodiky uvedené v [3] a [5]. Tato metodika definuje explicitní vzorce, které přerozdělují intenzity dopravy jednotlivých pruhů na vjezdu do turbo-okružní křižovatky v závislosti nejen na intenzitách jednotlivých dopravních proudů na vjezdu, ale zohledňují též intenzity dopravy na jednotlivých pruzích okruhu a z toho odvozené vytížení daného pruhu vjezdu, resp. rezervu jeho kapacity. Vstupní hodnoty do těchto vzorců (jmenovitě hodnoty kritických a následných časových odstupů) jsou ovšem upraveny na základě výsledků našeho projektu. Též poslední krok dále uvedeného algoritmu nebyl v německé metodice uveden.

Jednotlivé kroky algoritmu jsou popsány na konkrétní čtyřramenné turbo-okružní křižovatce tvaru vejce, která je v praxi nejčastější, a ilustrovány na pilotním excelovském souboru CK03000156 – Dělení intenzit do pruhů na vjezdu do TOK. Pro jiné typy křižovatek si může uživatel snadno vytvořit analogický iterační postup.

Na čtvřramenné křižovatce byly pro ilustraci zvoleny intenzity jednotlivých dopravních proudů na všech čtyřech vjezdech. Tyto intenzity může uživatel samozřejmě měnit. Zadávají se na listu Schéma+intenzity do buněk B11:B12 (pro první vjezd), F37:F40 (pro druhý vjezd), N11:N14 (pro třetí vjezd) a F2:F5 (pro čtvrtý vjezd). Tyto intenzity jsou na schématu (viz Obrázek 1) ve shodě s [2] označeny a zvoleny následovně:

$I_{v1,vlevo} = \mathbf{200}$ [pvoz/h] … intenzita dopravního proudu 1,
$I_{v1,rovně} = \mathbf{300}$ [pvoz/h] … intenzita dopravního proudu 2,
atd
$I_{v4,vpravo} = \mathbf{750}$ [pvoz/h] … intenzita dopravního proudu 12.

2. Obecný popis iteračního algoritmu

2.1 KROK 1

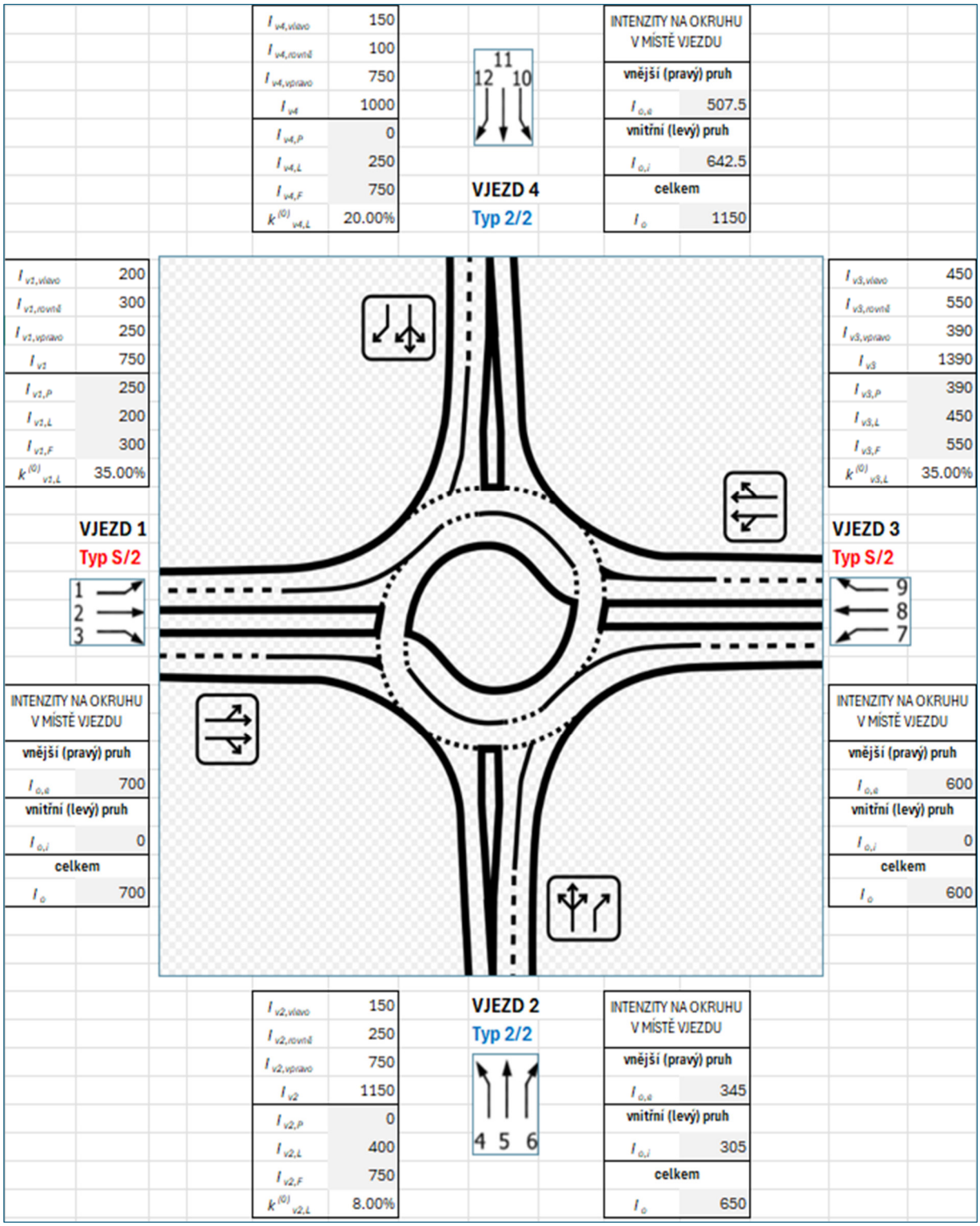
Na základě zvolených intenzit dopravních proudů se na všech vjezdech v příslušných buňkách vždy pod intenzitami dopravních proudů automaticky vypočtou následující intenzity:

$I_{v,P}$ = intenzita vozidel na vjezdu, která se musí na základě geometrického uspořádání křižovatky řadit do pravého vjezdového pruhu, a tudíž vjíždí do pravého (vnějšího) pruhu na okruhu,

$I_{v,L}$ = intenzita vozidel na vjezdu, která se musí na základě geometrického uspořádání křižovatky řadit do levého vjezdového pruhu, a tudíž vjíždí do levého (vnitřního, u vjezdu typu S/2 do vznikajícího) pruhu na okruhu,

$I_{v,F}$ = intenzita zbývajících vozidel, která mají možnost volby pruhu,

$I_v = I_{v,P} + I_{v,L} + I_{v,F}$ je pak celková intenzita vjezdu.



Obrázek 1: Schéma turbo-okružní křižovatky se zvolenými intenzitami dopravních proudů

Aby bylo možno jednoznačně určit též intenzity na jednotlivých pruzích na okruhu, je nutné zvolit (nastavit) pro všechny vjezdy počáteční hodnoty podílu vozidel s možností volby vjezdového pruhu, která použijí levý pruh vjezdu.

Tyto počáteční hodnoty (dále koeficienty) mohou, ale nemusí nutně být nastaveny v souladu s Tabulkou 7-4 v Dodatku č. 1 k TP188 [2].

V excelovském souboru jsou tyto koeficienty pro jednotlivé vjezdy označeny $k_{v,L}^{(0)}$ a uživatel je zadává v procentech do buněk B18, F44, N18 a F9. Jejich konkrétní hodnoty byly nastaveny v souladu s výše zmíněnou Tabulkou 7-4 v [2].

Pomocí těchto koeficientů se pak vypočtou odpovídající počáteční předpokládané intenzity vozidel, které se na daném vjezdu zařadí do levého, resp. do pravého pruhu (tyto hodnoty se neukládají do konkrétních buněk, ale je s nimi dále počítáno):

$I_{v,L}^{(0)} = I_{v,L} + k_{v,L}^{(0)} \cdot I_{v,F}$ = počáteční předpokládaná intenzita vozidel v levém pruhu vjezdu,

$I_{v,P}^{(0)} = I_{v,P} + \left(1 - k_{v,L}^{(0)}\right) \cdot I_{v,F}$ = počáteční předpokládaná intenzita vozidel v pravém pruhu vjezdu.

2.2 KROK 2

Na základě uspořádání křižovatky a předpokládaných intenzit vozidel v jednotlivých vjezdových pruzích stanovených v kroku 1 se automaticky vypočtou předpokládané intenzity dopravy na jednotlivých pruzích okruhu a celková intenzita okruhu v místě vjezdů $I_{o,e}$, $I_{o,i}$ a I_o (označení je vysvětleno níže). Tyto intenzity uživatel najde v oblastech B29:B33 (pro první vjezd), K40:K44 (pro druhý vjezd), N29:N33 (pro třetí vjezd) a K5:K9 (pro čtvrtý vjezd).

Dále se automaticky vypočte základní kapacita každého pruhu každého vjezdu posuzované křižovatky podle rovnice (1). Tyto a další výpočty již probíhají na samostatných listech pro jednotlivé vjezdy.

Rovnice (1) je výstupem z přílohy 32-01, je též implementovaná do Dodatku č. 1 k TP188 [2]. Pro přehlednost tuto rovnici spolu se vstupními parametry uvádíme i zde:

$$C_{g,v,n} = \frac{3600}{t_f} \cdot \left(1 - \frac{\Delta \cdot I_{o,i}}{3600}\right) \cdot \left(1 - \frac{\Delta \cdot I_{o,e}}{3600}\right) \cdot e^{-\frac{I_{o,i}+I_{o,e}}{3600} \cdot \left(t_g - \frac{t_f}{2} - \Delta\right)} \qquad (1)$$

kde je

$C_{g,v,n}$	základní kapacita pruhu *n* vjezdu (bez vlivu přecházejících chodců) [pvoz/h],
$I_{o,e}$	intenzita dopravy na vnějším pruhu na okruhu v místě vjezdu [pvoz/h]; (u vjezdů s jedním pruhem na okruhu, tj. u typů uspořádání pruhu na vjezdu 1/1, S/2P a S/2L je $I_{o,e} = I_o$
$I_{o,i}$	intenzita dopravy na vnitřním pruhu na okruhu v místě vjezdu [pvoz/h]; (u typů uspořádání pruhu na vjezdu 1/1, 2/2P, S/2P a S/2L je $I_{o,i} = 0$),
I_o	intenzita dopravy na okruhu v místě vjezdu [pvoz/h],
t_g	kritický časový odstup [s],
t_f	následný časový odstup [s],
Δ	minimální časový odstup vozidel jedoucích na okruhu za sebou [s].

Hodnoty proměnných v rovnici (1) pro různé typy uspořádání vjezdu do turbo-okružní křižovatky jsou uvedeny v Tabulce 1.

	Schematické znázornění	t_g[s]	t_f[s]	Δ[s]
1/1		3.6	2.6	2.1
2/1		3.7	2.6	2.1
2/2P		4.2	2.7	1.9
2/2L		4.0	2.7	1.9
S/2P		4.5 (pro $L_{kol} < 12$) $4.74 - 0.02 \cdot L_{kol}$ (pro $12 \leq L_{kol} \leq 42$) 3.9 (pro $L_{kol} > 42$)	2.6	1.9
S/2L		4.5 (pro $L_{kol} < 12$) $4.74 - 0.02 \cdot L_{kol}$ (pro $12 \leq L_{kol} \leq 42$) 3.9 (pro $L_{kol} > 42$)	2.6	1.9
L_{kol}	vzdálenost mezi posledním kolizním bodem na výjezdu z okružního pásu a příslušným kolizním bodem na vjezdu na okružní pás [m]; vynáší se v ose okružního jízdního pásu, resp. v ose vnějšího jízdního pruhu na okruhu. V případě samostatného odbočovacího pruhu vpravo na výjezdu z okružního pásu je rozhodující vodorovné dopravní značení, které odděluje odbočovací pruh od průběžného pruhu na okruhu.			

Tabulka 1: Hodnoty proměnných pro výpočet kapacity pruhu na vjezdu do turbo-okružní křižovatky (kritický časový odstup, následný časový odstup a minimální časový odstup vozidel jedoucích na okruhu za sebou)

2.3 Krok 3

Vozidla, mající možnost volby pruhu na vjezdu, se přerozdělí do pravého, resp. levého pruhu na základě vzorců (různých pro typ vjezdu S/2, resp. 2/2). Tyto vzorce jsou uvedeny v dalších odstavcích a jsou aplikovány na samostatných listech excelovského souboru.

Myšlenkou tohoto přerozdělení je statisticky zjištěná skutečnost, že při malém vytížení vjezdu řidiči s možností volby pruhu převážně volí pravý pruh, ale s rostoucím stupněm vytížení vjezdu, resp. s klesající rezervou kapacity se řidiči snaží oba vjezdové pruhy využívat rovnoměrněji (Viz [4] a [5]).

Hlavním výstupem z tohoto kroku jsou nové hodnoty intenzit:

- $I_{v,L}^{(1)}$ = intenzita vozidel na vjezdu, která se skutečně zařadí do vnitřního, tj. levého pruhu okruhu, tj. budou vjíždět levým vjezdovým pruhem.

- $I_{v,P}^{(1)}$ = intenzita vozidel na vjezdu, která se skutečně zařadí do vnějšího, tj. pravého pruhu okruhu, tj. budou vjíždět pravým vjezdovým pruhem.
- Dalším výstupem z tohoto kroku jsou opravené (nové) hodnoty původních koeficientů $k_{v,L}$:

$$k_{v,L}^{(1)} = \frac{I_{v,L}^{(1)} - I_{v,L}}{I_{v,F}} \quad (2)$$

Problém, který logicky nastává, je nesoulad mezi předpokládanými intenzitami vozidel jedoucích v jednotlivých pruzích na vjezdech a nově vypočtenými „skutečnými" intenzitami. Pokud by se totiž řidiči rozřazovali podle výstupů z tohoto kroku, pak by se změnily i intenzity na jednotlivých pruzích na okruhu, čímž by se změnily kapacity jednotlivých pruhů na vjezdu atd.

Tento problém však lze odstranit pomocí iterací:

Počáteční hodnoty koeficientů $k_{v,L}^{(0)}$ na listu Schéma+intenzity uživatel postupně pro všechny vjezdy nahradí jejich opravenými hodnotami $k_{v,L}^{(1)}$, které najde na listu příslušném danému vjezdu vždy v buňce F25. Tím se změní intenzity $I_{o,\mathrm{e}}$ a $I_{o,i}$ v místech vjezdů typu 2/2, čímž se dále změní na výpočtových listech kapacity vjezdových pruhů a také se (zpravidla však velmi mírně) změní hodnoty v předchozím kroku spočtených koeficientů $k_{v,L}^{(1)}$. Těmito se opět nahradí již jednou změněné $k_{v,L}^{(0)}$ na listu Schéma+intenzity atd. Tento iterační postup skončí v okamžiku, kdy se dalším přepočítáním již koeficienty $k_{v,L}^{(1)}$ nezmění. Tuto skutečnost uživatel pozná z nulových hodnot v buňkách F27 ve výpočtových listech.

2.4 Krok 4

Po ukončení iterací se posoudí kvalita dopravy na každém vjezdu, tj. rezerva kapacity vjezdových pruhů, jejich stupeň vytížení, střední doba zdržení, délka fronty atd. V excelovském souboru ve sloupci H jsou vždy vypočtené stupně vytížení jednotlivých vjezdových pruhů

3. Konkrétní popis kroků algoritmu pro vjezd typu S/2. Ilustrace v souboru.

3.1 Krok 1 pro vjezd typu S/2

Na okruhu je jen jeden pruh, proto je $I_{o,i} = 0$. Hodnota I_o je jednoznačně určena intenzitami dopravních proudů a uspořádáním křižovatky, nezávisí tom, zda některá vozidla na předchozích vjezdech mají možnost volby pruhu.

Konkrétně v případě analyzované křižovatky (viz Obrázek 1) je první a třetí vjezd typu S/2. Pro příklad třetího vjezdu je intenzita na okruhu v místě tohoto vjezdu rovna součtu intenzit dopravních proudů I_1, I_4, I_5. Vychází $I_o = 200 + 150 + 250 = 600$.

Intenzity $I_{v,L}$, $I_{v,P}$ a $I_{v,F}$ se musí určit na základě geometrického uspořádání křižovatky a je též třeba nastavit počáteční hodnotu koeficientu $k_{v,L}^{(0)}$.

Konkrétně pro třetí vjezd do křižovatky v příkladu platí: $I_{v3,L} = I_7 = 450$, $I_{v3,R} = I_9 = 390$, $I_{v3,F} = I_8 = 550$ (z geometrického uspořádání plyne, že pouze vozidla jedoucí v dopravním proudu č. 8 mají možnost volby pruhu).

Počáteční hodnota $k_{v,L}$ byla u tohoto vjezdu nastavena v souladu s Tabulkou 7-4 v [2] na hodnotu $k_{v3,L}^{(0)} = 35\%$.

Poznámka: První vjezd z příkladu je také typu S/2. První krok proběhne analogicky jako pro třetí vjezd. Počáteční hodnota $k_{v,L}$ byla také nastavena v souladu s Tabulkou 7-4 v [2] na hodnotu $k_{v1,L}^{(0)} = 35\%$.

3.2 Krok 2 pro vjezd typu S/2

Podle rovnice (1) se v příslušném výpočtovém listu zvlášť kapacity pravého a levého pruhu $C_{g,v,R}$ a $C_{g,v,L}$ daného vjezdu.

Konkrétně pro třetí vjezd do křižovatky v příkladu vyjde $C_{g,v3,P} = 787.66$ (byla dosazena hypotetická hodnota L_{kol} pro pravý pruh vjezdu 22 metrů – tuto hodnotu může uživatel změnit), $C_{g,v3,L} = 769.50$ (dosadili jsme hypotetickou hodnotu L_{kol} pro levý pruh vjezdu 15 metrů – opět lze změnit).

Poznámka: Pro první vjezd dostaneme stejným postupem $C_{g,v1,P} = 704.96$ a $C_{g,v3,L} = 686.02$.

3.3 Krok 3 pro vjezd typu S/2

- Stanoví se celková kapacita vjezdu v jako součet kapacit pravého a levého pruhu: $C_{g,v} = C_{g,v,R} + C_{g,v,L}$.
- Spočte se rezerva celkové kapacity vjezdu v:

$$R_v = \max\left[0, \min\left(C_{g,v} - I_v, 2000\right)\right] \tag{3}$$

- Přerozdělí se vozidla s možností volby do levého a pravého pruhu

$$I_{v,L}^{(1)} = \max\left[I_{v,L}, I_v \cdot \left(0.5 - \frac{R_v}{6670}\right)\right], \quad I_{v,P}^{(1)} = I_v - I_{v,L}^{(1)} \tag{4}$$

- Pokud by ovšem z rovnice (4) vycházelo $I_{v,P}^{(1)} < I_{v,P}$, pak by se výsledky musely opravit takto:

$$I_{v,P}^{(1)} = I_{v,P}, \quad I_{v,L}^{(1)} = I_v - I_{v,P}^{(1)} \tag{5}$$

  (Tato oprava zaručí, že se přerozdělení vozidel do jednotlivých pruhů na vjezdu bude týkat opravdu jen vozidel s možností volby pruhu.)
- Dále se spočte opravená hodnota koeficientu $k_{v,L}$ podle rovnice (2) a pokračuje se iteracemi – viz obecný popis kroku 3.

Konkrétně pro třetí vjezd z příkladu vychází: $R_{v3} = 167.16$, $I_{v3,L}^{(1)} = 660.16$, $I_{v3,P}^{(1)} = 729.84$, $k_{v3,L}^{(1)} = 38.21\%$.

Poznámka: Pro první vjezd dostaneme: $R_{v1} = 640.98$, $I_{v1,L}^{(1)} = 302.93$, $I_{v1,P}^{(1)} = 447.07$, $k_{v1,L}^{(1)} = 34.31\%$.

4. Konkrétní popis kroků algoritmu pro vjezd typu 2/2. Ilustrace na příkladu.

4.1 Krok 1 pro vjezd typu 2/2

Intenzity $I_{v,L}$, $I_{v,P}$ a $I_{v,F}$ se musí opět určit na základě geometrického uspořádání křižovatky a znovu je třeba nastavit počáteční hodnotu koeficientu $k_{v,L}$.

Pro čtvrtý vjezd do křižovatky v příkladu platí: $I_{v4,L} = I_{10} + I_{11} = 250$, $I_{v4,P} = 0$, $I_{v4,F} = I_{12} = 750$ (z geometrického uspořádání plyne, že pouze vozidla jedoucí v dopravním proudu č. 12 mají možnost volby pruhu, současně se žádné vozidlo nemusí řadit do pravého pruhu).

Počáteční hodnota $k_{v,L}$ byla u tohoto vjezdu nastavena v souladu s Tabulkou 7-4 v [2] na hodnotu $k_{v4,L}^{(0)} = 20\%$.

Poznámka: Stanovení intenzit $I_{v,L}$, $I_{v,P}$ a $I_{v,F}$ na druhém vjezdu, který je také typu 2/2, proběhne analogicky. Počáteční hodnota $k_{v,L}$ byla u druhého vjezdu nastavena v souladu s Tabulkou 7-4 v [2] na hodnotu $k_{v2,L}^{(0)} = 8\%$.

Na okruhu jsou dva pruhy, k jednoznačnému počátečnímu určení intenzit $I_{o,i}$ a $I_{o,e}$ je nutné použít kromě intenzit dopravních proudů a geometrického uspořádání křižovatky též počáteční nastavení koeficientů $k_{v,L}$ na předchozích vjezdech.

Konkrétně v místě čtvrtého vjezdu je celková intenzita na okruhu rovna součtu intenzit dopravních proudů I_4, I_7 a I_8. Tuto celkovou intenzitu je třeba rozdělit do jednotlivých pruhů. Z geometrického uspořádání a z počáteční hodnoty $k_{v3,L}^{(0)} = 35\%$ vychází $I_{o,i} = I_7 + 0.35 \cdot I_8 = 642.5$, $I_{o,e} = I_4 + 0.65 \cdot I_8 = 507.5$.

4.2 Krok 2 pro vjezd typu 2/2

Podle rovnice (1) se vypočtou zvlášť kapacity pravého a levého pruhu $C_{g,v,R}$ a $C_{g,v,L}$ daného vjezdu.

Konkrétně pro čtvrtý vjezd do křižovatky v příkladu vyjde $C_{g,v4,P} = 853.84$, $C_{g,v4,L} = 507.72$. Pro druhý vjezd dostaneme stejným postupem $C_{g,v2,P} = 995.66$ a $C_{g,v2,L} = 799.12$.

4.3 Krok 3 pro vjezd typu 2/2

- Přerozdělí se vozidla s možností volby do levého a pravého pruhu podle vzorce:

$$I_{v,L}^{(1)} = \max\left[I_{v,L}, I_v \cdot \frac{0.95 \cdot C_{g,v,L}}{C_{g,v,L} + C_{g,v,P}}\right], \quad I_{v,P}^{(1)} = I_v - I_{v,L}^{(1)} \tag{6}$$

- Pokud by ovšem z rovnice (6) vycházelo $I_{v,P}^{(1)} < I_{v,P}$, pak by se výsledky opět upravily rovnicemi (5).
- Dále se opět spočte opravená hodnota koeficientu $k_{v,L}$ podle rovnice (2) a pokračuje se iteracemi – viz obecný popis kroku 3.

Konkrétně pro čtvrtý vjezd do křižovatky v příkladu vyjde $I_{v4,L}^{(1)} = 354.25$, $I_{v4,P}^{(1)} = 645.75$, $k_{v4,L}^{(1)} = 13.90\%$. Pro druhý vjezd pak vychází $I_{v2,L}^{(1)} = 486.43$, $I_{v2,P}^{(1)} = 663.57$, $k_{v2,L}^{(1)} = 11.52\%$.

Závěr

Pro analyzovanou křižovatku při zvolených intenzitách dopravních proudů a zvolených koeficientech $k_{v,L}$ stačila k nalezení shody mezi počátečními hodnotami koeficientů $k_{v,L}$ a jejich opravenými hodnotami jediná iterace.

Jak ukázalo velké množství kontrolních výpočtů pro různé typy křižovatek s různě volenými intenzitami dopravních proudů, v podstatné většině případů stačilo k nalezení shody mezi počátečními hodnotami koeficientů $k_{v,L}$ a jejich opravenými hodnotami také jediná iterace. Výjimečně byly potřebné dvě iterace, nikdy více. Navíc finální hodnoty koeficientů $k_{v,L}$ nikdy nezávisely na jejich počátečním nastavení. Je proto důvodné se domnívat (ačkoli matematický důkaz této domněnky nejsme schopni podat), že navržený iterační postup umožní po několika málo iteracích pro každou křižovatku explicitně najít optimální rozdělení intenzit vozidel v jízdních pruzích.

Zmíněná optimalizace ovšem nezajišťuje, že např. stupeň vytížení každého pruhu na každém vjezdu bude po ukončení iterací nejmenší možný. Následující Tabulka 2 porovnává stupně vytížení jednotlivých pruhů před a po ukončení iteračního procesu. Ukazuje, že ke zlepšení došlo pouze u čtvrtého vjezdu.

Na tomto čtvrtém vjezdu byly před iteracemi intenzity rozděleny tak, že 20 % vozidel, majících možnost volby, se řadilo do levého pruhu a zbývajících 80 % vozidel se řadilo do pravého pruhu. Z toho plyne, že plyne, že v levém pruhu jelo 250+0,2 * 750 = 400 vozidel a v pravém pruhu 0,8 * 750 = 600 vozidel. Viz též obrázek 1.

Po skončení první (a jediné) iterace (jak uživatel zjistí na příslušném výpočtovém listu) v levém pruhu jede 354 vozidel a v pravém 646 vozidel. Jinak řečeno, procento vozidel s možností volby pruhu řadících se do levého pruhu kleslo z původních 20 % na 13,9 %.

Stupeň vytížení pruhu	Vjezd 1 pravý pruh	Vjezd 1 levý pruh	Vjezd 2 pravý pruh	Vjezd 2 levý pruh	Vjezd 3 pravý pruh	Vjezd 3 levý pruh	Vjezd 4 pravý pruh	Vjezd 4 levý pruh
před iterací	0.634	0.442	0.666	0.609	0.927	0.858	0.756	0.698
po iteraci	0.634	0.442	0.667	0.609	0.927	0.858	0.748	0.691

Tabulka 2: Porovnání stupňů vytížení pruhů na vjezdech před a po ukončení iteračního procesu

5. Literatura:

1. TP 188 Posuzování kapacity křižovatek a úseků pozemních komunikací. 2018.
2. TP 188 Posuzování kapacity křižovatek a úseků pozemních komunikací, dodatek č. 1. 06/2024.
3. Arbeitspapier Turbokreisverkehre, Forschungsgeßellschaft für Straßen – und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 2015.
4. Brilon, W., & Geppert, A. Kapazität von großen Kreisverkehren: Turbo-Kreisverkehre, Straßenverkehrstechnik 2, 2015
5. Geppert, A. Verkehrsqualität und Verkehrssicherheit an zweistreifigen Kreisverkehren und an Turbokreisverkehren, Ruhr-Universität Bochum, 2013