



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Stavebná fakulta
Katedra cestného staviteľstva



Rozborová úloha

POSÚDENIE KAPACITY OKRUŽNÝCH KRIŽOVATIEK PODĽA TECHNICKÝCH PODMIENOK SR

Úloha RVT 2009



Objednávateľ : Slovenská správa ciest, Miletičova 19, 826 19 Bratislava

Zhotoviteľ : Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra
cestného staviteľstva, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

Žilina, február 2010

OBSAH

1	IDENTIFIKAČNÉ ÚDAJE.....	3
2	PREDMET A ROZSAH RIEŠENIA	3
3	ROZDELENIE OKRUŽNÝCH KRIŽOVATIEK.....	4
3.1	Štandardné rozdelenie okružných križovatiek	4
3.2	Turbo-okružné križovatky.....	5
4	VÝPOČET KAPACITY OKRUŽNÝCH KRIŽOVATIEK	9
4.1	Výpočet kapacity vjazdu okružnej križovatky podľa TP 04/2004	9
4.2	Výpočet kapacity vjazdu okružnej križovatky podľa TP 01/2006	11
4.3	Výpočet kapacity vjazdu okružnej križovatky v Nemecku.....	12
4.4	Výpočet kapacity vjazdu okružnej križovatky v podmienkach ČR	13
4.5	Posúdenie kvality pohybu dopravy	15
5	POROVNANIE VÝSLEDKOV KAPACITNÝCH VÝPOČTOV	17
5.1	Okružná križovatka s jednopruhovým vjazdom a jedným pruhom na okruhu OK 1/1.....	17
5.2	Okružná križovatka s jednopruhovým vjazdom a dvoma pruhmi na okruhu OK 1/2.....	22
5.3	Okružná križovatka s dvojpruhovým vjazdom a dvoma pruhmi na okruhu OK 2/2	26
6	POROVNANIE VÝSLEDKOV POSÚDENIA PODĽA TP S MIKROSIMULÁCIOU	31
6.1	Posúdenie výkonnosti okružných križovatiek pomocou mikroskopického modelovania	31
6.2	Posúdenie kapacity jednopruhovej okružnej križovatky - OK 1/1	33
6.3	Posúdenie kapacity dvojpruhovej okružnej križovatky - OK 2/2	36
7	ZÁVERY A ODPORÚČANIA.....	41
8	POUŽITÁ LITERATÚRA.....	43

1 IDENTIFIKAČNÉ ÚDAJE

Úloha: Rozborová úloha, úloha RVT 2009
Názov: **Posúdenie kapacity okružných križovatiek podľa technických podmienok SR**
Číslo objednávky: 1278/2210/2009
Objednávateľ: Slovenská správa ciest
Sídlo: Miletičova 19, 826 19 Bratislava
Zhotoviteľ: Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta
Sídlo: Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
Zodpovedný riešiteľ: Ing. Andrea Gavulová, PhD.
Ďalší riešitelia: Ing. Dušan Jandačka
Dátum spracovania: 02/2010

2 PREDMET A ROZSAH RIEŠENIA

Predmetom riešenia je vypracovanie rozborovej úlohy (RÚ):

„Posúdenie kapacity okružných križovatiek podľa technických podmienok SR“

Základným cieľom tejto rozborovej úlohy (RÚ) je porovnanie výpočtu kapacity malých okružných križovatiek a výsledkov posúdenia podľa dvoch platných technických podmienok SR:

- **TP 04/2004** Projektovanie okružných križovatiek na cestných a miestnych komunikáciách,
- **TP 01/2006** Výpočet kapacít pozemných komunikácií a ich zariadení.

Každý z týchto predpisov vychádza z rôznej teórie výpočtu kapacity, ktorá ovplyvní výsledok teoretickej výkonnosti okružnej križovatky a výslednú funkčnú úroveň.

Obsahom RÚ je:

- základné rozdelenie okružných križovatiek, turbo-okružné križovatky,
- výpočet a posúdenie kapacity okružných križovatiek podľa v súčasnosti dvoch platných technických podmienok SR - TP 04/2004 a TP 01/2006,
- analýza vplyvu vstupných parametrov výpočtu na výslednú hodnotu kapacity vjazdu,
- porovnanie výsledkov posúdenia podľa TP s výsledkami mikrosimulácie.

Každá jedna krajina, či už v rámci EÚ alebo celého sveta, má svoje špecifické a zaužívané metódy na posudzovanie výkonnosti okružných križovatiek. Tieto metódy vznikli v tej určitej krajine a sú používané doteraz, alebo ich krajiny prevzali. Dôležitým faktom v prípade prevzatých metód výpočtu je, aby boli prispôsobené na konkrétne podmienky dopravy vyskytujúce sa v danom štáte. Nie každá metóda výpočtu kapacity je vhodná pre všetky krajiny. U nás boli obe platné metódy výpočtu prevzaté prakticky bez zmien a otázkou je, ktorú z nich by mal projektant pri posudzovaní výkonnosti okružnej križovatky použiť, resp. s akými vstupnými parametrami. Samozrejme to nie je možné bez experimentálnych meraní priamo v teréne v podmienkach SR. V prvej fáze je však možné výsledky uvedených metód porovnať a poukázať na problematiké, resp. sporné miesta. Samostatnou otázkou je riešenie problému výpočtu kapacity turbo-okružných križovatiek, ktoré nie sú riešené v súčasných technických predpisoch a nie sú súčasťou ani tejto úlohy.

3 ROZDELENIE OKRUŽNÝCH KRIŽOVATIEK

3.1 Štandardné rozdelenie okružných križovatiek

Rozdelenie okružných križovatiek podľa STN 73 6102 Projektovanie križovatiek na pozemných komunikáciách [1] je podľa veľkosti vonkajšieho priemeru D na:

- **mini okružné križovatky** (D v rozpätí 14 m - 22 m),
- **malé okružné križovatky** (D v rozpätí 25 m - 40 m) a
- **veľké okružné križovatky** (D nad 40 m).

Výkonnosť okružných križovatiek podľa TP 04/2004 a TP 01/2006 sa posudzuje len pre malé okružné križovatky, ktoré sú v TP 04/2004 charakterizované ako okružné križovatky s vonkajším priemerom v rozpätí 25 m až 45 m. Rozdelenie malých okružných križovatiek je ďalej podľa počtu pruhov na okruhu (jednopruhové, dvojpruhové) a počtu pruhov na vjazde.

V Nemecku [8] sa okružné križovatky štandardne rozdeľujú podľa veľkosti vonkajšieho priemeru D a počtu pruhov na:

- **mini-okružné križovatky** s vonkajším priemerom D v rozpätí 13 m - 25 m,
- **malé jednopruhovú okružné križovatky intravilánové** s vonkajším priemerom D v rozpätí 26-35 m,
- **jednopruhovú okružné križovatky** s vonkajším priemerom D v rozpätí 30 m - 45 m,
- **dvojpruhové kompaktné okružné križovatky** s vonkajším priemerom D v rozpätí 40 m - 60 m,
- **veľké dvojpruhové okružné križovatky** s vonkajším priemerom D v rozpätí 55 m - 80 m.

Základné rozdelenie okružných križovatiek v ČR podľa TP 135 [7], v ktorých bola v r. 2005 aktualizovaná metóda pre výpočet kapacity okružných križovatiek, je len na mini-okružné križovatky a okružné križovatky. Okružné križovatky v sebe zahŕňajú tak ako pôvodné malé okružné križovatky tak aj veľké okružné križovatky. Sú tu taktiež zahrnuté aj nové okružné križovatky so špirálovite usporiadaným okružným pásom.

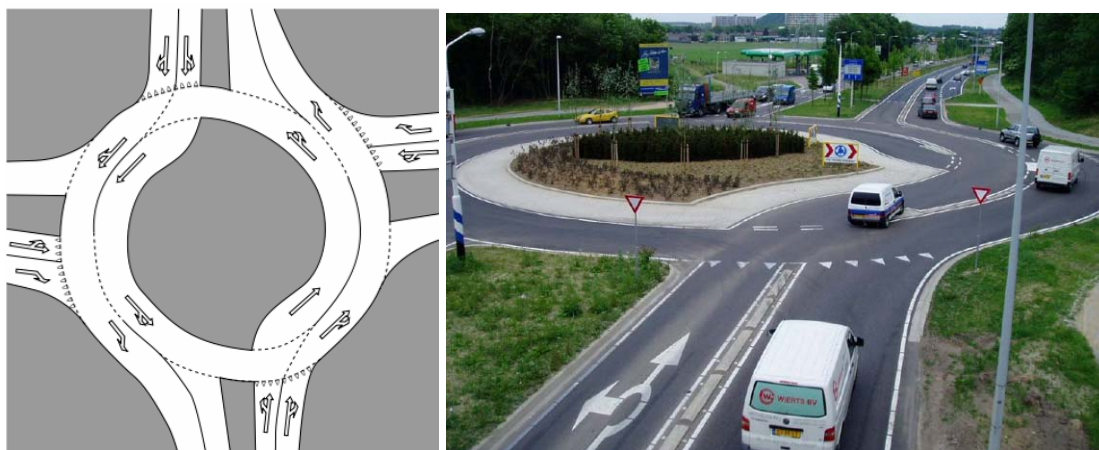
Rozdelenie okružných križovatiek podľa českej „Příručky pro navrhování okružních križovatek“ [4] je uvedená na základe umiestnenia križovatky (intravilán – extravilán), počtu pruhov na vjazde (jednopruhovú – viacpruhová) a veľkosti priemeru (mini, kompaktná, štandardná). Delenie na intravilánovú a extravilánovú je okrem umiestnenia križovatky spojené s geometrickými prvkami zodpovedajúcimi návrhovým rýchlostiam križujúcich sa komunikácií (v extraviláne typicky vyššia rýchlosť). Rozdelenie okružných križovatiek je nasledovné:

- **mini-okružná križovatka** s priemerom D v rozpätí 13 m - 25 m, max. jeden pruh na vjazde (max. odporúčaná rýchlosť na vjazde 25 km/h);
- **intravilánová okružná križovatka:**
 - **kompaktná** s priemerom D v rozpätí 25 m - 30 m, max. jeden pruh na vjazde (max. odporúčaná rýchlosť na vjazde 25 km/h);
 - **jednopruhovú** s priemerom D v rozpätí 30 m - 40 m, max. jeden pruh na vjazde (max. odporúčaná rýchlosť na vjazde 35 km/h);
 - **dvojpruhová** s priemerom D v rozpätí 45 m - 55 m, max. dva pruhy na vjazde (max. odporúčaná rýchlosť na vjazde 40 km/h);
 - **turbo** s priemerom D v rozpätí 45 m - 55 m, spravidla jeden až tri pruhy na vjazde (max. odporúčaná rýchlosť na vjazde 40 km/h);
- **extravilánová okružná križovatka:**
 - **jednopruhovú** s priemerom D v rozpätí 35 m - 40 m, max. jeden pruh na vjazde (max. odporúčaná rýchlosť na vjazde 40 km/h);
 - **dvojpruhová** s priemerom D v rozpätí 55 m - 60 m, max. dva pruhy na vjazde (max. odporúčaná rýchlosť na vjazde 50 km/h);
 - **turbo** s priemerom D v rozpätí 55 m - 60 m, spravidla jeden až tri pruhy na vjazde (max. odporúčaná rýchlosť na vjazde 50 km/h).

Podrobnejší opis uvedených križovatiek so schematickým obrázkom je uvedený v [4].

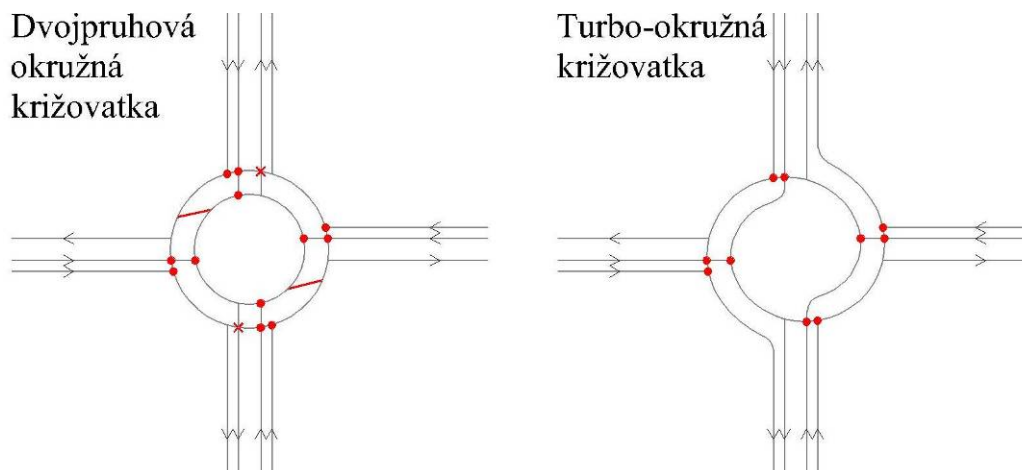
3.2 Turbo-okružné križovatky

V posledných rokoch sa v zahraničí začínajú budovať tzv. **turbo-okružné križovatky**. Tento typ križovatky je vyvíjaný od roku 1998 v Holandsku (Ir. L.G.H. Fortuijn), kde nahradil štandardnú dvojpruhovú okružnú križovatku. Cieľom bolo vytvoriť okružnú križovatku, ktorá bude mať väčšiu kapacitu ako jednopruhová, ale rovnaký štandard bezpečnosti, t.j. väčší ako dvojpruhová okružná križovatka. Najdôležitejším znakom turbo-okružnej križovatky je špirálovité usporiadanie jazdných pruhov, čím sa eliminujú prieplety na okružnom páse. Príklad turbo-okružnej križovatky je uvedený na obrázku 3.1.



Obrázok 3.1 Príklad turbo-okružnej križovatky

Tvar turbo-okružnej križovatky bol konštruovaný a prispôsobený hlavne vjazdovým a výjazdovým kolíznym bodom, ktoré sa vyskytujú a obmedzujú bezpečnosť na okružnej križovatke s dvoma pruhmi na okruhu. Vjazdové a výjazdové kolízne body sú eliminované prostredníctvom navádzania motoristov do správnych pruhov pred vjazdom na okružnú križovatku, podľa smeru jazdy a uvedením do špirálovo konštruovaných pruhov na okruhu, ktoré vedú motoristov do správneho výjazdu. Výhoda špirálového tvaru turbo-okružnej križovatky je v tom, že používatelia komunikácie nemusia vykonávať prieplety na okruhu počas prekonávania krátkej vzdialenosti. Toto pomáha nielen k zlepšeniu komfortu pri riadení motorového vozidla, ale tiež vedie k menšiemu počtu kolíznych bodov. Špirálové pruhy znižujú počet kolíznych bodov zo 16-tich, ktoré sa nachádzajú na dvojpruhovej okružnej križovatke, na 10 bodov možných na turbo-okružnej križovatke (obrázok 3.2). Špirálová línia vedenia trasy na okruhu je hlavne nevyhnutná vtedy, ak jeden alebo viac výjazdov musí mať dva výjazdové pruhy z kapacitných dôvodov [6].



Obrázok 3.2 Vyznačenie kolíznych bodov pri dvojpruhovej okružnej križovatke a turbo-okružnej križovatke

Turbo-okružné križovatky sa navrhujú nielen z dôvodu dosiahnutia vyššej bezpečnosti odstránením kolízií medzi vozidlami na okruhu a vychádzajúcimi vozidlami. Dôvody jej použitia sú aj v prípade, ak je výrazne prevládajúci určitý smer vozidiel a tiež pri potrebe dosiahnutia vyššej kapacity v porovnaní s klasickou dvojpruhovou okružnou križovatkou. Tento nárast sa odhaduje v rozmedzí až 25 % - 35 %.

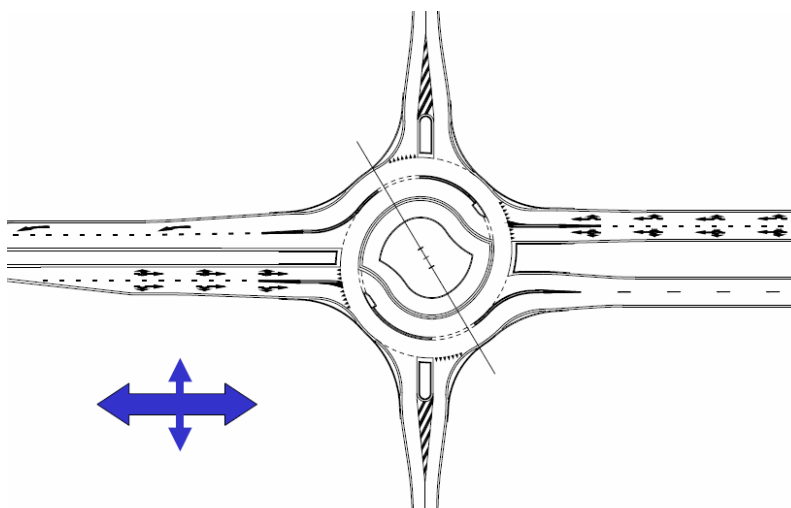
Turbo-okružné križovatky sú podľa Fortuijna [5] rozdelené na nasledovné typy:

- vajcovitá okružná križovatka,
- štandardná turbo-okružná križovatka,
- špirálovitá okružná križovatka,
- kľbová okružná križovatka,
- rotorová okružná križovatka.

Hlavné charakteristiky **vajcovitej okružnej križovatky** (obrázok 3.3) sú:

- dva dvojpruhové výjazdy a dva jednopruhé výjazdy,
- dva dvojpruhové vjazdy a dva jednopruhé vjazdy.

Tento typ okružnej križovatky je vhodný pri križovaní cesty s pomerne vysokým dopravným zaťažením v priamom smere s cestou s relatívne nízkym dopravným zaťažením.

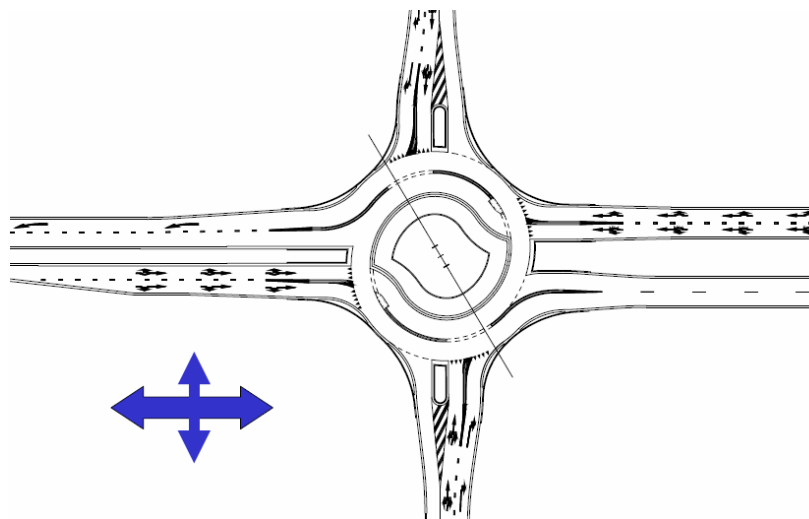


Obrázok 3.3 Vajcovitá okružná križovatka (Egg roundabout) [5]

Hlavné charakteristiky **štandardnej turbo-okružnej križovatky** (obrázok 3.4) sú:

- dva dvojpruhové výjazdy a dva jednopruhé výjazdy,
- štyri dvojpruhové vjazdy.

Tento typ okružnej križovatky je vhodný pri križovaní cesty so silným dopravným zaťažením v priamom smere s cestou s nižšou intenzitou.

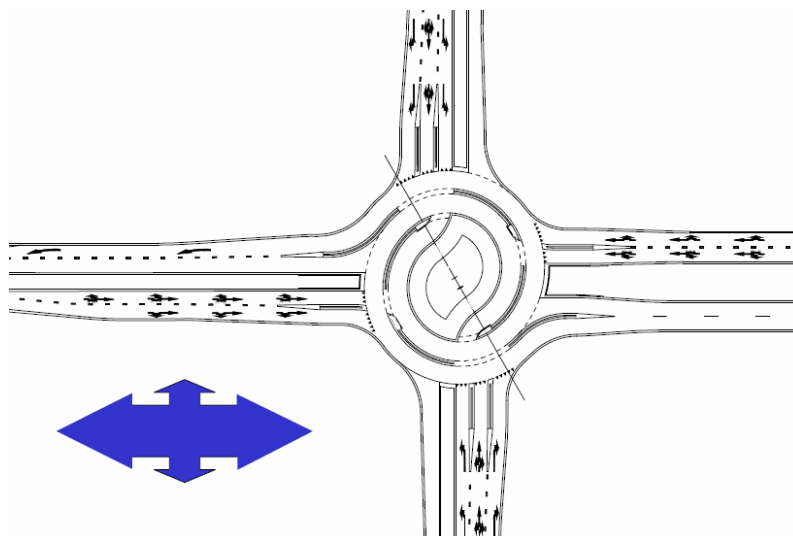


Obrázok 3.4 Štandardná turbo-okružná križovatka (Basic turbo roundabout) [5]

Hlavné charakteristiky **špirálovitej okružnej križovatky** (obrázok 3.5) sú:

- dva dvojpruhové výjazdy a dva jednopruhovú výjazdy,
- dva trojpruhové vjazdy a dva dvojpruhové vjazdy.

Tento typ okružnej križovatky je vhodné použiť pri križovaní cesty s veľmi silným dopravným zaťažením v priamom smere s cestou, kde prevláda odbočenie dopravného prúdu vľavo a vpravo.

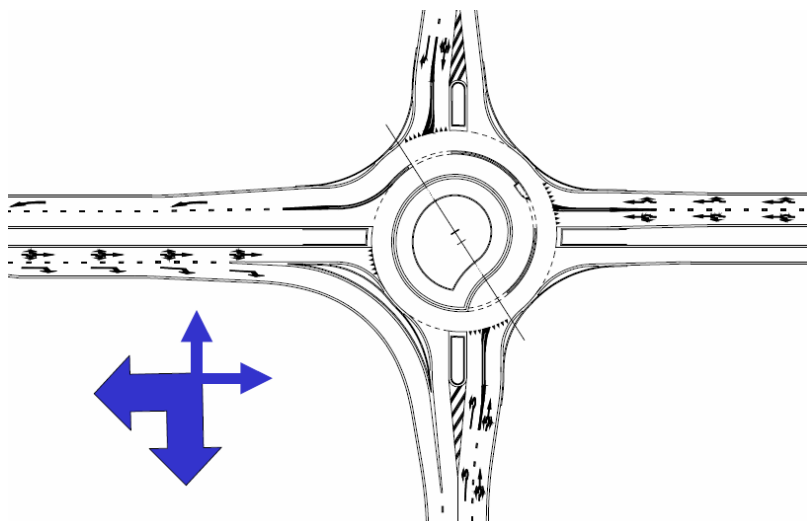


Obrázok 3.5 Špirálovitá okružná križovatka (Spiral roundabout) [5]

Hlavné charakteristiky **klbovej okružnej križovatky** (obrázok 3.6) sú:

- dva dvojpruhové výjazdy a dva jednopruhovú výjazdy,
- tri dvojpruhové vjazdy a jeden jednopruhový vjazd s by-passom.

Tento typ okružnej križovatky je vhodné použiť pri križovaní cesty, kde je dominantné dopravné zaťaženie vpravo resp. vľavo so slabými ostatnými dopravnými prúdmi.

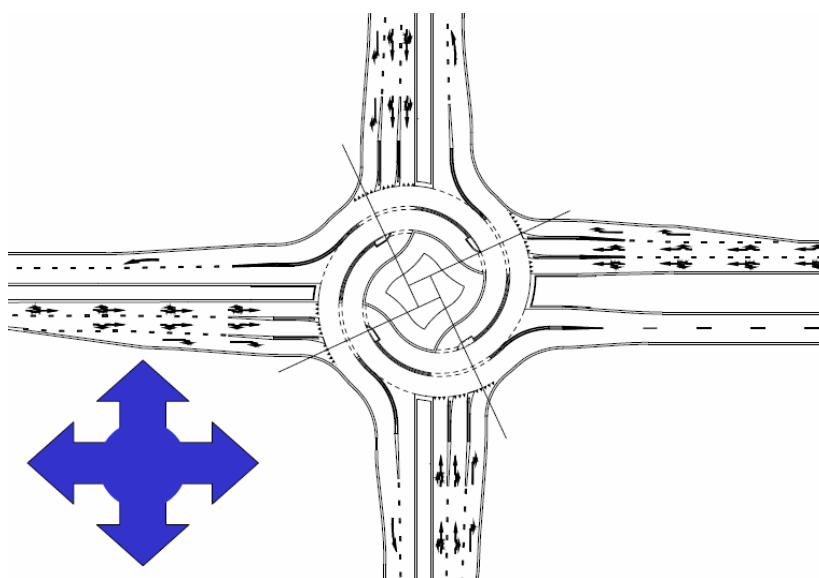


Obrázok 3.6 Kľbová okružná križovatka (Knee roundabout) [5]

Hlavné charakteristiky **rotorovej okružnej križovatky** (obrázok 3.7) sú:

- štyri dvojpruhové výjazdy,
- štyri trojpruhové vjazdy,
- možnosť odbočenia vpravo prostredníctvom dvoch pruhov,
- možnosť priameho smeru prostredníctvom dvoch pruhov,
- možnosť odbočenia vľavo prostredníctvom jedného pruhu.

Tento typ okružnej križovatky je možné použiť pri križovaní dvoch silných dopravných prúdov. Nie vždy má však rotorová okružná križovatka najväčšiu kapacitu. Nie je možné odbočiť vľavo zo všetkých smerov prostredníctvom dvoch pruhov, čo by vyžadovalo 3 pruhy na okružnej križovatke namiesto dvoch (a to je v konflikte so základnými princípmi návrhu) [5].



Obrázok 3.7 Rotorová okružná križovatka (Rotor roundabout) [5]

4 VÝPOČET KAPACITY OKRUŽNÝCH KRIŽOVATIEK

Okružná križovatka je križovatka, na ktorej je cestná premávka vedená jednosmerným objazdom okolo stredového ostrovčeka. Možno ju chápať ako sústavu stykových neriadených križovatiek s jednosmernou prevádzkou. Všetky výpočtové metódy teda vychádzajú z teórie výpočtu neriadených križovatiek.

Teória výpočtu kapacity neriadených križovatiek je principiálne založená na dvoch odlišných prístupoch:

- **teórii časových medzier** (časových odstupov), kde kapacita vjazdu závisí na hodnotách kritického časového odstupe, následného časového odstupe a na teoretickom rozdelení časových odstupov v dopravnom prúde,
- **empirické vzťahy** (regresná analýza), kde je teória kapacity založená na experimentálnom pozorovaní (meraní intenzít) v čase, kedy dochádza k vyčerpaniu kapacity križovatky.

Z uvedených dvoch odlišných teórií výpočtu kapacity vychádzajú aj v súčasnosti dva platné technické predpisy v SR pre výpočet kapacity vjazdu malých okružných križovatiek a to konkrétne:

- **TP 04/2004** – Projektovanie okružných križovatiek na cestných a miestnych komunikáciách [2], ktorá vychádza zo **švajčiarskej empirickej metódy výpočtu podľa BOVY (1991)** a
- **TP 01/2006** – Výpočet kapacít pozemných komunikácií a ich zariadení [3], ktorá pre výpočet kapacity využíva metódu **Wu (1997)** a je súčasťou nemeckej príručky **HBS (2001)**; metóda vychádza z teórie časových medzier.

4.1 Výpočet kapacity vjazdu okružnej križovatky podľa TP 04/2004

V roku 2004 bol spracovaný TP 04/2004 Projektovanie okružných križovatiek na cestných a miestnych komunikáciách [2], ktorý je platný pre malé okružné križovatky s vonkajším priemerom v rozpätí od 25 m do 45 m. Výpočet je možné podľa [2] použiť pre okružné križovatky s jednopruhovým až trojpruhovým vjazdom (koeficient β) a jednopruhovým až trojpruhovým okruhom (koeficient γ).

Hodnota základnej kapacity vjazdu na okružnú križovatku stanovená podľa TP 04/2004 závisí od:

- intenzity na okruhu pred posudzovaným vjazdom,
- intenzity na výjazde z križovatky a
- geometrie križovatky - konkrétne od vzdialenosti medzi kolíznymi bodmi vjazdu a výjazdu (vyjadrená koeficientom α) a od počtu jazdných pruhov na okruhu (vyjadrený koeficientom β).

- *Výpočet kapacity vjazdu podľa TP 04/2004 [2]:*

$$K_{\max,e,i} = 1500 - \frac{8}{9} \cdot (\beta \cdot M_o + \alpha \cdot M_a) \text{ [j.v./h]} \quad (4.1)$$

kde: $K_{\max,e,i}$ - maximálna kapacita vjazdu i [j.v./h],

M_o - intenzita dopravy na okruhu medzi výjazdom a posudzovaným vjazdom [j.v./h],

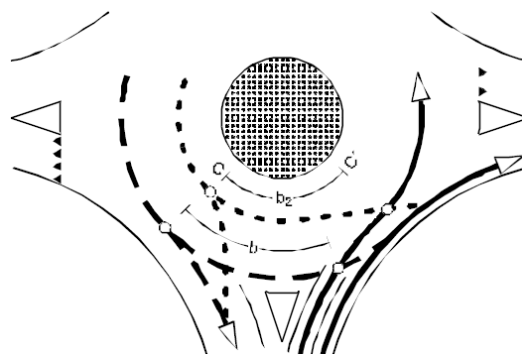
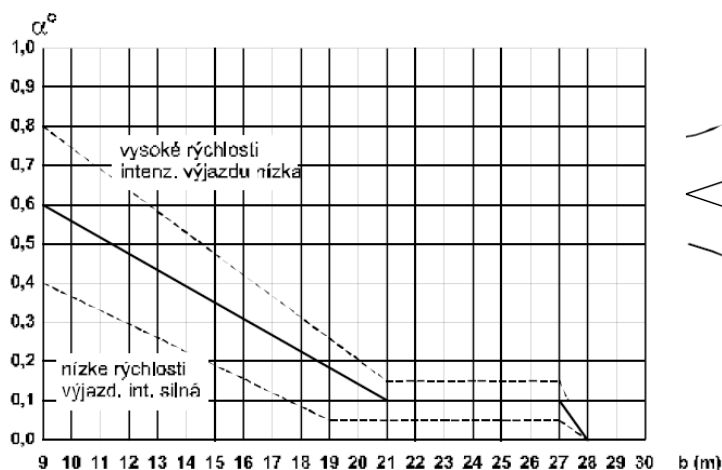
M_a - intenzita vozidiel na výjazde [j.v./h],

α - koeficient vyjadrujúci vplyv vzájomnej vzdialenosti "b" medzi kolíznym bodom vjazdu a výjazdu na posudzovanom ramene križovatky (obrázok 4.1),

β - koeficient vyjadrujúci vplyv intenzity dopravy na okruhu pri rôznom počte jazdných pruhov na ňom, uvažuje sa s hodnotou:

- ✓ 0,9 - 1,0 na jednopruhovú okruhu,
- ✓ 0,6 - 0,8 na dvojpruhovú okruhu,
- ✓ 0,5 - 0,6 na trojpruhovú okruhu.

Veľkosť koeficienta α sa znižuje s narastajúcou vzdialenosťou kolíznych bodov na vjazde a výjazde (označená b) a so znižujúcou sa rýchlosťou (obrázok 4.1). Tým sa zvyšuje kapacita vjazdu.



Obrázok 4.1 Hodnoty koeficienta α v závislosti od vzdialenosti kolíznych bodov „ b “ [2]

Na rozdiel od pôvodnej výpočtovej metódy podľa BOVY (1991) nie je vo výpočte kapacity podľa [2] zahrnutý vplyv počtu jazdných pruhov na vjazde (vyjadrený koeficientom γ). Z tohto dôvodu vychádza hodnota základnej kapacity vjazdu rovnaká pre okružnú križovatku s jedným jazdným pruhom ako aj dvoma jazdnými pruhmi na vjazde, čo nevystihuje skutočnosť. Koeficient γ je zohľadnený až pri výpočte stupňa vyťaženia vjazdu. Keďže ide o empirickú metódu výpočtu, ktorá vychádza z experimentálnych meraní v zahraničí je nutné tiež upozorniť, že hodnoty koeficientov α , β a γ neboli overené v našich podmienkach.

Z dôvodu možnosti porovnania jednotlivých vzťahov výpočtu kapacity, uvádzame aj pôvodný vzťah pre výpočet kapacity podľa empirickej metódy BOVY (4.2).

- Výpočet kapacity vjazdu podľa BOVY:

$$K_{\max,e,i} = \frac{1500 - \frac{8}{9} \cdot (\beta \cdot M_o + \alpha \cdot M_a)}{\gamma} \text{ [j.v/h]} \quad (4.2)$$

γ - koeficient upravujúci vplyv intenzity dopravy na uvažovaných pruhoch, sa uvažuje hodnotou:

- ✓ 1,0 jednopruhový vjazd,
- ✓ 0,6 - 0,7 dvojpruhový vjazd,
- ✓ 0,5 trojpruhový vjazd.

Pri výpočte kapacity okružnej križovatky podľa [2] sa skutočné vozidlá prepočítavajú na jednotkové vozidlá podľa nasledujúcich koeficientov:

- jednostopové vozidlo 0,5 j.v.
- osobný automobil (dodávka) 1,0 j.v.
- nákladné vozidlo, autobus 2,0 j.v.
- článkový autobus 3,0 j.v.

4.2 Výpočet kapacity vjazdu okružnej križovatky podľa TP 01/2006

V roku 2006 bol spracovaný TP 01/2006 Výpočet kapacity pozemných komunikácií a ich zariadení [3] zahrňujúci aj výpočet kapacity malých okružných križovatiek. Ako už bolo spomínané, vychádza z nemeckej teoretickej metódy výpočtu podľa HBS (2001) - teória časových medzier.

Základná kapacita vjazdu na okružnú križovatku je maximálny počet prichádzajúcich vozidiel, ktoré využijú vhodné časové medzery. Výpočet je možné podľa [3] použiť pre okružné križovatky s jednopruhovým alebo dvojpruhovým vjazdom a jednopruhovým alebo dvojpruhovým okruhom. Hodnota základnej kapacity vjazdu je podľa výpočtu stanovenom v TP 01/2006 závislá od:

- počtu jazdných pruhov na vjazde,
- počtu jazdných pruhov na okruhu,
- intenzity dopravy na okruhu pred posudzovaným vjazdom a časových medzier (kritickej časovej medzery t_g , následnej časovej medzery t_f a minimálnej časovej medzery medzi vozidlami na okruhu t_{min}).

Výslednú hodnotu základnej kapacity vjazdu ovplyvňujú hodnoty časových medzier, ktoré sa prevzali z HBS (2001) a neboli overené v našich podmienkach. Ich hodnoty sú vo výpočte nemenné bez ohľadu na rôznu geometriu križovatky, čo je možné považovať za príliš zjednodušujúci prvok.

- Výpočet kapacity vjazdu podľa HBS (2001)[9] so zachovaním symboliky podľa TP 01/2006:

$$K_{zi} = 3600 \cdot \left(1 - \frac{t_{min} \cdot M_{okr}}{n_k \cdot 3600} \right)^{n_k} \cdot \frac{n_z}{t_f} \cdot e^{-\frac{M_{okr}}{3600} \left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{min} \right)} \quad [\text{j.v./h}] \quad (4.3)$$

kde:

K_{zi}	- základná kapacita vjazdu i [j.v./h],
M_{okr}	- intenzita dopravy na okruhu [j.v./h],
n_k	- počet pruhov na okruhu [-],
n_z	- počet pruhov na vjazde [],
t_g	- kritická časová medzera, môže sa použiť hodnota 4,1 [s],
t_f	- následná časová medzera, môže sa použiť hodnota 2,9 [s],
t_{min}	- min. časová medzera medzi vozidlami na okruhu, môže sa použiť hodnota 2,1 [s].

Pozn.: Výpočet K_{zi} (4.3) je použitý z HBS (2001) a nie je správne uvedený v TP 01/2006, kde je potrebné ho opraviť!

- Výpočet kapacity vjazdu, ktorý je uvedený v TP 01/2006 [3] je nasledovný:

$$K_{zi} = 3600 \cdot \left(1 - \frac{t_{min} - M_{okr}}{n_k} \right)^{n_k} \cdot \frac{n_z}{t_f} \cdot e^{-M_{okr} \left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{min} \right)} \quad [\text{j.v./h}] \quad (4.4)$$

Pri výpočte kapacity okružnej križovatky podľa [3] sa skutočné vozidlá prepočítavajú na jednotkové vozidlá podľa nasledujúcich koeficientov:

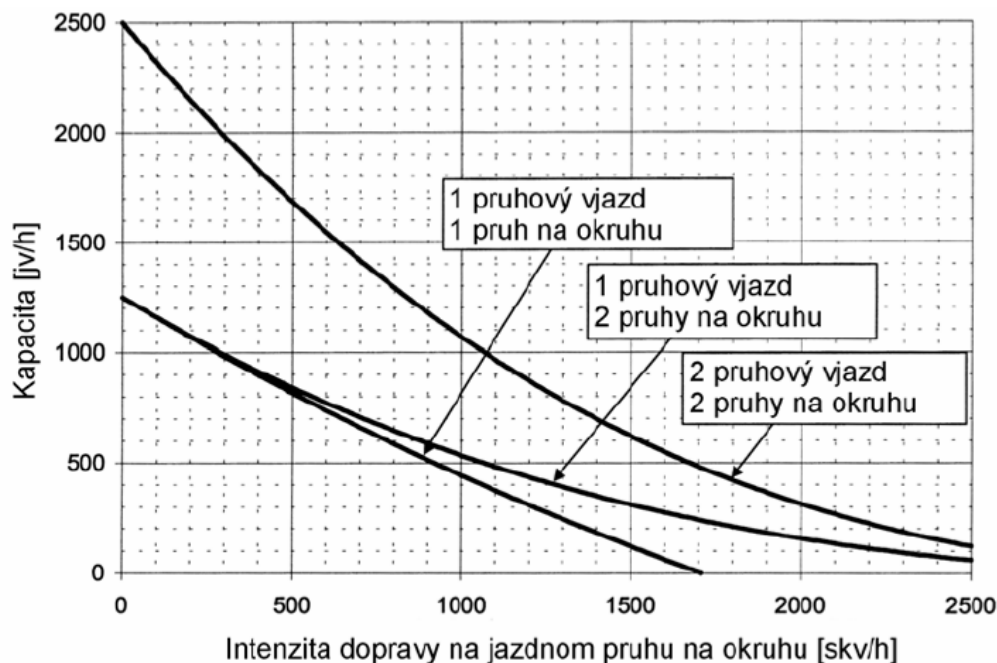
- | | |
|------------------------------|----------|
| - cyklisti | 0,5 j.v. |
| - motocykle | 1,0 j.v. |
| - osobný automobil (dodávka) | 1,0 j.v. |
| - nákladné vozidlo | 1,5 j.v. |
| - ťažké nákladné vozidlo | 2,0 j.v. |

V porovnaní s [2] sú hodnoty prepočtových koeficientov nižšie.

4.3 Výpočet kapacity vjazdu okružnej križovatky v Nemecku

V Nemecku sa pre výpočet kapacity okružnej križovatky oficiálne využíva už spomínaná metóda Wu (1997), ktorá je súčasťou nemeckej príručky HBS (2001) [9], a na základe ktorej boli spracované aj TP 01/2006. Výpočet podľa (4.3) je totožný a líši sa len použitou symbolikou.

Hodnota základnej kapacity okružných križovatiek je podľa [9] graficky znázornená na obrázku 4.2.



Obrázok 4.2 Základná kapacita vjazdu do okružnej križovatky podľa HBS (2001) [9], [3]

Najnovšie poznatky výskumných prác (napr. Brilon, Bäumer, 2004) však odhaľujú nepresnosti tejto metódy napr. v prípade vjazdu s vyššou intenzitou na vjazde ako na okruhu pri viacpruhových okružných križovatkách [8]. Z toho dôvodu sa na RU Bochum pracovalo na vylepšených rovniciach pre viacpruhové okružné križovatky. Do nich vstupujú aj spresňujúce parametre pre počet pruhov na vjazde.

Aby bol vzorec (4.3) využiteľný pre všetky veľkosti a typy okružných križovatiek (od mini-okružných až po dvojpruhové okružné križovatky), Brilon a Wu navrhli v rámci modifikácie tohto vzťahu zmeny týkajúce sa kritických časových medzier (teda ich dĺžky) pre jednotlivé typy okružných križovatiek a kapacity vjazdov. Navrhované parametre vzorca (4.3) pre jednotlivé typy okružných križovatiek sú uvedené v tabuľke 4.1.

Tabuľka 4.1 Parametre vzorca (4.3) pre výpočet kapacity na okružných križovatkách podľa [8]

Typ okružnej križovatky	Počet pruhov na vjazde	Počet pruhov na okruhu	t_g	t_f	$t_{\min}$
Rovnica (4.3) s nasledujúcimi parametrami					
Mini-okružná križovatka $13 \leq D \leq 25$ ¹⁾	1	1	$t_g = 4,9 - \frac{0,4}{13} \cdot D$	$t_f = 3,1 - \frac{0,1}{13} \cdot D$	$t_{\min} = 3,9 - \frac{0,9}{13} \cdot D$
Jednopruhová okružná križovatka $26 \leq D \leq 40$ ²⁾	1	1	$t_g = \frac{1}{14} \cdot 52,2 + 0,2 \cdot D$	$t_f = \frac{1}{14} \cdot 51 - 0,4 \cdot D$	$t_{\min} = 6 - 0,15 \cdot D$
Dvojpruhová okružná križovatka s 1 pruhom na vjazde $40 \leq D \leq 60$ ¹⁾	1	2	$K_{z,i} = 1440 \times e^{\frac{M_{okr}}{1180}}$		
Dvojpruhová okružná križovatka s 2 pruhmi na vjazde $40 \leq D \leq 60$ ³⁾	2	2	$K_{z,i} = 1642 \times e^{\frac{M_{okr}}{1180}}$		
Veľká okružná križovatka $D \ll 60$ ^{1) 4)}	2	2	$K_{z,i} = 1926 \times e^{\frac{M_{okr}}{1405}}$		
1) D = vonkajší priemer [m] 2) pre $D > 40$ m sa dosadzuje $D = 40$ m 3) ak je $D > 60$ m, ale všetky ostatné charakteristiky zodpovedajú dvojpruhovej okružnej križovatke, dosadzuje sa $D = 60$ m 4) s dvoma plnohodnotnými jazdnými pruhmi s neobmedzene kapacitnými vjazdami					

4.4 Výpočet kapacity vjazdu okružnej križovatky v podmienkach ČR

V Českej republike vyšli v roku 2005 nové TP 135 Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích [7], v rámci ktorých bola aktualizovaná metóda pre výpočet kapacity okružnej križovatky. Pre okružné križovatky s vonkajším priemerom do 50 m platí v ČR metóda výpočtu kapacity podľa BOVY (1991) (švajčiarska empirická metóda výpočtu) vo svojej zjednodušenej podobe (tá je v originálnej literatúre platná pre jednopruhové okružné križovatky s vonkajším priemerom do 35 m).

Súčasťou TP 135 sú aj výpočtové modely na stanovenie kapacity dvojpruhových okružných križovatiek a tiež špirálovitých okružných križovatiek (turbo-okružných križovatiek).

Na porovnanie s TP 04/2004, ktoré taktiež vychádzajú z metódy podľa BOVY (1991), uvádzame výpočet kapacity vjazdu aj podľa TP 135.

- Výpočet kapacity vjazdu podľa TP 135 [7] pre okružnú križovatku s $D < 50$ m s jedným pruhom na okruhu a jedným pruhom na vjazde:

$$L_e = 1500 - \frac{8}{9} \times (Q_k + \alpha \times Q_a) \quad [\text{j.v./h}] \quad (4.5)$$

kde: L_e - maximálna kapacita vjazdu i [j.v./h],

Q_k - intenzita dopravy na okruhu medzi výjazdom a posudzovaným vjazdom [j.v./h],

Q_a - intenzita vozidiel na výjazde [j.v./h],

α - koeficient vyjadrujúci vplyv vzájomnej vzdialenosti "b" medzi kolíznym bodom vjazdu a výjazdu na posudzovanom ramene križovatky.

V základnom vzťahu na výpočet kapacity okružnej križovatky sa nenachádza koeficient β . Je to koeficient vyjadrujúci vplyv intenzity dopravy na okruhu pri rôznom počte jazdných pruhov na ňom. V TP 135 platnom v ČR sú pre okružné križovatky s väčším počtom pruhov na okruhu vypracované samostatné vzťahy.

- *Výpočet kapacity vjazdu podľa TP 135 [7] pre okružnú križovatku s $D > 50$ m s jedným pruhom na okruhu a vjazdom s pripojovacím pruhom:*

$$L_e = 1600 - Q_{ev} \times \left(\frac{30}{L_z} \right) \quad [\text{j.v./h}] \quad (4.6)$$

kde: Q_{ev} - počet vozidiel idúcich po okružnom jazdnom páse v mieste pripojenia vjazdu,
 L_z - dĺžka zaradovacieho úseku.

- *Výpočet kapacity vjazdu podľa TP 135 [7] pre okružnú križovatku s $D > 50$ m s dvojpruhovým pásom na okruhu a vjazdom s pripojovacím pruhom:*

$$L_e = 1600 - \left[Q_{ev} \times \left(\frac{30}{L_z} \right) + Q_{ev} \times \frac{30}{100} \right] \quad [\text{j.v./h}] \quad (4.7)$$

Na rozdiel od súčasných platných metód na posúdenie výkonnosti okružných križovatiek v SR, je v podmienkach ČR zapracované aj posúdenie výkonnosti tzv. špirálovitých okružných križovatiek (turbo-okružné križovatky).

- *Výpočet kapacity vjazdu podľa TP 135 [7] pre okružnú križovatku s $D > 50$ m so špirálovito usporiadanými jazdnými pruhmi:*

- *pre jeden jazdný pruh na okružnom jazdnom páse v mieste pripojenia dvojpruhového vjazdu:*

$$L_e = 1600 - \frac{8}{9} \times (Q_k + \alpha \times Q_a) \quad [\text{j.v./h}] \quad (4.8)$$

- *pre dva jazdné pruhy na okružnom jazdnom páse v mieste pripojenia dvojpruhového vjazdu:*

$$L_e = 1800 - \frac{8}{9} \times (Q_k + \alpha \times Q_a) \quad [\text{j.v./h}] \quad (4.9)$$

V rámci Národného programu výskumu v roku 2004-2011 MD ČR firma EDIP riešila viaceré výskumné projekty týkajúce sa posudzovania kapacity. Jedným z nich bol aj projekt ukončený v roku 2009 1F521/063/120 „Aktualizace výpočtových modelu pro stanovení kapacity okružních križovatek“ [11]. V rámci tohto projektu bola spracovaná metodika výpočtu kapacity vjazdu do okružnej križovatky v podmienkach ČR, ktorej výpočet vychádza z HBS (2001). Navrhovaná metodika využíva pre všetky druhy okružných križovatiek vzorce teórie časových medzier (odstupov) pri zohľadnení znalosti hodnôt kritických a následných časových odstupov v českom prostredí a ich závislosti na geometrii okružných križovatiek. Tá je stanovená na základe uskutočnenej analýzy vplyvov na sledovaných okružných križovatkách v ČR takto:

- hodnota kritického časového odstupu je závislá na vzdialenosti kolíznych bodov b (vzdialenosť medzi výjazdom a vjazdom),
- hodnota následného časového odstupu je závislá na polomere vjazdu R_{vj} .

- Výpočet základnej kapacity vjazdu podľa [11] (EDIP):

$$G = 3600 \times \left(1 - \frac{\Delta \times q_k}{n_k \times 3600} \right)^{n_k} \times \frac{n_e}{t_f} \times e^{-\frac{q_k}{3600} \times \left(t_g - \frac{t_f}{2} - \Delta \right)} \quad [\text{pvoz/h}] \quad (4.10)$$

kde: G - základná kapacita vjazdu i [pvoz/h],
 q_k - intenzita dopravy na okruhu [pvoz/h],
 n_k - počet pruhov na okruhu [-],
 n_e - koeficient zohľadňujúci počet pruhov na vjazde [-],
 $n_e = 1,00$pre jednopruhovú vjazdu,
 $n_e = 1,75$pre dvojpruhovú vjazdu,
 t_g - kritický časový odstup [s],
 t_f - následný časový odstup [s],
 t_{min} - minimálny časový odstup medzi vozidlami na okruhu idúcimi za sebou, môže sa použiť hodnota 2,1 [s].

- Okružné križovatky s jedným pruhom na okruhu:

- t_g v závislosti na vzdialenosti kolíznych bodov b :

$$\begin{aligned} b < 9,00 \text{ m} & \quad t_g = 4,6 \text{ s}, \\ 9,00 \leq b \leq 21,00 & \quad t_g = 5,387 - 0,0858 \cdot b, \\ b > 21,00 \text{ m} & \quad t_g = 3,6 \text{ s}, \end{aligned}$$

kde b = vzdialenosť medzi kolíznymi bodmi $C - C'$ na okruhu v [m].

- t_f v závislosti na polomere vjazdu:

$$\begin{aligned} R_{vj} < 6,00 \text{ m} & \quad t_f = 3,3 \text{ s (3)}, \\ 6,00 \leq R_{vj} \leq 16,00 & \quad t_f = 3,72 - 0,07 \cdot R_{vj}, \\ R_{vj} > 16,00 \text{ m} & \quad t_f = 2,6 \text{ s}, \end{aligned}$$

kde R_{vj} = polomer vjazdu [m].

Δ (konštantá hodnota): $\Delta = 2,1 \text{ s}$

- Okružné križovatky s dvoma pruhmi na okruhu:

$$\begin{aligned} t_g &= 3,7 \text{ s} \\ t_f &= 2,6 \text{ s} \\ \Delta &= 2,1 \text{ s} \end{aligned}$$

Okrem toho bola v [11] stanovená aj predbežná metóda výpočtu kapacity vjazdu do mini-okružnej križovatky a tiež do špirálovito usporiadanej okružnej križovatky a to podľa štyroch rôznych možností usporiadania typov vjazdu.

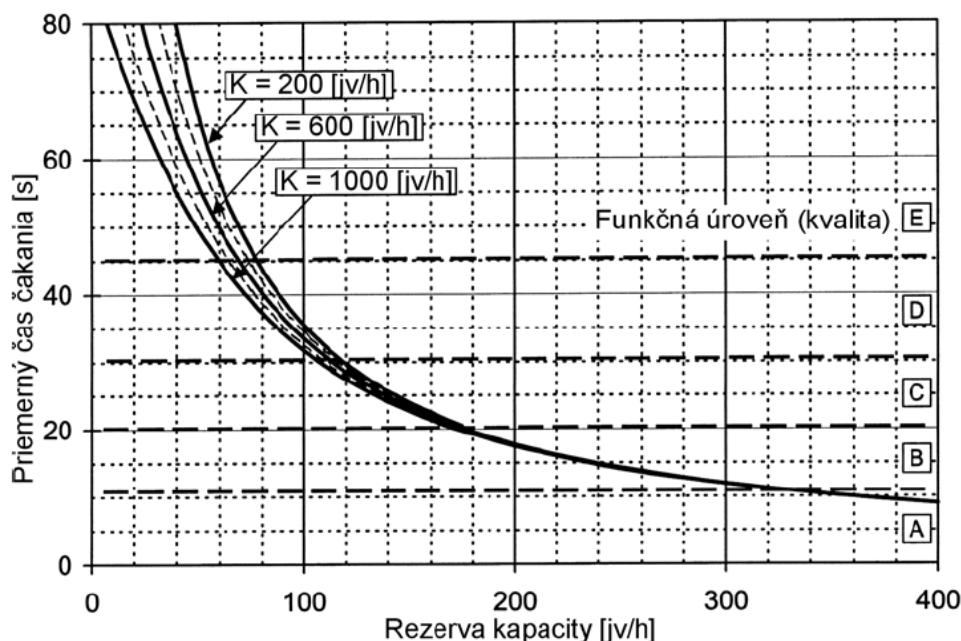
4.5 Posúdenie kvality pohybu dopravy

Postup posúdenia kvality pohybu dopravy na okružnej križovatke je v zásade podľa oboch TP 04/2004 aj TP 01/2006 rovnaký. Overuje sa, či pri dimenzačnej intenzite dopravy M_i na križovatke nie je prekročená hodnota priemerného času čakania t_c , ktorá určuje požadovanú kvalitu pohybu dopravy - funkčnú úroveň (FÚ). FÚ je charakterizovaná šiestimi stupňami kvality pohybu dopravy A až F, pričom pri funkčnej úrovni F je na križovatke prekročená kapacita, stupeň nasýtenia je väčší ako 1,0 (tabuľka. 4.2). Priemerný čas čakania závisí od vypočítanej rezervy kapacity (obrázok 4.3). Rezerva kapacity predstavuje rozdiel medzi vypočítanou kapacitou vjazdu a skutočnou intenzitou na vjazde (výpočet podľa 4.11). Z hľadiska posúdenia je teda dôležitá hodnota skutočnej intenzity na vjazde

a samotná kapacita vjazdu. Uvedené priemerné časy čakania sú rovnaké ako sú uvedené v HBS (2001) [9].

$$RK = K_{\max,e,i} - M_{e,i} \quad [\text{j.v./h}] \quad (4.11)$$

kde: $M_{e,i}$ - intenzita dopravy na vjazde i [j.v./h],
 $K_{\max,e,i}$ - maximálna kapacita vjazdu i [j.v./h].



Obrázok 4.3 Priemerný čas čakania vozidiel na vstupe do križovatky v závislosti od rezervy kapacity [2]

Okrem priemerného času čakania je pre jednotlivé funkčné úrovne v tabuľke 4.2 uvedený aj priemerný rozsah rezervy kapacity vjazdu, ktorý danej funkčnej úrovni odpovedá (stanovená z grafickej závislosti na obrázku 4.3).

Tabuľka 4.2 Priemerný čas čakania pre jednotlivé funkčné úrovne

Funkčná úroveň	A	B	C	D	E	F
Priemerný čas čakania v [s]	≤ 10,0	≤ 20,0	≤ 30,0	≤ 45,0	> 45,0	---- ¹⁾
Priemerný rozsah rezervy kapacity v [j.v./h]	≥ 330	170 - 329	115 - 169	70 - 114	50 - 69	----

¹⁾ Stupeň F sa dosahuje len vtedy, ak je stupeň nasýtenia väčší ako 1

5 POROVNANIE VÝSLEDKOV KAPACITNÝCH VÝPOČTOV

Z dôvodu možnosti vzájomného porovnania kapacitných výpočtov podľa obidvoch TP 04/2004 a TP 01/2006 boli vypočítané pre okružné križovatky (OK) základné kapacity vjazdu a to konkrétne pre:

- OK s jednopruhovým vjazdom a jedným pruhom na okruhu (označené OK 1/1),
- OK s jednopruhovým vjazdom a dvoma pruhmi na okruhu (označené OK 1/2) a
- OK s dvojpruhovým vjazdom a dvoma pruhmi na okruhu (označené OK 2/2).

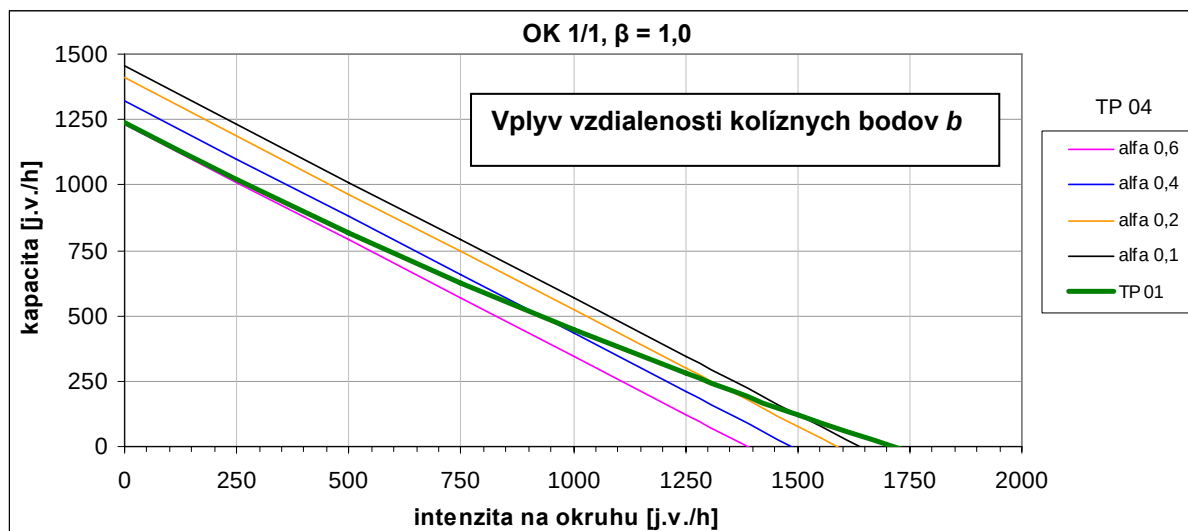
5.1 Okružná križovatka s jednopruhovým vjazdom a jedným pruhom na okruhu OK 1/1

Pri výpočte podľa TP 01/2006 sa pre OK 1/1 kapacita mení podľa výpočtu (4.3) len v závislosti od intenzity na okruhu.

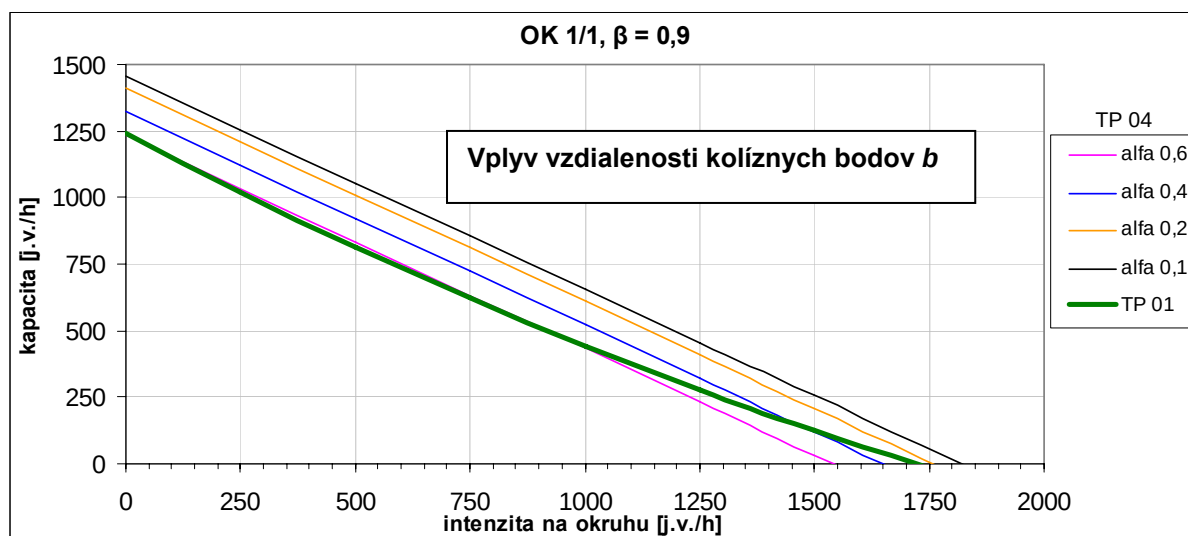
Podľa TP 04/2004 je pre OK 1/1 kapacita podľa výpočtu (4.1) závislá okrem intenzity na okruhu aj od:

- vzdialenosti kolíznych bodov b charakterizované koeficientom α (stredné hodnoty koeficientu α sa pohybujú v rozmedzí 0,6 – 0,1),
- koeficientu β , ktorý je pre OK s jedným pruhom na okruhu v rozmedzí 1,0 – 0,9,
- počtu vozidiel na výjazde M_a .

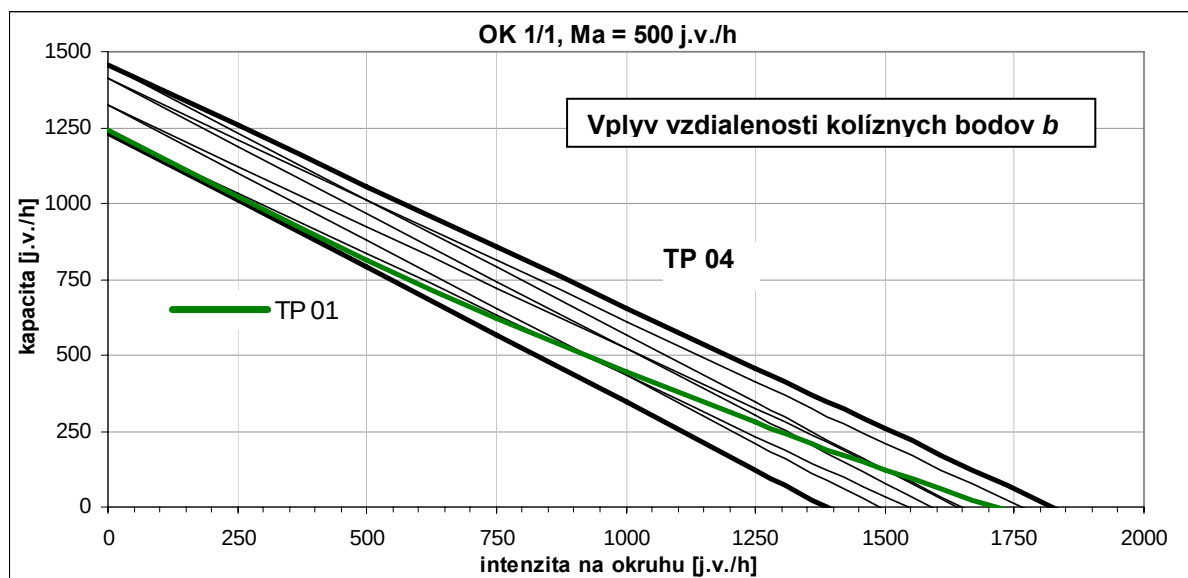
Na porovnanie sú na obrázku 5.1 a 5.2 uvedené grafické závislosti základnej kapacity križovatky OK 1/1 od vzdialenosti kolíznych bodov b charakterizovaných koeficientom α ($\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,2$, $\alpha = 0,4$, $\alpha = 0,6$) a to pri intenzite na výjazde 500 j.v./h a pri koeficiente $\beta = 1,0$ a $\beta = 0,9$. Na obrázku 5.3 je súhrnne znázornený priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 04/2004 pri intenzite vjazdu $M_a = 500$ j.v./h pre rôzne kombinácie koeficientov α a β aj s obalovými krivkami predstavujúcimi ich maximálny rozsah. Na porovnanie je uvedený aj priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 01/2006.



Obrázok 5.1 Základná kapacita vjazdu OK 1/1 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne α (intenzita na výjazde $M_a = 500$ j.v./h a $\beta = 1,0$)



Obrázok 5.2 Základná kapacita vjazdu OK 1/1 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne α (intenzita na výjazde $M_a = 500$ j.v./h a $\beta = 0,9$)

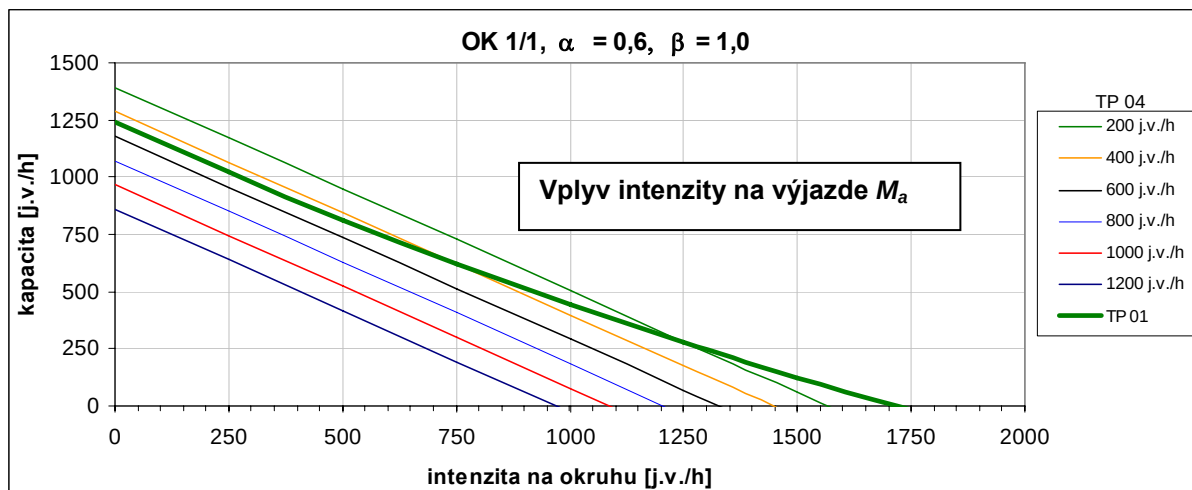


Obrázok 5.3 Základná kapacita vjazdu OK 1/1 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne α a β (intenzita na výjazde $M_a = 500$ j.v./h)

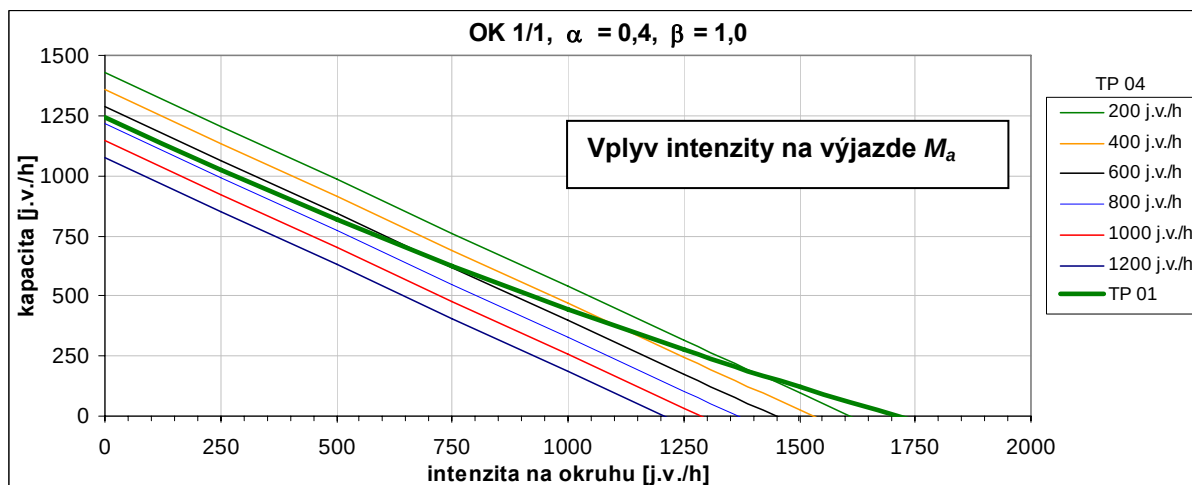
Z uvedených grafických závislostí vyplýva pre kapacitu vjazdu OK 1/1 pri konštantnej intenzite na výjazde nasledovné:

- hodnota základnej kapacity vjazdu vypočítaná podľa TP 01/2006 nezávisí od geometrie križovatky (od veľkosti vonkajšieho priemeru, polomeru vjazdu alebo vzdialenosti kolíznych bodov na vjazde), klesá s intenzitou na okruhu;
- hodnota základnej kapacity vjazdu vypočítaná podľa TP 04/2004 nie je významne ovplyvnená koeficientom β (rozdiel v nominálnej hodnote je okolo 50 j.v./h);
- hodnota základnej kapacity vjazdu vypočítaná podľa TP 04/2004 je významnejšie ovplyvnená vzdialenosťou kolíznych bodov na vjazde b charakterizovanou koeficientom α . Čím je vzdialenosť b väčšia (koeficient α menší), tým je kapacita vjazdu vyššia (rozdiel v nominálnej hodnote je okolo 200 j.v./h).

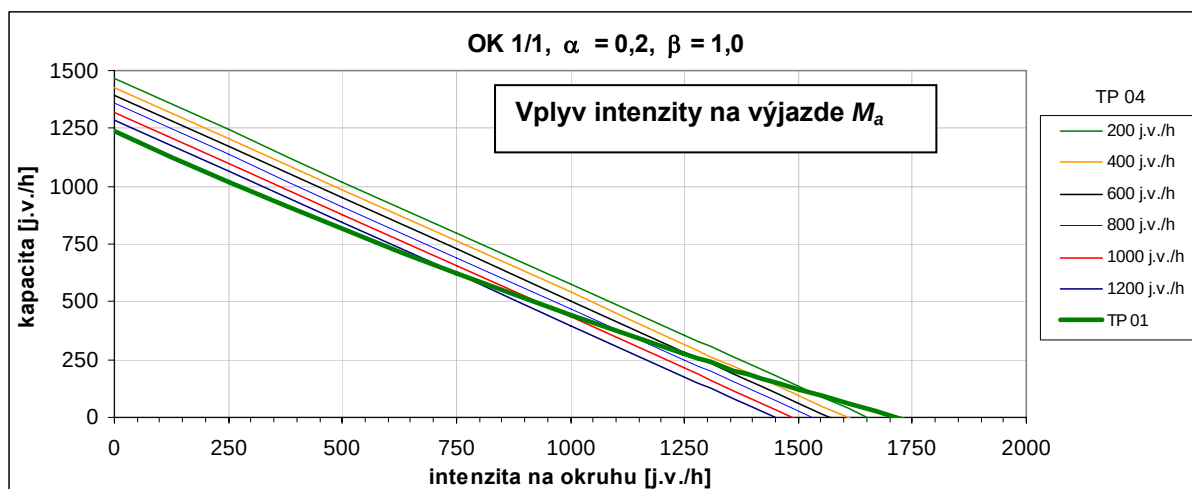
Na obrázkoch 5.4 až 5.7 sú uvedené grafické závislosti základnej kapacity križovatky OK 1/1 od intenzity na výjazde M_a a to pre rôzne vzdialenosti kolíznych bodov b charakterizovaných koeficientom α ($\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,2$, $\alpha = 0,4$, $\alpha = 0,6$). Na obrázku 5.8 je súhrnne znázornený priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 04/2004 pre intenzity výjazdu v rozsahu 200 j.v./h až 1200 j.v./h a to pre rôzne kombinácie koeficientov α a β aj s obalovými krivkami predstavujúcimi ich maximálny rozsah. Na porovnanie je uvedený aj priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 01/2006.



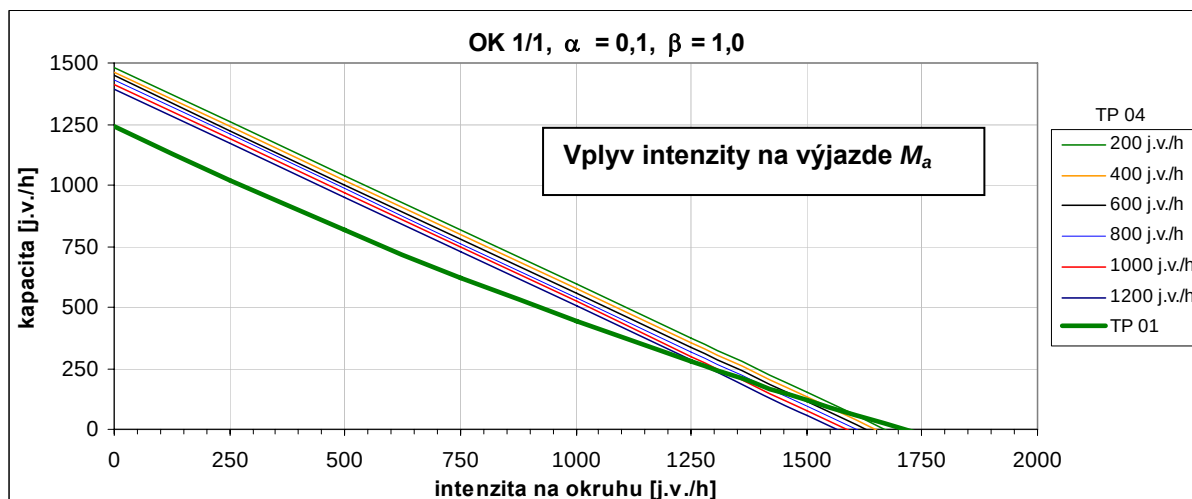
Obrázok 5.4 Základná kapacita vjazdu OK 1/1 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne hodnoty intenzity na výjazde M_a ($\alpha=0,6$ a $\beta=1,0$)



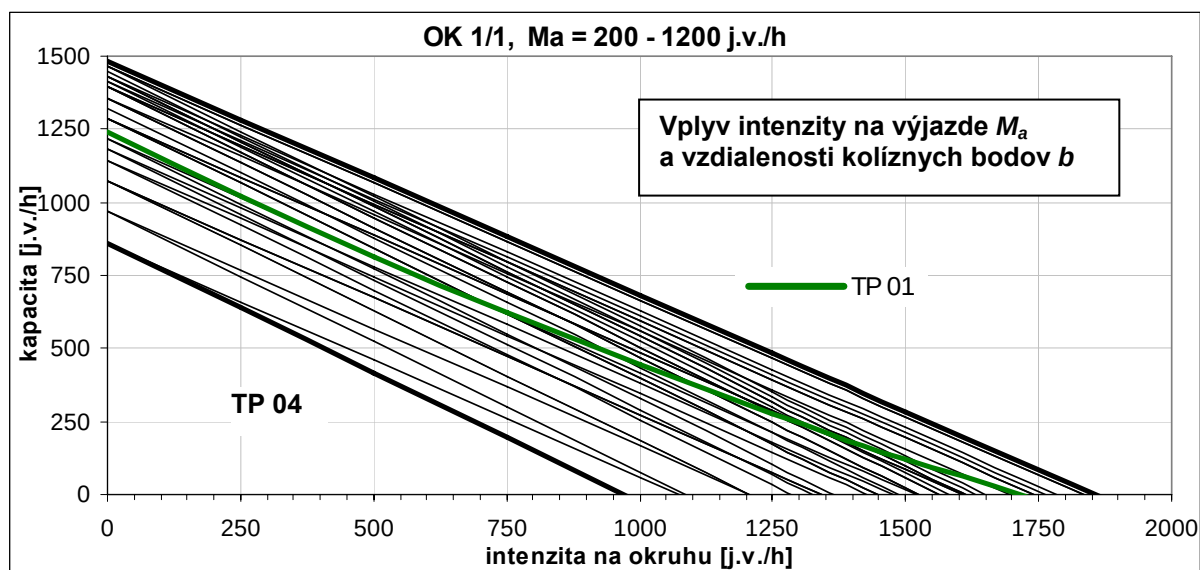
Obrázok 5.5 Základná kapacita vjazdu OK 1/1 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne hodnoty intenzity na výjazde M_a ($\alpha=0,4$ a $\beta=1,0$)



Obrázok 5.6 Základná kapacita vjazdu OK 1/1 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne hodnoty intenzity na výjazde M_a ($\alpha=0,2$ a $\beta=1,0$)



Obrázok 5.7 Základná kapacita vjazdu OK 1/1 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne hodnoty intenzity na výjazde M_a ($\alpha=0,1$ a $\beta=1,0$)



Obrázok 5.8 Základná kapacita vjazdu OK 1/1 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne α , β a M_a

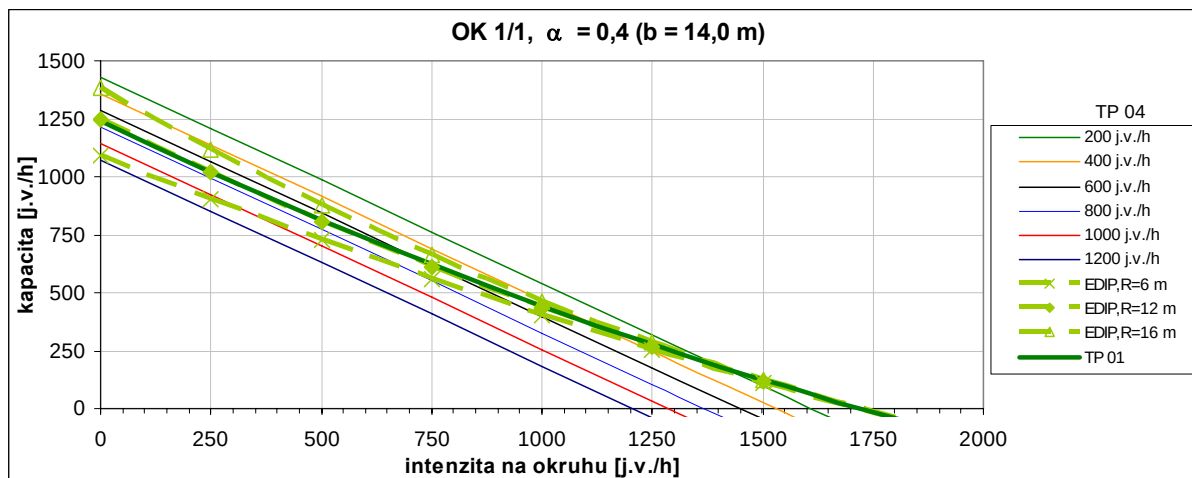
Z uvedených grafických závislostí vyplýva pre kapacitu vjazdu OK 1/1 pri rôznej intenzite na výjazde M_a nasledovné:

- v prípade križovatiek s malou vzdialenosťou b ($\alpha=0,6$) je hodnota základnej kapacity vjazdu vypočítaná podľa TP 04/2004 významne ovplyvnená intenzitou na výjazde M_a ; čím je intenzita na výjazde M_a vyššia, tým je hodnota základnej kapacity nižšia (rozdiel v nominálnej hodnote je až okolo 500 j.v./h);
- so zväčšovaním vzdialenosti b sa znižuje „citlivosť“ základnej kapacity na intenzitu na výjazde M_a ; v prípade križovatiek s veľkou vzdialenosťou b ($\alpha=0,1$) má intenzita na výjazde oveľa menší vplyv na hodnotu základnej kapacity (rozdiel v nominálnej hodnote je do 100 j.v./h);
- na rozdiel od výsledkov výpočtu základnej kapacity podľa TP 01/2006 majú výsledky podľa TP 04/2004 značný rozdiel v závislosti od intenzity na výjazde M_a a vzdialenosti kolíznych bodov b ; základná kapacita vypočítaná podľa TP 01/2006 sa nachádza približne v strede obalových kriviek základnej kapacity vypočítanej podľa TP 04/2004 pre rôzne intenzity na výjazde M_a a koeficienty α (rozdiel sa pohybuje v rozmedzí približne ± 250 j.v./h) (obrázok 5.8);
- v prípade križovatiek s veľkou vzdialenosťou kolíznych bodov b ($\alpha=0,1$) je vypočítaná kapacita vjazdu podľa TP 04/2004 väčšia ako podľa TP 01/2006 a to bez ohľadu na intenzitu na výjazde.

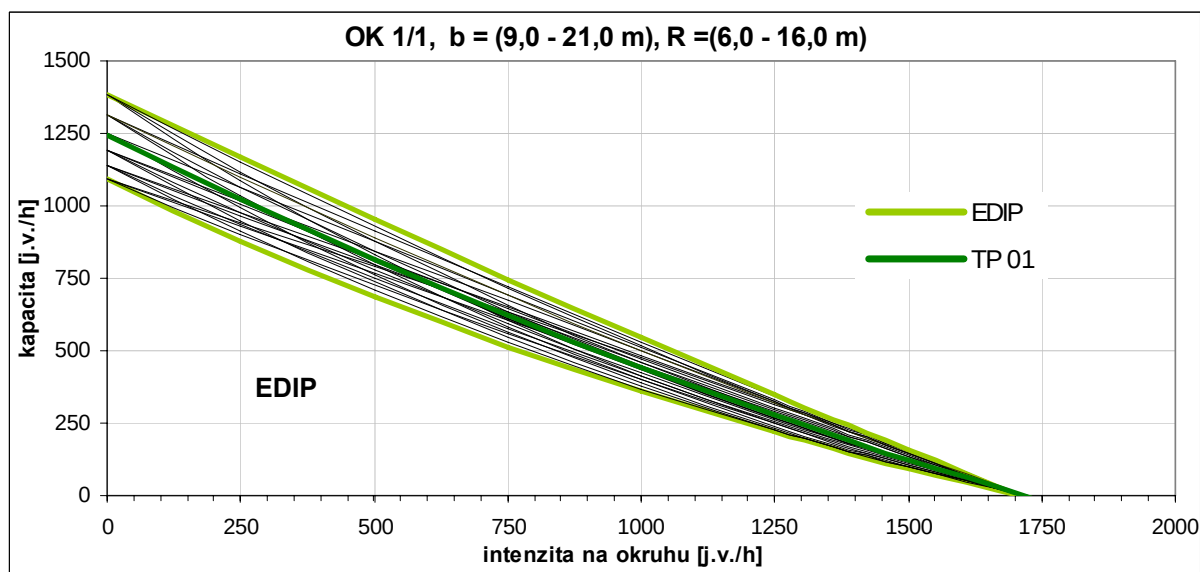
Na porovnanie je na obrázku 5.9 uvedený priebeh základnej kapacity vjazdu do OK 1/1 vypočítanej podľa navrhovanej novej českej metodiky (4.10) [11] (EDIP). Konkrétne pre križovátku so vzdialenosťou medzi kolíznymi bodmi $b = 14,0$ m (čomu odpovedá $\alpha = 0,4$) a pre rôzne polomery na vjazde R (v rozmedzí od 6,0 m do 16,0 m). Na obrázku 5.10 je súhrnne znázornený priebeh základnej kapacity vjazdu podľa [11] pre rôzne vzdialenosti kolíznych bodov b (od 9,0 m do 21,0 m) a polomery vjazdu R (od 6,0 m do 16,0 m).

Z analýzy dosiahnutých výsledkov vyplýva, že v novej metodike ČR podľa [11] je na rozdiel od metodiky HBS (2001), ktorá je prebratá aj v našej TP 01/2006 zahrnutý pre OK 1/1 vplyv geometrie križovátky na výslednú hodnotu základnej kapacity (vzdialenosť kolíznych bodov b a veľkosť polomeru na vjazde R). Pre križovátky s malým polomerom na vjazde R (do 12,0 m) vychádza kapacita nižšia ako podľa TP 01/2006. So zväčšujúcim sa polomerom narastá aj kapacita vjazdu. Obdobne je to aj v prípade so zväčšovaním vzdialenosti kolíznych bodov b , avšak tento vplyv sa prejavil na vypočítanej výslednej hodnote kapacity vjazdu v menšej miere. Okrem toho, čím je

intenzita na okruhu pred posudzovaným vjazdom vyššia, tým sa vplyv geometrie prejavuje v menšej miere. Základná kapacita vypočítaná podľa TP 01/2006 sa nachádza v strede obalových kriviek vytvorených z výsledkov výpočtu podľa [11].



Obrázok 5.9 Základná kapacita vjazdu OK 1/1 podľa EDIP [11] v porovnaní s TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne polomery na vjazde R ($b=14,0\text{ m}$ a $\beta=1,0$)



Obrázok 5.10 Základná kapacita vjazdu OK 1/1 podľa EDIP [11] v porovnaní s TP 01/2006 pre rôzne vzdialenosti kolíznych bodov b a polomery vjazdu R

5.2 Okružná križovatka s jednopruhovým vjazdom a dvoma pruhmi na okruhu OK 1/2

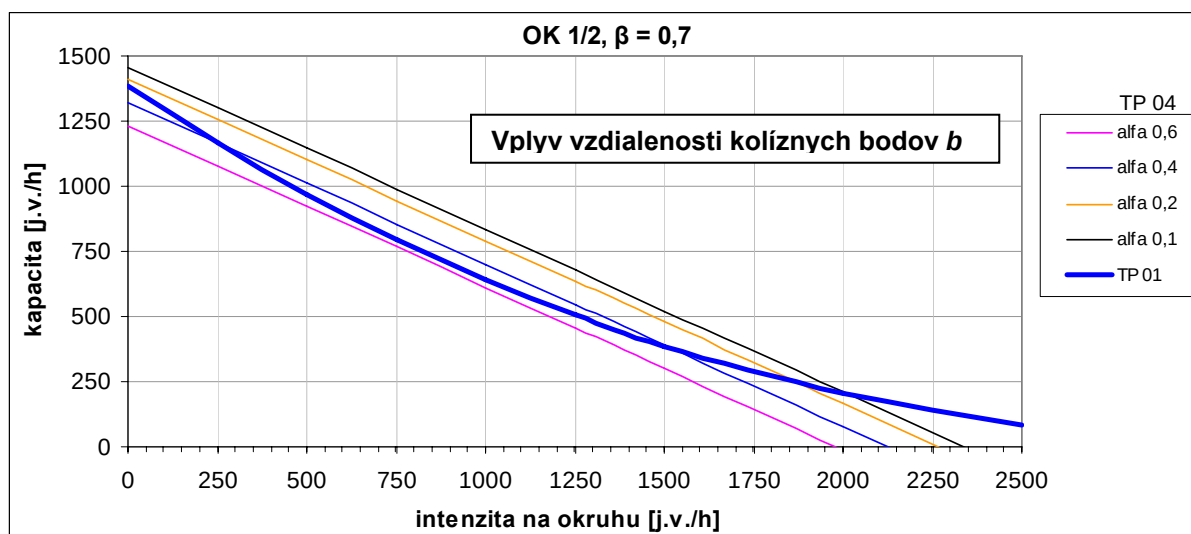
Pri výpočte podľa TP 01/2006 sa pre OK 1/2 kapacita mení podľa výpočtu (4.3) len v závislosti od intenzity na okruhu (v porovnaní s OK 1/1 je pre 2 pruhy na okruhu vo výpočte $n_k=2$).

Podľa TP 04/2004 je pre OK 1/2 kapacita podľa výpočtu (4.1) závislá okrem intenzity na okruhu aj od:

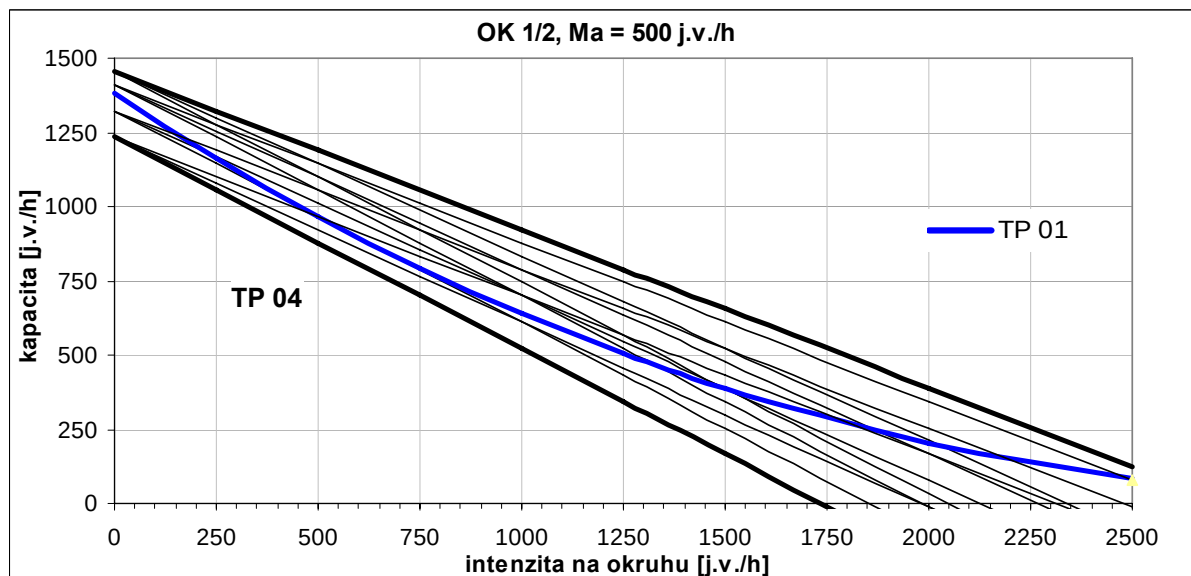
- vzdialenosti kolíznych bodov b (stredné hodnoty koeficientu α sa pohybujú v rozmedzí 0,6 – 0,1),
- koeficientu β , ktorý je pre OK s dvoma pruhmi na okruhu v rozmedzí 0,8 – 0,6,
- počtu vozidiel na výjazde M_a .

Na porovnanie je na obrázku 5.11 uvedená grafická závislosť základnej kapacity vjazdu do križovatky OK 1/2 od vzdialenosti kolíznych bodov b charakterizovaných koeficientom α ($\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,2$, $\alpha = 0,4$, $\alpha = 0,6$) a to pri intenzite na výjazde 500 j.v./h a pri koeficiente $\beta = 0,7$. Na obrázku 5.12 je súhrnne znázornený priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 04/2004 pri intenzite výjazdu $M_a = 500$ j.v./h pre rôzne kombinácie koeficientov α a β aj s obalovými krivkami predstavujúcimi ich maximálny rozsah. Uvedený je tu tiež priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 01/2006.

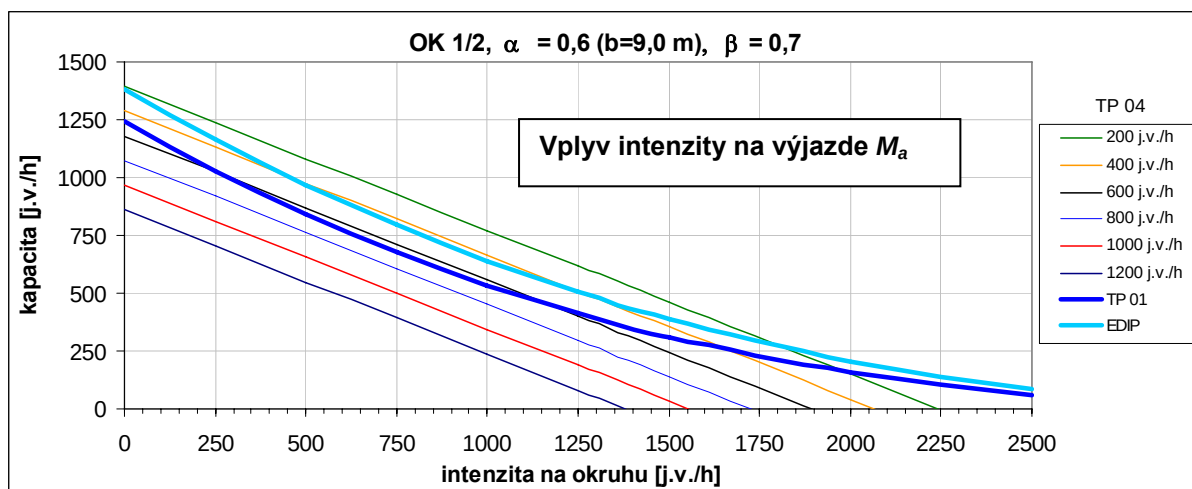
Na obrázku 5.13 až 5.16 sú uvedené grafické závislosti základnej kapacity vjazdu do križovatky OK 1/2 od intenzity na výjazde M_a a to pre rôzne vzdialenosti kolíznych bodov b charakterizovaných koeficientom α ($\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,2$, $\alpha = 0,4$, $\alpha = 0,6$). Na obrázku 5.17 je súhrnne znázornený priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 04/2004 pre intenzity výjazdu v rozsahu 200 j.v./h až 1200 j.v./h a to pre rôzne kombinácie koeficientov α a β aj s obalovými krivkami predstavujúcimi ich maximálny rozsah. Na porovnanie je uvedený priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 01/2006 a tiež podľa návrhu novej českej metodiky podľa [11] (EDIP).



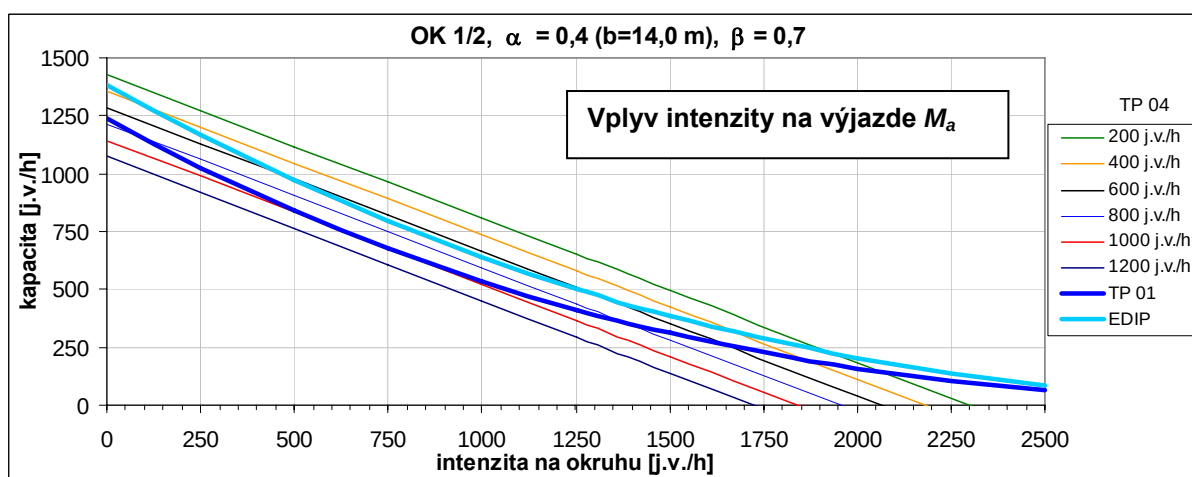
Obrázok 5.11 Základná kapacita vjazdu OK 1/2 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne α (intenzita na výjazde $M_a = 500$ j.v./h a $\beta = 0,7$)



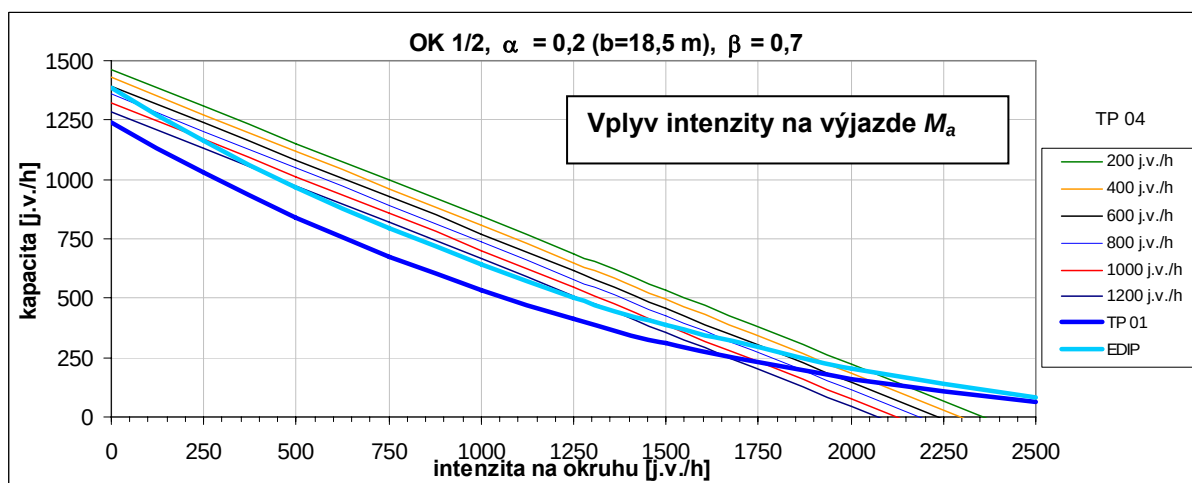
Obrázok 5.12 Základná kapacita vjazdu OK 1/2 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne α a β (intenzita na výjazde $M_a = 500$ j.v./h)



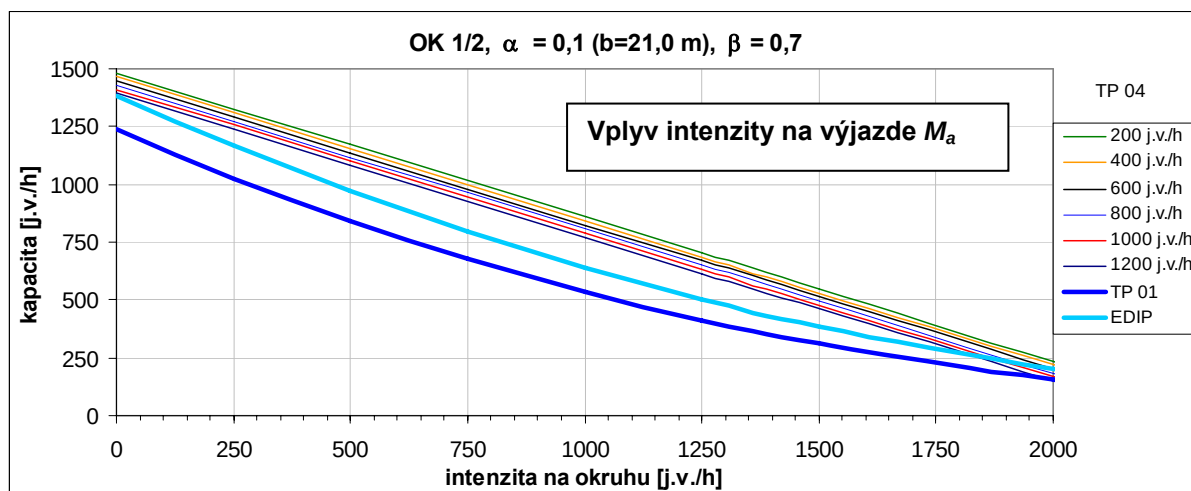
Obrázok 5.13 Základná kapacita vjazdu OK 1/2 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne hodnoty intenzity na výjazde M_a ($\alpha=0,6$ a $\beta=0,7$)



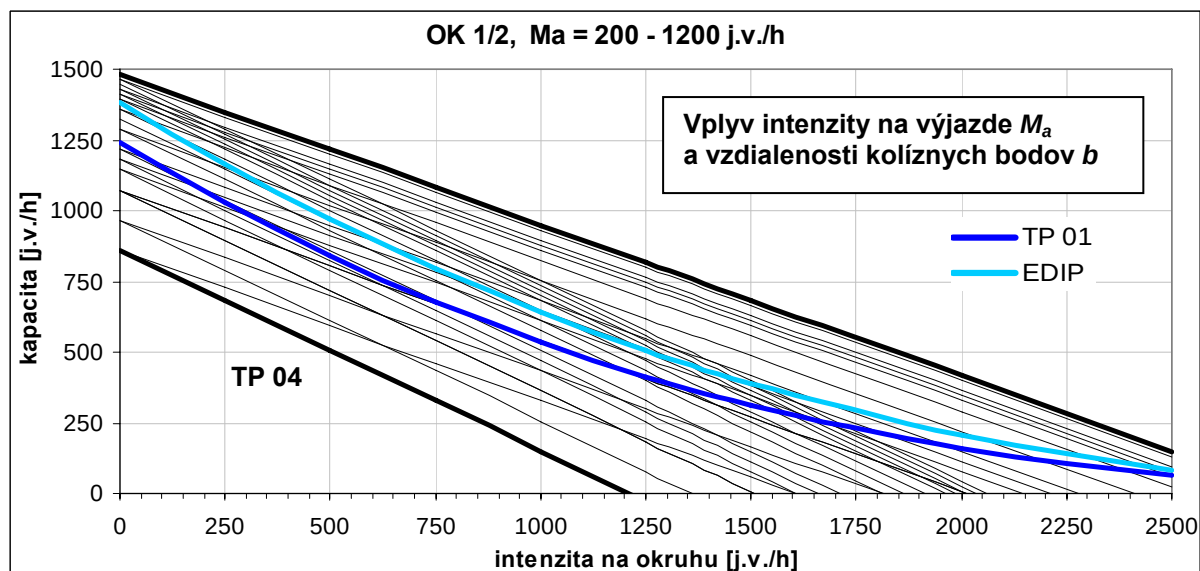
Obrázok 5.14 Základná kapacita vjazdu OK 1/2 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne hodnoty intenzity na výjazde M_a ($\alpha=0,4$ a $\beta=0,7$)



Obrázok 5.15 Základná kapacita vjazdu OK 1/2 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne hodnoty intenzity na výjazde M_a ($\alpha=0,2$ a $\beta=0,7$)



Obrázok 5.16 Základná kapacita vjazdu OK 1/2 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne hodnoty intenzity na výjazde M_a ($\alpha=0,1$ a $\beta=0,7$)



Obrázok 5.17 Základná kapacita vjazdu OK 1/2 podľa TP 01/2006 a TP 04/2004 pre rôzne α , β a M_a

Uvedené grafické závislosti kapacity vjazdu križovatky s jednopruhovým vjazdom a s dvoma pruhmi na okruhu OK 1/2 vypočítanej podľa TP 04/2004 preukázali vplyv vzdialenosti kolíznych bodov b a intenzity vozidiel na výjazde M_a na výslednú hodnotu kapacity vjazdu obdobne, ako to bolo v prípade okružnej križovatky OK 1/1. Tento vplyv sa preukázal na rozsahu vypočítanej kapacity vo vyššej miere. Rozdiel vypočítaných kapacít podľa TP 04/2004 a TP 01/2006 sa pohybuje v rozmedzí približne ± 350 j.v./h (obrázok 5.17).

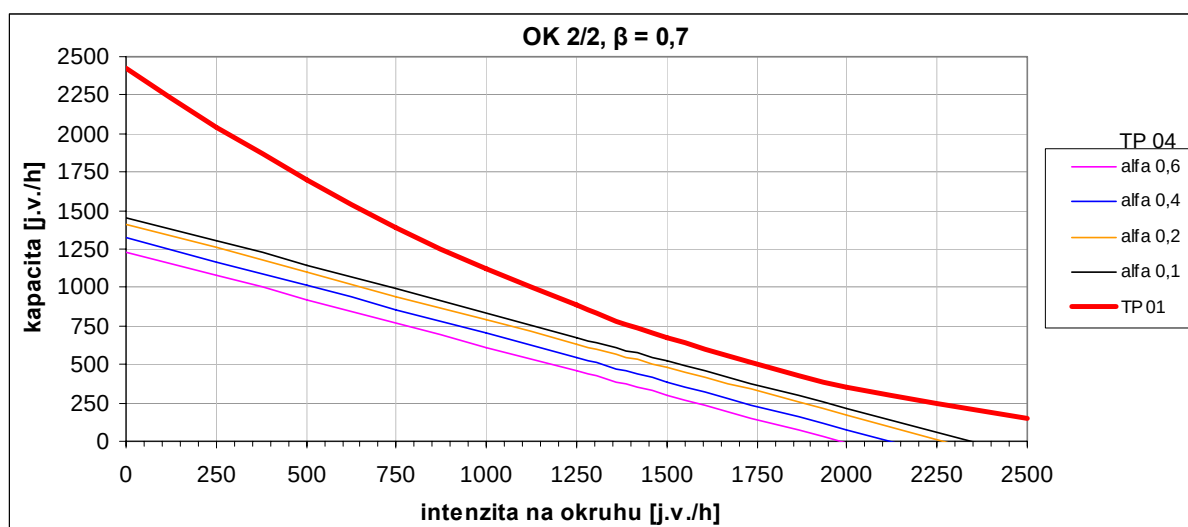
V prípade križoviek s jednopruhovým vjazdom a s dvoma pruhmi na okruhu OK 1/2 nový návrh metodiky v ČR podľa [11] nezahrňuje do výpočtu vplyv geometrie križovatky na výslednú hodnotu základnej kapacity (vzdialenosť kolíznych bodov b a veľkosť polomeru na vjazde R). Z grafického priebehu vyplýva, že vypočítané hodnoty základnej kapacity sú o málo vyššie ako vypočítané hodnoty podľa TP 01/2006 (rozdiel je v nominálnej hodnote okolo 100 j.v./h).

5.3 Okružná križovatka s dvojpruhovým vjazdom a dvoma pruhmi na okruhu OK 2/2

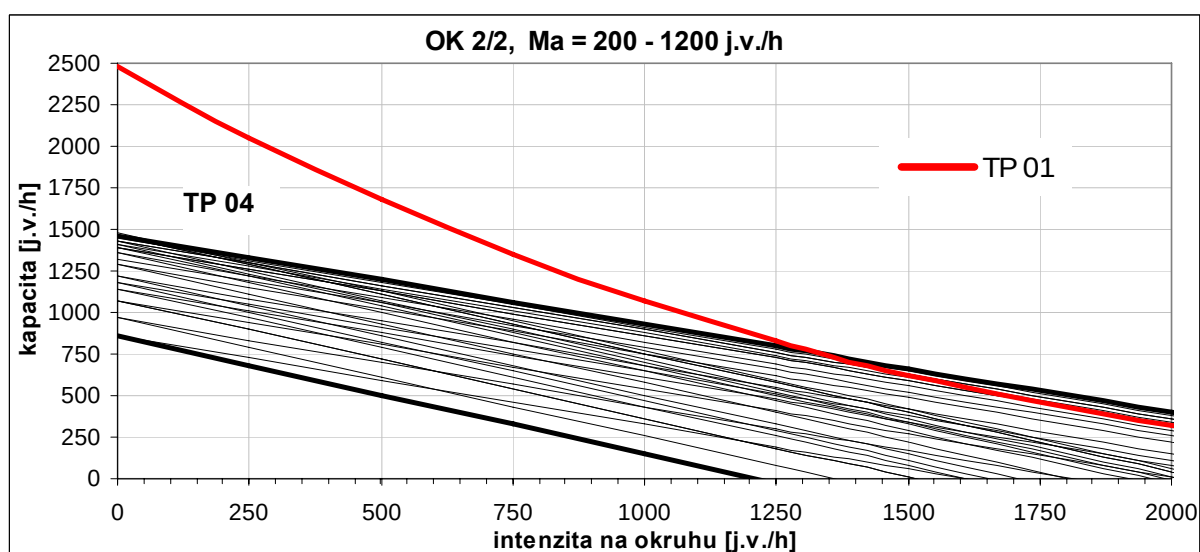
Pri výpočte podľa TP 01/2006 sa pre OK 2/2 kapacita vjazdu mení podľa výpočtu (4.3) len v závislosti od intenzity na okruhu (v porovnaní s OK 1/1 je pre 2 pruhy na vjazde vo výpočte $n_z = 2$ a pre dva pruhy na okruhu $n_k = 2$).

Podľa TP 04/2004 je pre OK 2/2 kapacita vjazdu podľa výpočtu (4.1) totožná s kapacitou vjazdu pre OK 1/2. Je to z dôvodu absencie koeficientu γ , ktorým sa upravuje vplyv počtu pruhov na vjazde. Pre dvojpruhový vjazd je uvažovaný podľa pôvodnej metódy BOVY (1991) v rozsahu 0,6 až 0,7, čo znamená zvýšenie vypočítanej základnej kapacity vjazdu o 40 % až 65 %.

Na obrázku 5.18 je uvedená grafická závislosť základnej kapacity vjazdu do križovatky OK 2/2 vypočítaná podľa TP 01/2006 a TP 04/2004 pre rôzne koeficienty α ($\alpha = 0,1, \alpha = 0,2, \alpha = 0,4, \alpha = 0,6$). Na obrázku 5.19 je súhrnne znázornený priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 04/2004 pre intenzity výjazdu v rozsahu 200 j.v./h až 1200 j.v./h a to pre rôzne kombinácie koeficientov α a β aj s obalovými krivkami predstavujúcimi ich maximálny rozsah. Na porovnanie je uvedený priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 01/2006.



Obrázok 5.18 Základná kapacita vjazdu OK 2/2 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne α (intenzita na výjazde $M_a = 500$ j.v./h a $\beta = 0,7$)

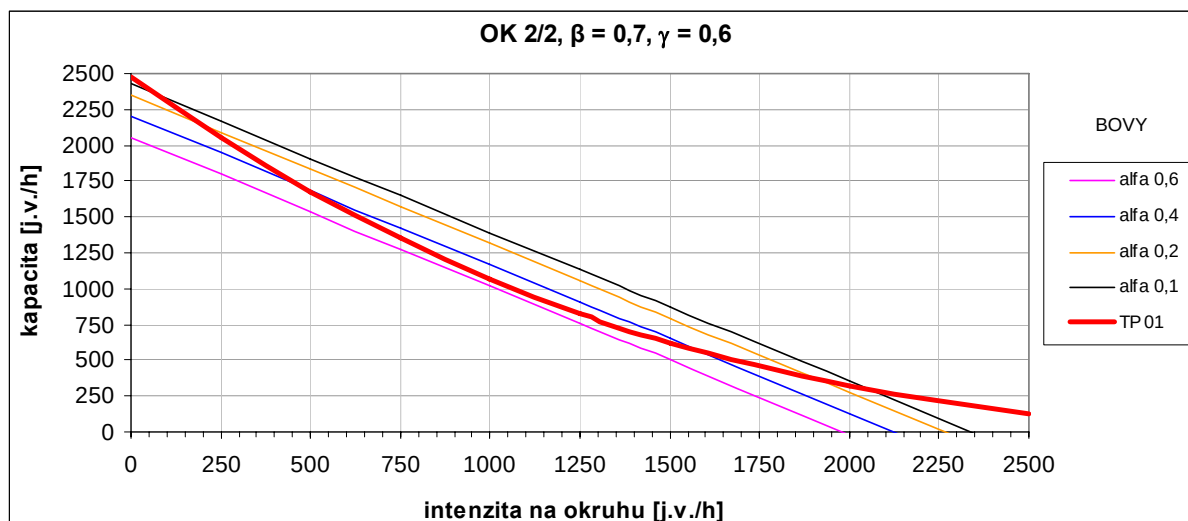


Obrázok 5.19 Základná kapacita vjazdu OK2/2 podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004 pre rôzne α, β a M_a

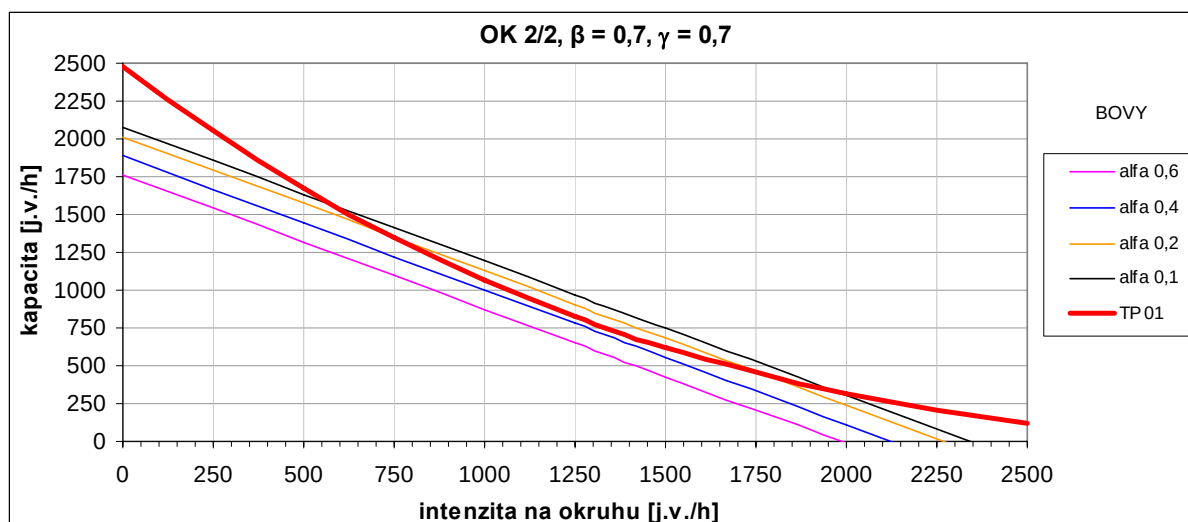
Z výsledkov jednoznačne vyplýva, že koeficient γ , ktorý predstavuje vplyv počtu pruhov na vjazde, je pri výpočte základnej kapacity vjazdu pre OK2/2 nevyhnutné použiť, tak ako je to podľa BOVY (1991). Z tohto dôvodu boli ďalšie závislosti sledované s použitím tohto koeficientu, teda podľa vzťahu (4.2) vychádzajúceho z pôvodnej metódy BOVY (1991).

Na obrázku 5.20 a 5.21 je uvedená grafická závislosť základnej kapacity vjazdu do križovatky OK 2/2 vypočítaná v zmysle TP 01/2006 a BOVY (1991) pre rôzne koeficienty α ($\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,2$, $\alpha = 0,4$, $\alpha = 0,6$) a koeficienty γ ($\gamma = 0,6$ a $0,7$).

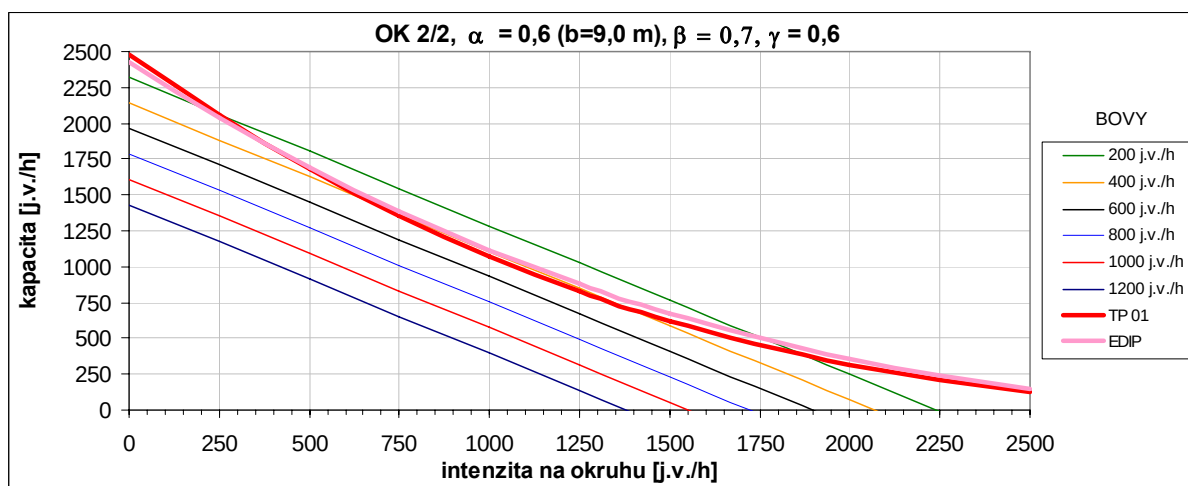
Na obrázku 5.19 je súhrnne znázornený priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 04/2004 pre intenzity výjazdu v rozsahu 200 j.v./h až 1200 j.v./h a to pre rôzne kombinácie koeficientov α a β aj s obalovými krivkami predstavujúcimi ich maximálny rozsah. Na porovnanie je uvedený priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 01/2006. Na obrázku 5.22 až 5.25 sú uvedené grafické závislosti základnej kapacity vjazdu do križovatky OK 2/2 vypočítanej podľa pôvodnej metódy BOVY (1991) od intenzity na výjazde M_a a to pre rôzne vzdialenosti kolíznych bodov b ($\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,2$, $\alpha = 0,4$, $\alpha = 0,6$). Na obrázku 5.26 je súhrnne znázornený priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 04/2004 pre intenzity výjazdu v rozsahu 200 j.v./h až 1200 j.v./h podľa BOVY (1991) a to pre rôzne kombinácie koeficientov α , β a γ aj s obalovými krivkami predstavujúcimi ich maximálny rozsah. Pre porovnanie je uvedený priebeh základnej kapacity vjazdu podľa TP 01/2006 a tiež podľa návrhu novej českej metodiky podľa [11] (EDIP).



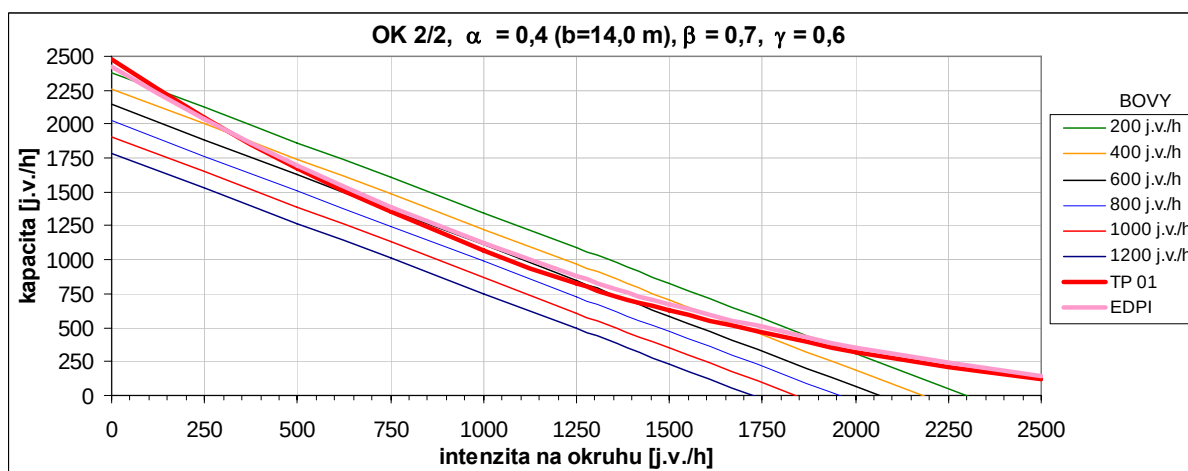
Obrázok 5.20 Základná kapacita vjazdu OK 2/2 podľa TP 01/2006 a podľa BOVY pre rôzne α (intenzita na výjazde $M_a = 500$ j.v./h, $\beta = 0,7$, $\gamma = 0,6$)



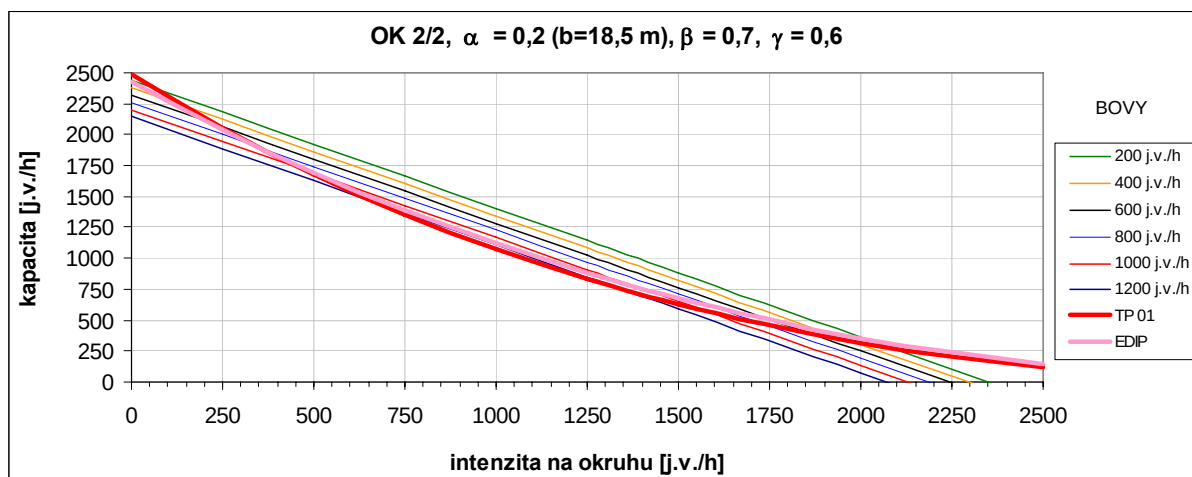
Obrázok 5.21 Základná kapacita vjazdu OK 2/2 podľa TP 01/2006 a podľa BOVY pre rôzne α (intenzita na výjazde $M_a = 500$ j.v./h, $\beta = 0,7$, $\gamma = 0,7$)



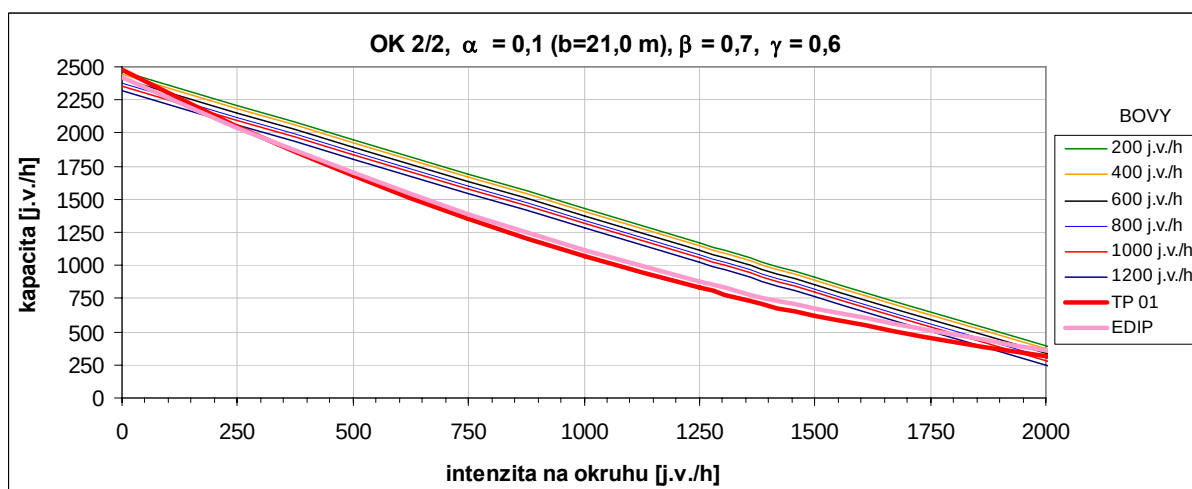
Obrázok 5.22 Základná kapacita vjazdu OK 2/2 podľa TP 01/2006 a podľa BOVY pre rôzne hodnoty intenzity na výjazde M_a ($\alpha=0,6$, $\beta=0,7$, $\gamma=0,6$)



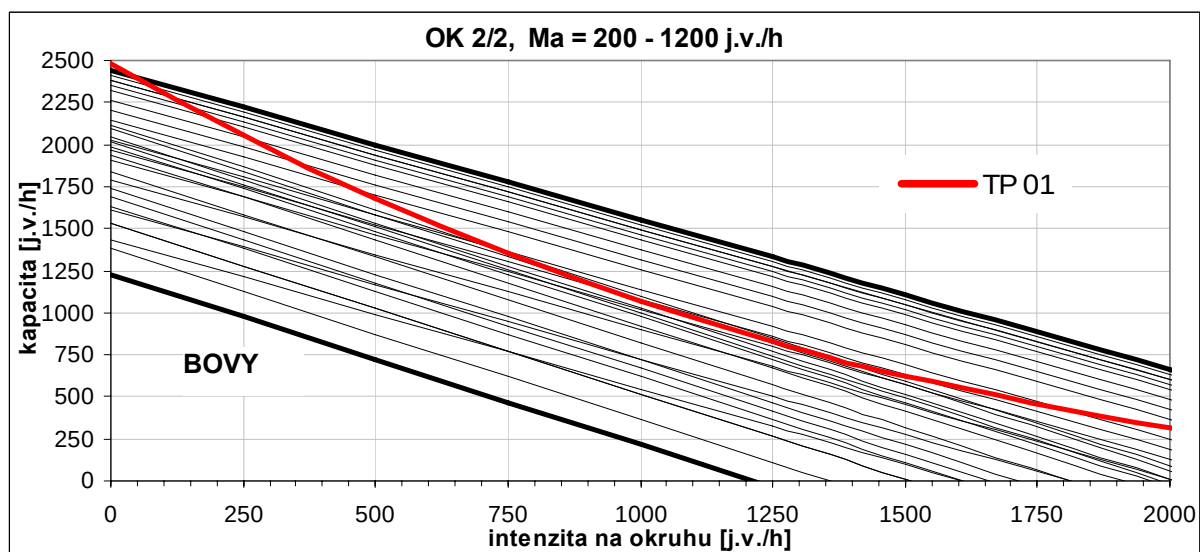
Obrázok 5.23 Základná kapacita vjazdu OK 2/2 podľa TP 01/2006 a podľa BOVY pre rôzne hodnoty intenzity na výjazde M_a ($\alpha=0,4$, $\beta=0,7$, $\gamma=0,6$)



Obrázok 5.24 Základná kapacita vjazdu OK 2/2 podľa TP 01/2006 a podľa BOVY pre rôzne hodnoty intenzity na výjazde M_a ($\alpha=0,2$, $\beta=0,7$, $\gamma=0,6$)



Obrázok 5.25 Základná kapacita vjazdu OK 2/2 podľa TP 01/2006 a podľa BOVY pre rôzne hodnoty intenzity na výjazde M_a ($\alpha=0,1$, $\beta=0,7$, $\gamma=0,6$)



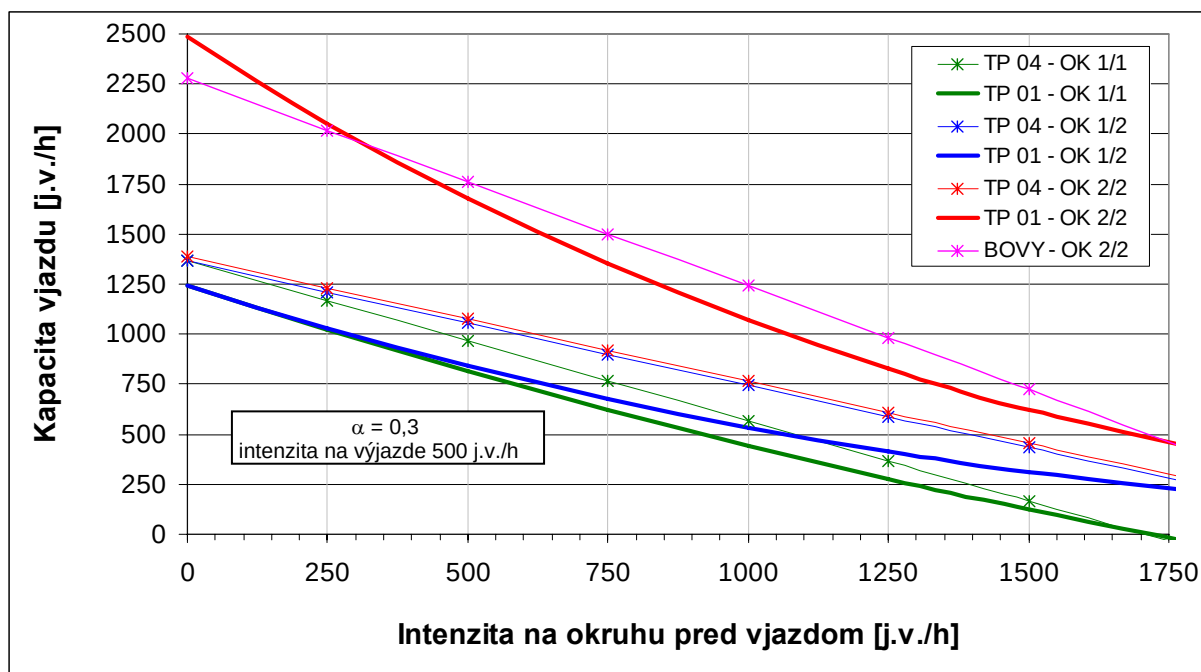
Obrázok 5.26 Základná kapacita vjazdu OK2/2 podľa TP 01/2006 a podľa BOVY pre rôzne α , β , γ a M_a

Uvedené grafické závislosti kapacity vjazdu križovatky s dvojpruhovým vjazdom a s dvoma pruhmi na okruhu OK 2/2 vypočítanej podľa BOVY preukázali vplyv vzdialenosti kolíznych bodov b a intenzity vozidiel na výjazde M_a na vypočítanú hodnotu kapacity vjazdu obdobne, ako to bolo v prípade okružnej križovatky OK 1/1. Tento vplyv sa preukázal na rozsahu vypočítanej kapacity vo vyššej miere. Rozdiel vypočítaných kapacít podľa BOVY a TP 01/2006 sa pohybuje v rozmedzí približne ± 500 j.v./h (obrázok 5.26).

V prípade okružných križovatiek s dvoma pruhmi na okruhu a dvojpruhovým vjazdom OK 2/2 nový návrh metodiky v ČR podľa [11] nezahrňuje vplyv geometrie križovatky na výslednú hodnotu základnej kapacity (vzdialenosť kolíznych bodov b a veľkosť polomeru na vjazde R). Z grafického priebehu vyplýva, že vypočítané hodnoty základnej kapacity sú o málo väčšie ako vypočítané hodnoty podľa TP 01/2006 (rozdiel je v nominálnej hodnote okolo 50 j.v./h).

Na obrázku 5.27 je na porovnanie súhrnne znázornený priebeh základnej kapacity vjazdu pre všetky skúmané typy okružných križovatiek (OK 1/1, OK 1/2, OK 2/2) a to podľa TP 04/2004 (prípadne podľa BOVY) a podľa TP 01/2006. Z dôvodu možnosti zrovnania boli pre OK stanovené konštantné podmienky ($\alpha=0,3$, $M_a = 500$ j.v./h, $\beta=0,9$ pre OK 1/1, $\beta=0,7$ pre OK 1/2 a OK 2/2, $\gamma=0,6$ pre OK 2/2).

Z výsledkov vyplýva, že vypočítaná kapacita vjazdu križovatky OK 1/2 v porovnaní s OK 1/1 je vyššia a to v závislosti od intenzity na okruhu a pohybuje sa až do výšky cca 100 j.v./h - 200 j.v./h, čo predstavuje zvýšenie kapacity o 25 % – 50 %. Podstatne výraznejšie zvýšenie kapacity križovatky je v prípade porovnania OK 2/2 s OK 1/1 a to v závislosti od intenzity na okruhu. Rozdiel sa pohybuje až do výšky cca 600 j.v./h - 900 j.v./h, čo predstavuje zvýšenie vypočítanej kapacity až o 80 % – 100 %. Rozdiel vypočítanej kapacity vjazdu križovatky OK 2/2 v porovnaní s OK 1/2 sa pohybuje v závislosti od intenzity na okruhu až do výšky cca 500 j.v./h - 800 j.v./h. Zvýšenie vypočítanej kapacity OK 2/2 v porovnaní s OK 1/2 podľa BOVY (1991) predstavuje okolo 70 % a podľa TP 01/2006 až 100%.



Obrázok 5.27 Porovnanie základnej kapacity vjazdu vypočítanej podľa TP 01/2006 a podľa TP 04/2004

6 POROVNANIE VÝSLEDKOV POSÚDENIA PODĽA TP S MIKROSIMULÁCIOU

Na základe analýzy dosiahnutých výsledkov v kapitole 5 možno konštatovať, že vypočítaná hodnota kapacity vjazdu okružnej križovatky závisí od toho, ktorý výpočet z našich dvoch platných technických predpisov použijeme. Rozdiel vo vypočítanej kapacite je potom závislý od konkrétnych podmienok dopravného zaťaženia a geometrie navrhutej okružnej križovatky a v konečnom dôsledku môže mať vplyv na výsledok posúdenia výkonnosti OK. Tento vplyv sa preukáže predovšetkým v prípadoch, ak jedno z posúdení je na hranici výkonnosti OK, t.j. vypočítaná rezerva kapacity je nulová (stupeň nasýtenia je rovný 1,0), a teda stanovená funkčná úroveň je F.

V tabuľke 4.2 je uvedený priemerný rozsah rezervy kapacity vjazdu, ktorý odpovedá danej funkčnej úrovni A až F. Na základe týchto rozsahov je možné poukázať na fakt, že ak napríklad najviac zaťažený vjazd do okružnej križovatky podľa jedného TP bude vyhovovať funkčnej úrovni C (rezerva kapacity sa pohybuje v rozmedzí 115 j.v./h - 169 j.v./h), podľa druhého TP môže byť križovatka už preťažená (stupeň nasýtenia je rovný 1,0) - funkčná úroveň F. Rozdiel v posúdení môže byť pri určitých podmienkach zaťaženia alebo type OK ešte výraznejší.

Z tohto dôvodu sa konkrétne navrhli okružné križovatky zaťažené konkrétnym dopravným zaťažením, ktoré bolo na hranici vypočítanej kapacity vjazdu podľa niektorého z technických predpisov a porovnané bolo s výsledkami mikrosimulácie.

6.1 Posúdenie výkonnosti okružných križovatiek pomocou mikroskopického modelovania

Jedným z možných riešení na rozhodnutie, ktoré treba z posúdení kapacity okružných križovatiek brať do úvahy, je využitie mikrosimulácie. Mikroskopické modelovanie však nie je platným a rozhodujúcim spôsobom pre posúdenie. Môže nám však priblížiť skutočný priebeh dopravy na okružnej križovatke, a tak uľahčiť ten správny výber tej, ktorej metódy posúdenia kapacity. Z tohto dôvodu bola vyhotovená mikrosimulácia pre vybrané typy okružných križovatiek s využitím softvéru PTV VISSIM.

Program VISSIM je súčasťou programového balíka určeného na modelovanie dopravy PTV VISION. Jedná sa o mikroskopický, univerzálne nasaditeľný simulačný nástroj, ktorý zohľadňuje ľudské správanie. Služi na modelovanie dopravy, jednak na vizuálne priblíženie správania sa dopravného prúdu na cestných komunikáciách, križovatkách (neriadené alebo riadené svetelnou signalizáciou) a zároveň nám umožňuje, na základe jeho výstupov, posúdiť vhodnosť použitia navrhovanej okružnej križovatky. Výstupy z programu môžu byť rôzne. Najčastejšie používané pri modelovaní dopravy na križovatkách sú tvorba kolón – dĺžky kolón na vjazdoch (maximálne kolóny, priemerné kolóny, počet stojacich vozidiel), zdržania (časy čakania na vjazde pred križovatkou).

Samotné modelovanie a konečný vzhlľad mikrosimulácie závisí na konkrétnych vstupných údajoch (geometrické usporiadanie križovatky, dopravné zaťaženie, usmernenie alebo obmedzenie dopravy dopravnými značkami, zloženie dopravného prúdu, intravilánové alebo extravilánové umiestnenie križovatky), ktoré musíme poznať pred samotným začatím modelovania.

Výhodou posúdenia výkonnosti okružných križovatiek pomocou programového modelovania spočíva hlavne v jeho použití pre akúkoľvek križovátku. Možno je tak posúdiť alebo porovnať výkonnosť turbo-okružnej križovatky, čo zatiaľ nie je možné podľa kapacitných výpočtov uvedených v technických predpisoch SR.

Pre porovnanie výsledkov posúdenia podľa platných TP v SR s mikrosimuláciou sa zvolili dva typy okružných križovatiek:

- OK s jednopruhovým vjazdom a jedným pruhom na okruhu - OK 1/1 (obrázok 6.1),
- OK s dvojpruhovým vjazdom a dvoma pruhmi na okruhu - OK 2/2 (obrázok 6.2).

Pre každý typ okružnej križovatky sa zvolili ich základné geometrické parametre podľa požiadaviek [1] a [2].

Vonkajší priemer navrhutej OK 1/1 je 30 m, jazdné pruhy na vjazde a výjazde majú šírku 5,5 m, jazdný pruh na okruhu má šírku 6,5 m, súčasťou stredového ostrovčeka je aj prstenec šírky 2,5 m, vjazdový polomer je 10 m a výjazdový polomer je 15 m. Navrhnutá okružná križovatka OK 1/1 je znázornená na obrázku 6.1.

Technical drawing of a roundabout (Vjezd) with four approaches (Vjazd 1, Vjazd 2, Vjazd 3, Vjazd 4). The central island has a diameter of 2500. The outer diameter of the roundabout is 30000. The approaches are separated by concrete barriers with dimensions 5500, 3000, and 6500. The drawing also shows the radii of the approach curves: R=15000 and R=10000.

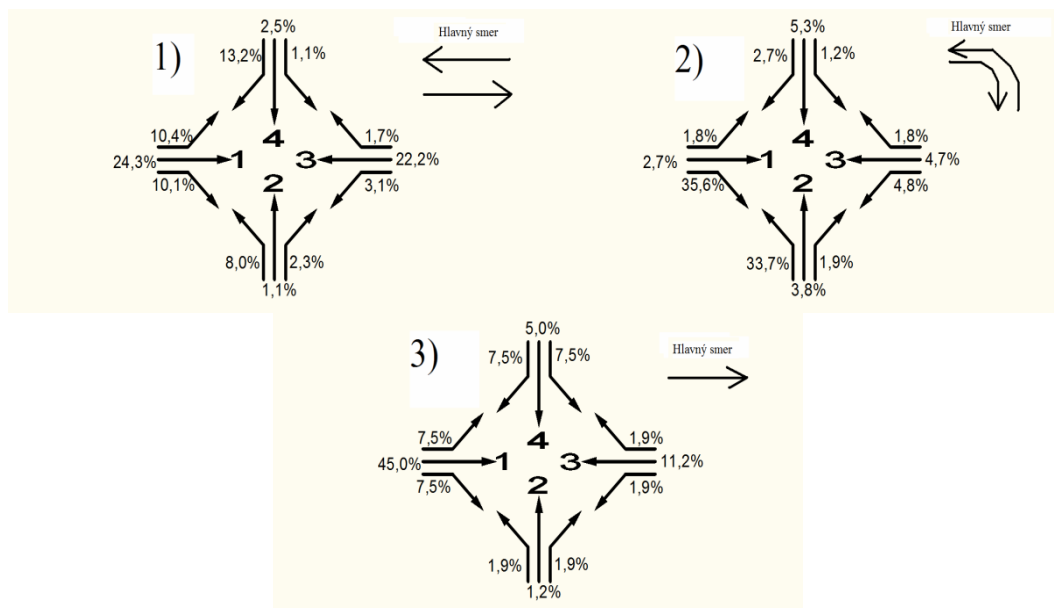
Uvedené okružné križovatky boli v rámci spracovania [10] zaťažené rôznymi dopravnými scenármi - s rôznou veľkosťou dopravného zaťaženia a smerovania dopravy. Pre samotnú prezentáciu boli vybrané tri reprezentatívne smerovania dopravy cez okružnú križovatku uvedené v tabuľke 6.1 a na obrázku 6.3, ktoré boli zvolené podľa ich výskytu v praxi, prípadne podľa niektorých štúdií

vytvorených na porovnanie OK [6]. K týmto smerovaniam dopravy bolo priradené dopravné zaťaženie tak, aby okružná križovatka bola na hranici svojej výkonnosti, t.j. podľa niektorej metódy posudzovania kapacity OK podľa platných TP v SR bola vypočítaná nulová rezerva kapacity. Toto umožnilo sledovať vplyv metódy posúdenia OK na jej výslednú kapacitu, resp. posúdenie kapacity.

Tabuľka 6.1 Dopravné scenáre a k nim príslušný celkový počet vstupujúcich vozidiel do križovatky [10]

Scenár	Celkový počet vstupujúcich vozidiel do križovatky [j.v./h]		
	Smerovanie dopravy 1	Smerovanie dopravy 2	Smerovanie dopravy 3
1	2445	2480	1707
2	2840	2954	2119
3	4194	4254	2970

Smerovanie dopravy 1 je charakteristické výraznou intenzitou dopravy v priamom smere (smer 1-3, 3-1) a nižšou intenzitou dopravy vo vedľajšom smere (smer 2-4, 4-2) (obrázok 6.3). Intenzita dopravy pri smerovaní 2 je väčšia v hlavnom smere (smer 1-2, 2-1) oproti vedľajším smerom (silné pravé odbočenie z vjazdu 1 a silné ľavé odbočenie z vjazdu 2) (obrázok 6.3). Pri smerovaní dopravy 3 je najväčšia intenzita dopravy v jednom hlavnom smere (smer 1-2) (obrázok 6.3).



Obrázok 6.3 Smerovanie dopravy 1, 2, 3 na okružných križovatkách [10]

6.2 Posúdenie kapacity jednoruhovej okružnej križovatky - OK 1/1

Kapacita navrhutej okružnej križovatky s jednoruhovým vjazdom a jedným pruhom na okruhu OK1/1 bola vypočítaná pre jednotlivé smerovania dopravy a k nim definované dopravné zaťaženie. Dopravné zaťaženie bolo nastavené tak, aby sa zistilo, či vypočítaná kapacita okružnej križovatky je rovnaká alebo odlišná vzhľadom na metodiku výpočtu podľa TP 04/2004 a TP 01/2006, prípadne, ktorý zo spôsobov posúdenia je nepriaznivejší z pohľadu kapacity. V nasledujúcej tabuľke 6.2 je uvedený počet vozidiel v jednotkových vozidlách za hodinu pre jednotlivé vjazdy $M_{e,i}$ [j.v./h], počet vozidiel na okruhu pred posudzovaným vjazdom M_o [j.v./h] a počet vozidiel na výjazde pred posudzovaným vjazdom M_a [j.v./h]. Celkový počet vstupujúcich vozidiel do križovatky je uvedený v tabuľke 6.1 a to pre jednotlivé smerovania dopravy – **Scenár 1**.

Tabuľka 6.2 Dopravné zaťaženie na posúdenie OK 1/1 pre rôzne smerovania dopravy, Scenár 1 [10]

Smerovanie dopravy na okružnej križovatke	Vjazd	Intenzita na okruhu M_o [j.v./h]	Intenzita na výjazde M_a [j.v./h]	Intenzita na vjazde M_e [j.v./h]
	1	164	1061	1095
	2	875	384	279
	3	477	677	660
	4	814	323	411
	1	280	1019	994
	2	141	1133	977
	3	975	144	280
	4	1071	184	228
	1	246	352	1024
	2	1024	246	85
	3	181	929	256
	4	256	181	341

Kapacita vjazdu podľa TP 04/2004 je počítaná podľa vzťahu (4.1) a podľa TP 01/2006 je počítaná podľa vzťahu (4.3). Rezerva kapacity RK je vypočítaná podľa (4.11) a priemerný čas čakania t_c je stanovený na základe grafu na obrázku 4.3.

Do výpočtu kapacity navrhovanej okružnej križovatky OK 1/1 podľa TP 04/2004 vstupujú koeficienty α a β , ktorých hodnoty sú stanovené podľa geometrických parametrov križovatky:

$\alpha = 0,23$ – pre všetky vjazdy,

$\beta = 1,0$ – pre všetky vjazdy.

Z geometrického usporiadania okružnej križovatky OK 1/1 vyplýva počet jazdných pruhov na vjazdoch $n_z=1$ a počet pruhov na okruhu $n_k=1$ potrebných pre výpočet kapacity podľa TP 01/2006.

Tabuľka 6.3 Posúdenie OK 1/1 podľa TP 04/2004 a TP 01/2006 [10]

Smerovanie dopravy na OK 1/1	Číslo vjazdu	TP 04/2004				TP 01/2006			
		$K_{max,e}$ [j.v./h]	RK^* [j.v./h]	t_c^* [s]	Funkčná úroveň	K_z [j.v./h]	RK^* [j.v./h]	t_c^* [s]	Funkčná úroveň
	1	1142	47	48	E	1095	0	>60	F
	2	645	366	10	A	531	253	14	B
	3	941	281	12,5	B	833	173	20,5	C
	4	712	301	11,5	B	576	165	21	C
	1	1047	53	48	E	995	0	>60	F
	2	1148	171	18	B	1115	138	23,5	C
	3	605	325	11	B	462	181	19,5	B
	4	511	283	12,5	B	395	167	21	C

3		1	1211	187	17	B	1024	0	>60	F
		2	540	455	<10	A	427	342	10	A
		3	1153	897	<10	A	1080	824	<10	A
		4	1236	895	<10	A	1015	674	<10	A

Z výpočtov vyplýva, že kapacita a rezerva kapacity okružnej križovatky OK 1/1, vypočítaná podľa dvoch technických predpisov SR, nie je rovnaká. Z toho vyplýva, že vo všetkých prípadoch smerovania dopravy **1-3** vyšlo posúdenie výkonnosti OK 1/1 podľa TP 01/2006 ako nepriaznivejšie (rezerva kapacity je nulová). Najzaťaženejší vjazd je vo všetkých prípadoch smerovania dopravy *vjazd 1*.

Podľa TP 04/2004 vyšiel vjazd *1* tiež ako najzaťaženejší pri všetkých smerovaniach dopravy **1-3**, ale s vyššou rezervou kapacity. Pri smerovaniach **1** a **2** bola rezerva kapacity vypočítaná podľa TP 04/2004 na vjazde *1* len o málo vyššia oproti vypočítanej rezerve kapacity podľa TP 01/2006 (50 j.v./h), ale pri smerovaní dopravy **3** bol tento rozdiel značnejší (180 j.v./h). Teda podľa TP 04/2004 patrí *vjazd 1* pri smerovaní dopravy **3** do funkčnej úrovne B.

Pri ostatných vjazdoch možno tiež pozorovať rozdiely medzi rezervami kapacít vypočítaných podľa rozdielnych technických predpisov, ktoré však nepredstavujú značný rozdiel (odlišujú sa len o jeden stupeň funkčnej úrovne napriek tomu, že v niektorých prípadoch je rozdiel kapacít viac ako 100 j.v./h - 150 j.v./h).

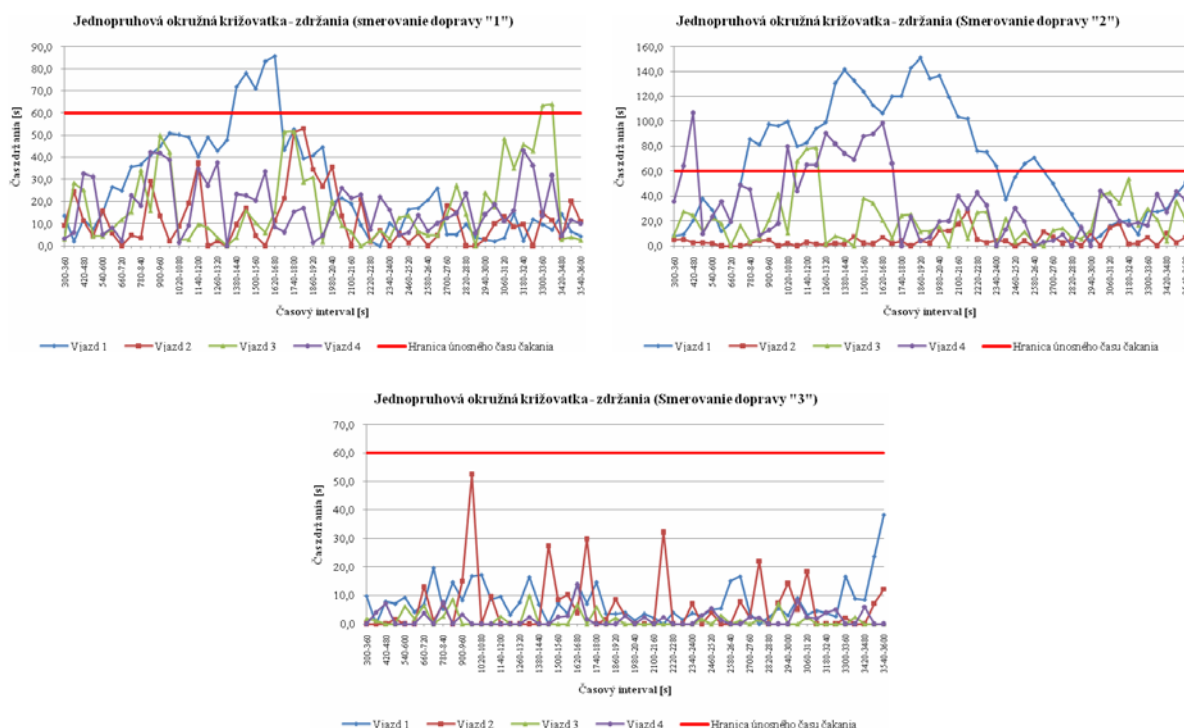
Kapacita najzaťaženejšieho *vjazdu 1* pri smerovaní dopravy **1** a **2** je podľa TP 01/2006 nižšia približne o 5 % v porovnaní s vypočítanou kapacitou podľa TP 04/2004 a pri smerovaní **3** je nižšia takmer o 15 %.

Určiť, ktorý z použitých technických predpisov je vhodnejší na posúdenie danej okružnej križovatky OK1/1 pri rôznych smerovaniach dopravy, nie je také jednoznačné. Obidva spôsoby posúdenia sa zhodli na najzaťaženejšom vjazde a tým je *vjazd 1* pri všetkých smerovaniach dopravy. Takýto výsledok posúdenia je možné dosiahnuť pri križovatkách OK 1/1, kde je dostatočne veľká vzdialenosť medzi kolíznymi bodmi *b* (*b* viac ako 17,0 m), čo potvrdzujú aj grafické závislosti na obrázku 5.6 a 5.7. V takomto prípade je možné konštatovať, že posúdenie kapacity okružnej križovatky OK 1/1 podľa TP 01/2006 je prísnejšie.

Opačný rozdiel v posúdení môže nastať v prípade križovatiek s malými polomerami a malými vzdialenosťami *b* (α je v rozmedzí 0,4 až 0,6), kedy je v priamom smere veľké dopravné zaťaženie (smerovanie **1**). V takýchto prípadoch je rezerva kapacity vypočítaná podľa TP 04/2004 menšia ako v prípade TP 01/2006 (obrázok 5.4 a 5.5), a teda je v takýchto prípadoch prísnejšia.

Na porovnanie výsledkov posúdenia bolo namodelované dopravné zaťaženie navrhovanej križovatky OK 1/1 vo VISSIME podľa tabuľky 6.2 a to podľa jednotlivých smerovaní dopravy **1-3**.

Celkový počet vstupujúcich vozidiel do križovatky určuje *Scenár 1* (tabuľka 6.1). Na hodnotenie pohybu dopravného prúdu na okružných križovatkách boli ako výsledky využívané *zdržania* v 60 s intervaloch, ktoré boli následne porovnané s určenými zdržaniami podľa jednotlivých technických predpisov. Výsledky mikrosimulácie sú znázornené na obrázku 6.4.



Obrázok 6.4 Pribeh zdržania na OK 1/1 pri smerovaní dopravy 1, 2, 3 – Scenár 1 [10]

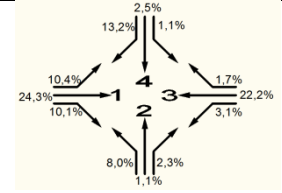
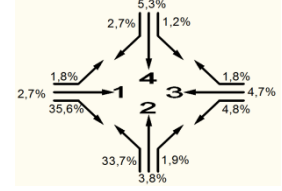
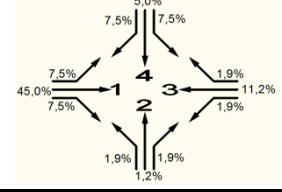
Výsledky z mikrosimulácie sa pri smerovaní dopravy **1** a **2** prikláňajú na stranu kapacitného posúdenia navrhutej OK 1/1 podľa **TP 01/2006**. V týchto dvoch prípadoch bola prekročená hranica únosného času čakania. Posúdenie podľa TP 04/2004 však bolo pre kritický vjazd vzhľadom na vysoké intenzity na výjazde hodnotené funkčnou úrovňou E, čo nie je veľký rozdiel v hodnotení.

V prípade smerovania dopravy **3** sa mikrosimulácia zhodla vo výsledkoch s kapacitným posúdením podľa **TP 04/2004**, t.j. hranica únosného času čakania 60 s nebola prekročená ani na jednom vjazde. Posúdenie kapacity podľa TP 04/2004 sa v tomto prípade mikrosimuláciou potvrdilo ako opodstatnenejšie a posúdenie podľa TP 01/2006 príliš prísne. Potvrdil sa vplyv počtu vozidiel na výjazde M_a (v tomto prípade nižší), ktorý v TP 01/2006 v porovnaní s TP 04/2004 nie je uvažovaný.

6.3 Posúdenie kapacity dvojpruhovej okružnej križovatky - OK 2/2

Posúdenie výkonnosti okružnej križovatky s dvojpruhovým vjazdom a dvoma pruhmi na okruhu OK 2/2 sa vykonali pri rovnakých podmienkach smerovania dopravy ako pri OK 1/1, pričom dopravné zaťaženie sa namodelovali s rovnakým cieľom ako pri jednopruhovej okružnej križovatke, ale s väčšou intenzitou dopravy (tabuľka 6.4). Celkový počet vstupujúcich vozidiel do križovatky je uvedený v tabuľke 6.1 a to pre jednotlivé smerovania dopravy – **Scenár 2**. Výpočet kapacity vjazdu bolo vykonaný aj podľa metódy BOVY.

Tabuľka 6.4 Dopravné zaťaženie na posúdenie OK 2/2 pre rôzne smerovania dopravy, Scenár 2 [10]

Smerovanie dopravy na okružnej križovatke	Vjazd	Intenzita na okruhu M_o [j.v./h]	Intenzita na výjazde M_a [j.v./h]	Intenzita na vjazde M_e [j.v./h]
	1	190	1233	1272
	2	1017	446	324
	3	554	787	767
	4	946	375	477
	1	334	1214	1185
	2	168	1350	1164
	3	1161	171	334
	4	1276	219	272
	1	305	437	1271
	2	1271	305	106
	3	225	1153	318
	4	318	225	424

Kapacita vjazdu podľa TP 04/2004 je počítaná podľa vzťahu (4.1) a podľa TP 01/2006 je počítaná podľa vzťahu (4.3). Rezerva kapacity RK je vypočítaná podľa (4.11) a priemerný čas čakania t_c je stanovený na základe grafu na obrázku 4.3.

Do výpočtu kapacity navrhovanej okružnej križovatky OK 2/2 podľa TP 04/2004 a podľa BOVY vstupujú koeficienty α a β , ktorých hodnoty sú stanovené podľa geometrických parametrov križovatky:

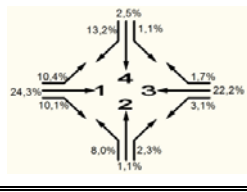
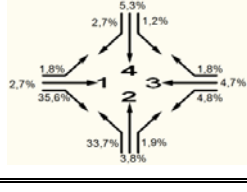
$\alpha = 0,1$ – pre všetky vjazdy,

$\beta = 0,7$ – pre všetky vjazdy,

$\gamma = 0,6$ – pre všetky vjazdy (vstupuje len do posúdenia kapacity vjazdu podľa BOVY).

Z geometrického usporiadania okružnej križovatky OK 2/2 vyplýva počet jazdných pruhov na vjazdoch $n_z=2$ a počet pruhov na okruhu $n_k=2$ potrebných pre výpočet kapacity podľa TP 01/2006.

Tabuľka 6.5 Posúdenie OK 2/2 podľa TP 04/2004, TP 01/2006 a BOVY, Scenár 3 [10]

Smerovanie dopravy na okružnej križovatke	Vjazd	TP 04/2004				BOVY				TP 01/2006			
		$K_{max,e}$ [j.v./h]	RK [j.v./h]	t_c [s]	FÚ	$K_{max,e}$ [j.v./h]	RK [j.v./h]	t_c [s]	FÚ	K_z [j.v./h]	RK [j.v./h]	t_c [s]	FÚ
	1	1272	0	>60	F	2120	848	<10	A	2151	879	<10	A
	2	828	504	<10	A	1380	1056	<10	A	1052	728	<10	A
	3	1085	319	11	B	1809	1042	<10	A	1604	837	<10	A
	4	878	401	8,5	A	1464	987	<10	A	1127	650	<10	A
	1	1184	0	>60	F	1974	789	<10	A	1922	738	<10	A
	2	1275	111	27	C	2125	962	<10	A	2188	1024	<10	A
	3	762	429	8	A	1271	937	<10	A	910	576	<10	A
	4	687	415	8	A	1144	872	<10	A	805	533	<10	A

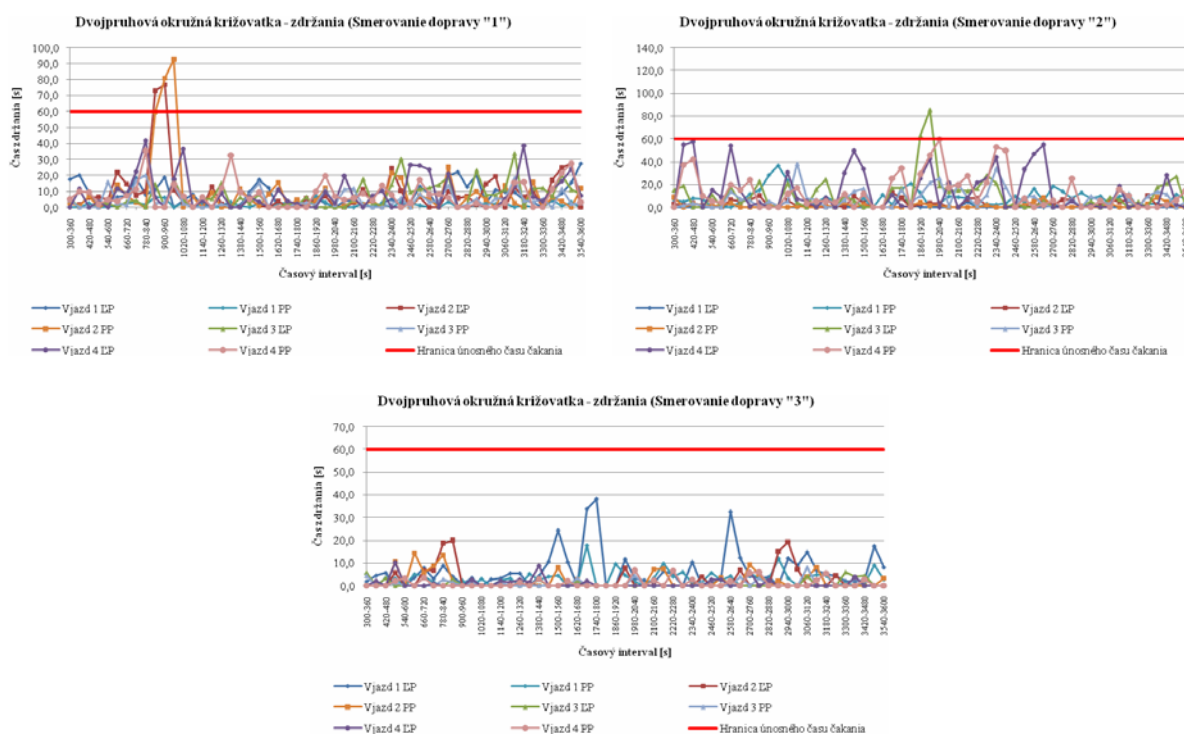
3		1	1271	0	>60	F	2119	847	<10	A	1967	695	<10	A
		2	682	576	<10	A	1136	1030	<10	A	809	703	<10	A
		3	1258	940	<10	A	2096	1778	<10	A	2095	1777	<10	A
		4	1282	858	<10	A	2137	1713	<10	A	1947	1523	<10	A

V predchádzajúcej tabuľke možno názorne vidieť, že kapacita okružnej križovatky OK 2/2 určená podľa TP 04/2004 je oveľa nižšia (okolo 40%) ako kapacita vypočítaná podľa TP 01/2006 alebo podľa BOVY (tabuľka 6.5), takže aj rezerva kapacity je výrazne nižšia. Je to z dôvodu nezohľadnenia počtu pruhov na vjazdoch okružnej križovatky pri výpočte kapacity podľa TP 04/2004 (koeficient γ).

Pri daných smerovaniach dopravy a príslušných dopravných zaťaženiach vychádza nulová rezerva kapacity na vjazde 1 vo všetkých prípadoch podľa TP 04/2004, a teda je hodnotená funkčnou úrovňou F.

Tak ako OK 1/1, tak aj OK 2/2 bola namodelovaná v programe VISSIM a vyhotovená mikrosimulácia, ktorá bola porovnaná s výsledkami z posúdení podľa technických predpisov SR.

V prípade OK 2/2 bolo namodelované dopravné zaťaženie podľa tabuľky 6.4 a to podľa jednotlivých smerovaní dopravy 1-3. Celkový počet vstupujúcich vozidiel do križovatky určuje *Scenár 2* (tabuľka 6.1). Výsledky mikrosimulácie sú znázornené na obrázku 6.5.



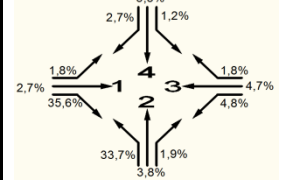
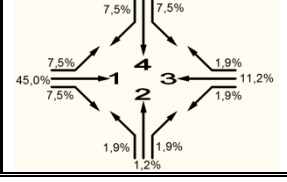
Obrázok 6.5 Priebeh zdržania na OK 2/2 pri smerovaní dopravy 1, 2, 3 – Scenár 2 [10]

Pri tomto scenári dopravného zaťaženia (*Scenár 2* – tabuľka 6.4) na križovatke OK 2/2 výsledky z mikrosimulácie (obrázok 6.5) potvrdili výsledky kapacitných posúdení podľa TP 01/2006 a podľa BOVY. Vo všetkých prípadoch smerovania dopravy nedosahujú zdržania na jednotlivých vjazdoch hranicu 60 s, až na niektoré ojedinelé výchyly. Z tejto skutočnosti vyplýva, že okružná križovatka s dvojpruhovým vjazdom OK 2/2 je schopná prepustiť väčšie množstvo vozidiel, ako je vypočítané podľa TP 04/2004. Posúdenie kapacity dvojpruhovej okružnej križovatky OK 2/2 podľa TP 04/2004 je teda veľmi prísne a je nevhodné ho používať pri takejto križovatke, resp. pri výpočte je potrebné použiť koeficient γ .

K priblíženiu kapacitných možností dvojpruhovej okružnej križovatky OK 2/2 je v ďalšom uvažované väčšie dopravné zaťaženie križovatky oproti predošlému (tabuľka 6.6). V tomto prípade je však posúdenie výkonnosti, teda vypočítanie kapacity okružnej križovatky, určené podľa TP 01/2006 a podľa metódy BOVY, ktorá zohľadňuje koeficient γ .

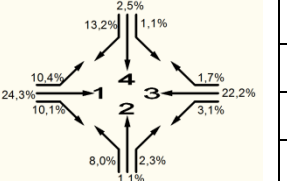
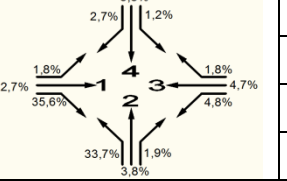
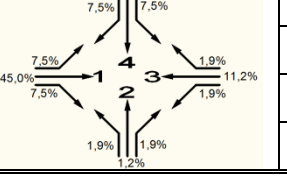
Celkový počet vstupujúcich vozidiel do križovatky (*Scenár 3* – tabuľka 6.1) sa nastavil tak, aby sa zistilo, ktoré z posúdení kapacity okružnej križovatky, posúdenie podľa BOVY alebo posúdenie podľa TP 01/2006, dosiahne prvé rezervu kapacity 0 [j.v./h], t.j. funkčnú úroveň *F*.

Tabuľka 6.6 Dopravné zaťaženie na posúdenie OK 2/2 pre rôzne smerovania dopravy, *Scenár 3* [10]

Smerovanie dopravy na okružnej križovatke	Vjazd	Intenzita na okruhu M_o [j.v./h]	Intenzita na výjazde M_a [j.v./h]	Intenzita na vjazde M_e [j.v./h]
	1	281	1820	1879
	2	1501	658	478
	3	818	1162	1132
	4	1397	554	705
	1	481	1748	1706
	2	242	1944	1676
	3	1672	247	481
	4	1838	315	391
	1	428	612	1782
	2	1782	428	149
	3	315	1616	446
	4	446	315	594

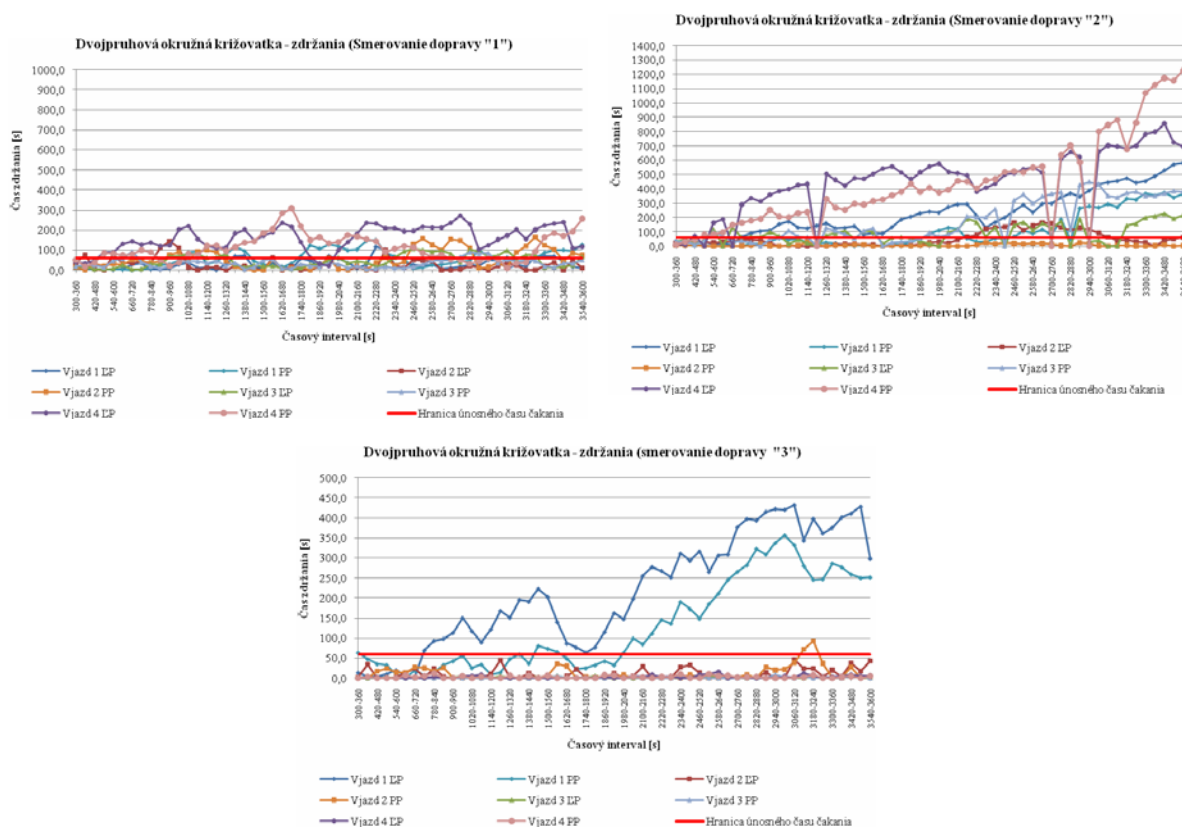
Koeficient γ vstupujúci do vzťahu (4.3) bol uvažovaný hodnotou 0,6. Ostatné koeficienty boli rovnaké ako v predchádzajúcom posúdení dvojpruhovej okružnej križovatky OK 2/2.

Tabuľka 6.7 Posúdenie OK 2/2 podľa TP 04/2004, TP 01/2006 a BOVY [10]

Smerovanie dopravy na okružnej križovatke	Vjazd	BOVY				TP 01/2006			
		$K_{max,e}$ [j.v./h]	RK [j.v./h]	t_c [s]	Funkčná úroveň	K_z [j.v./h]	RK [j.v./h]	t_c [s]	Funkčná úroveň
	1	1939	60	45	D	2005	126	24	C
	2	845	367	10	A	624	145	22	C
	3	1480	347	9	A	1270	138	24	C
	4	970	265	13	B	704	0	>60	F
	1	1742	37	50	E	1705	0	>60	F
	2	1961	284	12	B	2066	390	9	A
	3	730	249	14	B	505	24	>60	E
	4	548	156	22	C	404	12	>60	E
	1	1966	184	20	B	1782	0	>60	F
	2	589	440	<10	A	436	288	12	B
	3	1934	1489	<10	A	1952	1506	<10	A
	4	1991	1397	<10	A	1756	1162	<10	A

Celkové dopravné zaťaženie podľa *Scenára 3* na vjazdoch OK 2/2 bolo v tomto prípade pri smerovaní dopravy **1** vyššie o 47,7 % oproti predošlému *Scenáru 2*, pri smerovaní dopravy **2** vyššie o 44,0 % a pri smerovaní dopravy **3** vyššie o 40 %. Napriek tomu pri posúdení kapacity podľa BOVY nevyšla ani na jednom vjazde rezerva kapacity 0 [j.v./h]. Naopak, pri posúdení kapacity podľa TP 01/2006 sa dospelo k výsledku nulovej rezervy kapacity (funkčná úroveň **F**) vo všetkých prípadoch smerovania dopravy, a to v prípade smerovania dopravy **1** na *vjazde 4*, v prípade smerovania dopravy **2** a **3** na *vjazde 1* (tabuľka 6.7). Pri posúdení kapacity podľa BOVY bola hodnotená kapacita kritických vjazdov funkčnou úrovňou **B**, najhoršia funkčná úroveň bola stanovená **E**, a to v prípade smerovania dopravy **2** na *vjazde 1* (tabuľka 6.7).

Dopravné zaťaženie (tabuľka 6.6) bolo taktiež namodelované na dvojpruhovú okružnú križovátku v programe VISSIM a výsledky boli skonfrontované s výsledkami z posúdenia OK 2/2 podľa TP 01/2006 a BOVY.



Obrázok 6.6 Priebeh zdržania na OK 2/2 pri smerovaní dopravy **1, 2, 3** – Scenár 3 [10]

Celkové dopravné zaťaženie križovatky OK 2/2 použité v *Scenári 3* je podľa mikrosimulácie veľmi veľké pri všetkých smerovaniach dopravy. Nasvedčujú tomu zdržania nad hranicu 60 s. Mikrosimulácia sa teda prikláňa v tomto prípade na stranu posúdenia kapacity podľa **TP 01/2006**.

7 ZÁVERY A ODPORÚČANIA

V rámci spracovania rozborovej úlohy bol uvedený vplyv niektorých vstupných faktorov a parametrov na kapacitný výpočet a posúdenie malých okružných križovatiek a to podľa dvoch odlišných metód výpočtu uvedených v technických podmienkach SR - TP 04/2004 a TP 01/2006. Okrem toho bolo porovnané posúdenie výkonnosti vybraných typov okružných križovatiek pri konkrétnych podmienkach dopravného zaťaženia podľa týchto predpisov s mikrosimuláciou. Na základe analýzy dosiahnutých výsledkov nie je v tejto fáze možné jednoznačne určiť, ktorá z týchto dvoch metód lepšie vystihuje skutočnú kapacitu vjazdu okružných križovatiek v našich podmienkach. K tomu je nevyhnutné vykonať experimentálne merania priamo v teréne v reálnych podmienkach SR a na základe získaných údajov nastaviť aj hodnoty, prípadne závislosti pre vstupné parametre pre konkrétny typ OK s jej geometrickým usporiadaním a dopravné zaťaženie na ploche križovatky. Na základe analýz však možno odporučiť nasledovné:

- je potrebné opraviť vzťah pre výpočet základnej kapacity v TP 01/2006 v zmysle HBS (2001),
- jednoznačne sa nemôže použiť výpočet kapacity pre okružnú križovátku s dvojpruhovým vjazdom a dvojpruhovým okruhom OK 2/2 uvedený v TP 04/2004, minimálne je potrebné do výpočtu zahrnúť vplyv koeficientu γ - opraviť v zmysle metódy BOVY (1991),
- metóda výpočtu kapacity vjazdu podľa TP 01/2006 nezahrňuje vplyv navrhutej geometrie okružnej križovatky (vonkajší priemer D , vzdialenosť kolíznych bodov b , polomer vjazdu R_{vj}), použité časové medzery sú konštantné pre všetky typy okružných križovatiek, čo nevystihuje reálne podmienky predovšetkým v prípade jednopruhových okružných križovatiek na vjazde s jedným pruhom na okruhu OK 1/1,
- metóda výpočtu kapacity vjazdu podľa TP 04/2004 je „citlivejšia“ na geometriu navrhutej okružnej križovatky a tiež na smerovanie a veľkosť dopravného zaťaženia - predovšetkým na intenzitu na výjazde, ktorá má v reálnych podmienkach významný vplyv na kapacitu vjazdu v prípade križovatiek s veľmi malým vonkajším priemerom a veľmi malou vzdialenosťou medzi kolíznymi bodmi vjazdu a výjazdu (koeficient α je v rozmedzí 0,4 až 0,6),
- výpočet kapacity vjazdu a posúdenie podľa TP 04/2004 sa ukazuje vhodné použiť v prípade malých okružných križovatiek:
 - s jednopruhovým vjazdom a jednopruhovým okruhom OK 1/1 s veľmi malým vonkajším priemerom a malou vzdialenosťou medzi kolíznymi bodmi vjazdu a výjazdu (do 15,0 m),
 - s jednopruhovým vjazdom a jednopruhovým okruhom OK 1/1 s väčšou vzdialenosťou medzi kolíznymi bodmi vjazdu a výjazdu (medzi 15,0 m - 21,0 m) a nízkou intenzitou na výjazde.
- výpočet kapacity vjazdu a posúdenie podľa TP 01/2006 sa ukazuje vhodné použiť v prípade malých okružných križovatiek:
 - s dvojpruhovým vjazdom a dvojpruhovým okruhom OK 2/2.
- výpočet kapacity vjazdu a posúdenie je porovnateľné podľa TP 01/2006 alebo TP 04/2004 v prípade malých okružných križovatiek:
 - s jednopruhovým vjazdom a jednopruhovým okruhom OK 1/1 s väčšou vzdialenosťou medzi kolíznymi bodmi vjazdu a výjazdu (medzi 15,0 m - 21,0 m) a vysokou intenzitou na výjazde.

Na základe výsledkov RÚ vzniká potreba spracovania nových TP, ktoré by sa zaoberali výlučne okružnými križovatkami:

- Vzhľadom na to, že sa u nás v súčasnosti používajú obe platné metódy bez overenia ich platnosti v našich podmienkach, je potrebné, aby sa používané metodiky pri spracovaní nových TP pre OK doplnili a prispôbili podmienkam Slovenska.
- V nových TP pre posúdenie OK rozlíšiť, že inak je potrebné pristupovať k posúdeniu jednopruhových a inak k posúdeniu dvojpruhových OK, tak ako to potvrdili výsledky RÚ.

- Využiť poznatky z výskumných úloh, spracovaných v ČR, ktoré je možné aplikovať na naše podmienky, pokiaľ nebude dostatok reálnych podkladov zo Slovenska (resp. umožniť používanie českých TP 135).

V rámci ďalšieho výskumu sa zaoberať:

- rozdielmi v kapacite okružných križovatiek v intraviláne a extraviláne,
- vplyvom chodcov, resp. priechodov pre chodcov na kapacitu OK v intraviláne,
- kapacitou špirálových križovatiek.

V Žiline, február 2010

Ing. Andrea Gavulová, PhD.

8 POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] STN 73 6102 Projektovanie križovatiek na pozemných komunikáciách, 2004
- [2] TP 04/2004 Projektovanie okružných križovatiek na cestných a miestnych komunikáciách, MDPT,SR: 2004
- [3] TP 01/2006 Výpočet kapacít pozemných komunikácií a ich zariadení, MDPT, SR: 2006
- [4] CITYPLAN: Příručka pro navrhování okružních křižovatek. Cityplan spol. s.r.o., Praha 2008
- [5] Fortuijn, L.G.H.: Turbo-kreisverkehre, Entwicklungen und Ergahrungen. Seminar „Aktuelle Themen der Strassenplanung“, January 2007 [Turbo-okružné križovatky, vývoj a skúsenosti. Seminár „Aktuálne témy dopravného plánovania“]
- [6] Engelsman, J.C., Uken, M.: Turbo roundabouts as an alternative to two lane roundabouts. Proceedings of the 26th Southern African Transport Conference (SATC 200). Pretoria, South Africa 2007. ISBN 1-920-01702-X [Turbo-okružné križovatky ako alternatíva dvojpruhových okružných križovatiek. Zborník z 26. dopravnej konferencie Južnej Afriky. Pretória, Južná Afrika 2007]
- [7] V-projekt s.r.o.: TP 135 Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích, 2005
- [8] Brilon, W.: Okružní križovatky v Německu – situační zpráva (německy a česky). Konference „Posuzování kapacity križovatek 2007“, Mariánske Lázně, publikované firmou EDIP (www.edip.cz), 2007
- [9] HBS 2001 – Handbuch zur Bemessung von Strassenverkehrsanlagen, jún 2001 [Príručka pre dimenzovanie dopravných zariadení]
- [10] Jandačka, D.: Posúdenie výkonnosti okružných križovatiek. Diplomová práca 2009 – IKDS-CS – 5. 2009
- [11] Bartoš, L.: Aktualizace výpočtových modelu pre stanovení kapacity okružních křižovatek (1F521/063/120). (www.edip.cz), 01/2009.
- [12] Brilon, W.: Roundabouts: A State of the Art in Germany, National Roundabout Conference 2005, 05/2005 [Okružné križovatky: najmodernejšie v Nemecku, Medzinárodná konferencia o okružných križovatkách]
- [13] Gavulová, A.: Posúdenie kapacity okružných križovatiek podľa technických podmienok SR. Konferencia „Q-2008 KVALITA A ŠTRUKTURÁLNE FONDY“, 2008