# Modely výpočtu kapacity mimoúrovňové křižovatky

Publikováno: 26. 10. 2007

## 1. Metody výpočtů dle zahraničních příruček

Příspěvek navazuje na publikovanou úvodní část (Silniční obzor 11/2004), a jeho hlavním smyslem je prověření vybraných zahraničních výpočtových metodik kapacity kritického místa křižovatky v aplikaci na výsledky přímého pozorování. V našem příkladě se bude jednat o kritickou oblast **připojení rampy**.

Nejdříve uvedeme hlavní zásady výpočtů kapacity podle aktuálních zahraničních německých a amerických metodik na které jsme se již v minulém článku v Silničním obzoru odvolávali. Rovněž jako v předchozím případě je výpočet proveden pro lokalitu MÚK 5. května – Jižní spojka.

## 2. Obecné zásady vybraných metodik

Obecná zásada je jednoznačná a srozumitelná :

**„Principem stanovení kapacity je výpočet adekvátních úrovní kvality provozu-UKD.“**
Následné výpočty tedy obsahují výpočet UKD dle dvou principielních metodik.

### 2a) Německý manuál HBS

Německý manuál HBS, jehož základní dopravně inženýrské charakteristiky (v podobě objemů intenzit) jsou zpracované v číselné i grafické podobě pro standardizovaná typová schémata křižovatek (s ohledem na úrovně kvality dopravy UKD). Uvedený příklad je typ schéma E 1- viz dále. (obr. č. 1)

Kapacita křižovatky je definována pomocí dvou kritických oblastí:

- Přímo v oblasti připojení , max. intenzita dopravního proudů v místě připojení qm
- Nebo v odsazené poloze, na konci připojovacího pruhu, s max.intenzitou proudů v profilu , kde došlo ke sloučení s přímým proudem (za připojením ve směru jízdy qHU.

Základní výpočetní vztah úrovní kvality dopravy (UKD) se odvíjí od vzorce kapacity C:

**a= qb / C**

*kde je : qb - skutečná intenzita, C - kapacita, a – ÚKD*

obr.č.1

qm = qH1 + qe
(kde qe je intenzita vjezdové rampy a qH1 intenzita projíždějící týmž jízdním směrem v pravém jízdním pruhu měřená před vjezdem).

qH1.... intenzita průběžného pravého jízdního pruhu (měřená před vjezdem)
qe ..... vjezdová intenzita připojujících se vozidel (intenzita rampy)
qm ..... rozhodující max. intenzita na vjezdu v místě připojení
qHU....intenzita všech průběžných jízdních pruhů měřená za místem připojení (po směru jízdy).

Manuál stanoví následující tabulku přípustné vjezdové intenzity (kapacity) pro úrovně kvality ve stupních A – F.

| LOS | Přípustná vjezdová intenzita | intenzita snížená hodnota |
|---|---|---|
| A | ≤660 | ≤600 |
| B | ≤1210 | ≤1100 |
| C | ≤1650 | ≤1500 |
| D | ≤1980 | ≤1800 |
| E | ≤2200 | ≤2000 |
| F | - | - |

Úrovně kvality jsou definovány numericky v následné tabulce. Popis faktického dopravního stavu je uveden dále.

| LOS | A | B | C | D | E | F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (a) ÚKD | ≤0.3 | ≤0.55 | ≤0.75 | ≤0.90 | ≤1.00 | ≤1.00 |

**A: Volný dopravní proud**

(Nerušené dopravní podmínky, vozidlo není ovlivněno ostatními vozidly, úplná volnost manévrování, průměrná rychlost je blízká volné rychlosti).

**B: Volný dopravní proud**

(Nerušené dopravní podmínky, je nutné brát zřetel na ostatní vozidla. průměrná rychlost je vyšší než 80 % volné rychlosti).

**C: Dopravní proud je ovlivněný**

(Vozidla na komunikaci se zjevně ovlivňují, volnost manévrování je ovlivněna, rychlost jízdy dosahuje 70 % volné rychlosti).

**D: Dopravní proud je nestabilní**

(Shluky vozidel významně omezují jízdní rychlost (až na 60 % volné rychlosti) a volnost manévrů v dopravním proudu se vyskytují střední turbulence vedoucí až k stupni F).

**E: Dopravní proud je nestabilní přibližující se ke kapacitě**

(Při dosažení kapacity se vozidla pohybují s minimálními mezerami, při zmenšení odstupů dochází k nepravidelnostem v proudu turbulence vedou ke stupni F).

**F: Dopravní proud je ve stavu nouze - kongesce**

(Proud vozidel je přerušovaný, vozidla popojíždějí vzniká vzdutí dopravního proudu, vedoucí ke vzniku dopravní kongesce, Takovýto stav bývá navozen kritickými místy stávající geometrie, mimořádnou událostí).

**Příklad – aplikace na konkrétní lokalitě - připojení v MÚK 5. května – Jižní spojka (EXIT Roztyly)**

(Výpočty podle zahraničních metodik prezentovaných na skutečných měření)

Následující ukázka výpočtu úrovně kvality dopravy je provedena podle německých směrnic, Aktuell Himweise Gestaltung planfreier Knotenpunkte auserhalb bebauter Gebiete Erganzugen zu den RAL-K-2 (AH-RAL-K-2). FGSV 1993. Podle vzorců se stanovují základní zátěže dvou a tří pruhových úseků s připojením.

obr. č. 2 poloha a základní schéma připojení

Obr. č. 3

**Základní vzorce**

$M_1$ ..... 381 + 0.302 $M_H$ - 0.098 $C_e$ - 0.632 MESV ..... rovnice pro dvouproudý úsek s připojením
$M_1$ ..... 256 + 0.204 $M_H$ - 0.176 $C_e$ – 1.678* MESV ... rovnice pro tříproudý úsek s připojením

obr.č.4

Konkrétní aplikace na příkladu:

$M_1$ ..... intenzita pravého jízdního pruhu (209 voz/hod),
$M_2$ ..... intenzita středního jízdního pruhu (1113 voz/hod),
$M_3$ ..... intenzita levého jízdního pruhu (950 voz/hod),
$M_N$ ..... celková intenzita vjezdu (3833 voz/hod),
$C_e$ ..... intenzita připojení - zde tvoří 40 % celkové intenzity vjezdu (1561voz/hod),
$C_{zus}$ ..... intenzita sečtená pro pravý jízdní pruh a rampu. (1770 voz/hod),
$M_{ESV}$ ..... přepočtená intenzita rampy

$M_1 = 256 + 0.204\ M_H - 0.176\ C_e - 1.678 * M_{ESV}$
$C_e = 0.4M_N$ % $0.4\ (M_H + C_e)$
$C_e = 0.667\ M_H$
$C_{zus} = M_1 + C_e$
Dopravní proud $C_{zus}$ = 1770 voz/h, s 13 % podílem těžkých vozidel - (1566jvz/h)
$M_1 = 1566 - 0.677\ M_H = 256 + 0.204M_H - 0.176 *(0.667M_H) - 1.678 * M_{ESV}$
$M_H$ = 2119 j.v.h., $C_e$ = 1413 j.v.h.,
$M_1 = 1566 - 0.667 * M_H = 153$ j.v.h.,
$M_N = 3532$ j.v.h.
$C_{zus} = M_1 + C_e = 1566$, ale pro max 2000 vozidel
$C_{zus} = 2000/ (1+0.13) = 1770$ jvz/h
**1566 / 1770** = 0.88 = **0.9**

ukazuje na **stupeň zatížení D podle stupnice (LOS) úrovně kvality dopravy.**

Pro srovnání výpočet provedeme i podle americké metodiky.

**B) podle americké metodiky**

(Znovu je tedy proveden tento výpočet pro výše uvedené měření na Exitu Roztyly, avšak tentokrát podle výpočtů HCM).

**Základní vzorce**

Vzorce pro výpočet odhadu hustoty oblasti ovlivnění podle HCM
Vzorec HCM - odhad hustoty (DR)

**Vzorec pro oblast ovlivnění**

$D_R = 3.402 + 0.00456\ V_R + 0.0048\ V_{1,2} - 0.01278\ L_A$

$D_R$ ..... Odhad hustoty
$V_{1,2}$ ..... intenzita oblasti ovlivnění
$V_R$ ..... intenzita rampy
$L_A$..... délka připojovacího pruhu (m)

| Hustota jvz / km / pruh | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **A** | **B** | **C** | **D** | **E** | **F** |
| ≤6 | >6-12 | >12-17 | >17-22 | >22 | >Záleží na požadavku kapacity |

***Vlastní výpočet***

obr.č. 5

$V_{1,2}$.....intenzita oblasti ovlivnění (t.j. dva přilehlé jízdní pruhy, u tří a více-proudých se ostatní neuvažují).
$V_{1,2}$.....intenzita pravý + střední jízdní pruh t.j. (209 + 1113) = 1322 voz/h.

$V_{1,2}$ = VF * PFM

$V_F$.....intenzita všech dálničních jízdních pruhů přibližující se k místu připojení (v jednom směru).
$V_F$.....pravý + střední + levý jízdní pruh (209 +1113 + 950) = 2272 voz/h.
PFM.....předpokládaný koeficient pro tří proud = (0.5775 + 0.000092) LA.
$L_A$.....délka připojovacího jízdního pruhu.
$V_{1,2}$ = $V_F$ * PFM = 2272 * 0.5821 =1322.53 vypočtených a odpovídajících skutečné intenzitě.
$V_{1,2}$ = $V_{1,2}$

($V_R$) intenzita rampy = 1561 voz /h., ($D_R$) odhad hustoty v oblasti $V_{1,2}$.
Max. vyskytnutá hustota měřená u jízdních pruhů :
přip. - (36 voz/km/pruh), pravého j.p. - (5 voz/km/pruh), středního j.p. - (16 voz/km/pruh)
(průměrná hustota všech jízdních pruhů je 14.49 ≈ 15).

**Vzorec HCM - odhad hustoty ($D_R$)**

1) vzorec pro oblast ovlivnění (t.j. bez levého j.p.)

$D_R$ = 3.402 + 0.00456 $V_R$ + 0.0048 $V_{1,2}$ - 0.01278 $L_A$
$D_R$ = 16.22 voz/km/pruh

2) vzorec vycházející ze všech jízdních pruhů, přibližující se k místu připojení.

$D_R$ = 3.402 + 0.00456 $V_R$ + 0.0048 $V_F$ *PFM - 0.01278 $L_A$
$D_R$ = 16.22 voz/km/pruh odhad hustoty ovlivněné oblasti.

**Výsledné hodnocení je stupněm C/D.**

**Zhodnocení , závěry z aplikace metodik**

Z uváděných výpočtů je patrná vzájemná blízkost mezi oběma zkoumanými zahraničními metodikami, vypovídající o skutečném sledovaném stavu vzájemného ovlivňování dopravního proudu na úseku s připojením.

(Ovlivňování dopravního proudu znázorňují rovněž následující grafy (č. 1 a 2) průběhu rychlostí v jednotlivých jízdních pruzích. Tyto grafy prezentují jak výše zkoumané typové schéma E1 (graf č. 1) t.j. před změnou na současné typové schéma E5 (graf č. 2)).

Protože jsme klasifikovali skutečné dopravní stavy (pomocí dvou metodik), na závěr uvedeme výsledky experimentálního sledování.

Obr. č. 6a

Obr. č. 6b

graf č. 1 (před změnou - typové schéma E1)

graf č. 2 (po změně – typové schéma E5)

Tyto dvě grafické porovnání pro různá typová schémata byly vybrána z měření se stejnými hodnotami hodinových intenzit pro jednotlivé jízdní pruhy – tedy při stejných dopravních podmínkách je patrné zlepšení dopravní situace při novém užitém typovém schéma.

**Závěr**

Záměrem tohoto článku bylo představit výpočetní zahraniční metodiky aplikované v našich podmínkách s ověřením skutečného provozu pomocí moderního počítačového zařízení Traficon.

Významná je skutečnost, že i  německý HBS  podotýká, že typové schéma E5 zatím nebylo vyzkoušeno v praxi.
Proto jsme se pokusili přispět a dokumentovat dopravní stavy připojení rampy pomocí základních ukazatelů a charakteristik dopravních proudů.

Tento způsob sledování dopravní situace může přispět i k poměrně nestandardnímu chování řidičů v těchto dopravních situacích.

Je třeba objektivně definovat především vzájemnou míru ovlivňování se proudů připojovaných k připojeným. Možná, že tuto míru může ovlivnit konkrétní dispozice připojení.

Další důležitou zásadou hodnocení kvality dopravního provozu by mělo být sledování ukazatelů v čase. Výše je uvedena pouze charakteristika rychlosti. Obdobně lze zobrazovat i další charakteristiky a definovat rozhodující interval resp sled po sobě jdoucích kratších intervalů, které vykazují únosnou nebo už nepřípustnou hodnotu UKD s ohledem na její kolísání a délku intervalu.

*Poznámka:*
Obdobná situace připojení, samozřejmě v jiných rychlostních úrovních dopravních pohybů, se odehrává na příklad u okružních křižovatek, v místě připojení komfortních baypasů tj.za vyšších rychlostí obou proudů.  Tento detail je velmi důležitý pro bezpečnost provozu na křižovatce, přesněji řečeno když bezpečnost křižovatky je určena v jistých podmínkách místem připojení.

Signálem k naléhavosti podrobné analýzy jsou výsledky sledování cca 30 lokalit okružních křižovatek v ČR, které byly sledovány z hlediska efektu bezpečnosti provozu (Projekt  „BESIDIDO“ MDS ČR, který řeší ČVUT Praha a CDV Brno).

Ukazatele, modelující chování řidičů, bychom neměli bezvýhradně přebírat ze zahraničí, ale měl by být vytvořen i prostor pro vlastní výzkum v našich specifických dopravních podmínkách.

**Literatura**

/ 1 / Memićová M., : Aplikace teorie dopravního proudu pro návrh křižovatek (Dizertační práce 2004)

/ 2 / HCM – Highway Capacity Manual, 2000
/ 3 / HBS – Handbuch fur die Bemessung von Strassenverkehrsanlangen, Forschunggesellschaft fur Strassen – und Verkehrswesen e.V., Koln, 2001