

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

NÁVRHOVÉ PRVKY TURBO-OKRUŽNÍCH
KŘIŽOVATEK

DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

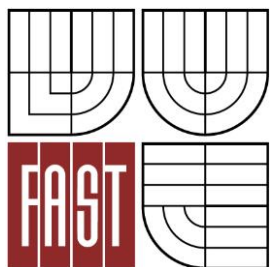
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ING. MARTIN SMĚLÝ

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

NÁVRHOVÉ PRVKY TURBO-OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATEK

DESIGN ELEMENTS TURBO-ROUNDBABOUTS

DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ING. MARTIN SMĚLÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAL RADIMSKÝ, Ph.D.

BRNO 2016

Abstrakt

Disertační práce popisuje novou metodu pro konstrukci turbo-okružních křižovatek aplikovatelnou v České republice. Inovativní je zejména přístup ke konstrukci jízdních pruhů a to zejména ve vztahu ke směrodatným vozidlům a rozšíření jízdních pruhů v závislosti na jejich rozměrech. Inovativní je i přístup k dopravnímu značení, kdy řeší sice detaily stávajících dopravních značek, ale tyto detaily jsou důležité pro chápání řidičů při průjezdu turbo-okružní křižovatkou.

Disertační práce tedy vyplňuje legislativní, ale i technickou mezeru v konstrukci turbo-okružních křižovatek a věřím, že bude přínosem zejména pro projektanty těchto křižovatek.

Klíčová slova

Turbo-okružní křižovatka, jednopruhová okružní křižovatka, vícepruhová okružní křižovatka, jízdní pruh, směrodatné vozidlo, nehodovost, analýza obrazu, mezní rychlost, dosahovaná rychlost, vjezd, výjezd, okružní pás, fyzické oddělení jízdních pruhů, jízdní pás, dopravní značení

Abstract

Dissertation describes new methodology of design turbo-roundabouts in Czech Republic. Especially innovative is approach to the design of traffic lanes with regards to standard vehicles and widening of traffic lanes according to their dimensions. Innovative is also approach to road signs, where details of current signs are modified, however, these details are important for drivers' better understanding while driving through turbo-roundabouts.

Dissertation fills legislative, but also technical, blank spot during turbo-roundabouts design and I believe that it will benefit particularly designers of these intersections.

Keywords

Turbo-roundabout, single lane roundabout, multi-lane roundabout, traffic lane, standard vehicle, accident rate, image analysis, limit speed, achieved speed, entrance, exit, circulatory roadway, physically separated traffic lanes, roadway, road signs

Bibliografická citace VŠKP

SMĚLÝ, Martin. *Návrhové parametry turbo-okružních křižovatek*. Brno, 2016. 132 s., 68 s. příloh. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Michal Radimský, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2016

.....
podpis autora
Ing. Martin Smělý

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Michalu Radimskému, Ph.D. za odborné vedení, pomoc při zpracovávání disertační práce a také za trpělivost, dále děkuji svým spolupracovníkům zejména Ing. Radce Matuszkové, a Ing. Miroslavu Patočkovi za odborné konzultace.

Za podporu a trpělivost bych chtěl poděkovat své manželce.

Obsah

1	Úvod	4
2	Cíle práce	5
3	Termíny a definice	6
4	Shrnutí stávajícího stavu	8
4.1	Historie okružních křižovatek	8
4.2	Okružní křižovatky s vícepruhovými vjezdy	9
4.3	Rizikové situace na okružních křižovatkách se dvěma a vícepruhovými vjezdy s klasickým uspořádáním	10
4.4	Princip TOK	14
4.5	Rozdělení TOK	19
4.6	Rešerše zahraničních materiálů	23
4.6.1	Nizozemí	23
4.6.2	Slovinsko	26
4.6.3	Německo	36
4.6.4	Jihoafrická republika	40
4.6.5	Velká Británie	40
4.6.6	Portugalsko	41
4.6.7	Itálie	41
4.6.8	Belgie	41
4.6.9	Švédsko	42
4.6.10	Ostatní státy	42
4.7	Stávající stav v ČR	42
4.7.1	Časté nedostatky TOK v ČR	42
4.7.2	Realizované TOK v ČR	44
4.8	Důvody nárůstu kapacity na TOK	52
5	Metody měření a posouzení	52
5.1	Měření rychlosti pomocí času na známé dráze a měření intenzit dopravy	52
5.2	Měření rychlosti pomocí mobilních radarů	55
5.3	Měření rychlosti pomocí počítačového vidění – analýzy obrazu	57
5.4	Ověření průjezdnosti křižovatky – vlečné křivky	60
5.5	Výpočet kapacity TOK a OK	61
6	Měření, analýzy a modelování	64
6.1	Poměr intenzit mezi pravým a levým jízdním pruhem na vjezdu OK a intenzity vozidel na OK	64

6.1.1	TOK čtyřramenná ve městě Uden v Nizozemí	65
6.1.2	TOK tříramenná křižovatka ve městě Uden v Nizozemí	69
6.1.3	OK křižovatka ve městě Harderwijk v Nizozemí	71
6.1.4	OK Litochlebské náměstí	76
6.1.5	OK v Hranicích na Moravě na silnici I/35	77
6.1.6	TOK v Brně – Bohunicích na ulicích Kamenice x Netroufalky	79
6.1.7	Závěr z měření intenzit v jednotlivých jízdních pruzích před OK a TOK	80
6.2	Intenzity vozidel na TOK v ČR	80
6.3	Srovnání kapacity OK a TOK dle TP 234	83
6.3.1	Příklad kapacitního výpočtu	85
6.3.2	Závěr k výpočtům kapacity	87
6.4	Nehodovost na stávajících TOK a OK	88
6.4.1	Pozorování dopravních situací na TOK	92
6.4.2	Závěr k nehodovosti na vícepruhových OK a TOK	93
6.5	Rychlost vozidel při průjezdu TOK	93
6.5.1	Měření na TOK v Brně – Bohunicích	94
6.5.2	Měření na TOK v Brně Slatině	95
6.5.3	Závěr k měření rychlostí na TOK	96
6.6	Vlečné křivky při průjezdu TOK	97
6.6.1	Závěr k simulaci průjezdnosti TOK	99
6.7	Závěr z měření, analýz a modelování	99
7	Návrhové parametry TOK	99
7.1	Návrhová rychlost	100
7.2	Směrové uspořádání TOK	104
7.2.1	Princip sestavení geometrie okružního pásu	104
7.2.2	Postup návrhu	107
7.2.3	Navrhování ostatních typů TOK	115
7.3	Výškové řešení	115
7.4	Příčné uspořádání	116
7.4.1	Šířky jízdních pruhů a rozšíření jízdních pruhů	116
7.4.2	Fyzické dělení jízdních pruhů	116
7.5	Dopravní značení	117
7.5.1	Návrh svislého dopravního značení na TOK	117
7.5.2	Návrh vodorovného dopravního značení na TOK	120
7.6	Ověření návrhu TOK	122
8	Závěr a doporučení	122

9	Seznam obrázků	124
10	Seznam tabulek	128
11	Seznam grafů	129
12	Seznam použitých zdrojů.....	130
	Příloha A – Ověření průjezdnosti.....	133
	Příloha B – Metodika pro navrhování turbo-okružních křižovatek	150

1 Úvod

Mobilita člověka v poslední době roste. Ve společnosti jsou skupiny lidí, které se tento fenomén snaží suplovat implementací nekonvenční dopravy do výraznějšího podílu v dělbě přepravní práce. Snaží se silou svoje názory prosazovat například i přes politickou garnituru. Jednou takovou skupinou jsou zastánci cyklistické dopravy, kteří se ji chtějí prosazovat a upřednostňovat více, než si přirozeně zaslouží. S oživující se ekonomikou a několika málo lety stagnování rozvoje dopravy dochází opět k nárůstu dopravy.

Snižující se nezaměstnanost, zvyšující se HDP, a s tím spojené ostatní parametry, generují tento nárůst potřeb člověka po dopravě. S větší ekonomickou silou společnosti dochází i k přerozdělení volby dopravních prostředků pro mobilitu člověka. Přirozeně tedy dochází a bude docházet k rozvoji automobilové dopravy, zejména potom té individuální. Protože ta je nejen symbolem komfortu a svobody, ale i určitého společenského postavení. Tento fenomén není ničím novým a je člověku přirozeným. V minulosti můžeme vidět analogii v jízdě na koni nebo v kočáře.

Tímto odstavcem jsem chtěl vyjádřit dvě věci. V první řadě, že doprava jako taková a zejména potom rozdělení druhů dopravy podílu v dělbě přepravní práce se odehrává úplně někde jinde, než je ulice, silnice, železnice, vzduch a voda, ale v potřebách člověka se rychle komfortně a pro někoho i levně pohybovat z místa A do místa B. A za druhé, že je tato dělba dopravní práce dána přirozenou potřebou člověka někoho nebo něco řídit, samozřejmě s větším nebo menším nadšením u jednotlivce.

Tato skutečnost se v dnešní době promítá v touze k využívání automobilů. Je prosté, že ti co si tento komfort mohou dovolit a často i ti, kteří si to ekonomicky dovolit nemohou, chtějí řídit vozidlo.

Na tuto skutečnosti je třeba připravovat nejen vozový park, ale i silniční síť. Proto je třeba hledat nové druhy řešení a uspořádání silniční sítě, které přinesou benefity jako je vyšší kapacita za udržitelné nebo zvyšující se bezpečnosti dopravy.

Jedním z řešení může být spojení řadicích pruhů a okružní křižovatky, spolu se spirálovým uspořádáním jízdních pruhů na okružním pásu. Z tohoto potom vznikne křižovatka, která je ve světě označována jako turbo-okružní křižovatka (dále jen TOK), viz Obr. 1, a v České republice často nazývána jako spirálová okružní křižovatka, někdy též spirálovitá okružní křižovatka.

2 Cíle práce

Hlavním cílem této práce je definovat, nakreslit a vysvětlit návrhové parametry pro TOK tak, aby tento druh křižovatek mohl být efektivně, tedy s využitím jejich potenciálu v oblasti kapacity při zachování bezpečnosti jednopruhových okružních křižovatek, používán v silniční síti České republiky.

Důvodem k výběru tohoto tématu je zajištění co možná největší podobnosti návrhů relativně složitých křižovatek, které se potom rychleji a lépe dovedou zařadit do systému komunikační sítě a řidiči dokáží přirozeně využívat jejich výhody podobně, jak se to dnes děje u jednopruhových okružních křižovatek.

Dílčím cílem této práce jsou:

- **Shrnutí stávajícího stavu poznání v ČR i v zahraničí.** Součástí práce je vypracování rešerše stavu poznání nejen v České republice, ale i v zahraničí, zejména potom ze států jako je Nizozemí a Slovinsko, kde jsou TOK nejvíce rozšířeny.
- **Měření.** Na stávajících TOK a to nejen v ČR, ale i v Nizozemí bude prováděn sběr dat jako je analýza nehodovosti, měření intenzit vozidel a analýza videí.
- **Prokázání pozitivního vlivu spirálového uspořádání na kapacitu turbo-okružních křižovatek.**
- **Modelování a prověření průjezdnosti turbo-okružních křižovatek** v software Autoturn. Průjezdnost v jednotlivých obloucích TOK bude ověřena obalovými křivkami pomocí simulačního software Autoturn.
- **Návrh parametrů turbo-okružních křižovatek**
 - **Návrhová rychlost v prostoru turbo-okružních křižovatek**, kdy je třeba přizpůsobit další návrhové parametry křižovatky, aby došlo ke zpomalení vozidel na vjezdu do okružního pásu křižovatky na stejnou nebo podobnou rychlost jako u vozidel jedoucích po okružním pásu křižovatky. Zároveň je třeba umožnit tuto rychlost pro nákladní soupravy vozidel stejně tak jako omezit rychlost osobních vozidel.
 - **Směrový návrh turbo-okružních křižovatek** navazuje na předešlý parametr rychlosti. Důraz bude kladen na rozšíření ve směrových složených obloucích. Zároveň bude popsána konstrukce TOK tak, aby bylo možné využít všech výhod vyplývajících z její geometrie.
 - **Výškové řešení** - vytvořit návod pro sestavení výškového řešení křižovatky, kde je kladen důraz zejména na její odvodnění. Zároveň popisuje důvody a omezení pro volbu minimálních a maximálních podélných sklonů.
 - **Příčné uspořádání** - bude popsáno nejen vlastní šířkové uspořádání jízdnic pruhů a pásů, ale i význam fyzického oddělení jednotlivých jízdnic pruhů v křižovatce včetně výhod a nevýhod tohoto řešení. Současně bude navržen postup, jakým by bylo možné toto fyzické oddělení provádět.
 - **Rozhledové poměry** jsou jedním s nejdůležitějších návrhových parametrů křižovatek obecně, při jejich návrhu bude vycházeno ze stávajících pravidel uvedených v normě ČSN 73 6102.
 - **Dopravní značení turbo-okružních křižovatek** - vytvořit pravidla pro návrh a osazení vodorovného a svislého dopravního značení, které přinese lepší pochopitelnost/srozumitelnost uspořádání křižovatky pro jejich uživatele, tedy zejména pro řidiče.
 - **Převedení chodců přes turbo-okružní křižovatky**

Obsah této práce včetně výstupů zde uvedených jsou v převážné míře výsledky výzkumného projektu Technologické agentury České republiky označeného číslem TA03030050 a názvem Moderní turbo-

okružní křižovatky a jejich aplikace v návrhu dopravních staveb, který byl financován programem na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje ALFA v letech 2013 - 2015. Autor práce byl řešitelem tohoto projektu, nositelem projektu bylo Vysoké učení technické v Brně a spoluřešitelem společnost AF-CITYPLAN s.r.o.

3 Termíny a definice

Turbo-okružní křižovatka (dále jen TOK) – (nazývaná někdy též jako spirálová okružní křižovatka) je zvláštní typ okružní křižovatky se dvěma a více jízdními pruhy na okružním jízdním pásu, jejímž principem je rozřazení vozidel do jízdních pruhů pro požadovaný směr odbočení již před křižovatkou. Vozidla následně projíždí křižovatkou po plynule vedených, spirálově uspořádaných jízdních pruzích okružního pásu, na kterých obvykle bývá zamezeno průpletům a konfliktům vozidel jedoucích po okružním pásu fyzickým oddělením jízdních pruhů. Navrhuje se na stávajících nebo nově řešených křižovatkách za účelem zvýšení kvality dopravy.

Vnější průměr TOK – je průměr kružnice, kterou je možné vepsat mezi vnitřní líc obrubníků nebo vnější okraje vodicích proužků vnějšího jízdního pruhu okružního jízdního pásu křižovatky v místě translační osy.

Fyzické oddělení jízdních pruhů – je zvýšený, pevně založený, liniový prvek (viz Obr. 39), jehož výška by neměla přesahovat 40 mm. Fyzické oddělení jízdních pruhů má tyto funkce:

- předchází průpletům vozidel a křížení drah vozidel jedoucích po okruhu s vozidly okružní pás opouštějícími,
- předchází narovnávání trajektorie při průjezdu vozidel v obdobích s nízkou intenzitou dopravy,
- snižuje obavy řidičů z vozidel v ostatních jízdních pruzích.

Turboblok – je uskupení všech oblouků potřebných poloměrů (viz Obr. 108) vytvářejících linii okrajů vozovek nebo jízdních pruhů na okružním pásu. Tvoří základ při návrhu geometrie TOK.

Translační osa – je linie, na které se setkávají jednotlivé navazující oblouky turbobloku a zároveň na ní leží středy těchto oblouků (viz Obr. 114).

Posun podél translační osy – je vzdálenost mezi středy oblouků na pravé a levé straně translační osy (viz Obr. 114).

Vychýlení – je vzdálenost od středu oblouku k celkovému středu TOK. Jedná se zároveň o polovinu posunu podél translační osy (viz Obr. 111).

Celkový střed TOK – jedná se o střed os paprsků křižovatky, viz Obr. 111.

Středový ostrov – je fyzická překážka tvaru odsazeného kruhu sloužící k usměrnění pohybu vozidel po okružním jízdním pásu křižovatky proti směru hodinových ručiček. Součástí středového ostrova je i prstenec, jímž se v některých případech lemuje okraj středového ostrova, viz Obr. 1.

Prstenec – je zpevněná část vnějšího okraje středového ostrova, Obr. 1. Prstenec se navrhuje tak, aby mohl být ojediněle pojížděn zejména rozměrnými vozidly (návěsová souprava, kloubový autobus, apod.). Prstenec není nezbytnou součástí TOK. Využitelný je zejména v trasách, kde lze předpokládat přepravu nadměrných nákladů.

Okružní jízdní pás křižovatky – je jízdní pás v šířce zpevnění vozovky okolo středového ostrova (vozovka včetně eventuálního fyzického oddělení jízdních pruhů a vodicích proužků), viz Obr. 1. V případě použití fyzického oddělení jízdních pruhů se dělí na vnitřní a vnější okružní jízdní pruh.

Vjezd – je jízdní pruh nebo pás křižující komunikace, ze kterého se vjíždí na okružní jízdní pás křižovatky, viz Obr. 1.

Výjezd – je jízdní pruh nebo pás křižující komunikace, kterým vozidla vyjíždějí z okružního jízdního pásu křižovatky, viz Obr. 1.

Samostatný vjezd/výjezd – je jízdní pás na jednosměrné komunikaci v místě napojení na okružní jízdní pás, viz Obr. 1.

Zpevněná srpovitá krajnice – je záměrně nerovný zpevněný okraj vozovky v místě připojení nebo odpojení jízdního pruhu na/z okružního pásu křižovatky, viz Obr. 1. Slouží pro ojedinelý pojezd vozidly s větším poloměrem zatáčení než jaký má připojovací pravostranný oblouk vjezdu/výjezdu na/z okružního pásu křižovatky.

Dělicí pás – je plocha ohraničená fyzicky nebo opticky vůči přilehlým jízdním pruhům, která na křižující komunikaci křižovatky odděluje jízdní pásy v délce nad 25 m od okružního jízdního pásu křižovatky, viz Obr. 1. Minimální šířka dělicího pásu je 1,50 m, v odůvodněných případech 1,0 m.

Směrovací ostrůvek – je plocha ohraničená po celém svém obvodu fyzicky nebo opticky vůči přilehlým jízdním pruhům, která odděluje dopravní proud vozidel na okružním jízdním pásu od dopravního proudu vozidel na spojovací větví (bypassu), viz Obr. 1.

Dělicí ostrůvek – je plocha ohraničená na všech stranách fyzicky nebo opticky vůči přilehlým jízdním pruhům, viz Obr. 1. Dělicí ostrůvek se umísťuje mezi protisměrnými jízdními pruhy/pásy v délce 5 – 25 m a tvoří zpomalovací (retardační) prvek před vjezdem do křižovatky. Slouží také ke zdvojenému osazení svislých dopravních značek, popřípadě i jako ochranný ostrůvek, pokud je využíván pro přechod pěších.

Paprsek okružní křižovatky – je jízdní pás (pásy v případě směrově rozdělené komunikace), kterým jsou připojeny pozemní komunikace v oblasti křižovatky na okružní jízdní pás a vzájemně mezi sebou, viz Obr. 1.

Spojovací větev křižovatky (bypass) – je jízdní pruh nebo pás, který spojuje dva sousední paprsky okružní křižovatky mimo okružní jízdní pás křižovatky a umožňuje odlehčení křižovatky uskutečněním pravého odbočení po této spojovací větví bez napojení na okružní jízdní pás křižovatky, viz Obr. 1.

Průjezdnost – vyjadřuje fyzickou možnost průjezdu vozidel křižovatkou s ohledem na vlastnosti a rozměry vozidla a geometrické uspořádání a rozměry křižovatky, a to jak půdorysné, tak i výškové.

Směrodatné vozidlo – je největší/nejdelší vozidlo, na jehož jízdní parametry a rozměry se navrhuje geometrický tvar dané okružní křižovatky.

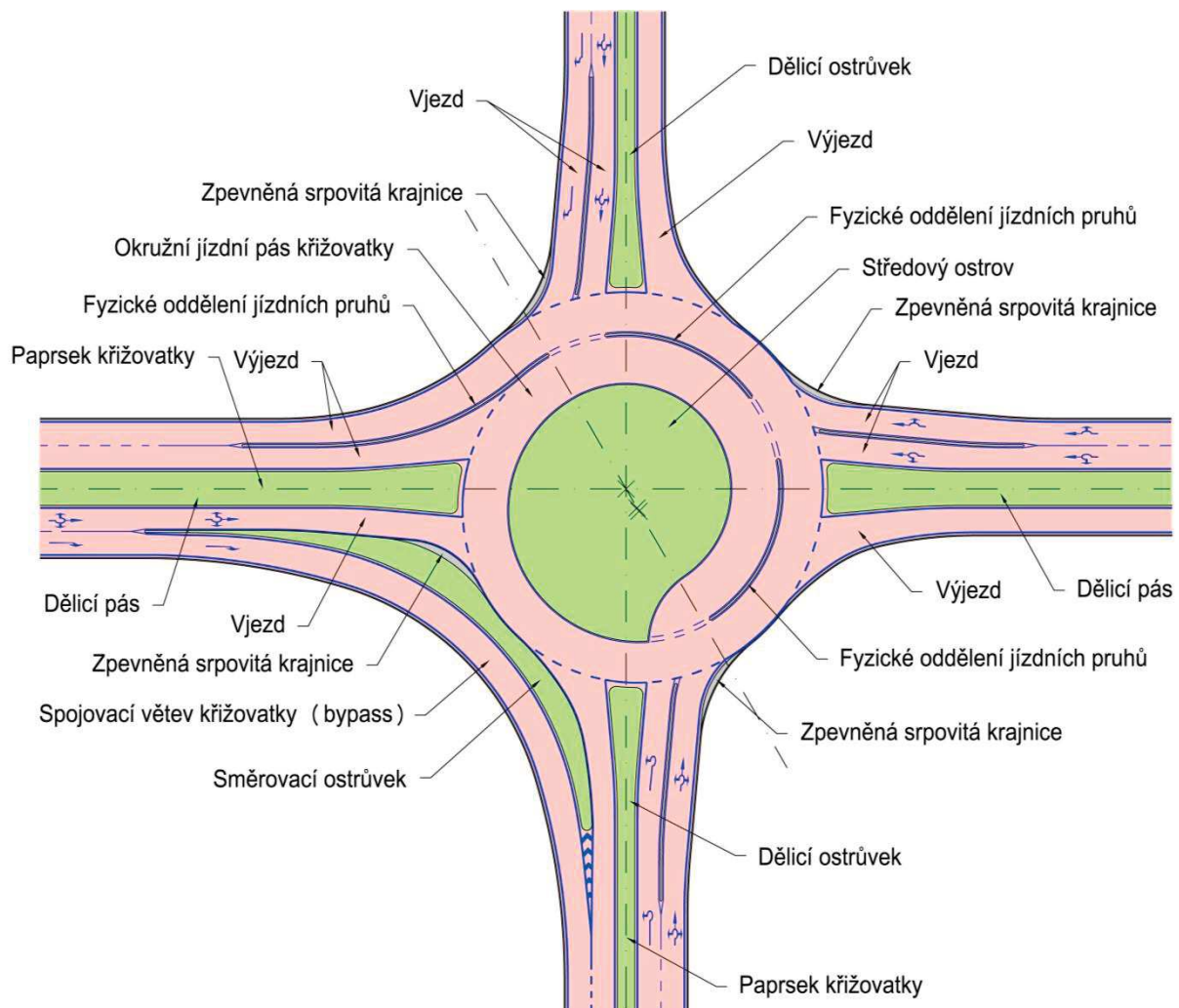
Dosahovaná rychlost na oblouku – je předpokládaná maximální rychlost vozidla stanovená pro určitý úsek trajektorie průjezdu křižovatkou na základě jejího poloměru a koeficientu příčného tření.

Koeficient příčného tření – proměnný parametr vozovky, který závisí na rychlosti, pneumatikách (tvrdost, vzorek), stavu povrchu (suchý, mokrá, náledí) a charakteristikách povrchu (makrotextura, mikrotextura). Pro účely této metodiky, tzn. pro výpočet dosahované rychlosti na oblouku, je stanovena hodnota 0,35 pro rychlost do 20 km/h a 0,40 pro rychlost nad 20 km/h.

Příčné zrychlení – jedna ze složek určující velikost odstředivé síly.

Dosahovaná rychlost – (překlad z angličtiny) rychlost, kterou dosahují vozidla při průjezdu směrovým obloukem malého poloměru ($R < 50$ m), vyplývá z normy [30]

Mezní rychlost – jedná se o rychlost vozidel, kterou lze očekávat v místech s takovým dopravně technickým uspořádáním, které řidiče donutí snížit rychlost, což je například směrový oblouk malého poloměru. Od dosahované rychlosti se liší výpočtem, jelikož je při ní uvažován koeficient příčného tření 0,25 a je zde uvažováno s příčným sklonem vozovky.



Obr. 1 Popis prvků TOK s fyzickým oddělením jízdních pruhů.

4 Shrnutí stávajícího stavu

4.1 Historie okružních křižovatek

První okružní křižovatka (dále jen OK) byla použita okolo roku 1905 v New Yorku. Columbus Circle na jihozápadním rohu Central Parku, kde jí navrhl William Phelps Eno, viz Obr. 2.



Obr. 2 Historická fotografie první okružní křižovatky v New Yorku (zdroj: internet)

Zpočátku byly OK vyvíjeny jako křižovatky s jedním pruhem na vjezdu, okružním pásu a výjezdu. Křižovatky byly nazývané jako jednapruhové. S rozvojem automobilové dopravy docházelo k nárůstu automobilové dopravy, a proto se hledalo kapacitnější řešení křižovatek. Jednapruhové OK se jeví jako poměrně bezpečné řešení, které bylo zároveň dostatečně kapacitní.

Ve svém počátku byly OK navrhovány s předností jízdy na vjezdu na okružní pás křižovatky. Platila zde přednost zprava a na křižovatce nemuselo být tolik dopravních značek jako v současné době. V padesátých letech minulého století byla však přednost změněna na dnešní způsob jízdy po OK. Do roku 2006 měla přednost v jízdě vozidla, která jedou po okružním pásu okružní křižovatky před vozidly, která na okružní pás vjíždí. V současné (od roku 2016) době platí to, že pokud není na vjezdech na okružní pás křižovatky osazena dopravní značka Dej přednost v jízdě (P4), tak na OK platí přednost zprava. Police ČR však doporučuje na všechny vjezdy osazovat dopravní značku Dej přednost v jízdě.

V roce 2016 se o přednosti na OK opět diskutuje. Jedná se o diskuzi v souvislosti s novelou zákona o provozu na pozemních komunikacích, viz předešlý odstavec.

Tato novela má logiku v souvislosti s návrhem například miniokružních křižovatek v obytné zóně nebo v zóně 30. Nelze však vynechat dopravní značky Dej přednost v jízdě na silniční síti nebo na místních komunikacích I. a II. třídy.

Platí zde určitá analogie využívána při návrhu systému pozemních komunikací, kdy je třeba navrhovat směry do města, na parkoviště, do obchodních center do OK méně kapacitní než výjezdy z nich. Pokud dojde k porušení tohoto pravidla, dojde k tvorbě dopravní zácpy (kongesce) v centrech měst, na parkovištích, v obchodních centrech a logicky tato skutečnost platila i na OK, a proto musela být přednost v jízdě upravena do dnešní podoby.

4.2 Okružní křižovatky s vícepruhovými vjezdy

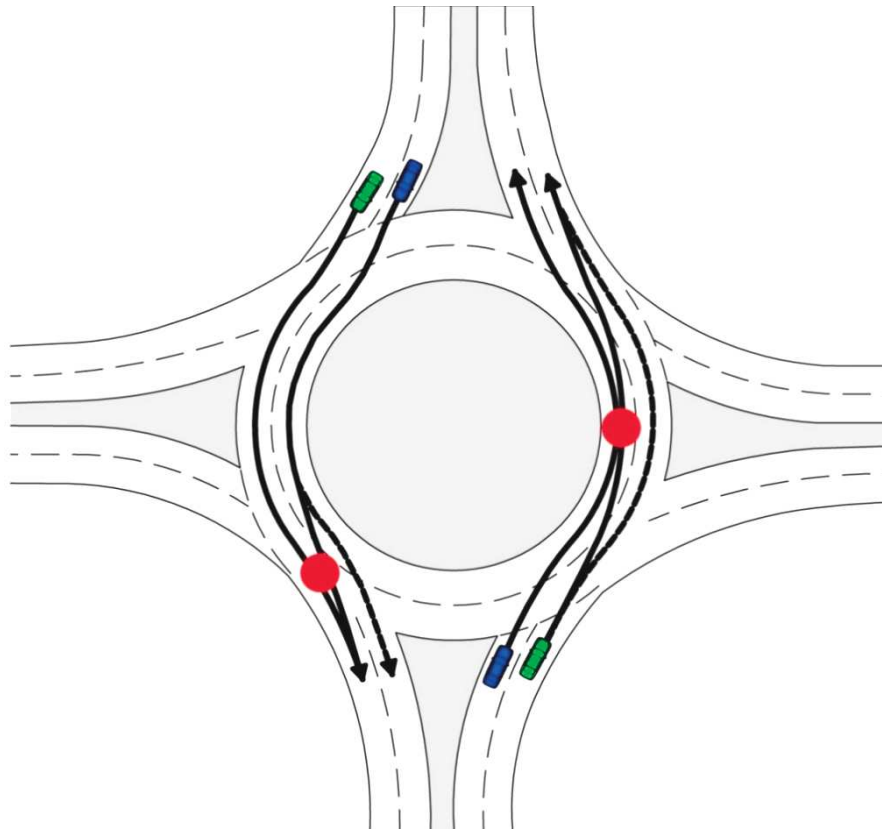
V domnění, že přidáním více pruhů do křižovatky, dojde k navýšení jejich kapacity, se začaly realizovat OK se dvěma pruhy na okružním páse a se dvěma pruhy na vjezdu i výjezdu (tzv. vícepruhové okružní křižovatky). Skutečnost ukázala, že v reálném provozu tyto úvahy nefungují. Z dopravně inženýrských měření (viz kapitola 6) i zahraničních studií je zřejmé, že levý a pravý jízdní pruh na vjezdu do OK, stejně tak i levé a pravé pruhy na okružním páse a následně i výjezdu, nejsou využívány rovnoměrně. Z provedených měření je patrné, že levý jízdní pruh využívá cca 15 % vozidel vjíždějících do OK, kdežto zbylých 85 % vozidel obvykle jezdí v pravém (vnějším) jízdním pruhu viz kapitola 6.2. Nedochozí tedy k očekávanému vyššímu nárůstu kapacity vícepruhových OK. Hlavním důvodem je malá zkušenost řidičů. Levé jízdní pruhy (řidiči chápany jako rychlejší) využívají řidiči pro

urychlení průjezdu vícepruhovou OK, přičemž si často zkracují svoji trajektorii tím, že přejíždí z jednoho jízdního pruhu do druhého, což vede ke kolizním situacím, viz Obr. 3 a Obr. 4.

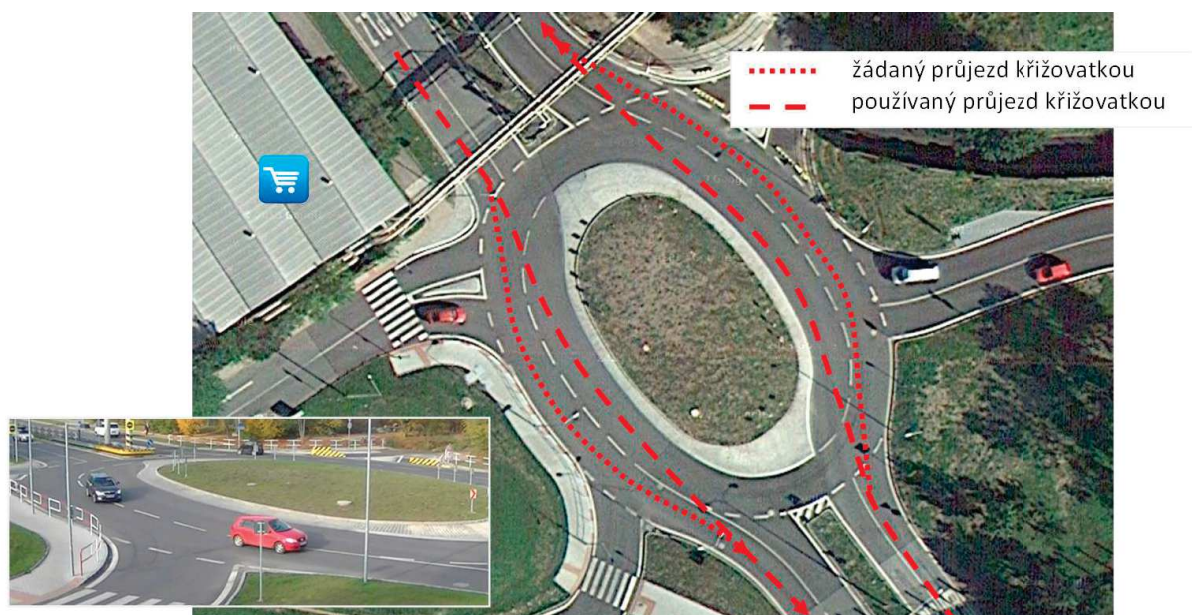
V některých státech Evropy (i v ČR) začali přepracovávat geometrii vícepruhových okružních křižovatek tak, aby možnost přejíždění z pruhu do pruhu eliminovali. Vytvořili tak nový typ OK, které jsou v České republice označovány někdy jako spirálové/spirálovité okružní křižovatky resp. turbo-okružní křižovatky se spirálovým uspořádáním. Ve světě je vžitý název turbo-okružní křižovatky – TOK, proto je vhodné tento název křižovatek používat i v ČR.

4.3 Rizikové situace na okružních křižovatkách se dvěma a vícepruhovými vjezdy s klasickým uspořádáním

Při průjezdu OK s dvěma a více jízdními pruhy s klasickým (soustředným) uspořádáním jízdních pruhů (Obr. 8) dochází k rizikovým situacím, které mohou vést k dopravním nehodám. Zároveň tyto situace snižují kapacitu tohoto typu vícepruhových OK, viz Obr. 3 a Obr. 4.

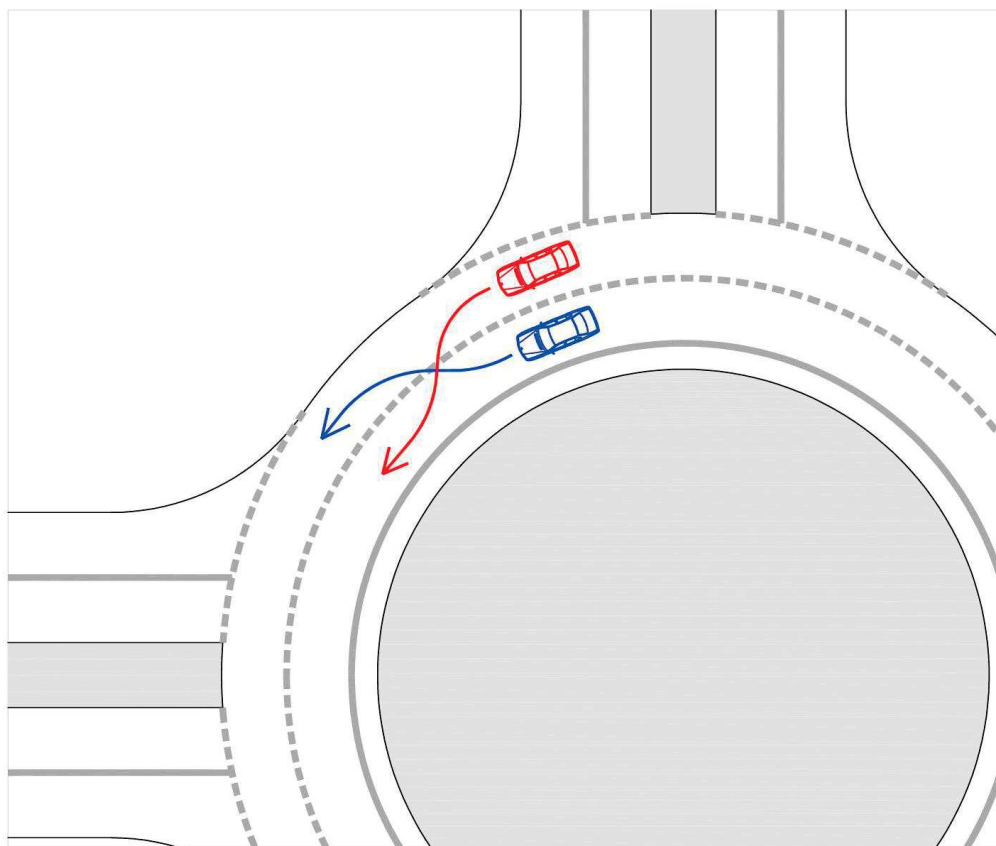


Obr. 3 Riskantní situace při přejíždění mezi jízdními pruhy na okruhu. Červené body na obrázku zobrazují místa častých dopravních nehod na vícepruhových OK.



Obr. 4 Riskantní situace při přeježdění mezi jízdními pruhy na okruhu (okružní křižovatka v Berouně)

Jedním z hlavních problémů je průplet. Jedná se o takzvaný krátký průplet, kdy se vozidla při průjezdu vícepruhovou okružní křižovatkou proplétají mezi sebou při změně jízdních pruhů, viz Obr. 5.



Obr. 5 Krátký průplet na okružním pásu vícepruhové OK

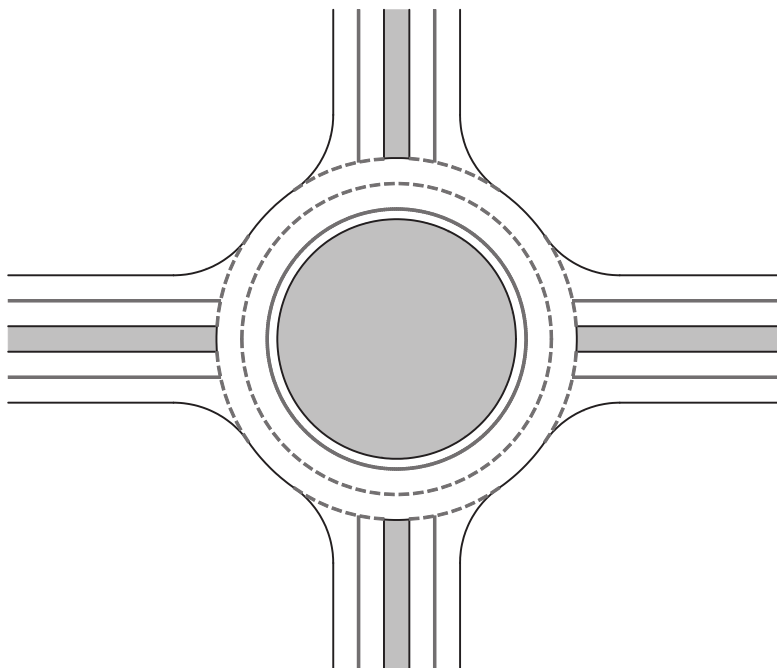
V minulosti se tento problém řešil zvětšením poloměru OK až na hodnoty 100 m a více. Několik takto velkých křižovatek bylo postaveno v České republice i v zahraničí. Jako příklad lze uvést křižovatku v Havířově u železničního nádraží a křižovatku v Ostravě Hrabůvce (Obr. 6), která je navíc doplněna křížením s tramvajovou tratí. Dalším špatným příkladem může být okružní křižovatka v Praze na Vítězném náměstí, křižovatka v Kolíně (Obr. 7) nebo v Hranicích na Moravě atd. Tuto problematiku popisuje kniha [50], ve které je popsáno 20 okružních křižovatek včetně nehodovosti a intenzit vozidel. Všechny závěry jsou v souladu se závěry uvedenými v zahraničních studiích i se závěry v této práci.



Obr. 6 Velká okružní křižovatky v Ostravě – Hrabůvce



Obr. 7 Velká okružní křižovatka v Kolíně



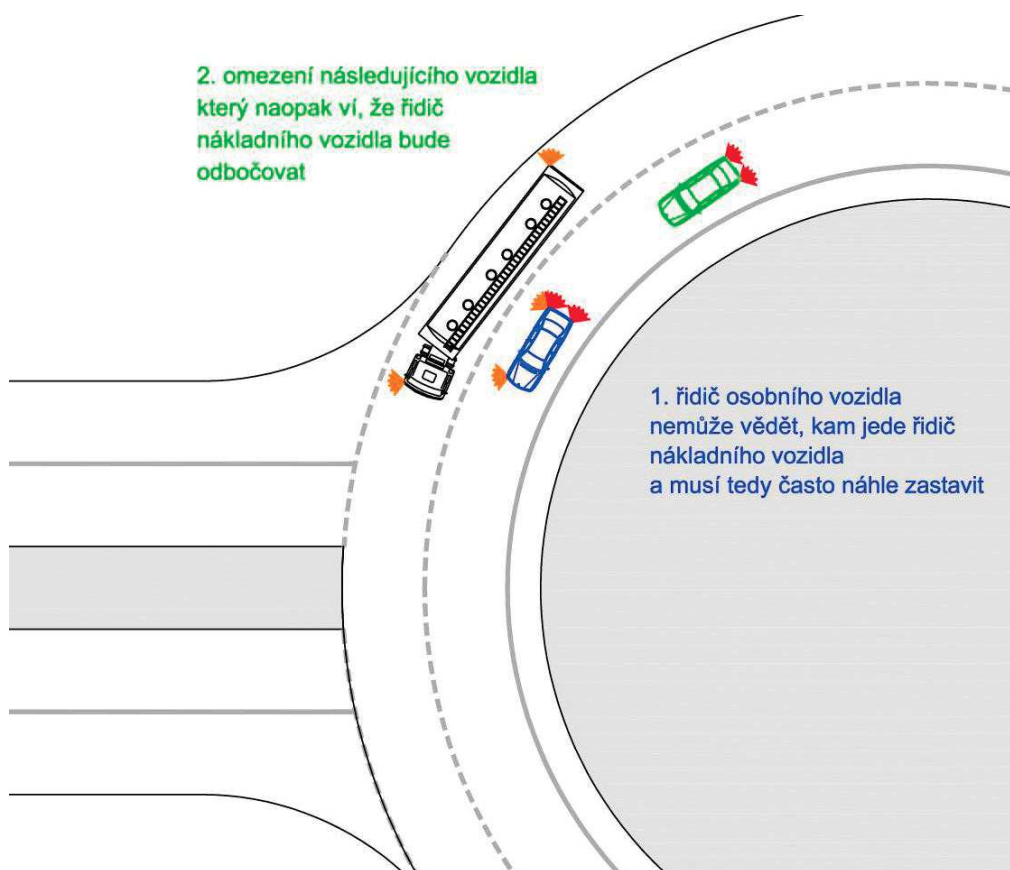
Obr. 8 Vícepruhová okružní křižovatka s klasickým (soustředným uspořádáním) řazením jízdních pruhů

Zvětšením vnějšího poloměru OK, došlo ke zlepšení přehlednosti mezi vozidly na okružním pásu křižovatky, bohužel zároveň došlo ke zvýšení rychlosti vozidel na okružním pásu křižovatky. Výsledkem této úpravy byl nárůst dopravních nehod a zejména pak nárůst dopravních nehod s následky na zdraví jejich účastníků. Studie provedená v Německu (viz [15]) prokázala stejné skutečnosti, jaké je možné sledovat na křižovatkách v ČR. Zkušenosti s velkými OK s klasickým uspořádáním jízdních pruhů v ostatních státech Evropy jsou podobné. Výsledkem je tedy nárůst nehodovosti (v Německu existovaly OK, kde se stalo i 150 až 200 dopravních nehod za rok), větší zábor pozemků a tedy vyšší finanční náklady na výstavbu i údržbu, viz [16].

Současně dochází u velkých OK ke zbytečnému nárůstu dojezdových vzdáleností při průjezdu křižovatky. Vozidla projíždějící po takové křižovatce musí projet po obvodu přibližně v ose jednotlivých jízdních pruhů okružního pásu křižovatky. Celková trasa se může v závislosti na počtu vozidel a velikosti poloměru křižovatky prodloužit řádově až o několik desítek kilometrů za den.

Další riziko vzniká při vlastním průjezdu vozidel v levém jízdním pruhu OK. Z měření vyplývá, že poměr využití jednotlivých jízdních pruhů u vícepruhových vjezdů do okružního pásu křižovatky není rozdělen rovnoměrně podrobněji, viz kapitola 6.1.

Problém vzniká při vyjíždění vozidel z levého jízdního pruhu okružního pásu křižovatky směrem do levého jízdního pruhu na výjezdu z okružní křižovatky, viz Obr. 9.



Obr. 9 Riziková situace při odbočování modrého vozidla z levého jízdního pruhu okružního pásu křižovatky do levého jízdního pruhu na výjezdu

Tento problém by se dal eliminovat změnou způsobu dávání znamení při výjezdu z OK z pravého směru na levý směr. Takové pravidlo v některých zemích platí (např. Švédsko). Vozidlo jedoucí po okružním pásu dává znamení levým směrovým světlem po celou dobu jízdy po okružním pásu do té doby, než chce z okružního pásu odbočit na nejbližší výjezd, potom začne dávat směrové znamení pravým směrovým světlem.

4.4 Princip TOK

Základem TOK je jednopruhová OK. Do této OK jsou u dvoupruhových vjezdů do okružního pásu vloženy další (vnitřní) jízdní pruhy.

V případě připojení větví s menším dopravním významem do okružního pásu křižovatky je možné navrhnout dvoupruhový vjezd s tím, že vozidla se do nich rozřazují podobně jako v řadících pruzích například před průsečnou křižovatkou.

U dvoupruhových výjezdů je řidič jedoucí v pravém (vnějším) jízdním pruhu obvykle nucen odbočit prvním výjezdem doprava případně pokračovat rovně napříč TOK. V levém jízdním pruhu na vjezdu do okružního pásu TOK jedou vozidla, která projíždí křižovatkou v přímém směru nebo odbočují vlevo. Toto tvrzení však úplně neplatí u tříramenných TOK typu „koleno“, viz Obr. 16.

Řidiči již před TOK musí být rozřazeni do správného jízdního pruhu obdobně jako před průsečnou nebo stykovou křižovatkou s řadícími pruhy. Na tuto skutečnost musí být upozorněni v dostatečném předstihu přehledným a zcela zřejmým vodorovným i svislým dopravním značením (Obr. 10). Tedy u

TOK je třeba klást už při jejím návrhu zvýšený důraz na úpravu křižovatkových větví před vlastním vjezdem na okružní pás křižovatky.



Obr. 10 Svislé a vodorovné dopravní značka před okružní křižovatkou se spirálovitým uspořádáním (TOK – Holandsko – město Uden)

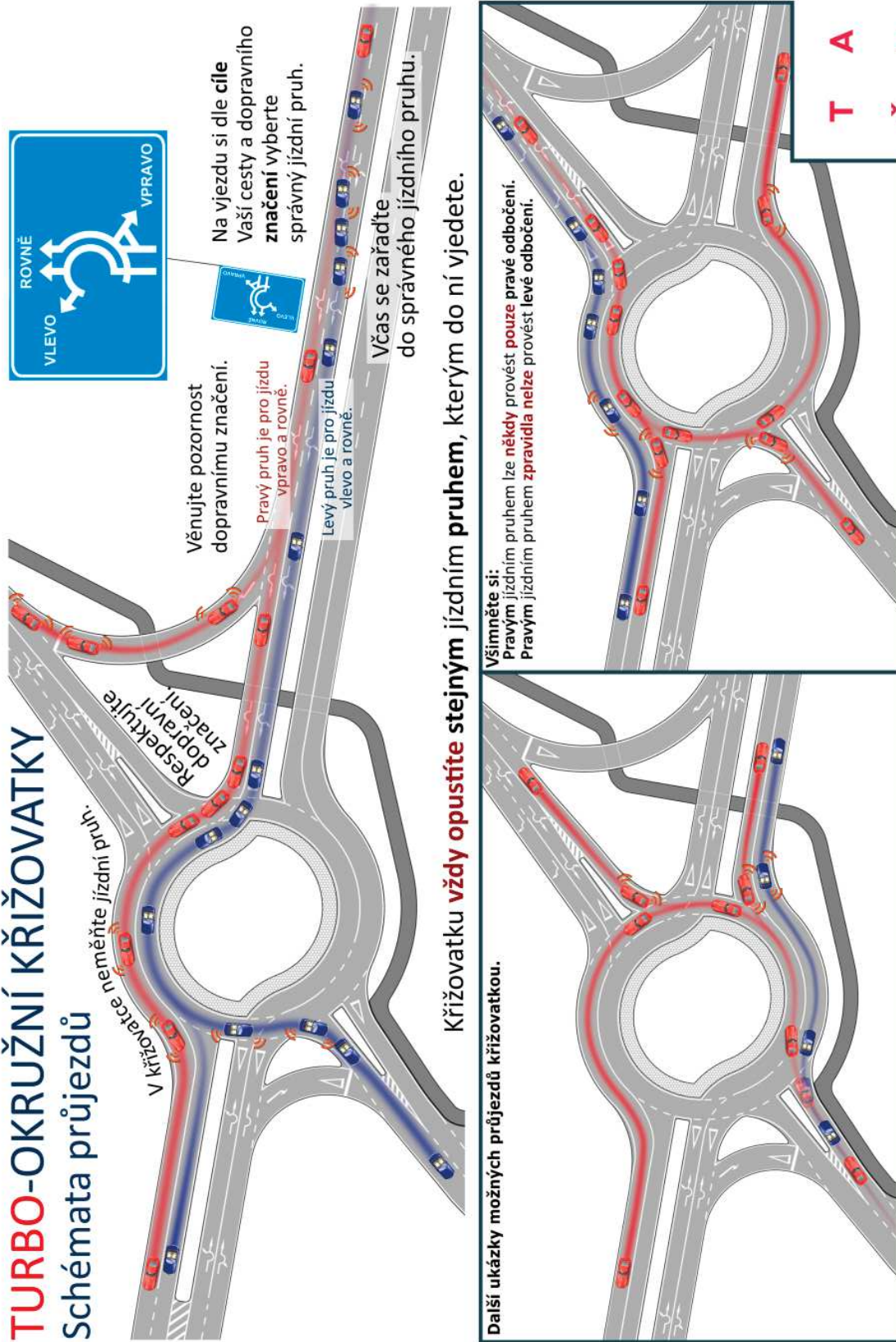
Zároveň řidič musí už před vjezdem do křižovatky vědět, kterým směrem bude pokračovat za křižovatkou tak, aby se mohl zařadit do správného jízdního pruhu na vjezdu na vlastní okružní pás křižovatky.

Nedílnou součástí TOK je fyzické oddělení jízdních pruhů jak v místě vjezdů do TOK, tak také na okružním pásu křižovatky, aby řidiči respektovali jízdu ve „svých“ jízdních pruzích a nezkracovali si cestu při průjezdu TOK. Fyzické oddělení jízdních pruhů je velmi diskutované téma, jedná se však o důležitý prvek zejména z hlediska bezpečnosti. Přejíždění řidičů z pruhu do pruhu v obloucích malých poloměrů není neřest pouze Českých řidičů. Jak vyplývá ze zahraničních studií, je tento problém sledován i u řidičů v celé Evropě [8], [11], [13], [15], [17], [18], [20], [21], [22] a [47] atd..

Vlastní průjezd křižovatkou je patrný z Obr. 11, kde jsou graficky zobrazeny průjezdy vozidel v jednotlivých jízdních pruzích.

TURBO-OKRUŽNÍ KŘÍŽOVATKY

Schémata průjezdů

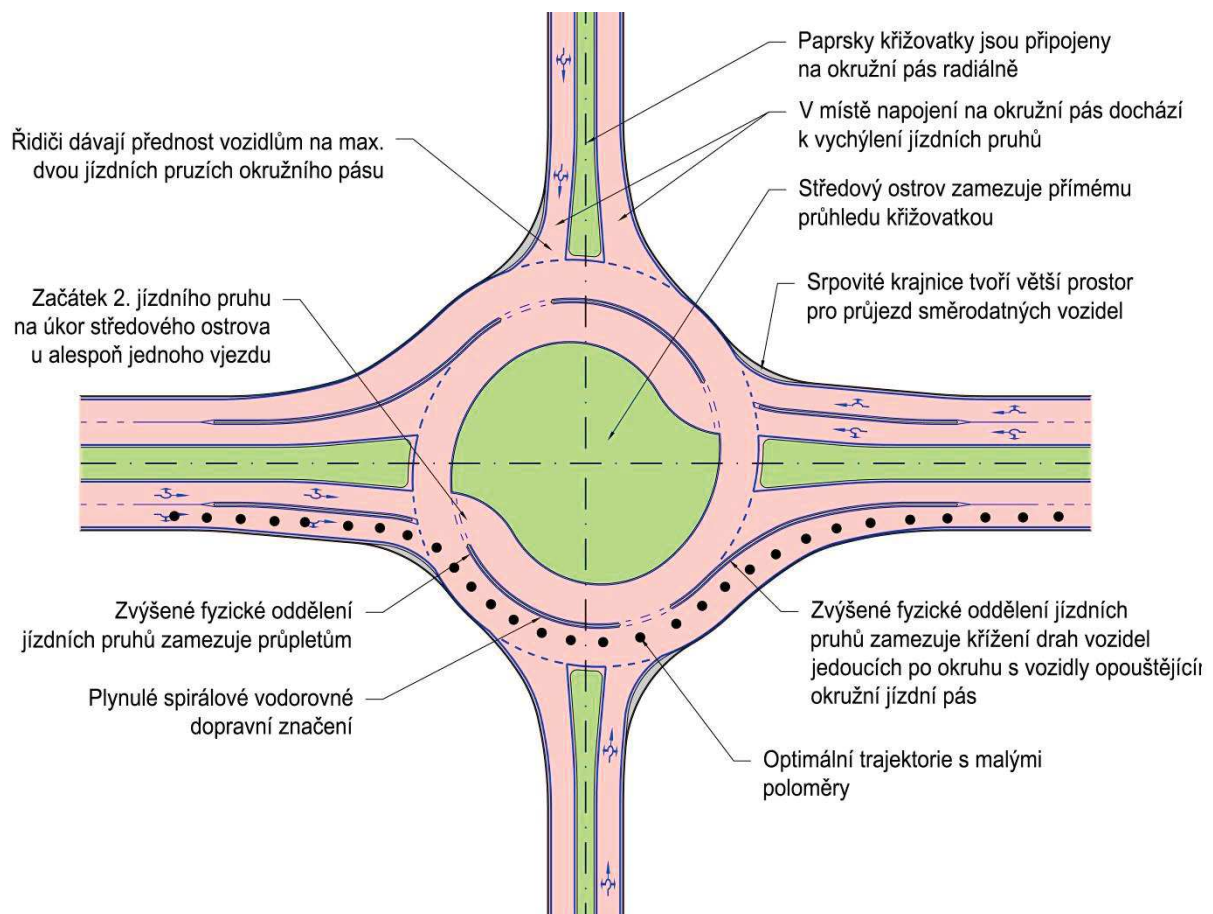


Obr. 11 Princip jízdy TOK

Následující výčet návrhových prvků může být nazván základní v tom smyslu, že bez jejich aplikace nelze křižovatku považovat za TOK:

1. naproti alespoň jednomu vjezdu začíná druhý jízdní pruh okružního pásu na úkor středového ostrova;
2. alespoň na dvou paprscích TOK se čtyřmi paprsky musí být vjezdy, na kterých dávají řidiči přednost vozidlům na dvou jízdních pruzích okružního pásu;
3. alespoň na jednom paprsku TOK se třemi paprsky musí být vjezd, na kterém dávají řidiči přednost vozidlům na dvou jízdních pruzích okružního pásu;
4. nesmí nastat uspořádání, ve kterém by řidiči na vjezdu museli dávat přednost vozidlům na třech a více jízdních pruzích okružního pásu;
5. spirálové vodorovné dopravní značení plynule vede vozidla od vjezdu po výjezd bez potřeby průpletů a bez umožnění křížení dráhy vozidel jedoucích po okruhu s vozidly opouštějícími okružní pás.

Obr. 12 popisuje hlavní principy TOK, které je nezbytné dodržet při jejich návrhu.



Obr. 12 Hlavní návrhové parametry (principy) TOK

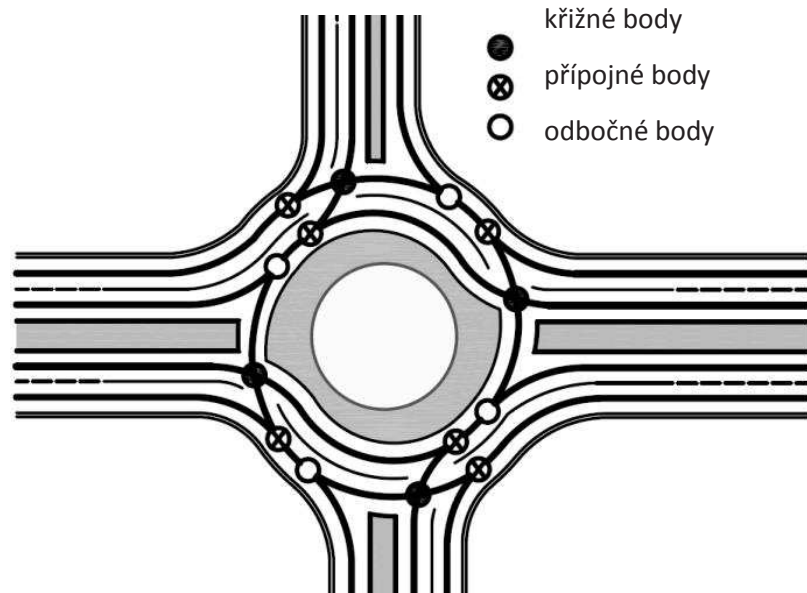
Hlavním důvodem zavádění TOK jsou kapacita a bezpečnost.

Hlavní výhodou z pohledu bezpečnosti TOK ve srovnání s konvenčními OK se dvěma pruhy na okruhu, vjezdech i výjezdech jsou:

- nízký počet křížných kolizních bodů, čehož je dosaženo snížením počtu křížících se dopravních proudů;

- odstranění možnosti průpletů a křížení dráhy vozidel jedoucích po okruhu s vozidly okružní pás opouštějícími.

Na TOK nejsou umožněny krátké průplety mezi vjezdem a následujícím výjezdem (viz Obr. 13), a to ani v případě jednopruhových výjezdů.



Obr. 13 Kolizní body TOK s dvoupruhovými vjezdy a dvěma páry jedno a dvoupruhových výjezdů (4 křížné body na vjezdu, 6 přípojných a 4 odbočné) (převzato z [22])

V případě TOK jsou vyloučeny konflikty vlivem křížení dráhy vozidel jedoucích po okruhu s vozidly okružní pás opouštějícími nebo mezi vozidly měnícími pruh na okružním pásu, takže celkový počet konfliktů je menší než u konvenčních okružních křižovatek se dvěma pruhy na okruhu.

Bezpečnosti zranitelných účastníků silničního provozu (cyklisti, chodci) je třeba věnovat velkou pozornost především kvůli relativně vysoké rychlosti motorizovaných účastníků projíždějících křižovatkou.

Zvýšit bezpečnost zranitelných účastníků dopravního provozu lze některým z následujících opatření:

- regulací rychlosti na vjezdu a výjezdu,
- zřízením pouze jednoho pruhu na výjezdu,
- oddělením jízdních pruhů na vjezdu a výjezdu dělicím ostrůvkem,
- mimoúrovňovým převedením pěší a cyklistické dopravy.

Volba způsobu zajištění bezpečnosti pěších a cyklistů je závislá na místních podmínkách.

Vjezd a výjezd z TOK musí být proveden tak, aby projíždějící vozidla nejela rychleji než 35 km/h, maximálně 40 km/h.

Na vjezdu je zpravidla dosahováno nižších rychlostí a větší kumulace čekajících vozidel než na výjezdu. V případě dvoupruhových výjezdů tedy může dojít k ohrožení bezpečnosti chodců a cyklistů. Pokud je to z hlediska kapacity přijatelné, je vhodné navrhovat pouze jeden pruh na výjezdu.

4.5 Rozdělení TOK

V literatuře [15], [22], a [47] se uvádí 7 typů TOK, které se liší počtem paprsků a počtem jízdnic pruhů na jednotlivých paprscích a okružním jízdnicím pásu v závislosti na rozložení intenzit dopravy. Rozložení intenzit dopravy je u každého typu znázorněno poměrově černými šipkami.

Čtyřpaprskové TOK:

- TOK typu vejce (viz Obr. 14)
- Základní TOK (viz Obr. 15)
- TOK typu koleno (viz Obr. 16)
- Spirálová TOK (viz Obr. 17)
- Rotorová TOK (viz Obr. 18)

Třípaprskové TOK:

- TOK typu propnuté koleno (viz Obr. 19)
- TOK typu hvězda (viz Obr. 20)

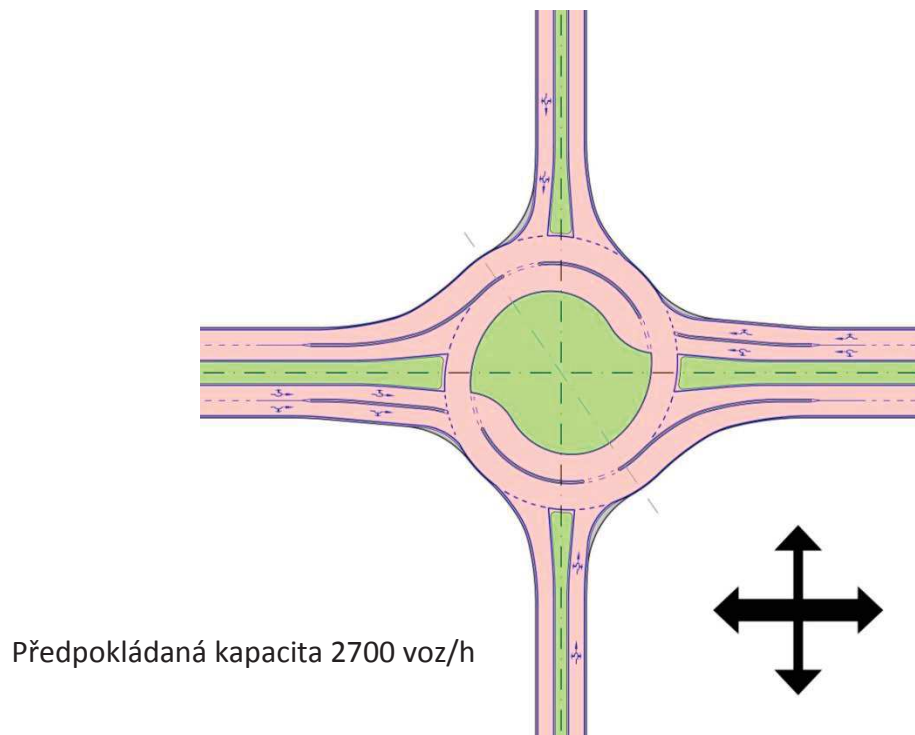
Vícepaprskové TOK jsou křižovatky s více než 4 paprsky. Jedná se o atypické řešení, u kterého je třeba zajistit dostatečný vnější průměr pro napojení všech paprsků.

Podle velikosti dále rozdělujeme výše uvedené typy TOK na rozměry, viz [47] a Tab. 21:

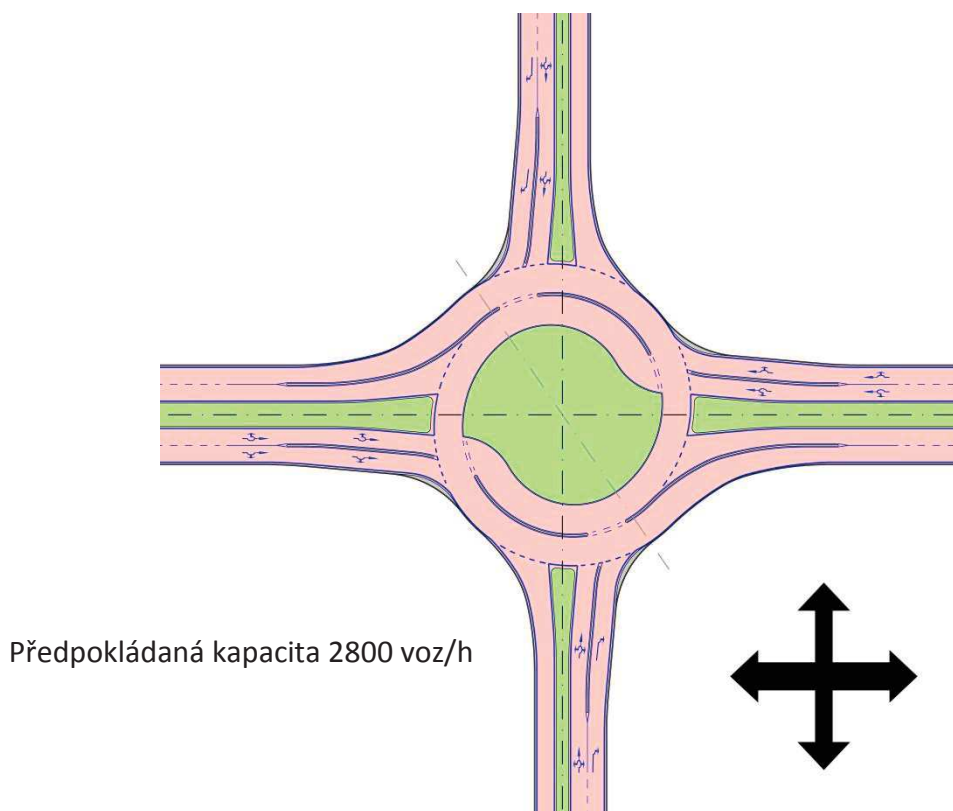
- malé
- malé standardní
- standardní
- velké

Faktory ovlivňující výběr typu a velikosti TOK jsou následující:

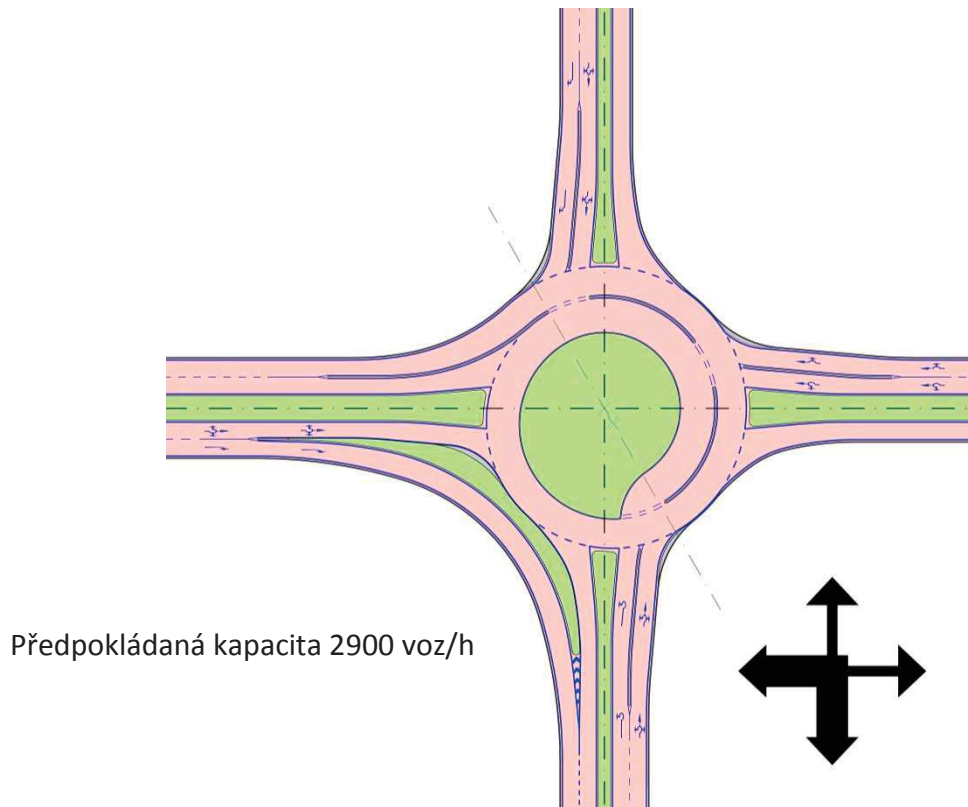
- počet připojovaných paprsků
- rozložení intenzit dopravy
- požadovaná průměrná doba zdržení
- prostorové možnosti a zábory pozemků
- náklady na výstavbu



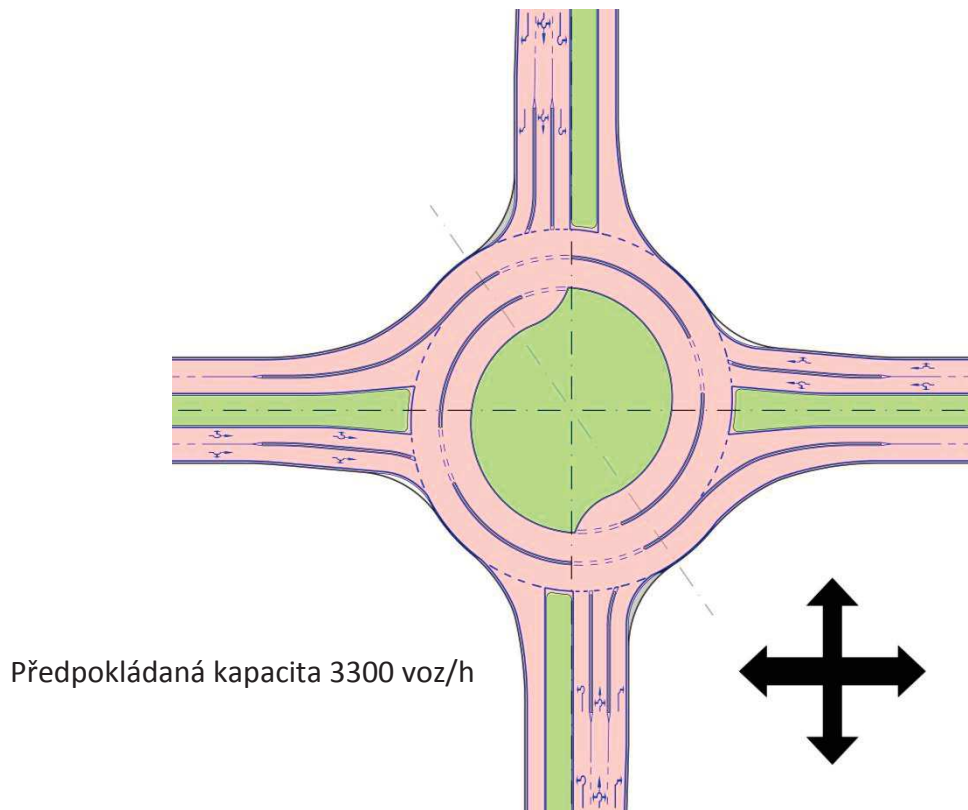
Obr. 14 TOK typu vejce



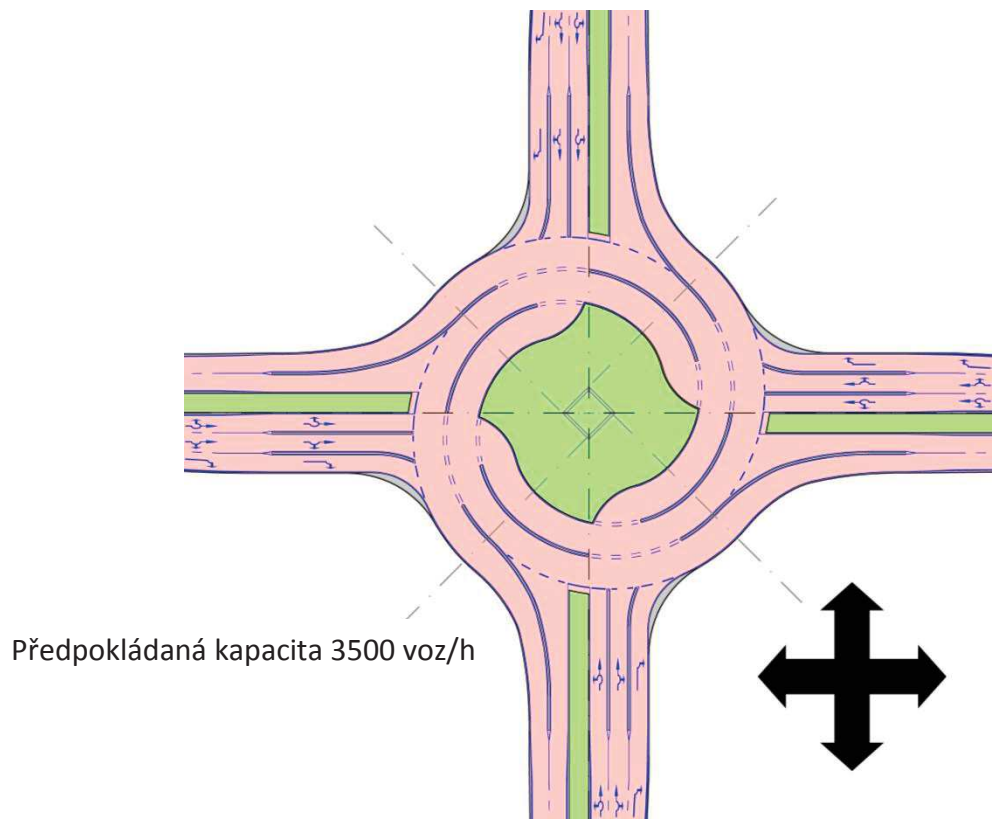
Obr. 15 Základní TOK



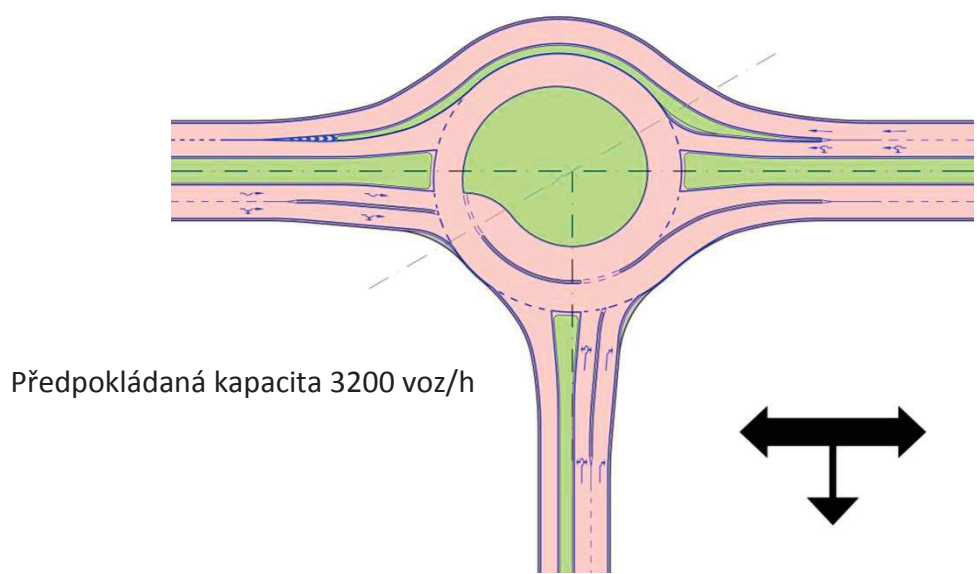
Obr. 16 TOK typu koleno



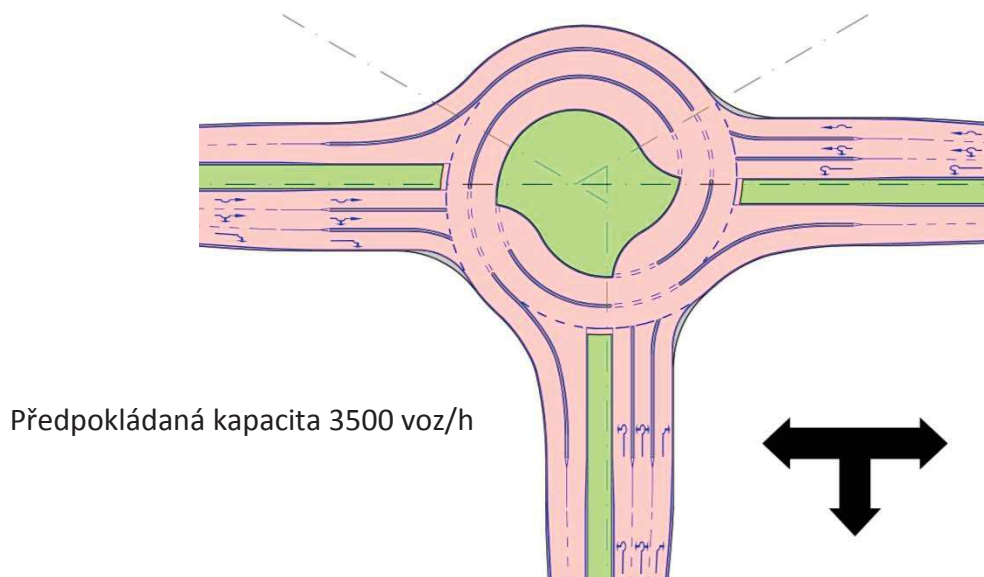
Obr. 17 Spirálová TOK



Obr. 18 Rotorová TOK



Obr. 19 TOK typu propnuté koleno



Obr. 20 TOK typu hvězda

Použití TOK typu hvězda (viz Obr. 20), spirálové a rotorové TOK (viz Obr. 17 a Obr. 18) se doporučuje zvážit kvůli jejich komplikovanosti a obtížné orientaci řidičů. Rovněž nutnost dávat přednost vozidlům na dvou jízdnicích na okružním jízdnicím pásu způsobuje na již realizovaných křižovatkách v zahraničí dopravní problémy.

4.6 Rešerše zahraničních materiálů

Cílem kapitoly je popsat stávající řešení v zahraničí, kde mají delší zkušenosti s návrhem TOK. Pro srovnání byly vybrány tyto státy: Nizozemí, Slovinsko, Německo, Jihoafrická republika, Velká Británie, Portugalsko, Itálie, Belgie a Švédsko.

4.6.1 Nizozemí

V Nizozemí se stejně jako v mnoha jiných státech zvyšovala kapacita OK přidáním dalšího jízdnicího pruhu na okružním pásu. Zkušenosti z praxe však ukázaly, že uvedené opatření je s ohledem na kapacitu a bezpečnost dopravy spíše zklamáním. Naproti tomu TOK s oddělenými jízdnicími pruhy na okružním pásu vykazují daleko lepší vlastnosti jak z hlediska bezpečnosti dopravy, tak kapacity. Z tohoto důvodu se v současné době v Holandsku navrhuje výhradně TOK a stávající OK s více pruhy na okruhu jsou postupně přestavovány na TOK, a to i provizorně pomocí dopravního značení.

V Nizozemí je kladen velký důraz na stejnorodost křižovatek. Je zastáván názor, že křižovatky svými parametry mají být stejné nebo hodně podobné, aby řidiče nepřekvapily. Řidič v takovém případě, ví, jakou rychlostí může křižovátku projet. Při splnění těchto podmínek se očekává, že křižovatka bude obecně bezpečnější. Řidič nebude překvapen tvarem a uspořádáním křižovatky. Nutno dodat, že nehodovost se v Nizozemí daří výrazným způsobem snižovat.



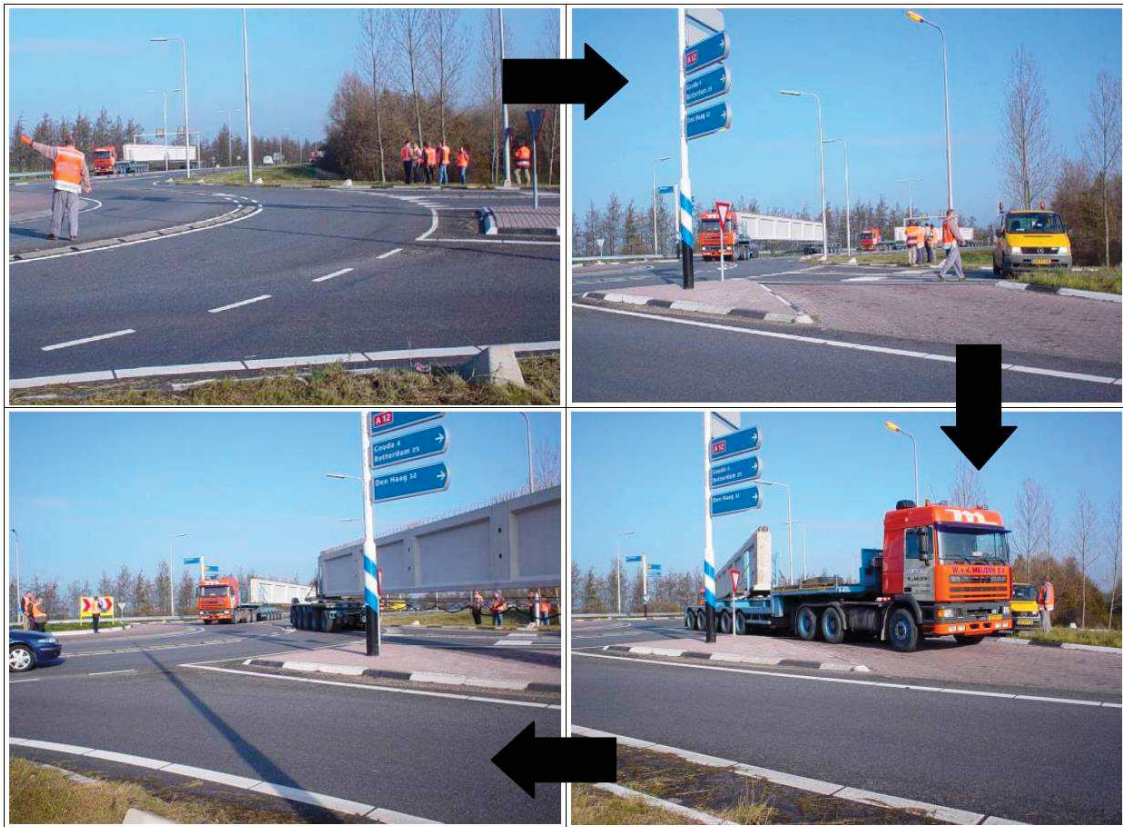
Obr. 21 Příklad osvětlení za pomoci LED diod pro zlepšení viditelnosti fyzického oddělení jízdních pruhů (převzato z [47])

Stejně jako u OK s více pruhy na okruhu, ani u TOK by chodci a cyklisté neměli být vedeni přes křižovatku a měla by jim být poskytnuta alternativní trasa.

Fyzické oddělení jízdních pruhů tvoří pro motocyklisty riziko – při jejich přejezdu mohou snadno spadnout. Zkušenosti z Nizozemí však ukazují, že motocyklisté preferují TOK před klasickými s více pruhy na okruhu, protože se nemusí obávat vozidel měnících jízdní pruhy na okružním pásu. Pro zajištění bezpečnosti motocyklistů je tedy zásadní opatřit křižovatku dopravním značením, které je upozorní na fyzické oddělení jízdních pruhů okružního pásu (viz Obr. 22).



Obr. 22 Výstražná značka „zvýšené oddělení jízdních pruhů“ pro motocyklisty a srpovitá krajnice určená pro pojezd kloubovými vozidly (převzato z [2])



Obr. 23 Nadměrné vozidlo, projíždějící křižovatkou, je naváděno organizátorem přepravy (převzato z [47])



Obr. 24 Oddělování jízdních pruhů v TOK Nizozemí (zdroj: Ing. Michal Kosňovský, Ph.D.)



Obr. 25 Detail provedení „přídlažby“ na TOK Nizozemí. Vzhledem k nedostatku přírodního kamene v Nizozemí, jsou prstence na OK betonové (zdroj: Ing. Michal Kosňovský, Ph.D.)



Obr. 26 Detail provedení vjezdu na TOK v Nizozemí (zdroj: Ing. Michal Kosňovský, Ph.D.)

4.6.2 Slovinsko

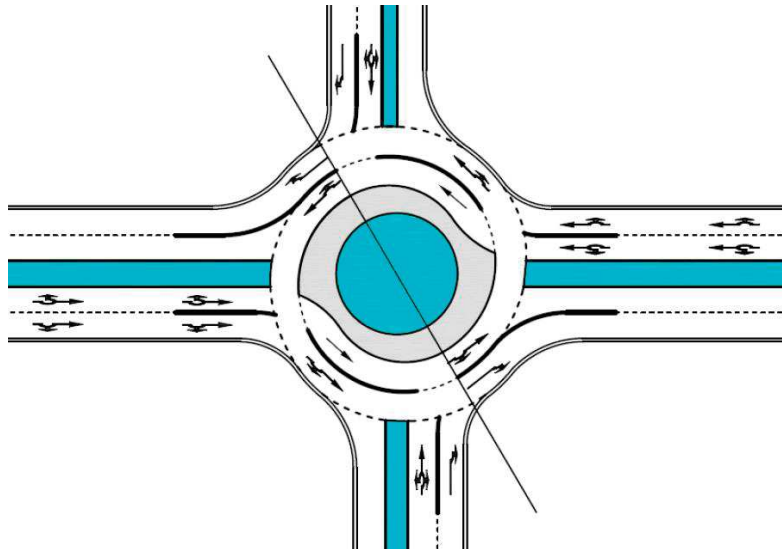
Myšlenka OK se spirálovým uspořádáním jízdních pruhů na okružním pásu byla velmi rychle (během několika let) přenesena i do slovinského prostředí. Jejich uplatnění mělo zejména tyto důvody:

- V minulosti bylo ve Slovinsku postaveno mnoho malých OK se dvěma pruhy na okružním pásu, které odporovaly zákonem nařízenému pravidlu, že řidič musí povinně použít vnitřní jízdní pruh, pokud neopouští křižovatku na nejbližším dalším výjezdu (průměrný

řidič zde však nemá dostatečnou délku trajektorie jízdy k tomu, aby byl schopen změnit jízdní pruh).

- Druhý důvod je ten, že vnitřní jízdní pruh na okružním pásu není zajímavý pro mladé a naopak staré řidiče, protože se cítí při změně jízdních pruhů málo bezpečně.

Kvůli výše uvedeným důvodům se ve Slovinsku začaly zavádět OK se spirálovým uspořádáním jízdních pruhů na okruhu již v roce 2002. Problematika jejich návrhu byla řešena ve spolupráci univerzity v Mariboru a projekčních firem. První koncept řešení OK jako spirálové se pak objevil právě v Mariboru [17].



Obr. 27 Základní koncept TOK včetně osy symetrie (převzato z [22])

Ve Slovinsku podobně jako v ČR při navrhování TOK kladou důraz na bezpečnost, úpravu parametrů křižovatky ve vztahu k rychlostem vozidel při jejich průjezdu, na jednoznačnost parametrů TOK a na jejich kapacitu. Dělicí ostrůvky na větvích TOK mají pozitivní vliv na bezpečnost. Jejich funkcí je usměrnění (navádění) vozidel na vjezdu do křižovatky, zároveň může sloužit k ochraně chodců (a cyklistů) při křížení větve křižovatky.

Je možné navrhnout trojúhelníkové (trychtýřovité) dělicí ostrůvky (Obr. 28), nebo kapkovité ostrůvky (Obr. 29). Minimální rozměry trojúhelníkového ostrova obecně není problém dodržet, protože se v zásadě používají hlavně na velkých OK (velký povrch dělicího ostrova). Minimální rozměry kapkovitého dělicího ostrůvku závisí na druhu účastníků silničního provozu v TOK, kteří přechází dělicí ostrůvek (chodci a cyklisté nebo pouze chodci).



Obr. 28 Trojúhelníkový (trychtýřovitý) dělicí ostrůvek (převzato z [18])

Doporučuje se, aby byl kapkový dělicí ostrůvek ve svém nejužším místě, kde se protíná s přechodem pro chodce, šířky nejméně 2,0 m (délka kočárku a osoby, která jej tlačí + bezpečnostní odstupy). Minimální šířka v místě osazení svislého dopravního značení II-47 Přikázaný směr objíždění vpravo a označení středního ostrůvku (VI-8) je nejméně 1,0 m.

V případě, že větev TOK s kapkovitým středním ostrůvkem kříží chodci a cyklisté, předpokládají se přísnější nebo složitější kritéria (šířka kapkovitého ostrova v nejužším místě, kde protíná cyklistickou stezku, musí mít šířku nejméně 2,0 m).



Obr. 29 Kapkový dělicí ostrůvek v uspořádání bez přítomnosti nemotorizovaných účastníků silničního provozu (převzato z [18])

U TOK v městském prostředí je přechod pro pěší a přejezd pro cyklisty z bezpečnostního hlediska problém. Proto každý případ TOK vyžaduje samostatné a pečlivé zvážení, jak naložit s nemotorizovanými účastníky silničního provozu. Je třeba vzít v úvahu velikost OK (počet pruhů na

okružním pásu, rychlost vozidel), intenzity pěší/cyklistické a automobilové dopravy (počet konfliktních situací) a počet jízdnic pruhů na vjezdu/výjezdu (délka přechodů pro chodce).

Realizace přechodů pro chodce a přejezdů pro cyklisty na TOK je jedním z možných řešení k zajištění dopravní bezpečnosti pro chodce a/nebo cyklisty při překonávání větví TOK.

Řádné provádění přechodů pro chodce a přejezdů pro cyklisty je velmi důležité. Přechody/přejezdy musí být situovány tak, aby jednak přilákaly maximální počet uživatelů (kteří by jinak přecházeli ulici náhodně) a jednak byly dostatečně viditelné pro řidiče.

Přechody/přejezdy se mírně odsazují od vnějšího okraje TOK. Doporučená vzdálenost mezi vnějším okrajem okružního pásu a přechody/přejezdy je rovna délce jednoho až tří vozidel.

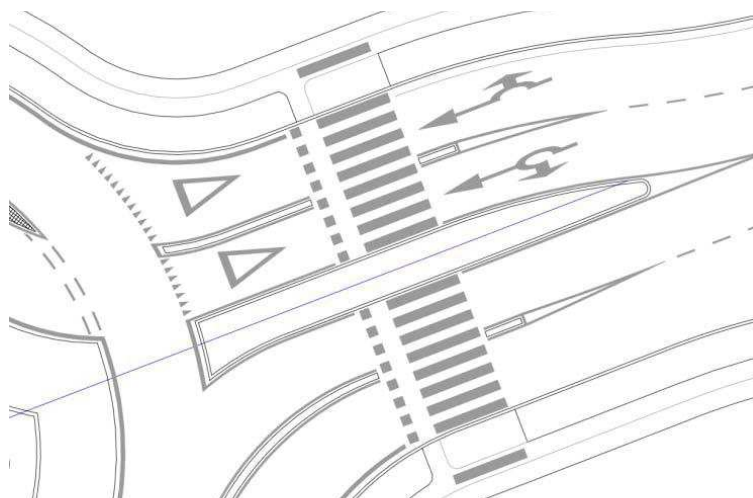
V případě, že jsou očekávány vysoké intenzity zranitelných účastníků silničního provozu, které budou nasměrovány na přechody pro chodce, úroveň jejich bezpečnosti může být zvýšena jedním z níže uvedených metod:

- separace vjezdových/výjezdových jízdnic pruhů dělicími ostrůvky,
- provedení přechodu/přejezdu mezi vjezdem a výjezdem ve tvaru písmene Z,
- realizace opatření zklidňování dopravy - lichoběžníkové zpomalovací prahy s integrovaným přechodem/přejezdem.

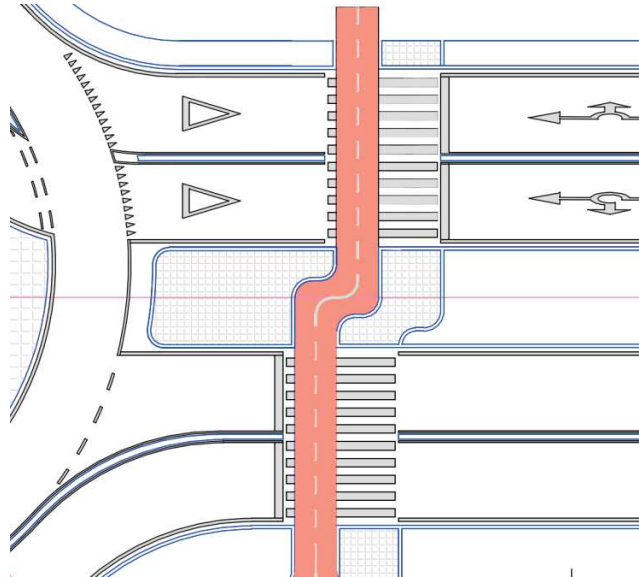
Oddělení vjezdových a/nebo výjezdových jízdnic pruhů pomocí dělicího ostrůvku se provádí v případě, kdy z hlediska kapacity není přijatelné navrhnout na vjezdu nebo výjezdu pouze jeden jízdnic pruh, a pokud je na tento ostrůvek dostatek prostoru (Obr. 30).

Přejezd pro cyklisty ve tvaru písmene Z (Obr. 31) se provádí v případě, kdy se očekává vysoká intenzita cyklistů. Tím pádem je třeba jejich rychlost na přejezdu větve křižovatky snížit, a tím přispět ke zvýšení jejich úrovně bezpečnosti.

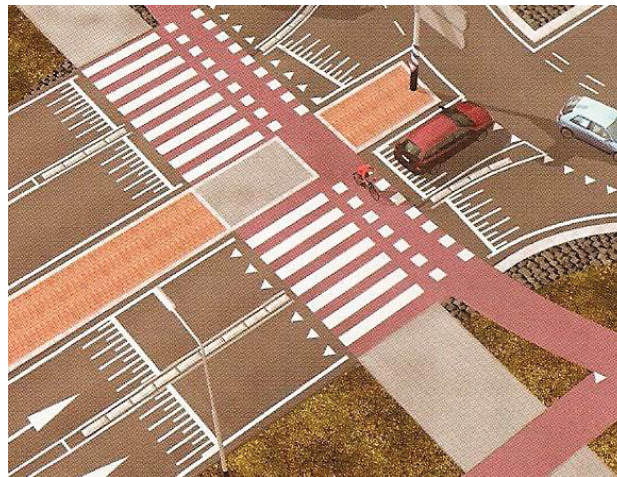
V případě, že se před zahájením provozu (nebo po určité době provozu) TOK, zjistí rychlost vozidel na vjezdech/výjezdech křižovatky větší než dovolená hodnota, jako opatření poskytující vyšší úroveň bezpečnosti pro zranitelné účastníky silničního provozu je možno provést lichoběžníkový zpomalovací prah s integrovaným přechodem/přejezdem (Obr. 32). V takovém případě musí být délka prahu větší než rozvor směrodatného vozidla a výška menší nebo rovna 10 mm.



Obr. 30 Oddělení vjezdových a/nebo výjezdových jízdnic pruhů dělicím ostrůvkem (převzato z [22])



Obr. 31 Přechod pro chodce a přejezd pro cyklisty ve tvaru písmene Z mezi vjezdem a výjezdem (převzato z [19])

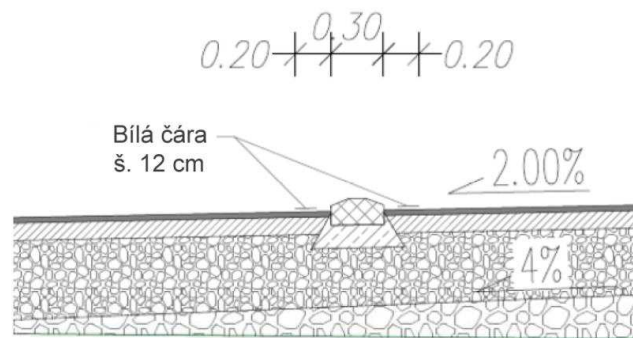


Obr. 32 Lichoběžníkový zpomalovací práh TOK (převzato z [19])

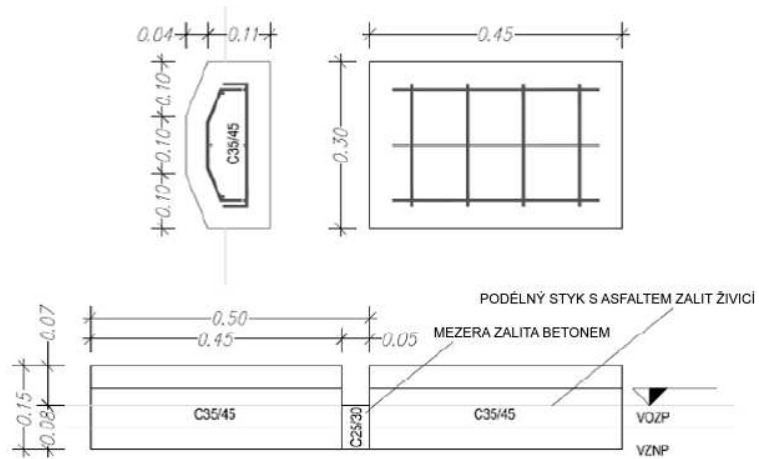
Mezi specifické detaily TOK patří fyzické oddělení jízdnic pruhů na okruhu a tzv. „špice“.

Fyzické oddělení jízdnic pruhů je provedeno z betonových prefabrikátů, které zabraňují průpletu vozidel mezi jízdnicími pruhy na okružním pásu (Obr. 33 a Obr. 34).

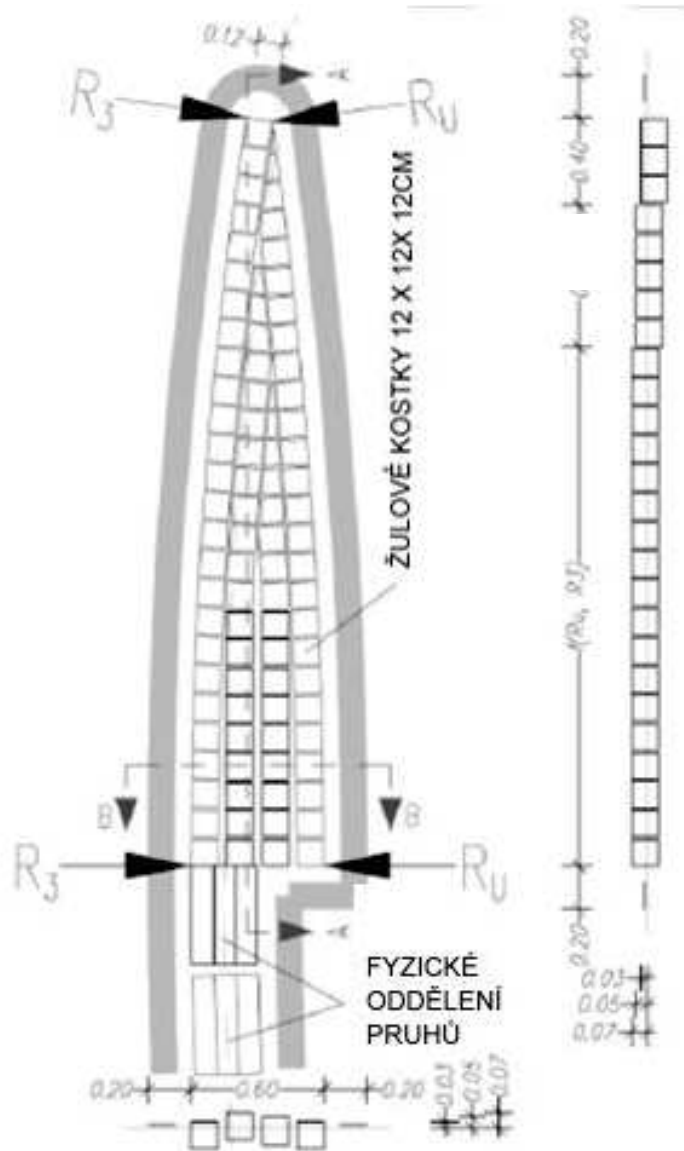
„Špice“ je stavební opatření na začátku fyzického oddělení jízdnic pruhů, které má zamezit proplétání dopravních proudů na okružním pásu. Provádí se jako useknutý (zakotvený) prvek fyzického oddělení jízdnic pruhů nebo z dlažby (Obr. 35).



Obr. 33 Řez prvkem fyzického oddělení jízdních pruh – detail provedení (převzato z [22])



Obr. 34 Rozměry, vyztužení a způsob zabudování prvků fyzického oddělení jízdních pruhů (převzato z [19])



Obr. 35 Prvek „špice“ (převzato z [19])



Obr. 36 Možná provedení „špice“ (převzato z [19])



Obr. 37 TOK v zimním období (převzato z [18])

Jedním z důvodů proč se v ČR nepovažuje za vhodné provádět fyzické oddělení jízdnic pruhů je problematická zimní údržba. Na Obr. 37 je patrné, že toto není tak velký problém. Okružní křižovatka v Mariboru bývá určitě zasněžena častěji než v Brně či Praze. Zimní údržba se provádí čistícími kartáči na místo sněžných pluhů.

Dopravní režim na TOK je jen důsledkem ustanovení pravidel silničního provozu a umístění dopravního značení, nikoliv důsledkem nějakých projekčních prvků, které by po nainstalování kanalizovaly dopravní proud a určovaly styl jízdy. Kromě toho v TOK jsou jízdnicí pruhy fyzicky odděleny, což znamená, že na okružním pásu není možné měnit jízdnicí pruhy (průplet). Rozhodování řidiče je založeno na příslušném dopravním značení před vjezdem do křižovatky, na základě kterého si vybere správný směr (jízdnicí pruh).

Uvědomíme-li si výše zmíněný fakt, že TOK běžně neumožňují objetí celého okruhu (tzn. návrat ve směru příjezdu), je jasné, že dopravní značení před křižovatkou je nanejvýš důležité. Proto ve Slovinsku kladou na dopravní značení stejné požadavky jako v jiných státech Evropy.



Obr. 38 TOK v centru Mariboru, řešení spolu s hromadnou dopravou



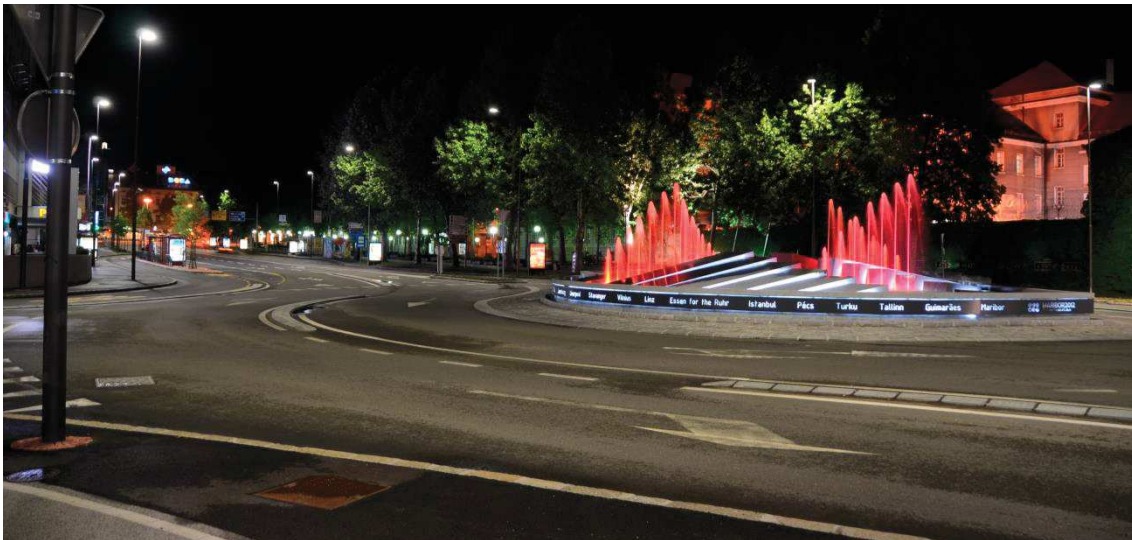
Obr. 39 Oddělení jízdních pruhů před TOK v Mariboru



Obr. 40 Dopravní značení před TOK v Mariboru



Obr. 41 Oddělení jízdních pruhu před TOK v Mariboru



Obr. 42 Noční pohled na osvětlenou TOK v Mariboru



Obr. 43 Světelně řízena TOK v Ljublaně



Obr. 44 Světelně řízena TOK v Ljublaně



Obr. 45 Mobilní, provizorní TOK v Treste



Obr. 46 Mobilní, provizorní TOK v Treste

Ve Slovinsku pod záštitou Prof. Tomaze Tollazziho z univerzity v Mariboru vidí v TOK velký potenciál. Doporučují je však provádět s jasným a přehledným dopravním značením a s fyzickým oddělováním jízdnic pruhů. Na druhou stranu nebojí se udělat takové křižovatky ani jako provizorní řešení, jak je patrné z Obr. 45 a Obr. 46.

4.6.3 Německo

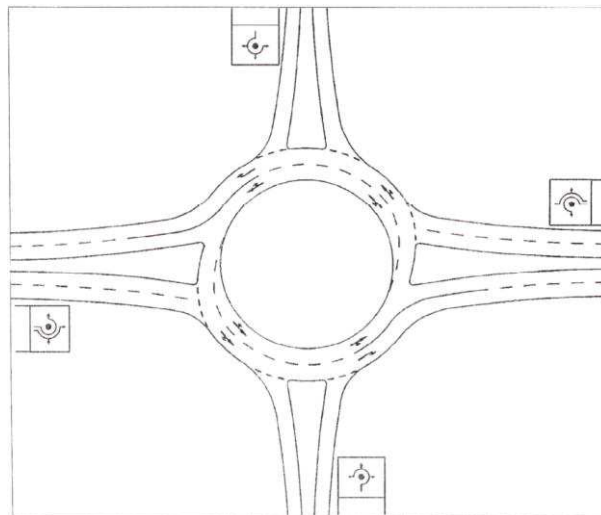
Stejně jako ostatní státy ve světě i v Německu mají problém s bezpečností na vícepruhových OK s více jízdnicími pruhy na vjezdu, okružním pásu i výjezdu. Výsledky jejich zkoumání jsou shrnuty ve studii [15], kde jsou popsány velké OK, na kterých bylo zaznamenáno až 200 nehod za rok.

Z německé studie vyplývají tyto závěry:

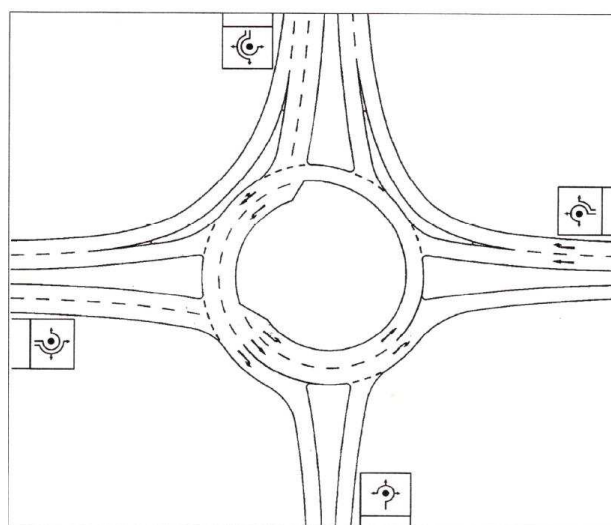
Střední ostrov musí být zásadně proveden jako kruhový. Napřímené resp. oválné střední ostrovy byly v minulosti vytvářeny s cílem prodlužovat průpletové úseky v hlavním směru. Takovýto návrhový princip ovšem zesiluje optickou přímost směrového vedení jednoho směru, zhoršuje rozlišitelnost a jeho důsledkem jsou příliš vysoké rychlosti na okružním pásu. Napřímené ostrovy lze použít pouze ve výjimečných případech (např. velmi omezených prostorových možnostech). Při novostavbě velké OK musí být průměr středového ostrova volen jednak v závislosti na počtu vjezdů a výjezdů, jednak musí být v případě vícepruhových vjezdů volen větší vnitřní průměr OK, aby bylo možno dosáhnout

žádoucího směrového vychýlení průjezdové dráhy i na vnějším jízdním pruhu okružního pásu. Vnitřní průměr nemá být menší než 40 m.

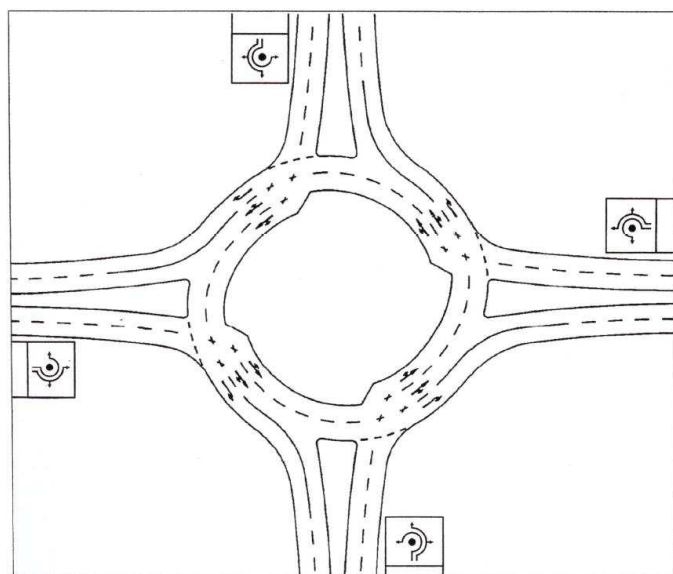
Na základě předchozích projekčních doporučení byla zkonstruována 3 vzorová schémata, viz Obr. 47, Obr. 48 a Obr. 49. S jejich pomocí je možné znázornit zejména účelné provedení vodorovného značení na okružním pásu. Zvoleny byly tři v praxi často se vyskytující případy konformní z hlediska zatížení s různými kombinacemi jízdních pruhů. Počty jízdních pruhů se pohybují mezi jedním až dvěma jízdními pruhy na vjezdech a až třemi jízdními pruhy na některých úsecích okružního pásu. Nezávisle na počtu jízdních pruhů je ve všech schématech usilováno o vedení ramen křižovatky na střed okružního pásu. Zaoblení rohů na vjezdech mají poloměr 12 až 14 m. Šířka středních dělicích ostrůvků činí 10 až 12 m. Vnitřní průměr tak vychází přibližně 40 až 50 m. Všem návrhům je společné, že průjezd okružního pásu je možný beze změny jízdního pruhu. Cílem tohoto opatření je účinné potlačení nehod při odbočování na výjezdech (střetů odbočujících vozidel z vnitřního pruhu okružního pásu s vozidlem ve vnějším jízdním pruhu pokračujícím přímo).



Obr. 47 Propojení čtyřpruhové a dvoupruhové komunikace (převzato z [18])



Obr. 48 Propojení čtyřpruhové a dvoupruhové komunikace, kdy hlavní směr je veden za roh (převzato z [18])



Obr. 49 Propojení čtyřpruhových komunikací (převzato z [16])

Podstatným důvodem pro shrnutí různých návrhových prvků formou vzorových schémat je ten, že rozhodující návrhové prvky (vnitřní průměr, vedení jízdních pruhů, poloměr vjezdu) mohou ke zlepšení bezpečnosti provozu přispět jen tehdy, jsou-li užity vyváženě. Konkrétně to znamená, že ve vzorových schématech užitý poměrně malý vnitřní průměr je možné aplikovat jen tehdy, jestliže je na okružním pásu pomocí rozumného způsobu vedení jízdních pruhů zabráněno průpletovým manévřům. Navíc musí být volbou malých poloměrů vjezdů snížena rychlost tak, aby do okružního pásu bylo možno vjíždět jen přiměřenou rychlostí.

Zvláštní pozornost musí být ve spojitosti s vedením jízdních pruhů na okružním pásu věnována orientačnímu dopravnímu značení. Kromě běžných dopravních značek upravujících přednost, které je potřebné umístit podle Všeobecného správního předpisu k pravidlům provozu (VwV-StVO), mají být v extravilánu na všech vjezdech umístěny návěsti před křižovatkou (značka 439StVO, viz též Obr. 50). V intravilánu mají být návěsti před křižovatkou umístěny v tahu hlavních místních komunikací a na všech vjezdech se dvěma nebo více jízdními pruhy. Prezentované půdorysně věrné zobrazení jízdních pruhů je účelné zejména pro zdůraznění dvoupruhových výjezdů. Zvyšuje u řidiče pocit bezpečnosti tak, že na okružním pásu předjímá uspořádání vodorovného značení.



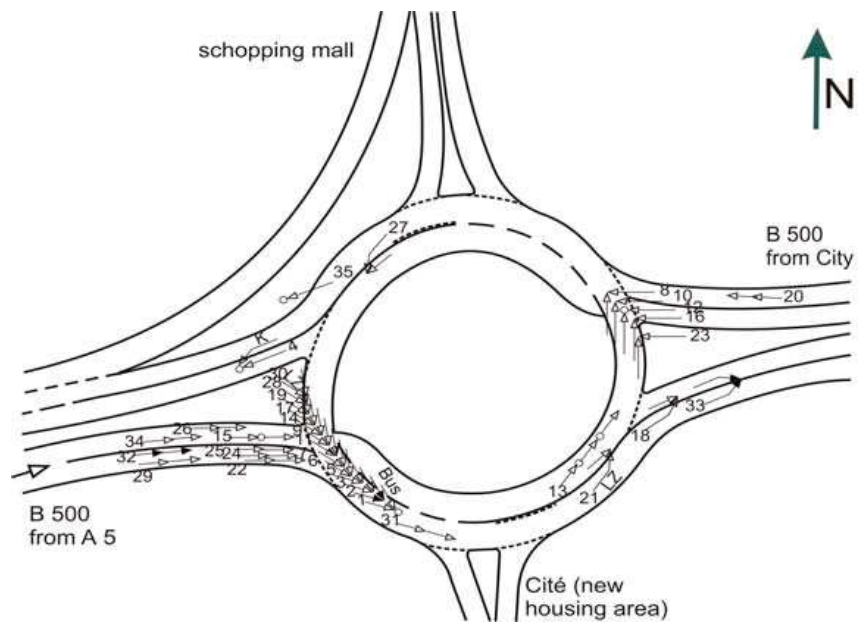
Obr. 50 Návěst před křižovatkou s vyznačením způsobu vedení jízdních pruhů odpovídajícím skutečnosti (převzato z [16])

V Německu byla do roku 2007 vybudována jedna experimentální TOK v Baden Badenu (viz Obr. 51). První zkušenosti jsou mírně pozitivní. Odlišnosti od provádění těchto křižovatek oproti Nizozemí,

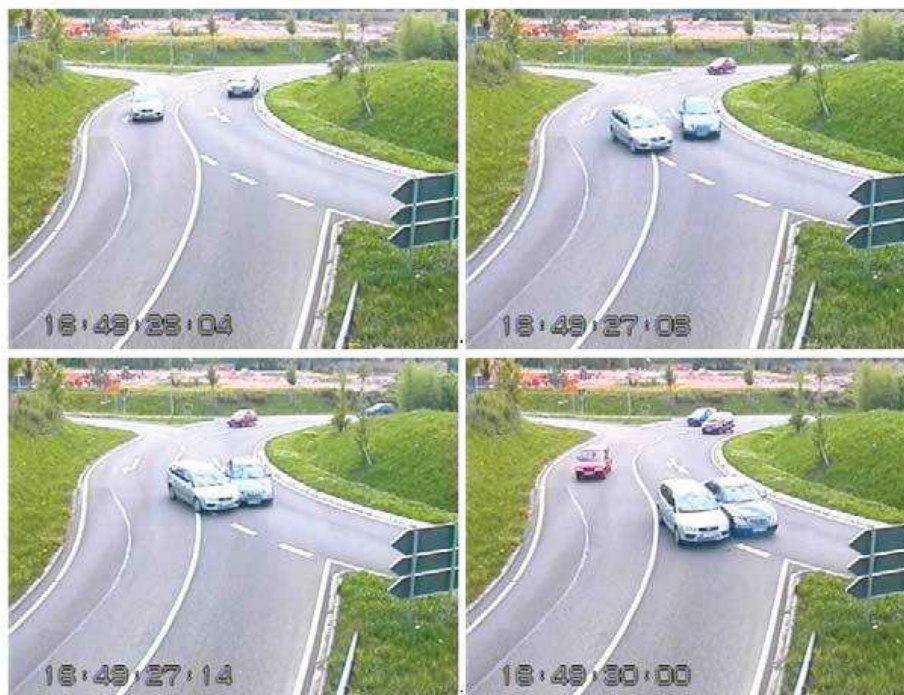
především absence fyzického oddělení jízdních pruhů na okruhu, mohou být důvodem nečekaně vysokého počtu nehod na jednom vjezdu (viz Obr. 53) [15].



Obr. 51 TOK v Baden Badenu (převzato z [15])



Obr. 52 Kolizní diagram TOK v Baden Badenu (převzato z [15]). Kolizní diagram je grafické zobrazení nehod ve sledovaném území, z kterého jsou přehledněji patrné místa vzniku dopravních nehod.



Obr. 53 Důsledky nahrazení fyzického oddělení jízdních pruhů na okružním pásu pouze vodorovným dopravním značením (převzato z [15])

TOK v Baden Badenu nefunguje dobře, nicméně je schopná přenést vysoké intenzity dopravy v jednom směru navzdory nízké poptávce na bočních větvích. Chodci a cyklisté by měli být vedeni mimo TOK (v případě Baden-Badenu jsou vedeni po lávce) [15].

V Německu se nedoporučuje provádět fyzické oddělení jízdních pruhů, což má samozřejmě za následek nebezpečné kolizní situace, viz Obr. 53. Následky tohoto opatření jsou patrné i z kolizního diagramu, viz Obr. 52.

4.6.4 Jihoafrická republika

Jihoafrická republika zažívá nebývalý nárůst dopravy v zastavěných oblastech a TOK zde mohou nabídnout významné zefektivnění dopravní sítě.

Návrhové parametry byly převzaty zejména z Nizozemského předpisu, jak je patrné z Obr. 54.



Obr. 54 Tahač s návěsem přejíždějící fyzické oddělení jízdních pruhů (převzato z [13]).

4.6.5 Velká Británie

Počátek TOK ve Velké Británii je spjatý s velkými OK a jejich řízením světelnou signalizací. Přibližně v roce 1978 se zde započalo s aplikací vodorovného dopravního značení okružního pásu ve tvaru

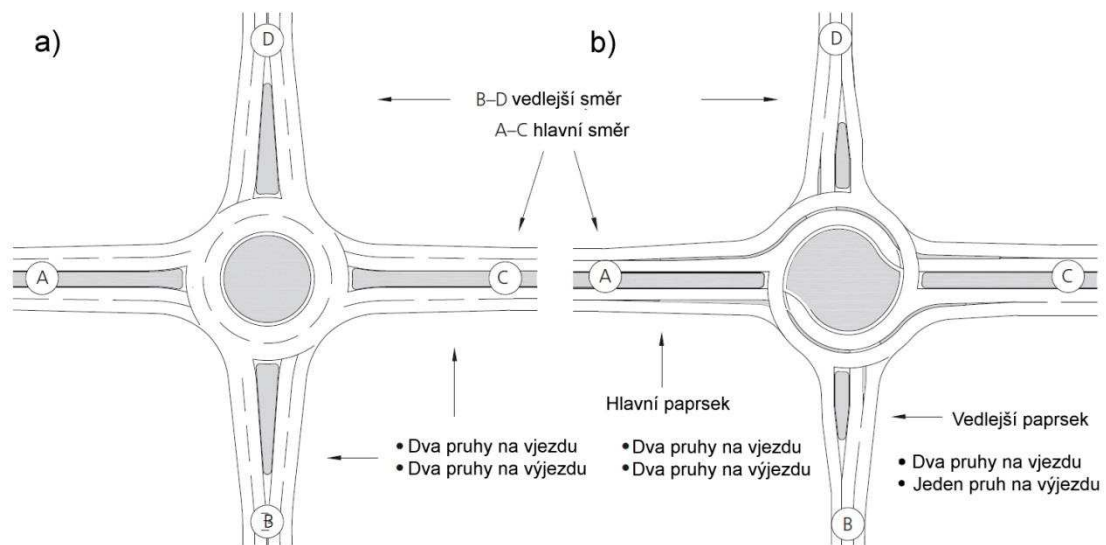
spirály s cílem zvýšit kapacitu velkých OK. Mezi hlavní výhody tohoto systému organizace provozu patří:

- velmi výrazné omezení průpletu vozidel,
- jednoznačný a pro ostatní řidiče zřetelný pohyb jednotlivých vozidel,
- spojením předchozích výhod dojde ke zkrácení délek kritických mezer a zvýšení kapacity křižovatky [13].

4.6.6 Portugalsko

Z výzkumu standardních OK se dvěma jízdními pruhy na silniční síti v Portugalsku [9] vyplývá, že více než 40 % řidičů ve volném dopravním proudu používá na vjezdu do OK vnější jízdni pruh (pravý, přilehlý k chodníku) a pokračuje přímoú trajektorií s následným vjezdem do levého jízdniho pruhu na okružním pásu (předpokládá se jízda vpravo). Podobný případ nastává u trajektorií vozidel jedoucích ve vnitřním jízdni pruhu (levý, přilehlý k dělicímu ostrůvku): více než 20 % řidičů se rozhodne opustit okružní křižovatku za použití pravého jízdniho pruhu bez ohledu na vodorovné dopravní značení. Bylo zjištěno, že toto chování je silně závislé na geometrii OK, konkrétně na velikosti vychýlení. Absence fyzických prvků, které by řidičům vnuly náhlé změny trajektorie, vede k zvýšené tendenci řidičů měnit jízdni pruhy na okruhu a také ke vzorcům chování, které jsou charakteristické vysokou rychlostí na vjezdu a různorodým chováním řidičů. Tyto nešvary se přenáší i do oblastí výjezdů a přechodů pro chodce. Na druhou stranu při použití velkého vychýlení jízdni dráhy je řidičům vnucen nekomfortní průjezd, který může přimět řidiče přejet do sousedního jízdniho pruhu za účelem napřímění dráhy a tedy komfortnějšího projetí křižovatky.

Geometrické parametry mají následně přímý dopad i na bezpečnost OK. Poloměr vychýlení a vjezdový úhel jsou dva nejdůležitější geometrické faktory, které přispívají k četnosti nehod.



Obr. 55 Analyzované uspořádání: a) běžná okružní křižovatka a b) TOK (převzato z [6]).

4.6.7 Itálie

Geometrické uspořádání přebírají z Nizozemských a dále potom ze Slovinských předpisů [9].

4.6.8 Belgie

Dopravní proudy jsou na TOK separovány do oddělených jízdni pruhů ještě před tím, než dosáhnou okružního pásu. Tento princip je výhodný z hlediska kapacity. Přesné posouzení kapacity TOK bývá provedeno pomocí kalibrovaného mikrosimulačního modelu. Ve zdroji [11] je popsána metoda pro

určení kapacity TOK a její hypotéza je zde prověřena.

Geometrie TOK v Belgii je převzata z Nizozemských předpisů.

4.6.9 Švédsko

Velice elegantně řeší výjezd z okružního pásu vícepruhové OK ve Švédsku, kde pravý jízdní pruhu okružního pásu dále nepokračuje po okružním pásu křižovatky, ale je vyveden plynule na výjezd z okružního pásu.

Podobné uspořádání jako je vidět ve Švédsku, je možné pozorovat i v České republice v Olomouci u Olympie na ulicích Přerovská a Keplerova. Jedná se prakticky o to, že v hlavních dvoupruhových směrech vždy pravý směr nepokračuje, ale je vyveden podobně jako u TOK na výjezd z okružního pásu. Tento přístup je určitě jednodušší než jízdní pruhy oddělovat fyzicky, nicméně vyžaduje ukázněnost řidičů.

4.6.10 Ostatní státy

Návrh řešení v Novém Zélandu, Litvě, Maďarsku vychází z principů návrhu v Nizozemí a Slovinsku, a proto zde nejsou tyto křižovatky popsány.

4.7 Stávající stav v ČR

Jedna z prvních TOK v ČR byla postavena v roce 2006 v Modřicích u Brna u obchodního centra Olympia. První připravovaná však byla křižovatka v Brně na křížení ulic Kamenice a Netroufalky u nově vznikajícího Kampusu Masarykovy univerzity v roce 2004. Křižovatka byla postavena v roce 2007.

Důvodem pro návrh TOK bylo zvýšení bezpečnosti v porovnání s vícepruhovými OK s klasickým uspořádáním jízdních pruhů na okruhu a kapacita.

Při návrhu TOK jsou často řešeny v ČR tři problémy (podobně jako v ostatních zemích ve světě). Jedná se o:

- dopravní značení,
- oddělování či spíše neoddělování jednotlivých jízdních pruhů betonovými tvarovkami (fyzické oddělení),
- šířku jízdních pruhů na vjezdu, okružním pásu i výjezdu TOK, což souvisí s oddělování či neoddělováním jízdních pruhů.

4.7.1 Časté nedostatky TOK v ČR

4.7.1.1 Dopravní značení

V současnosti je těsně před schválením úprava dopravního značení v technických podmínkách TP 169 Zásady pro označování dopravních situací na pozemních komunikacích. Dopravní značení je podobné s dopravním značením používaným ve Slovinsku. Značení je použito na TOK v Berouně, která byla postavena v roce 2013.

Dokud dopravní značení nebude zakotveno v právních předpisech ČR, bude způsob označování TOK ponechán na projektantovi a dotčených orgánech státní správy. Výsledkem bude pokračování stávajícího nejednotného stavu, což je pro řidiče značně matoucí.

4.7.1.2 Fyzické oddělení jízdních pruhů

Nejdiskutovanějším problémem v souvislosti s návrhem a výstavbou TOK v České republice je fyzické

oddělení jízdních pruhů před, v a za křižovatkou, podobně jak je prováděno v Nizozemí nebo ve Slovinsku. Hlavním důvodem, proč dotčené orgány státní správy nepovolují fyzické oddělování jízdních pruhů v prostoru TOK, je údajně ztížená zimní údržba a dále pak betonové tvarovky tvořící nebezpečnou překážku pro jednostopá vozidla, tedy pro motocykly a cyklisty.

Zimní údržba na TOK lze provádět i u křižovatek s fyzickým oddělením jízdních pruhů a to hned dvojím způsobem. Jednak natáčením sněhového pluhu, tak aby byl sníh shrnován na okraj jízdního pruhu. Druhou možností je čištěním pomocí kartáčů.

4.7.1.3 Dostatečná šířka jízdních pruhů

Problémy s geometrií křižovatek jsou patrné z Obr. 56. Z průjezdu nákladního vozidla křižovatkou je zřejmé, že šířky jízdních pruhů jsou nedostatečné a nákladní vozidla vjíždí do sousedních jízdních pruhů. Rovněž poloměry oblouků na vjezdu a výjezdu z okružního pásu jsou malé. Tento návrh neakceptuje dostatečné rozšíření jízdních pruhů u dvoupruhových vjezdů do křižovatky. Pokud se však takové rozšíření provede dle vlečných křivek největších vozidel s absencí jejich fyzického dělení jízdních pruhů, umožní křižovatka rychlé přímé průjezdy osobních vozidel.



Obr. 56 TOK, průjezd kamionu, v Olomouci na ulici Lipenská



Obr. 57 TOK v Brně ulic Kamenice, Netroufalky



Obr. 58 TOK v Olomouci ulic Lipenská, Hamerská



Obr. 59 TOK v Brně ulic Hradecká, Žabovřeská

4.7.2 Realizované TOK v ČR

V současné době lze říci, že v České republice je postaveno více než 10 TOK různých druhů, z nichž jedna křižovatka je částečně světelně řízená (Havířov u železničního nádraží).

U všech uvedených křižovatek byla zjištěna nehodovost a jejich geometrie v podobě situačních výkresů. Bylo zde provedeno sčítání dopravy. Výsledky měření jsou popsány v kapitole 6.

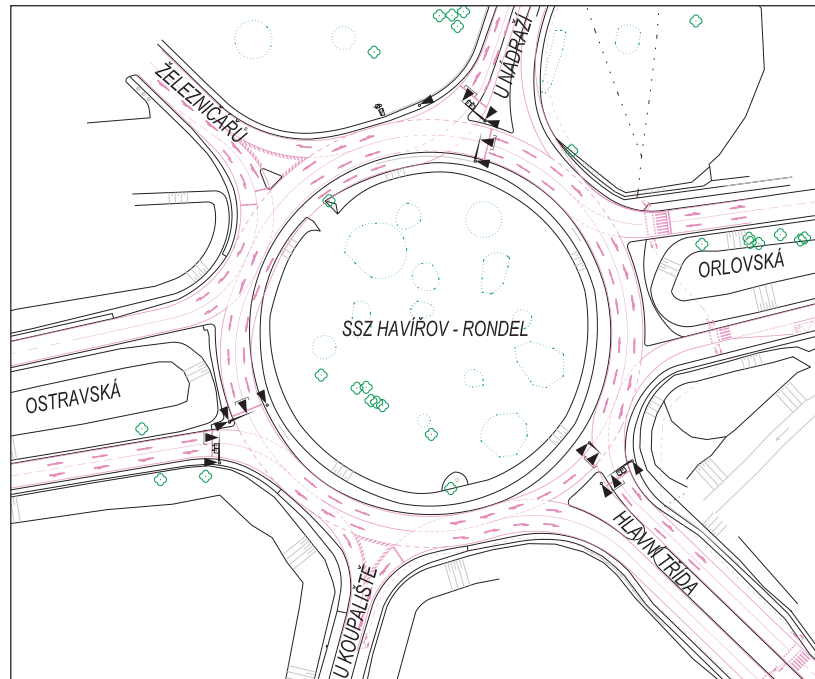
4.7.2.1 Brno Hradecká

Jedná se o další z řady TOK postavených v Brně. Křižovatka je navržena na místních sběrných komunikacích pod mostními objekty vyšší třídy komunikací. Jedná se o křižovatku, kde spirálové uspořádání jízdních pruhů je provedeno pouze formou dopravního značení, viz Obr. 59.

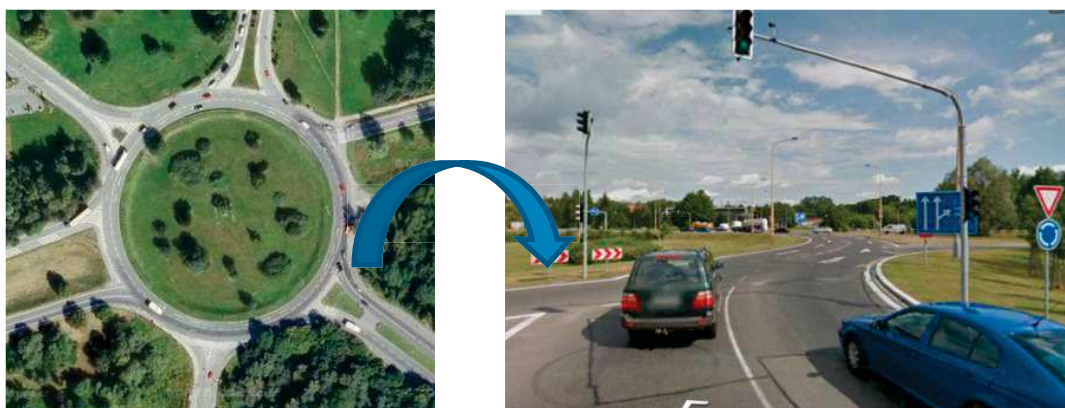
4.7.2.2 Havířov (hybridní řešení)

Dopravní situace v Havířově byla u původní vícepruhové okružní křižovatky nevyhovující jak z hlediska plynulosti dopravy (tvorba dlouhých front a časových zdržení), tak z hlediska bezpečnosti dopravy (značný počet nehod).

V současné době je křižovatka částečně světelně řízená (Haviřov u železničního nádraží). Tato křižovatka byla původně navržena jako dvoupruhová, tedy se dvěma pruhy na vjezdu, výjezdu i na okružním pásu. Na křižovatce s tímto uspořádáním docházelo průměrně k 22 dopravním nehodám za rok. Ovšem je třeba uvést, že se jedná pouze o nehody evidované policií, což jsou obvykle nehody s hmotnou škodou nad 100 000 Kč (cca 3 800 €) nebo s následky na zdraví. Kolik bylo na této křižovatce dopravních nehod neevidovaných policií, není možné zjistit. Po přestavbě křižovatky v roce 2010 na částečně světelně řízenou TOK došlo v roce 2011 ke 2 dopravním nehodám a v roce 2012 došlo k 3 dopravním nehodám. Částečně světelně řízená znamená v tomto případě to, že jsou pomocí SSZ řízené jen některé vjezdy. V tomto případě se jedná o řízení tří vjezdů ze šesti zaústěných do okružního pásu, viz Obr. 60.



Obr. 60 Částečně světelně řízená křižovatka v Haviřově blízko železničního nádraží (zdroj PATRIOT, spol. s r.o.)



Obr. 61 Haviřov: konverze z vícepruhové okružní na hybridní TOK se SSZ

Přestavbou této vícepruhové OK na TOK spolu s řízením několika paprsků křižovatky došlo k výraznému zvýšení kapacity a snížení nehodovosti, a to jak snížení počtu nehod pouze s hmotnou škodou, tak i nehod s následky na zdraví. TOK se tedy ukázala jako poměrně úspěšný nástroj pro přestavbu nepřehledné křižovatky.

4.7.2.3 Olomouc Hamerská

V Olomouci byla provedena konverze průsečné křižovatky na TOK se dvěma bypassy. Jedna z křižujících komunikací je přitom čtyřpruhová (bývalá silnice I/35, dnes označená jako silnice II/535). Srovnání počtu nehod a zraněných v průběhu času ukazuje velmi výrazný pokles po konverzi na TOK, viz kapitola 6.

Nedostatkem křižovatky je ovšem absence fyzického oddělení jízdních pruhů, které způsobuje přejíždění vozidel z jednoho pruhu do druhého během průjezdu křižovatkou. Z tohoto vyplývají úzké jízdní pruhy. Pokud by došlo totiž k jejich rozšíření a nebylo provedeno fyzické oddělení jízdních pruhů, osobní vozidla by zejména ve směru čtyřpruhového uspořádání mohla jezdit vysokou rychlostí, čímž by došlo ke snížení kapacity křižovatky, jelikož by vozidla jedoucí z „vedlejších“ prasků křižovatky potřebovala na vjetí větší mezeru. Tvar křižovatky je patrný z Obr. 58 a Obr. 62.

Důvodem výstavby poměrně zdařilé přestavby křižovatky v Olomouci byl podklad diplomové práce zpracované na VUT v Brně pod vedením autora této práce.



Obr. 62 Olomouc: Hamerská – konverze průsečné křižovatky na TOK

4.7.2.4 Prostějov

V Prostějově došlo ke konverzi původně průsečné křižovatky řízené světelně signalizačním zařízením na jednoduchou TOK s jedním dvoupruhovým vjezdem. Křižovatka již před konverzí vykazovala malou nehodovost (do 3 evidovaných nehod ročně) a žádné zraněné, což pokračovalo i po její přestavbě.



Obr. 63 Konverze průsečné signalizované křižovatky na TOK v Prostějově

Nutno dodat, že na křižovatce je vyčerpána kapacita, zejména v ulici Dolní vznikají kolony vozidel v řádech stovek metrů délky. Je zde vysoký podíl nemotorové dopravy (chodců, cyklistů). Otázkou zůstává, zda mělo vůbec dojít k přestavbě světelně řízené křižovatky na TOK za předpokladu, že byl

známý vysoký podíl nemotorové dopravy v křižovatce a nedostatečná kapacita navrhované křižovatky. Tato přestavba křižovatky není vhodným řešením aplikace TOK do městského prostoru silniční sítě.

4.7.2.5 České Budějovice

Jedná se o tři TOK v místní části Nové Hodějovice. Tyto křižovatky jsou součástí výstavby první etapy obchvatu v Českých Budějovicích. Křižovatky jsou zajímavé použitím fyzického oddělení jednotlivých jízdnic pruhů, viz Obr. 64 a Obr. 65.



Obr. 64 Pohled na dvě ze tří TOK v Českých Budějovicích – Nové Hodějovice

Křižovatka byla postavena dle Nizozemských předpisů [47], nicméně na základě místního šetření nejsou jízdnicí pruhy dostatečně široké pro průjezd nákladních souprav. To dokazuje i Obr. 65, ze kterého je patrné, že šířka jízdnicí pruhu je vyčerpána téměř na 100 % a nezbývá již žádná rezerva.



Obr. 65 Průjezd návěsové soupravy délky 16,5 m na TOK v Českých Budějovicích – Nové Hodějovice

Rozšíření v oblouku uvedených v [22], [39] i [47] je ostatně problém nejen křižovatky v Českých Budějovicích, ale i křižovatek v postavených v Nizozemí, viz Obr. 66 a Obr. 67.



Obr. 66 Pohled na vjezd do TOK před úpravou v Nizozemí - Uden (zdroj google).



Obr. 67 Pohled na úpravu vjezdu do TOK v Nizozemí - Uden (zdroj google)

Křižovatky v Českých Budějovicích byly zprovozněny na podzim roku 2014. Jak již bylo uvedeno, jedná se o stavbu, kdy je zprovozněna pouze první etapa (Obr. 64), intenzity vozidel zde zatím nejsou velké, proto zde ještě nebylo provedeno sčítání dopravy.

Nehodovost byla zjišťována v době od uvedení do provozu do září roku 2015. Bylo zjištěno, že na těchto křižovatkách nedošlo k žádné nehodě zaznamenané policií.



Obr. 68 Pohled způsob fyzického oddělení na TOK v Českých Budějovicích – Nové Hodějovice

Křižovatka má tři nedostatky. Příliš vysoké fyzické oddělení jízdních pruhů cca 100 mm, viz Obr. 69. Dále nedostatečnou šířku jízdních pruhů, viz Obr. 65, a přílišnou kreativitu v aplikaci dopravního značení, viz Obr. 70.



Obr. 69 Měření fyzického oddělení na TOK v Českých Budějovicích – Nové Hodějovice



Obr. 70 Nelogicky použitá dopravní značka na TOK v Českých Budějovicích – Nové Hodějovice, kdy použitá dodatková tabulka může evokovat zrychlování vozidel před TOK.

4.7.2.6 Brno – Slatina

V roce září roku 2014 byla uvedena do provozu TOK v Brně na ulicích Řipská, Hviezdoslavova a Olomoucká (viz Obr. 71). Došlo tak k přestavbě původně světelně řízené křižovatky na TOK.



Obr. 71 TOK v Brně – Slatině, s fyzickým oddělením jízdnic pruhů na výjezdu z křižovatky.

Jedná se o křižovatku výrazně zatíženou dopravou. Zajímavostí na ní je fyzické oddělení jízdnic pruhů na výjezdu z okružního pásu křižovatky, které přispívá k bezpečnosti. Nicméně na okružním pásu křižovatky fyzické oddělení provedeno není.

Otázkou zůstává, jak bude v budoucnu zvládat tato křižovatka silné zátěže vozidel, zejména s ohledem na rozvoj výstavby a tím i zdrojů a cílů dopravy v dané lokalitě (obchodní centrum, obytné soubory, další rozvoj v průmyslové oblasti Brno – Slatina). Z důvodu krátké doby sledování nebyly na této křižovatce sledovány intenzity vozidel ani nehodovost.

Křižovatka byla opět zpracovávána v rámci diplomové práce pod vedením autora této disertační práce. Z hlediska kapacity a s ohledem na nárůst intenzit vozidel ve výhledovém stavu nevyhověla. Další vývoj bude tedy patrný při dalším dlouhodobějším sledování. Intenzity vozidel byly převzaty z diplomové práce Ing. Petra Páchy před výstavbou TOK.

4.7.2.7 Brno – Kamenice x Netrouflaky

Jedná se o první naplánovanou křižovatku tohoto typu v České republice u tehdy nově vznikajícího kampusu Masarykovy univerzity. Při plánování křižovatky Kamenice x Netroufalky bylo uvažováno s celou řadou typů křižovatek. Původní průsečná křižovatka kapacitně nevyhovovala, a tak bylo nejdříve navrženo řízení světelným signalizačním opatřením. Takové řešení ovšem nebylo v souladu s urbanistickým uspořádáním dané lokality, která navazovala na koncepci zanesenou v územním plánu Města Brna spojenou s lanovou dráhou Žlutý kopec (Vaňkova náměstí) – Brněnské výstaviště a veletrhy a právě Brno – Bohunice nemocnice. Ve středu křižovatky měl, a stále ještě dle územního plánu má být, jeden ze sloupů lanové dráhy.

Tedy jediná možnost byla navrhnout křižovatku jako okružní. Jednopruhová OK nevyhověla a dalším logickým krokem byla tedy křižovatka dvoupruhová okružní. Ta však z hlediska bezpečnosti není příliš vhodným řešením, jak již bylo uvedeno výše. Následovala tedy TOK, jejíž návrh jsem provedl na základě jedné fotografie přivezené ze zahraniční konference.

V první řadě musel být vymyšlen vlastní postup sestavení křižovatky včetně všech dalších souvislostí spojených s funkčním řešením křižovatky, jako je směrové a výškové řešení, odvodnění křižovatky, dopravní značení a v neposlední řadě trolejové vedení v křižovatce.



Obr. 72 Vizualizace v prostoru křižovatky Kamenice x Netroufalky (Zdroj: A PLUS BRNO a.s.)

Výsledkem je TOK s vnějším průměrem 48 m, jejíž tvar je patrný z Obr. 57. Pokud srovnáme plánovanou výstavbu s reálnou stavbou, zjistíme, že v současné době není dostavěna druhá etapa výstavby nadchodu, která by vyřešila dnes problematické vysoké intenzity chodců na křižovatce. Právě dvě nehody s následky na zdraví se staly na této křižovatce na přechodech pro chodce.

4.7.2.8 Brno – Modřice, Obchodní centrum Olympia

Křižovatka u obchodního centra Olympia v Brně – Modřicích je křižovatkou typu koleno. Jedná se vůbec o první TOK postavenou v České republice. Křižovatka umožnila připojit další část obchodního centra při jeho další etapě výstavby. Ačkoliv je křižovatka blízko světelně řízené křižovatky, nevznikají zde dopravní problémy.



Obr. 73 TOK v Brně – Modřicích, OC Olympia

4.7.2.9 Olomouc ul. Keplerova

Jedná se o TOK typu koleno, která je postavena na páteřní komunikaci v Olomouci ve směru silnice I/55 směrem Přerov. Křižovatka má vnější průměr 58 m.



Obr. 74 TOK v Olomouci ul. Keplerova

Jelikož na křižovatce není provedeno fyzické oddělení jízdních pruhů, jízdní pruhy jsou tak široké, že umožní plynulé průjezdy křižovatkou.

Jedná se o přestavbu jednopruhové okružní křižovatky na TOK z důvodu navýšení kapacity pro potřeby velkoskladu obchodního řetězce Kaufland.

Počet nehod zůstal ve stejném počtu, došlo zde ovšem k nárůstu nehod s lehkým zraněním, a to v průměru jedna taková nehoda za rok po výstavbě křižovatky v roce 2010 až 2012. V následujících letech tento problém vymizel.

4.7.2.10 Beroun – křižovatka ulic Koněpruská, K Nádraží, u D5

Jedná se o TOK typu vejce, která má okružní pás řešený jako oválný, což obecně není pro TOK vhodným řešením. Její tvar i nedostatky jsou patrné z Obr. 4.

Křižovatka nemá fyzické oddělení jízdních pruhů. Její geometrie není vhodná, protože na jedné straně lze křižovatkou projet vysokou rychlostí a na druhé je pro jízdní soupravy téměř neprůjezdná, jak je patrné z Obr. 4.

4.8 Důvody nárůstu kapacity na TOK

Jedním z důvodů, proč se předpokládá vyšší kapacita TOK v porovnání s dvoupruhovými, je rovnoměrnější zatížení levého a pravého jízdního pruhu na vjezdu, kdy se předpokládá a i ze zahraničních studií vyplývá, že levý jízdní pruh na vícepruhových OK s klasickým řazením není příliš využíván. Popis tohoto tvrzení je patrný z měření uvedených v kapitole 6.

5 Metody měření a posouzení

V následujících bodech jsou popsány různé metody měření, včetně posouzení jejich vhodnosti pro dosažení cílů disertační práce a jejich použití.

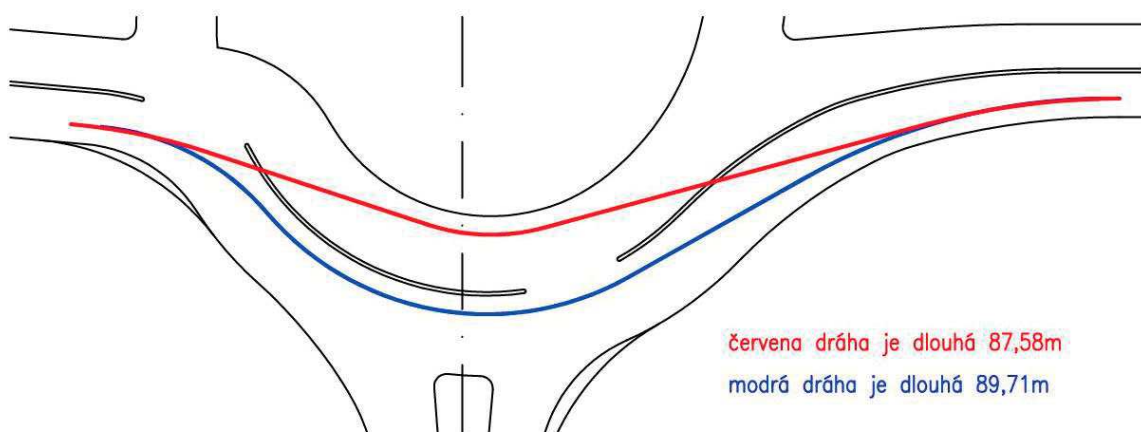
5.1 Měření rychlosti pomocí času na známé dráze a měření intenzit dopravy

Nejjednodušší způsob měření rychlosti je mezi dvěma značkami (čára na silnici) za předpokladu, že známe vzdálenosti těchto čar. V době, kdy vozidlo protne první čáru předními koly, se začne měřit čas, a stopky jsou vypnuty v době protnutí předních kol druhého místa. Potom známe čas a dráhu

vozidla a jsme schopni spočítat jednoduše rychlost vozidla. Jedná se o rychlost úsekovou mezi dvěma měřícími body.

Může zde docházet k drobné nepřesnosti, pokud měřené vozidlo zvolí odlišnou dráhu průjezdu. Tedy vozidlo si zkracuje dráhu přejížděním jednotlivých jízdních pruhů, jak je patrné z Tab. 1 a Obr. 75.

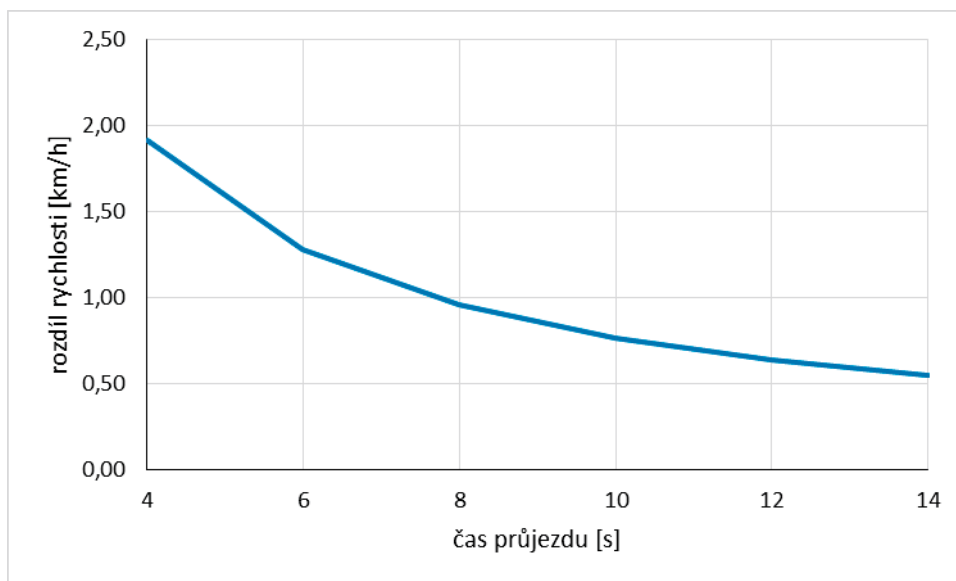
Pro posouzení této nepřesnosti byl použit jednoduchý případ, kdy byla změřena délka trasy vozidla, které si v maximální možné míře zkrátilo jízdní dráhu při průjezdu křižovatkou (červená trasa) a délka trasy vozidla, které respektuje jízdní pruhy (modrá trasa). Dále byl stanovený shodný čas v hodnotě 10 s pro průjezd vozidel tak, aby rychlost vozidel byla přibližně 30 km/h. Rozdíl v rychlostech pro tento čas je potom 0,77 km/h. Je samozřejmé, že pro zkracování času se bude tento rozdíl zvětšovat a při prodlužování času se bude rozdíl zmenšovat, jak vyplývá z Graf 1.



Obr. 75 Příklad průběhu dvou rozdílných os průjezdu vozidel dle obrázku přes okružní pás křižovatky při nedodržení jízdy vozidel v jízdních pruzích

Tab. 1 Zanedbatelný rozdíl v rychlostech pro červenou a modrou trasu

trajektorie vozidla	délka [m]	čas [s]	rychlost [km/h]
červená trasa	87,58	10	31,53
modrá trasa	89,71	10	32,30
rozdíl v rychlosti			0,77



Graf 1 Rozdíl rychlosti podle volby jednotlivých časů průjezdu po modré a červené trase

Co je však podstatnější, jsou vlastní projížděné směrové poloměry oblouku, kdy je logické, že vozidlo jedoucí po modré trajektorii bude mít při průjezdu křižovatkou rozdílnou rychlost ve srovnání s vozidlem projíždějícím po červené trajektorii, které jsou patrné z Obr. 75.

Tento způsob měření je nevhodný hned z několika důvodů. Vozidla se při průjezdu křižovatkou nepohybují rovnoměrnou rychlostí, což toto měření nezohledňuje. Vozidla sice jedou přibližně po stejně dlouhé dráze, ale liší se její geometrie, což samo o sobě ovlivňuje rychlost průjezdu.

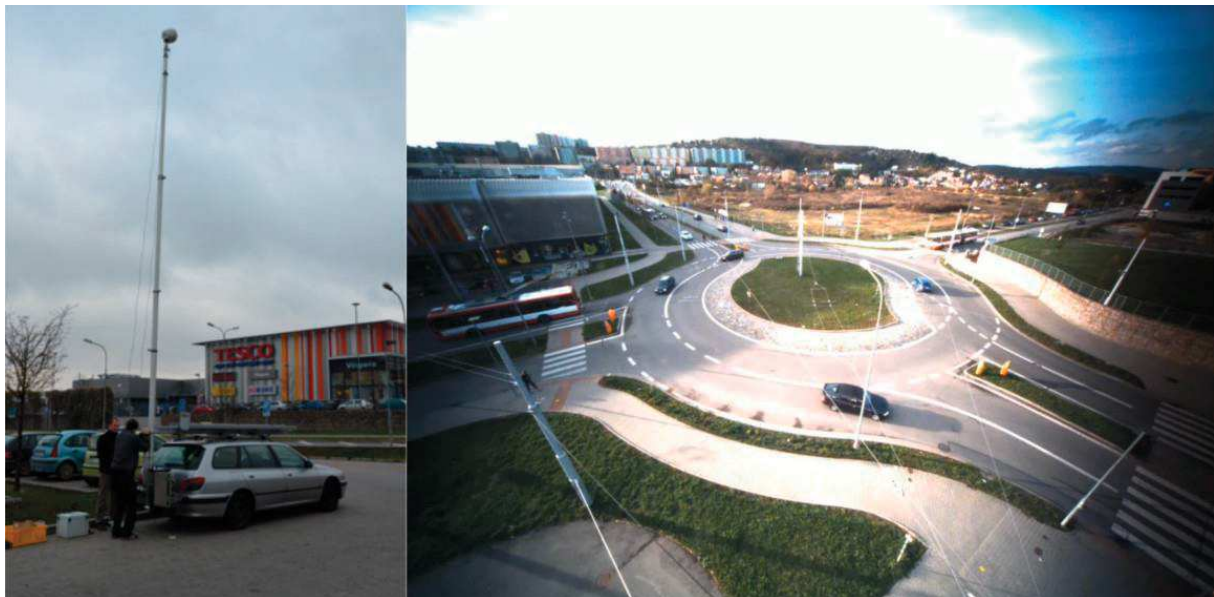
Pro měření rychlosti při průjezdu křižovatkou by bylo vhodné měřit průjezd více vozidel, nejen co se týče počtu, ale i druhu. Zároveň chceme zjistit rychlost ve více místech při vlastním průjezdu tak, aby bylo možné vyhodnotit rychlosti v jednotlivých směrových obloucích, které jsou patrné z Obr. 75. K tomuto měření by bylo nutné použít více osob, které takové měření budou zaznamenávat.

Dalším problémem je možnost provedení zpětné kontroly. Z tohoto například vyplývá nemožnost ověření, jakým způsobem byl ovlivněn průjezd měřeného vozidla křižovatkou ostatním provozem na křižovatce.

Toto měření lze dále provádět s pomocí analýzy videozáznamu. Pokusná měření byla provedena s umístěním kamery na mobilní stožár výšky 7 m, viz Obr. 76, resp. z teleskopického sloupu výšky 15 m, viz Obr. 77. V případě přítomnosti okolní zástavby byl prováděn videozáznam z přilehlých domů, viz Obr. 59. V závislosti na výšce kamery dochází ke značnému zkreslení situace křižovatky na videozáznamu, provádění záznamu přímo ze země vedle křižovatky naopak není vhodné z důvodu překrývání se vozidel na videozáznamu.



Obr. 76 Ukázka pohledu na křižovatku ze sedmimetrového stožáru



Obr. 77 Ukázka pohledu na křižovatku z patnáctimetrového stožáru

Z výše uvedených důvodů, bylo toho měření použito pouze pro vyhodnocování intenzity vozidel projíždějících křižovatkou. Výsledky vybraných sčítání jsou patrné z Tab. 13 Rozměry některých navržených křižovatek v ČR.

5.2 Měření rychlosti pomocí mobilních radarů

Nejčastější metodou je měření pomocí radarů, které pracují na principu Dopplerova jevu na počest fyzika Christiana Andreeho Dopplera, který tento jev popsal v roce 1842.

Pro účely dosažení cílů disertační práce byla provedena měření s pomocí radaru STALKER Sports Radar (ATS). Radar pracuje na mikrovlnné frekvenci 24,15 GHz. Přijímač je určen ke čtení změny frekvence, která je v rozsahu 360 – 18000 Hz. Radar je tedy schopen zaznamenat rychlost vozidel v rozsahu od 8 do 400 km/h. Radar je schopen rychlost měřit až 5x za sekundu, a proto výsledkem může být graf s průběhem rychlostí během cílení na měřený objekt, v našem případě na měřené vozidlo.

Principem měření je radarem vysílaný signál k vozidlu pohybující se k radaru (v našem případě). Signál se od vozidla odrazí zpět, změní se jeho frekvence a radar následně přijímá odražený signál. Elektronika v radaru následně z rozdílů frekvencí původního a odraženého signálu spočítá rychlost měřeného vozidla. Čím rychleji vozidlo jede, tím větší je rozdíl obou frekvencí.

Předpokládáme-li, že mezi měřeným vozidlem a radarem bude přímka a vozidlo jede po přímce. Potom vyšleme-li signál k frekvenci f a tedy i vlnovou délkou proti objektu (automobilu), který se k nám přibližuje po přímce, tak se frekvence bude měnit dle vztahu:

(1)

$$f_p = \frac{f_s c + f_s v_s}{c}$$

Vyjádřením v_s dostáváme vzorec, který je nutné podělit dvěma, jelikož se musí paprsek vrátit zpět k přijímači radaru:

(2)

$$v_s = \frac{f_p c - f_s c}{2f_s}$$

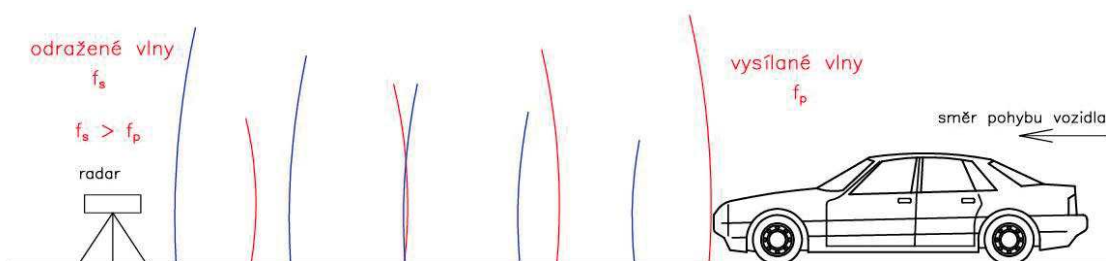
kde:

v_s – rychlost měřeného vozidla [m/s]

f_s – frekvence vysílaného signálu [Hz]

f_p – frekvence přijímaného signálu [Hz]

c – rychlost vlnění, čili v tomto případě rychlost světla $3 \cdot 10^8$ [m/s]



Obr. 78 Měření rychlost vozidel pomocí radaru

Pokud se však vozidlo nepohybuje přímo k radaru, získáváme měřením radarem pouze jednu složku vektoru rychlosti, nikoliv skutečnou rychlost vozidla. Velikost odchylky naměřené rychlosti je dána vychýlením vozidla jedoucího po křivce od směru k radaru, jak je patrné z Obr. 79. Pro 30 km/h a další úhly je v Tab 2 dopočítán rozdíl naměřených rychlostí od skutečných rychlostí vozidel.

Tab. 2 Rozdíl v rychlostech měřených radarem a skutečných dle úhlu odklonu vozidla od přímého směru ve vztahu k radaru.

naměřená rychlost	km/h	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
úhel	stupeň	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
skutečná rychlost	km/h	30,1	30,5	31,1	31,9	33,1	34,6	36,6	39,2	42,4	46,7	52,3	60,0
odchylka	%	0,4	1,5	3,4	6,0	9,4	13,4	18,1	23,4	29,3	35,7	42,6	50,0

Rychlost naměřená od skutečné rychlosti se spočítá podle vzorce:

(3)

$$v = \frac{v_s}{\cos \alpha}$$

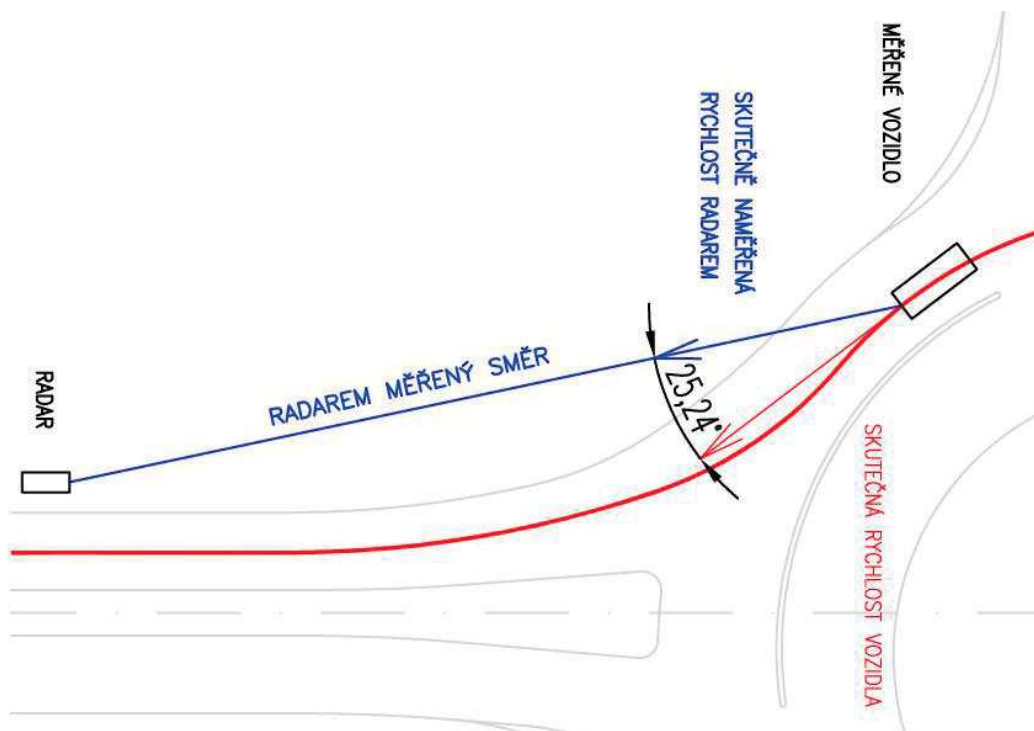
kde

α – úhel odklonu vozidla od směru měření vozidla radarem

v – skutečná rychlost vozidla [km/h, m/s]

Z výsledků měření vyplynulo, že měření rychlosti radarem není pro vozidla, která se pohybují po směrových obloucích malého poloměru, vhodné.

Nebo přesněji bylo by možné rychlost vozidla dopočítat, pokud bychom znali úhel odklonu pohybujícího se vozidla od přímého směru k radaru. Proto rychlost vozidla nebyla tímto způsobem dále měřena.



Obr. 79 Příklad odklonění jízdy vozidla od přímého směru měřeného radarem

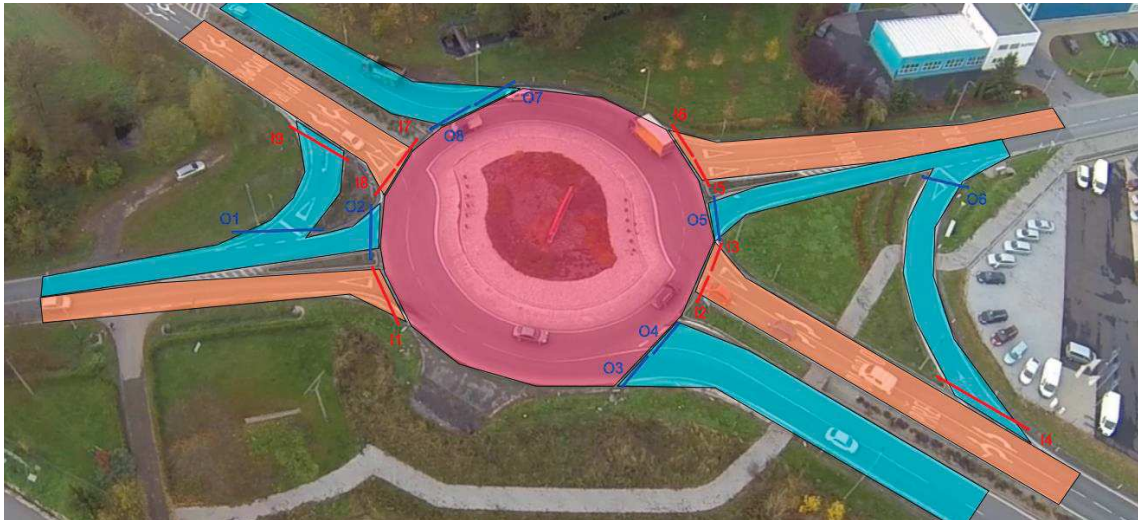
5.3 Měření rychlosti pomocí počítačového vidění – analýzy obrazu

Analýza obrazu je v dnešní době velice rychle rozvíjející se obor. S aplikacemi analýzy obrazu se můžeme setkat v celé řadě odvětví jako je vojenství, lékařství a samozřejmě i v dopravě. Pro účely měření rychlosti je nutné získat trajektorie vozidel v čase. Z těchto údajů je možné získávat dopravně inženýrské hodnoty, jako je rychlost, intenzity vozidel, podélné a příčné zrychlení apod.

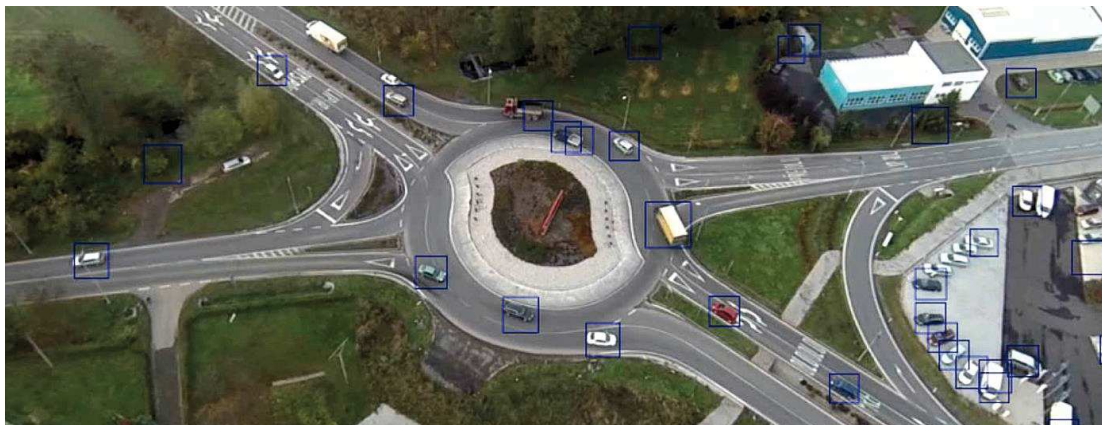
Velice podrobně a zejména věcně popisuje principy zpracování analýzy obrazu počítačovým viděním článek [42].

K měření rychlosti i ostatních dopravně inženýrských dat na TOK byl využit software firmy RCE systems s.r.o. - DataForSky, který je testován mimo jiné i v rámci měření provedených v této práci.

Cílem softwaru je zcela automatické vyhodnocení zaznamenaných dat z hexakoptéry, viz Obr. 83. Ukázky z práce softwaru jsou patrné z Obr. 80, Obr. 81 a Obr. 82.



Obr. 80 Ukázka rozdělení měřené křižovatky pro sledování intenzity vozidel včetně směrového průřezu na TOK



Obr. 81 Výsledek práce klasifikátorů při detekci vozidel



Obr. 82 Ukázka určování trajektorie vozidel

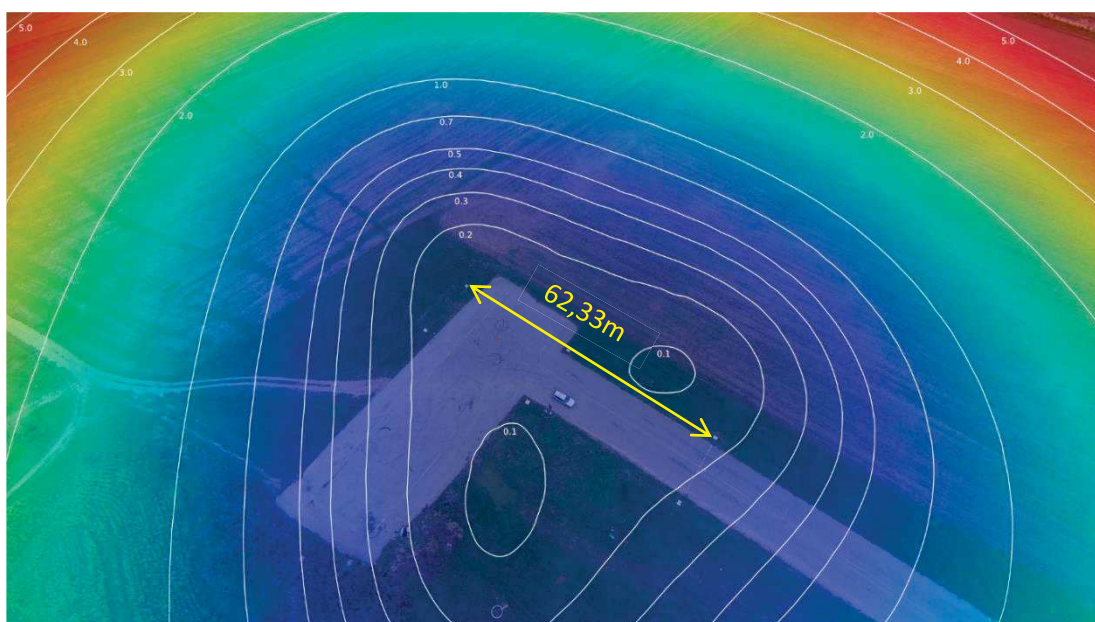


Obr. 83 Hexakoptéra a její ovládací zařízení

Současně byla ověřena přesnost tohoto měření. Jako referenční měření bylo použito přesné geodetické zaměření polohopisu pomocí GPS. Současně probíhalo natáčení a následné vyhodnocení videa z hexakoptéry. Následně byla z videa pomocí softwaru DataForSky vytvořena trajektorie vozidla. Trajektorie vozidla získaná geodetickým měřením a z analýzy obrazu byla vložena v software ZWCAD do systému souřadnic JTSC.

Na určení přesnosti i vyhodnocení probíhala spolupráce s Ing. Adamem Babincem z Fakulty informačních technologií na VUT v Brně.

Přesnost je postavena na odhadech scény a chyb a její znázornění je patrné z Obr. 84.



Obr. 84 Grafické zobrazení optimalizovaný odhad přesnosti při srovnání videa z hexakoptery s referenčním geodetickým měření, převzato od Ing. Adama Babince.

Z vizuální kontroly těchto dvou trajektorií vozidla v software ZWCAD bylo zjištěno, že přesnost je dostatečná. V přímých úsecích byla přesnost na centimetry. Ve směrových obloucích se jednalo řádově o jednotky centimetrů. Se zvyšující se vzdáleností od hexakoptéry se přesnost zhoršuje. Ve vzdálenosti přibližně do 70 m od hexakoptéry je přesnost měření s maximální odchylkou do 200 mm v obloucích o poloměru 18 m. U větších poloměrů bude tato odchylka menší a naopak. Vliv na přesnost je závislá na mnoha vnějších okolnostech, jako jsou klimatické podmínky, rovinatost terénu, barva vozidla a podkladu (vozovky), technické vlastnosti videozařízení atd.

Přesnost měření by bylo možné zkoumat podrobněji, ale to není předmětem této práce. Touto problematikou se zabývá dizertační práce Ing. Adama Babince na Fakultě informačních technologií na VUT v Brně.

Z výsledných měření rychlostí vozidel projíždějících malým obloukem vyplývá, že pro dosažení cílů této práce je tato metoda nejvhodnější. Benefitem jsou další dopravně inženýrská data pro sledování chování vozidel při průjezdu křižovatkou, ale samozřejmě i jiných úseků komunikací. Naopak nevýhodu tohoto způsobu měření jsou některá omezení spojená s létáním s hexakoptérou jako je legislativa, klimatické podmínky a doba letu hexakoptéry, která je cca 20 minut na jednu sadu baterií.

5.4 Ověření průjezdnosti křižovatky – vlečné křivky

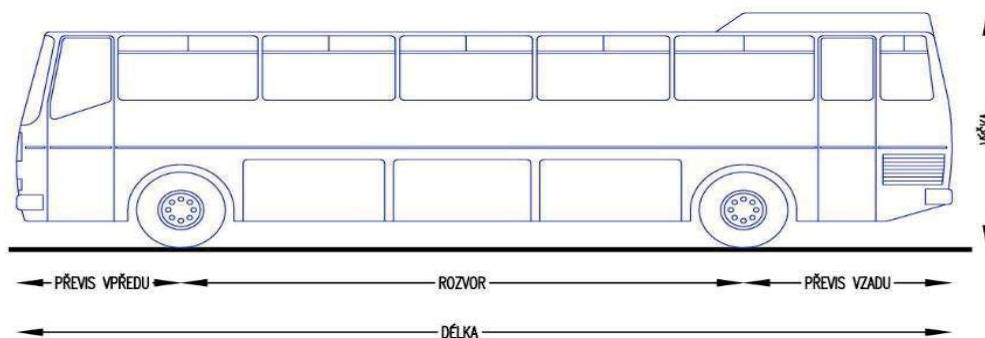
Návrhové parametry křižovatek je třeba ověřit na průjezd největšího uvažovaného návrhového vozidla, aby celkové směrové řešení křižovatky umožnilo plynulý provoz zejména návěsovým soupravám podle technických podmínek [40].

Při průjezdu směrovým obloukem jsou přední kola motorového vozidla vedena převážně v linii, kterou udává volantem řidič. Zadní kola se však pohybují v závislosti na rozměrech motorového vozidla a způsobu jízdy po křivce bližší vnitřní straně oblouku. Tento průběh pohybu vede ke vzniku charakteristického srpovitého rozšíření plochy překrývané motorovým vozidlem při průjezdu směrovým obloukem, tuto plochu nazýváme vlečnou křivkou.

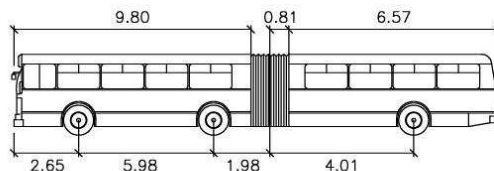
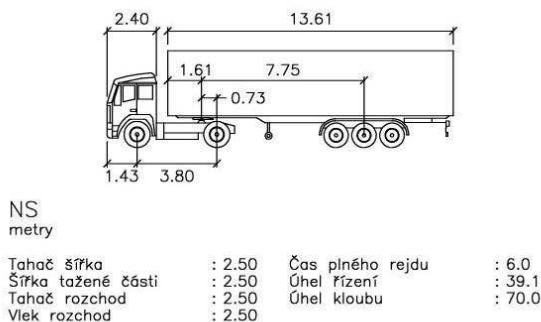
Vlečné křivky jsou ohraničeny obalovými křivkami, které vyplývají ze směrodatného vnějšího obrysu vozidla a polohy jeho náprav. Jejich konkrétní tvar závisí zejména na poloze a uspořádání náprav, u jízdních souprav na poloze spojovacích bodů apod.

Mimo plochu vlečné křivky je nutné uvažovat s ponecháním rezervy, která umožňuje a zároveň zohledňuje rozdílné chování řidičů při průjezdu směrovým obloukem.

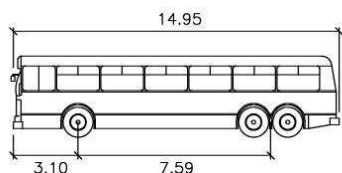
Z pohledu šířky vlečné křivky a průjezdu vozidla směrovým obloukem jsou typické tyto vozidla, viz Obr. 86.



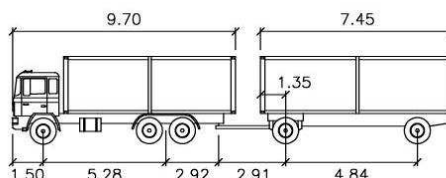
Obr. 85 Definice rozměrů u vozidel důležité pro jeho vlečnou křivku dle technických podmínek [41]



K-BUS			
metry			
Šířka	: 2.50	Čas plného rejdu	: 6.0
Rozchod 2.50		Úhel řízení	: 41.3
		Úhel kloubu	: 70.0



BUS 15			
metry			
Šířka	: 2.50		
Rozchod	: 2.50		
Čas plného rejdu	: 6.0		
Úhel řízení	: 61.6		



PS			
metry			
First Unit Width	: 2.50	Čas plného rejdu	: 6.0
Šířka tažené části	: 2.50	Úhel řízení	: 39.0
First Unit Track	: 2.50	Úhel kloubu	: 70.0
Vlek rozchod	: 2.50		

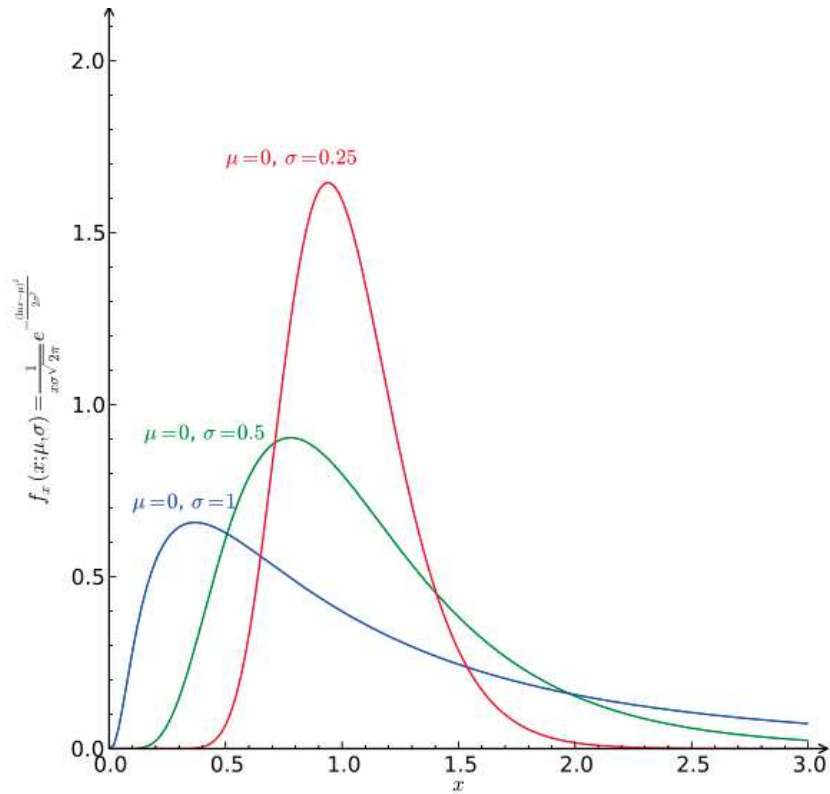
Obr. 86 Rozměry použitých vozidel pro ověření průjezdnosti křižovatkou

Dále jsou uvedeny technické parametry použité pro co možná nejrealnější simulaci průjezdu vozidel směrovým obloukem. Na ověření simulace byl použit software AutoTURN.

5.5 Výpočet kapacity TOK a OK

Kapacitu TOK lze vypočítat v ČR dle platných technických podmínek [38]. Výpočet kapacity dle technických podmínek [38] je založen na teorii časových mezer (někdy též odstupů). Principem metody je, že kapacita OK je dána kapacitou na vjezdu na okružní pás. Kapacita vjezdu potom závisí na t_g (kritický časový odstup) a t_f (následný časový odstup). Metoda dále předpokládá rozdělení délek časových odstupů v dopravním proudu podle logaritmicko-normálního rozdělení [53].

Logaritmicko-normální rozdělení s parametry μ a σ označované většinou LN (μ , σ) je spojitě rozdělení pravděpodobnosti jednorozměrné veličiny X takové, že náhodná veličina $\ln(X)$ má normální rozdělení se středí hodnotou μ a směrodatnou odchylkou σ .



Graf 2 Hustoty logaritmicko-normálního rozdělení se stejným parametrem μ a různými parametry σ [53]

Hustota pravděpodobnosti logaritmicko-normálního rozdělení má tvar:

(4)

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, x > 0$$

Střední hodnota logaritmického normálního rozdělení:

(5)

$$E(x) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

Rozdělení má rozptyl:

(6)

$$D(x) = (e^{\sigma^2})e^{2\mu + \sigma^2}$$

Kapacita vjezdu do okružní křižovatky se dle technických podmínek [38] uvažuje pro všechny druhy křižovatek stejně a vychází z následujícího vzorce:

(7)

$$C_i = 3600 \cdot \left(1 - \frac{\Delta \cdot I_k}{n_k \cdot 3600}\right)^{n_k} \cdot \frac{n_{i,koef}}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_k}{3600} \left(t_g - \frac{t_f}{3600} - \Delta\right)}$$

kde

C_i – kapacita vjezdu [pvoz/h]

I_k – intenzita dopravy na okruhu [pvoz/h]

n_k – počet jízdnicích pruhů na okruhu [-]

$n_{i,koef}$ – koeficient zohledňující počet jízdnicích pruhů na vjezdu [-]

$n_{i,koef} = 1$ pro jednopruhé vjezdy

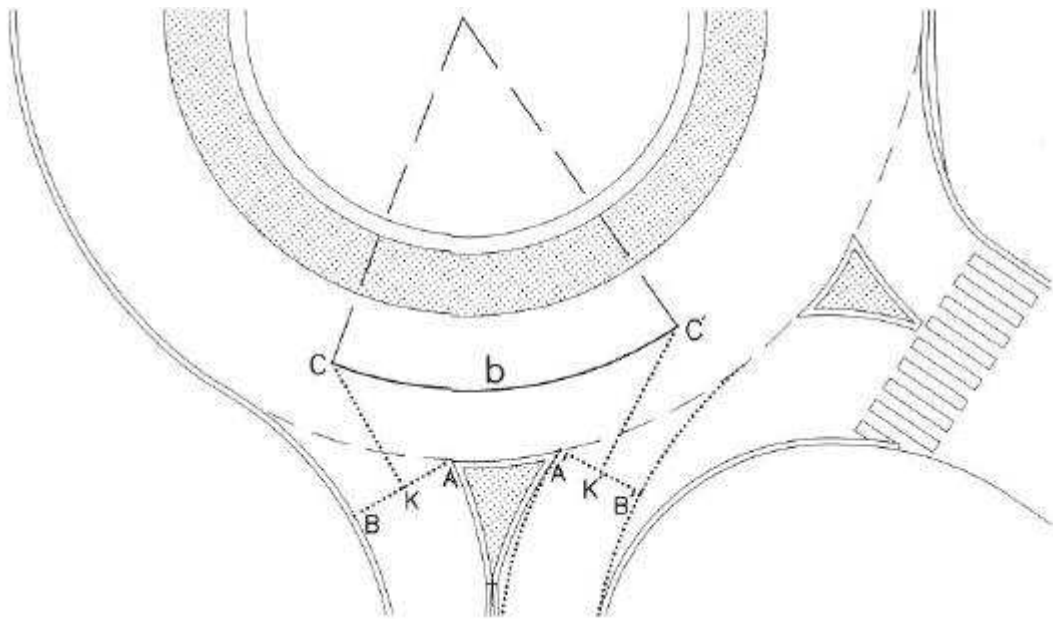
$n_{i,koef} = 1,5$ pro dvoupruhové vjezdy (vícepruhové vjezdy se neuvažují)

t_g – kritický následný odstup [s]

t_f – následný časový odstup [s]

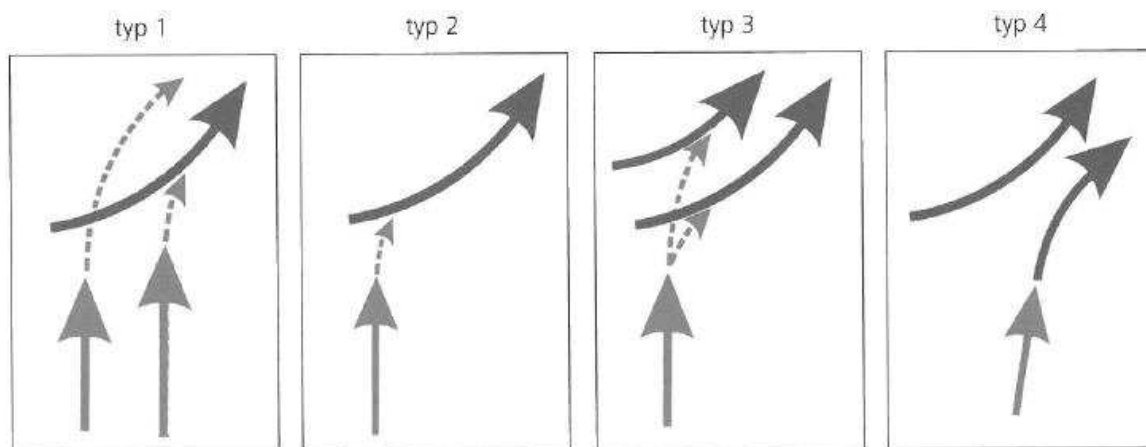
Δ - minimální časový odstup mezi vozidly jedoucími na okružním pásu OK I TOK za sebou [s]

Do tohoto vzorce se zadávají vzdálenosti mezi kolizními body (viz Obr. 87), v závislosti na druhu OK, poloměru vjezdu a u TOK na typu vjezdu, rozdílné hodnoty kritických, následných a minimálních časových odstupů, viz technické podmínky [38].



Obr. 87 Vzdálenost mezi kolizními body dle technické podmínky [38]

U TOK zavádí [38] 4 druhy vjezdů, viz Obr. 88.



Obr. 88 Typy uspořádání vjezdů do TOK dle technických podmínek [38]

Hodnoty v technických podmínkách [38] byly stanoveny na základě sledování chování řidičů na 8 OK v ČR, což je z hlediska statistiky málo významný vzorek.

Cílem práce není modifikovat výpočtovou metodu, ani kvantifikovat o kolik dojde k navýšení kapacity TOK oproti OK, ale měřeními uvedenými v kapitole 6 prokázat, že podle platného výpočtu k nárůstu kapacity dojde.

Kapacita křižovatky je maximální počet vozidel, který je schopna křižovatka převést za časovou jednotku (většinou hodinu nebo 24 hodin).

Výpočet je založený na kritických a časových odstupech, zjednodušeně na nejmenší mezeře, do které je schopno vozidlo na vjezdu do okružního pásu vjet. Tyto časy se mění s přibývajícimi zkušenostmi řidičů, se znalostí dané křižovatky a intenzitou vozidel na křižovatce.

6 Měření, analýzy a modelování

Předmětem kapitoly 6 je posouzení TOK a vícepruhových OK s cílem prokázat pozitivní vliv spirálového uspořádání TOK na kapacitu křižovatky. Proto byla provedena řada měření a analýz s využitím metod popsanych v kapitole 5.

Pro měření a posouzení intenzit a rychlostí byly vybrány TOK/OK, případně jen jejich jednotlivé vjezdy, tak aby co nejlépe reprezentovaly sledovanou problematiku. Výběr je do značené míry omezen také tím, že TOK na popularitě získávají až v posledních letech, a některé z popsanych TOK nebyly v době započetí prací a provádění měření ještě realizovány.

Měření a analýzy jsou nesourodé, což je způsobeno vývojem návrhu těchto křižovatek v ČR, jejich postupnou výstavbou a následným sledováním autora.

6.1 Poměr intenzit mezi pravým a levým jízdním pruhem na vjezdu OK a intenzity vozidel na OK

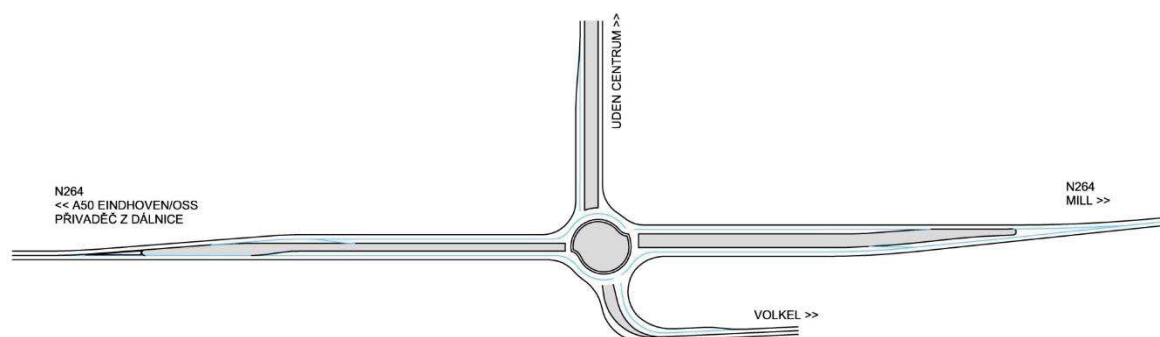
V rámci řešení dílčího úkolu 1311 projektu 1M0579 (výzkumné centrum CIDEAS) bylo provedeno několik měření intenzit dopravy u vícepruhových OK i TOK v České republice a v Nizozemí. Celkem byly změřeny 4 křižovatky v Nizozemí, z čehož 3 byly TOK a 1 dvoupruhová s klasickým uspořádáním jízdnic pruhů na okruhu. V České republice byly sledovány 3 křižovatky, dvoupruhová v Praze na

Litochlebském náměstí (sčítáno kolegy z ČVUT) a v Hranicích na Moravě a TOK v Brně Bohunicích na křižovatce ulic Kamenice x Netroufalky. Měření byla prováděna v roce 2010.

Cílem měření bylo potvrdit hlavní výhodu TOK oproti vícepruhovým OK, kterou je rovnoměrnější rozdělení vozidel na vjezdu mezi levý a pravý jízdní pruh.

6.1.1 TOK čtyřramenná ve městě Uden v Nizozemí

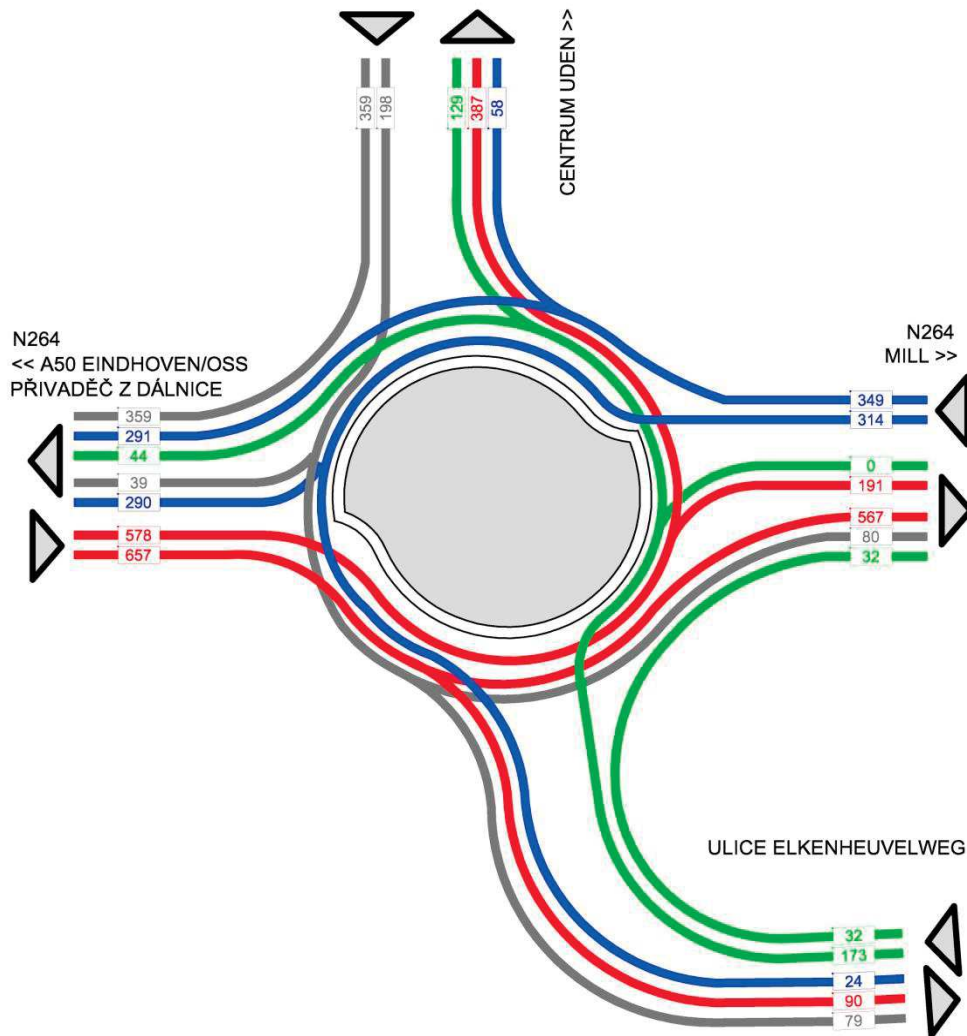
Jedná se o TOK se spirálovitým vedením ve směru silnice N264, viz Obr. 89. Silnice N264 je mezinárodní silnicí E31 a začíná při sjezdu z dálnice A50. Dálnice A50 vede z jihu na sever z Eindhovenu do Zwolle. Silnice N264 je vedena od dálnice A50 směrem do TOK ve směrově rozdělené čtyřpruhové komunikace. Silnice N264 tvoří jihovýchodní obchvat města Uden. Přes tuto TOK je tedy provedeno dopravní napojení centra města Uden na silniční síť. Silnice N264 tvoří dále spojnici dálnic A50 a A73 a vede do města Genneep přes město Mill.



Obr. 89 Schéma čtyřramenné okružní křižovatky v Uden

Tab. 3 Intenzita vozidel na vjezdech na TOK, UDEN - čtyřramenná křižovatka, hodinové sčítání od 8 do 9 hodin v úterý dne 7. 9. 2010.

směr z CENTRA																	
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky								
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo		
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O
6	4	70	1	7	71	0	1	38	0	0	0	0	0	0	11	30	318
směr silnice N264 od Eindhovenu																	
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky								
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo		
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O
12	42	333	3	9	179	0	0	0	0	0	0	76	66	425	1	8	81
směr ulice Elkenheuvelweg																	
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky								
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo		
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O
3	1	40	3	10	116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	27
směr silnice N264 od Mill																	
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky								
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo		
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O
0	6	18	6	45	239	0	0	0	0	0	0	56	41	194	0	6	52



Obr. 90 Kartogram s hodinovými intenzitami vozidel na čtyřramenné okružní křižovatce v Udenu

Na této TOK je vidět, že komunikace, které jsou v mezikřižovatkových úsecích vedeny jako dvoupruhové směrově nedělené komunikace jsou před a za křižovatkou rozšířeny na komunikace dvoupruhové a směrově rozdělené. Křižovatka byla před přestavbou na TOK průsečná. Úprava komunikace N264 však zůstala stejná.

Je to logické řešení, protože křižovatky obecně jsou z hlediska kapacity nekritičtější místo. Intenzity dopravy byly vyhodnoceny z videozáznamu pořízeného v úterý 7. 9. 2010 v čase 8 – 9 hodin, viz Graf 3. Sčítání dopravy bylo prováděno na vjezdech na okružní pás OK s rozdělením na levý a pravý jízdní pruh. Doprava byla rozdělena do třech skupin vozidel na O – osobní, N1 – dodávky a malé nákladní vozidla a skupinu označenou jako K, která se skládá s jízdních souprav, velkých nákladních vozidel a autobusů. Vyhodnocení intenzit je graficky zpracováno na Obr. 90.

Ve zjištěných intenzitách mohou být značné nepřesnosti dané krátkou dobou měření, ale to pro zjišťování poměru vozidel v jednotlivých pruzích na vjezdu do TOK, není podstatné.

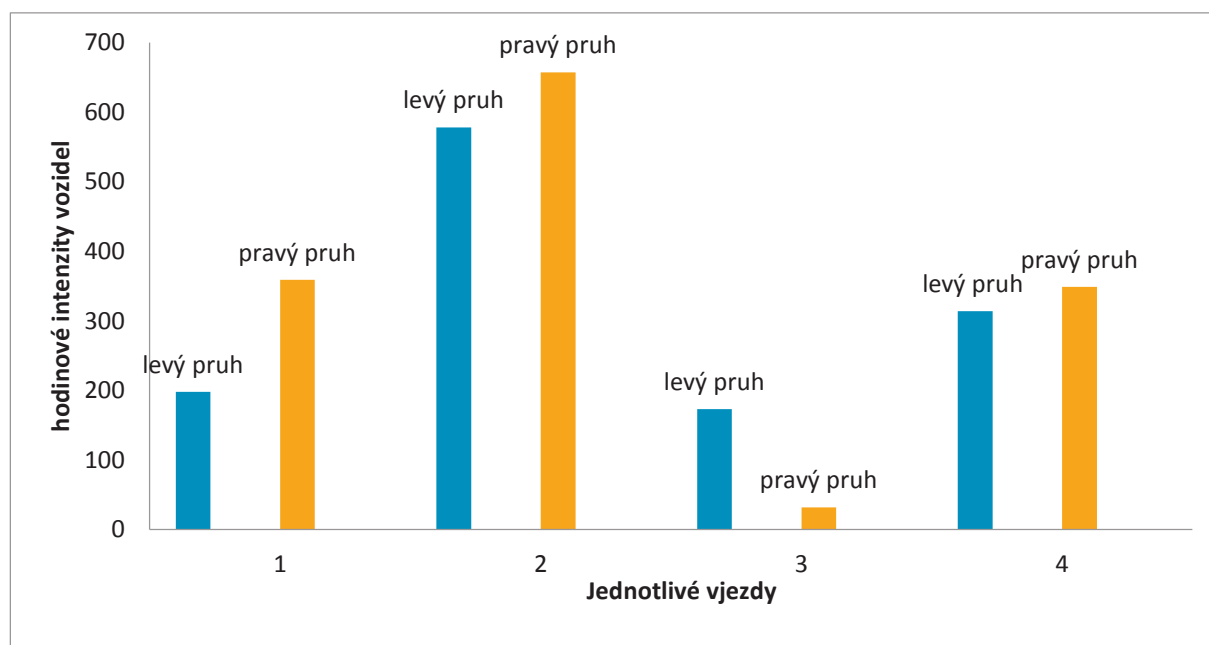
V Tab. 4 jsou počty vozidel, které projely v jednotlivých jízdních pruzích na vjezdech do okružního pásu křižovatky. Z výsledků je patrné, že u spirálového uspořádání jízdních pruhů v OK využívají

vícepruhové vjezdy rovnoměrněji, než u dvoupruhových křižovatek s klasickým uspořádáním jízdních pruhů.

Tab. 4 Intenzita vozidel na vjezdech rozdělených podle levého a pravého vjezdu na okružní pás křižovatky

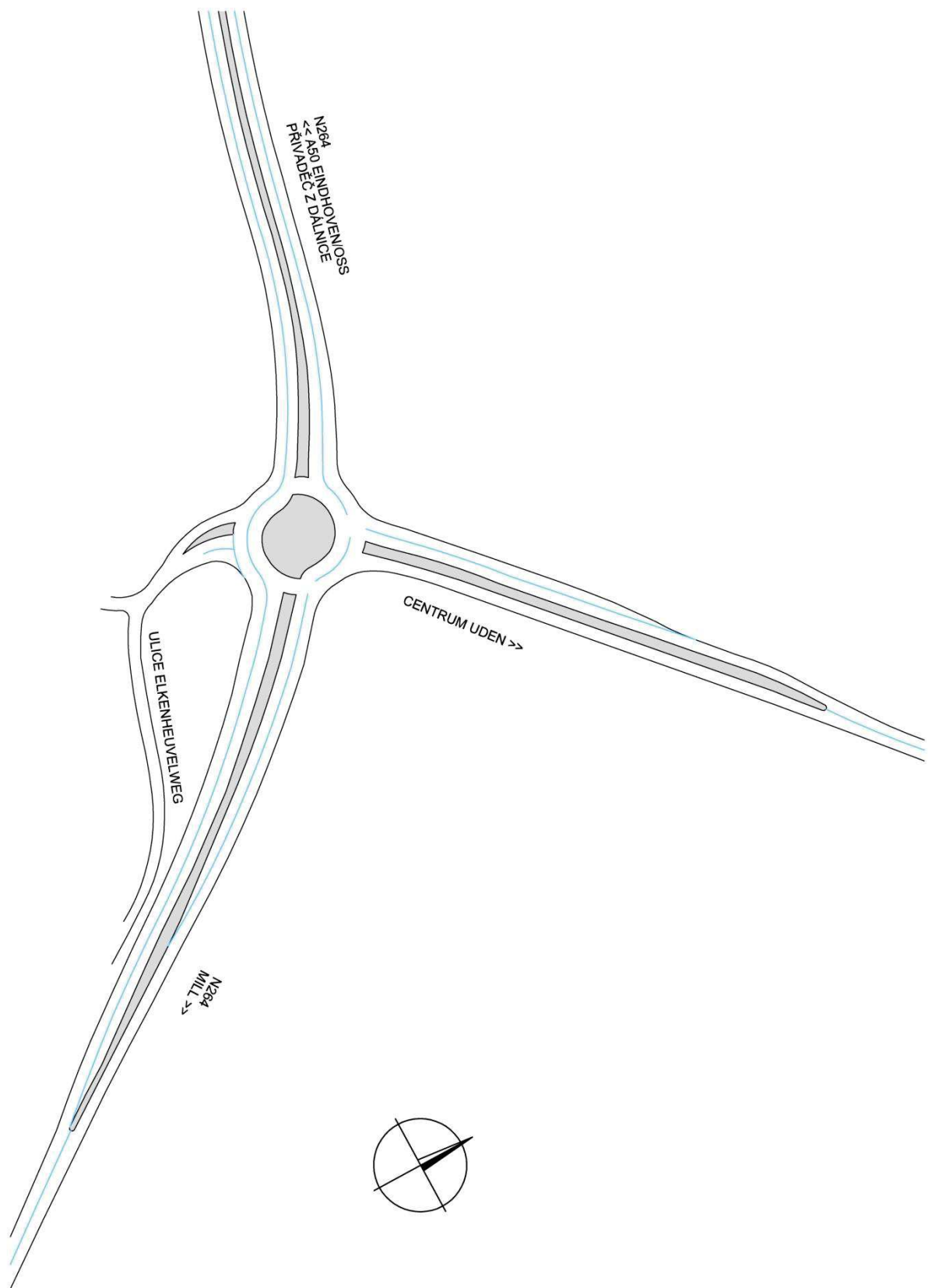
1 - vjezd Centrum		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
198	359	počet vozidel
36	64	procento
2 - vjezd silnice N264 od Eindhovenu		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
578	657	počet vozidel
47	53	procento
3 - vjezd ulice Elkenheuvelweg		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
173	32	počet vozidel
84	16	procento
4 - vjezd silnice N264 od Mill		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
314	349	počet vozidel
47	53	procento

Rozdělení počtu vozidel v jednotlivých pružích je zobrazeno v následujícím Graf 3.



Graf 3 Hodinová intenzita vozidel na vjezdu v levém a pravém pruhu pro jednotlivé vjezdy

V době měření na křižovatce nedošlo k žádné kolizní situaci, ani jinému narušení plynulosti silničního provozu.



Obr. 91 Schéma další podobné křižovatky na silnici N264, kde je patrné rozšíření komunikace v prostoru před a za TOK

6.1.2 TOK tříramenná křižovatka ve městě Uden v Nizozemí

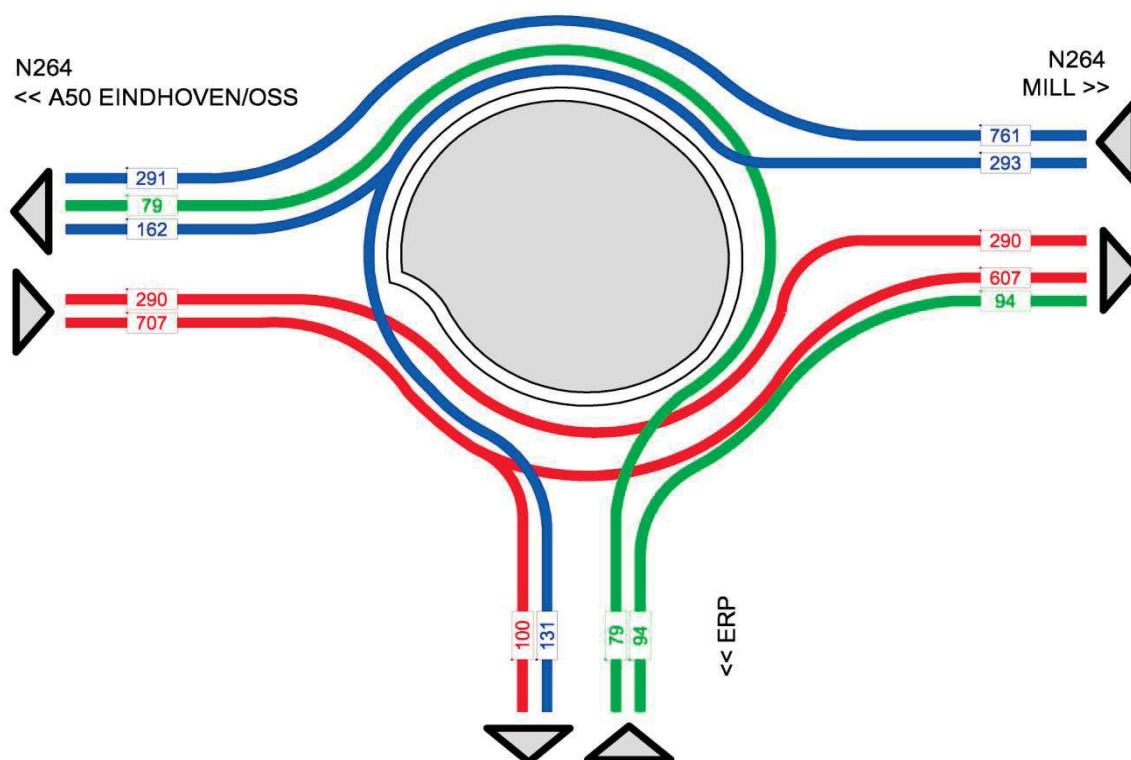
Jedná se o opět o křižovatku u města Uden na silnici N264 ve směru od dálnice A50 ve směru do města Genneep přes Mill. Tentokrát se jedná o křižovatku tříramennou TOK, která umožňuje připojení nové zástavby města Uden na silnici N264. Spirálovité vedení pruhu je situováno ve směru silnice N264.

Tab. 5 Intenzita vozidel na vjezdech na okružní pás křižovatky, UDEN - tříramenná křižovatka, hodinové sčítání od 15 do 16 hodin v úterý dne 7. 9. 2010.

směr silnice N264 od Eindhovenu																		
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo			
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	
0	0	0	2	32	256	0	0	0	0	0	0	87	128	392	2	14	84	
směr od Erpu																		
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo			
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	
6	9	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	16	73	
směr silnice N264 od Mill																		
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky-bypass									
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo			
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	
5	29	97	1	25	136	0	0	0	0	0	0	75	124	562	0	0	0	

Na křižovatce byl proveden hodinový záznam pomocí dvou videokamer. Sčítání bylo provedeno v odpolední špičce v době od 15 do 16 hodin v úterý dne 7. 9. 2010. Zjištěné intenzity jsou patrné z Tab. 5 a graficky znázorněné v kartogramu na Obr. 92.

V prostoru křižovatky nejsou řešeny přechody pro chodce, ani přejezdy pro cyklisty. Na silnici N264 je cyklistická doprava vyloučena. Pěší i cyklistická doprava kříží silnici N264 mimoúrovňově.



Obr. 92 Kartogram s hodinovými intenzitami vozidel na tříramenné okružní křižovatce v Udenu

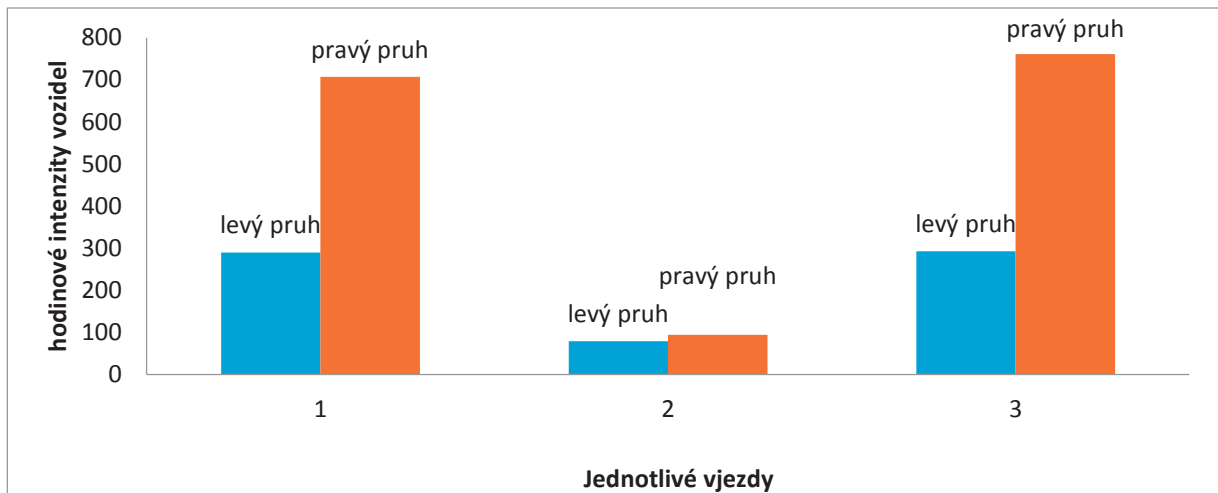
Ve zjištěných intenzitách mohou být značné nepřesnosti dané krátkou dobou měření, ale to má na zjišťování počtů vozidel v jednotlivých pruzích v TOK zanedbatelný vliv.

Tab. 6 Intenzita vozidel v době sčítání vozidel (hodinová intenzita) na vjezdech rozdělených podle levého a pravého vjezdu na okružní pás křižovatky

1 - vjezd silnice N264 od Eindhovenu		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
290	707	počet vozidel
29	71	procento
2 - vjezd od Erpu		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
79	94	počet vozidel
46	54	procento
3 - vjezd silnice N264 od Mill		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
293	761	počet vozidel
28	72	procento

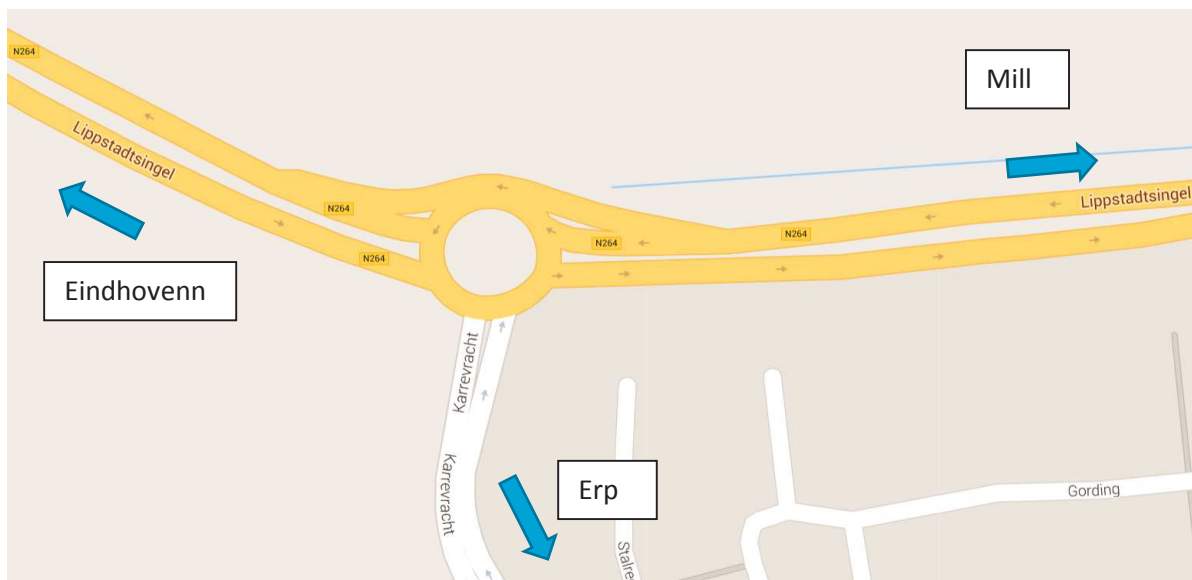
V Tab. 6 je vidět množství vozidel, které projely v jednotlivých jízdních pruzích na vjezdech do okružního pásu křižovatky. Tyto výsledky sčítání jsou ještě graficky zobrazeny v Graf 4.

Z výsledků je patrné, že u TOK jsou využívány vícepruhové vjezdy rovnoměrněji, než u dvoupruhových křižovatek s klasickým uspořádáním jízdních pruhů.



Graf 4 Hodinová intenzita vozidel na vjezdu v levém a pravém pruhu na vjezdech do křižovatky

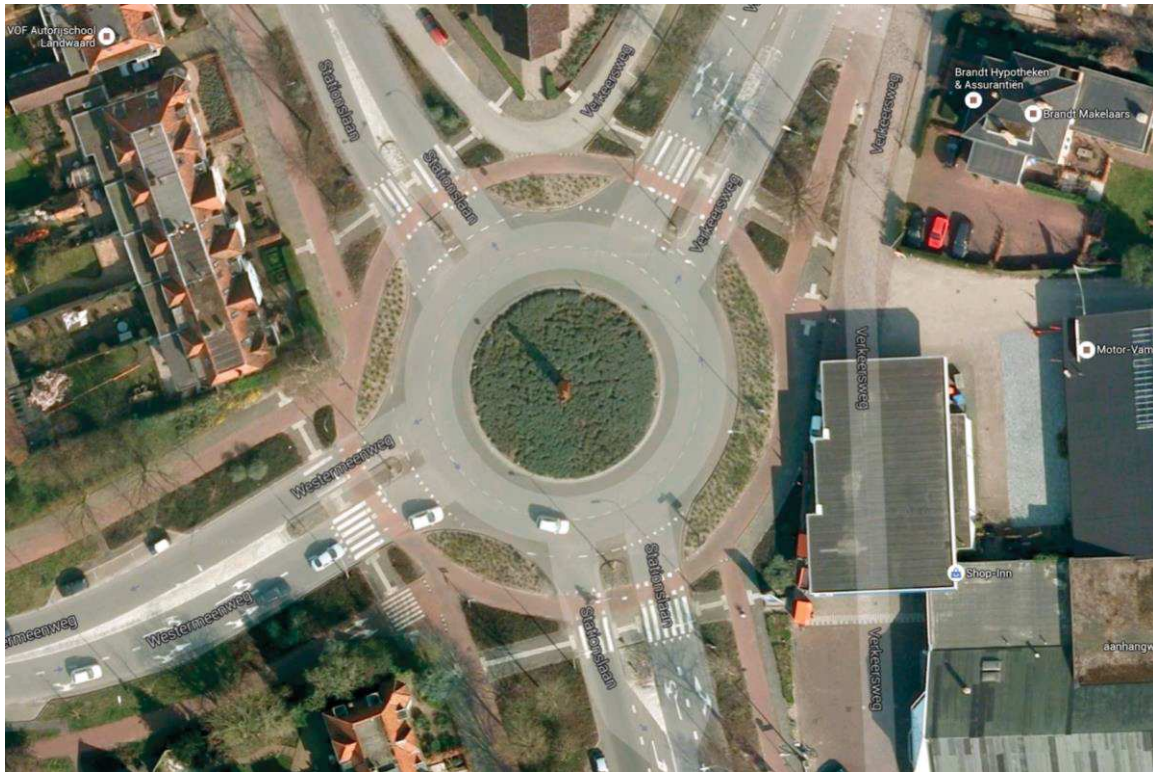
V době měření na křižovatce nedošlo k žádné kolizní situaci, ani jinému narušení plynulosti silniční provozu.



Obr. 93 Křižovatka třiramenná v Uden (Holandsko) – ortofoto mapa neexistuje

6.1.3 OK křižovatka ve městě Harderwijk v Nizozemí

Jedná se o čtyřramennou křižovatku ve městě Harderwijk, která má klasické uspořádání jízdních pruhů na okružním pásu křižovatky. Má dva jízdní pruhy na třech vjezdech a dva jízdní pruhy na okružním pásu. Na ulici Stationslaan z centra je pouze jeden pruh na vjezdu, ale bylo zajímavé sledovat, že i po vjetí z tohoto jízdního pruhu na okružní pás křižovatky se řidiči řadí do levého nebo pravého jízdního pruhu okružního pásu křižovatky podobně jako na TOK na základě svého směru pokračování. Na této křižovatce je provedeno dopravní značení podobné jako na křižovatce se spirálovým uspořádáním jízdních pruhů. Křižovatka se nachází v centrální části města Harderwijk. Výjezdy z křižovatky jsou navrženy jako jednopruhové. V mezikřižovatkových úsecích se jedná o místní komunikace dvoupruhové. V České republice bychom je označili funkční skupinou B tedy jako sběrné komunikace. Uspořádání jízdních pruhů na vjezdech, viz Obr. 94, Obr. 95.



Obr. 94 Pohled na okružní křižovatky ve městě Harderwijk (Holandsko)

Na Obr. 95 je patrné vodorovné dopravní značení, které navádí řidiče do jednotlivých jízdních pruhů před okružním pásem křižovatky. Z Obr. 95 je také patrný poměrně krátký levý jízdní pruh, protože v popředí Obr. 95 je vidět levý odbočovací pruh v opačném směru a vjezd do další místní komunikace.



Obr. 95 Úprava vjezdu do okružní křižovatky ve městě Harderwijk



Obr. 96 Pěchod pro chodce a přejezd pro cyklisty na vjezdu do okružní křižovatky ve městě Harderwijk

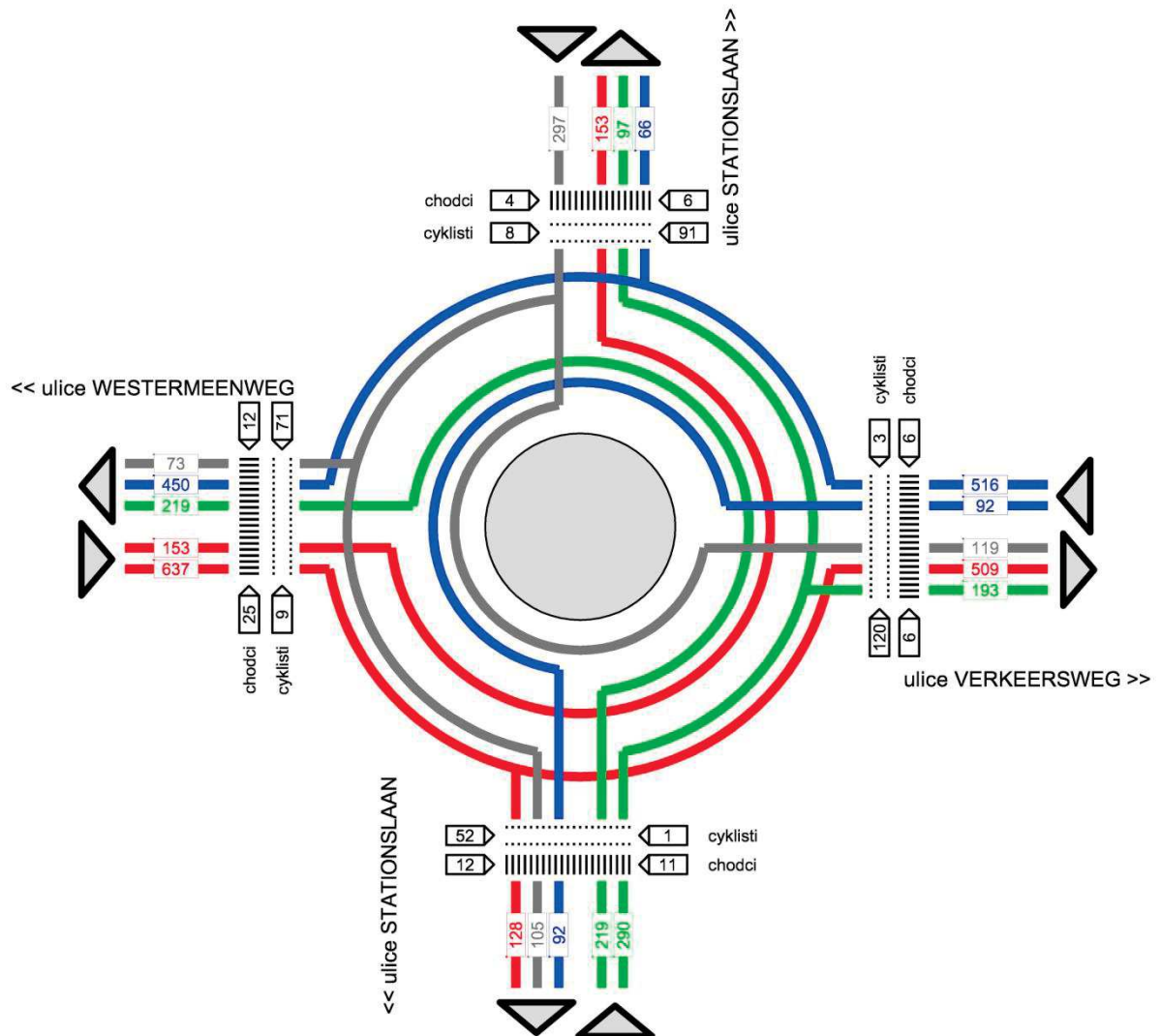
Tab. 7 Intenzita vozidel na vjezdech na okružní pás křižovatky, v Harderwijk, hodinové sčítání od 12 do 13 hodin ve středu dne 8. 9. 2010.

ulice Verkeersweg																		
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo			
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	
2	5	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	43	378	1	8	57	
ulice Stationslaan z centra - jednopruhový vjezd																		
										jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky								
										vlevo			rovně			vpravo		
										K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O
										7	10	102	2	5	98	2	3	68
ulice Westermeenweg																		
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo			
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	
1	6	146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	36	449	2	14	112	
ulice Stationslaan smer A28																		
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo			
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	
2	14	203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	87	3	18	172	

Na Obr. 97 je vidět přechod pro chodce a přejezd pro cyklisty. Protože se jedná o křižovatku v centru města, je zde vidět stísněnost prostoru použitelného pro stavbu křižovatky a nutnost napojení okolní zástavby. Zároveň na všech větvích křižovatky jsou navrženy přechody pro chodce souběžně s přejezdy pro cyklisty. Cyklistická doprava je v prostoru křižovatky, ale i mimo ní vedena samostatně mimo prostor vyhrazený pro vozidla. Z pořízených videozáznamů vyplývá, že na této křižovatce se děje velké množství dopravních pohyblů.

Na křižovatce byl proveden hodinový záznam na dvě videokamery tak, aby byla postižena celá oblast křižovatky. Sčítání bylo provedeno na křižovatce v době od 12 do 13 hodin, ve středu dne 8. 9. 2010. Zjištěné intenzity jsou patrné z Tab. 7 a kartogramu na Obr. 97.

Ve zjištěných intenzitách mohou být značné nepřesnosti dané krátkou dobou měření, ale to pro zjišťování počtů vozidel v jednotlivých pruzích v okružní křižovatce, není podstatné.



Obr. 97 Kartogram s hodinovými intenzitami vozidel na okružní křižovatce v Harderwijk včetně zobrazení chodců a cyklistů

Tab. 8 Intenzita vozidel na vjezdech na okružní pás křižovatky, Harderwijk, hodinové sčítání pře počteno na počet vozidel za 24 hodin

ulice Verkeersweg																	
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky								
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo		
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O
32	80	1353	0	0	0	0	0	0	0	0	0	462	685	6018	16	127	907
1465			0			0			0			7164			1051		
1465									8215								
9679																	
ulice Stationslaan z centra - jednopruhový vjezd																	
									jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky								
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo		
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O
111	159	1624	32	80	1560	32	48	1083									
1894			1672			1162											
									4728								
4728																	
ulice Westermeenweg																	
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky								
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo		
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O
16	96	2324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	382	573	7148	32	223	1783
2436			0			0			0			8103			2038		
2436									10141								
12577																	
ulice Stationslaan směr A28																	
levý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky									pravý jízdní pruh na vjezdu do okružní křižovatky								
vlevo			rovně			vpravo			vlevo			rovně			vpravo		
K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O	K	N1	O
32	223	3232	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	143	1385	48	287	2738
3486			0			0			0			1544			3073		
3486									4617								
8103																	
Součet všech vjezdů do okružní křižovatky																	
35088																	

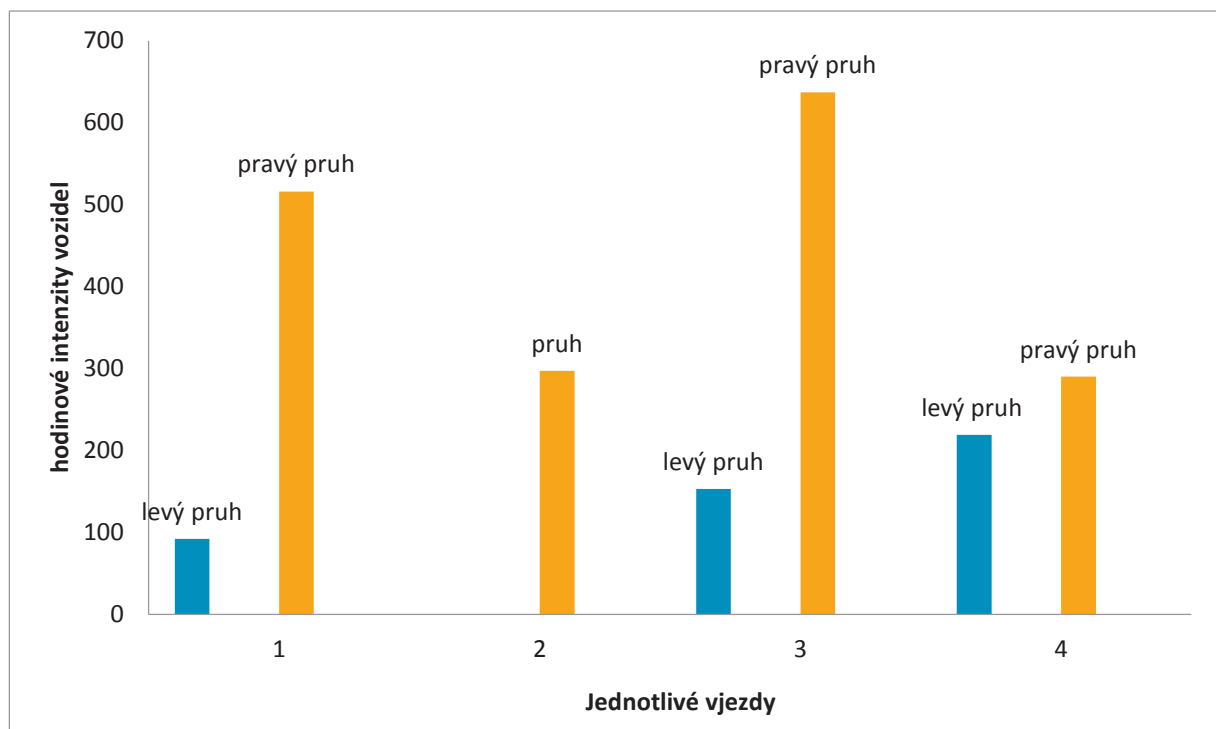
V Tab. 9 je vidět množství vozidel, které projely v jednotlivých jízdních pruzích na vjezdech do okružního pásu křižovatky. Tyto výsledky sčítání jsou ještě graficky zobrazeny v Graf 5.

Z Graf 5 je patrné, že i v Nizozemí nejsou levé pruhy tolik využívány v případě použití okružní křižovatky s dvěma jízdními pruhy na okružním pásu. Levý pruh křižovatky slouží, tak jak vyplývá i z vodorovného značení, pouze k levému odbočení. Tedy pro vozidla, která po vjetí na okružní pás křižovatky využijí až třetí výjezd. Z Graf 5 vyplývá, že na této křižovatce je nízký podíl nákladní dopravy. Je to dané tím, že se jedná o křižovatku v centru, kde je omezena nákladní doprava.

Tab. 9 Intenzita vozidel době měření (intenzita za hodinu) a vjezdech rozdělených podle levého a pravého vjezdu na okružní pás křižovatky

1 - vjezd ulice Verkeersweg		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
92	516	počet vozidel
15	85	procento
2 - vjezd ulice Stationslaan z centra		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
0	297	počet vozidel
0	100	procento
3 - vjezd ulice Westermeenweg		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
153	637	počet vozidel
19	81	procento
4 - vjezd ulice Stationslaan smer A28		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
219	290	počet vozidel
43	57	procento

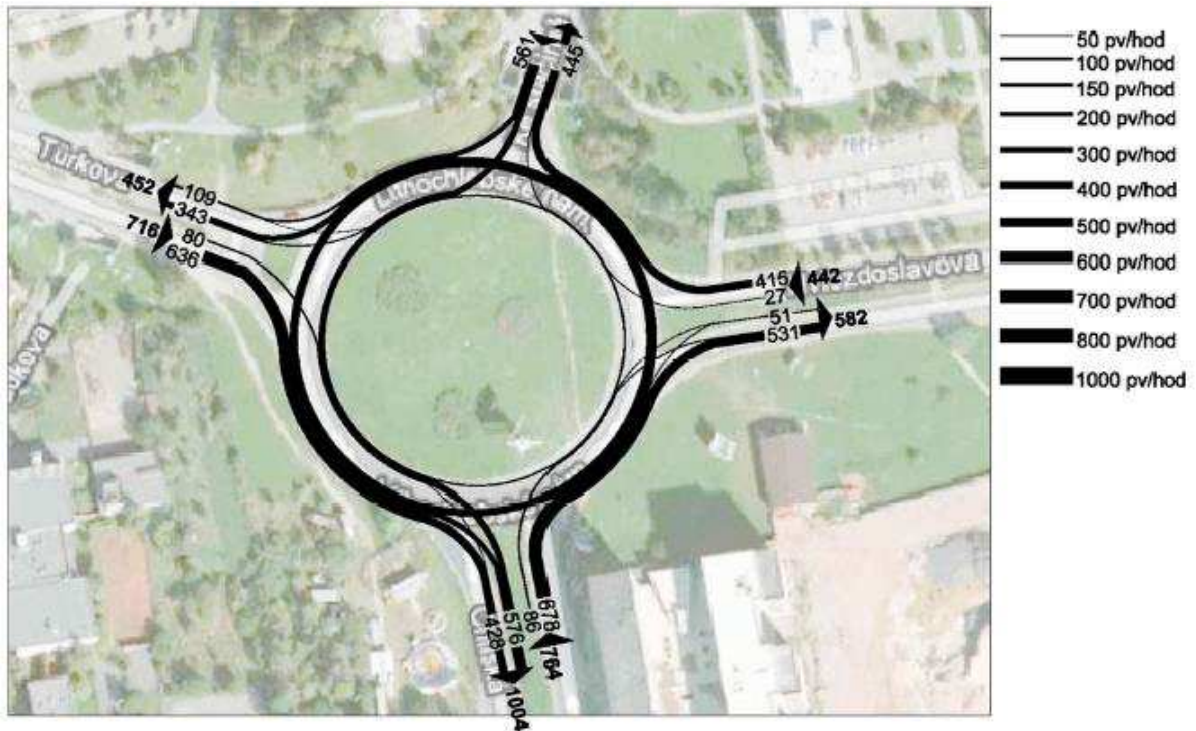
V době měření na křižovatce nedošlo k žádné kolizní situaci, ani jinému narušení plynulosti silničního provozu. Nicméně na všech větvích křižovatky se pohybovalo množství cyklistů a chodců.



Graf 5 Hodinová intenzita vozidel na vjezdech v levém a pravém pruhu.

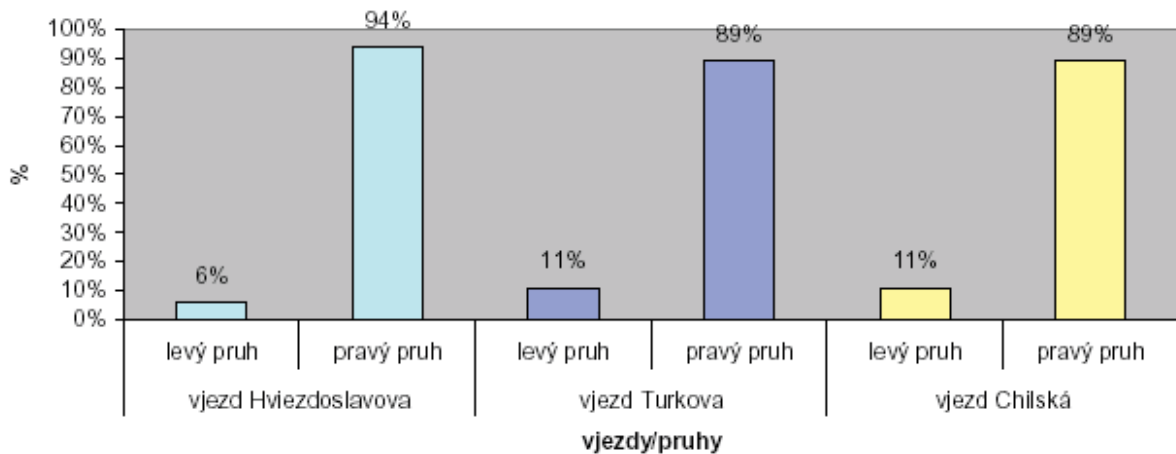
6.1.4 OK Litochlebské náměstí

Jedná se o velkou vícepruhovou OK v Praze, jejíž měření provedli na ČVUT, proto jsou zde uvedeny pouze závěry z tohoto měření. Výsledky byly publikovány společně ve výzkumné zprávě CIDEAS – Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí za rok 2010. Intenzity vozidel při hodinovém sčítání dopravy, viz Obr. 98, a zejména potom vyhodnocení intenzit v levých a pravých jízdních pruzích na vjezdech do OK, viz Graf 6.



Obr. 98 Pentlogram intenzit dopravy a využívání jednotlivých pruhů (měřeno ČVUT)

Graf 6 názorně ukazuje, že využití levých pruhů na vjezdu se pohybuje kolem 10 %, což odpovídá i hodnotám z ostatních vícepruhových OK v ČR. Někteří řidiči volí při průjezdu křižovatkou velmi nebezpečné manévry, především vjetí do křižovatky pravým pruhem a vyjetí pruhem levým.



Graf 6 Zastoupení vozidel v jednotlivých pruzích na vjezdech (měřeno ČVUT)

Měření na OK v Praze bylo provedeno v pátek 9. 4. 2010 ve špičkových odpoledních hodinách. Zaznamenány byly 3 hodiny od 15:30 do 18:30, z nichž byla následně vybrána nejvytíženější hodina v době od 15:30 – 16:30.

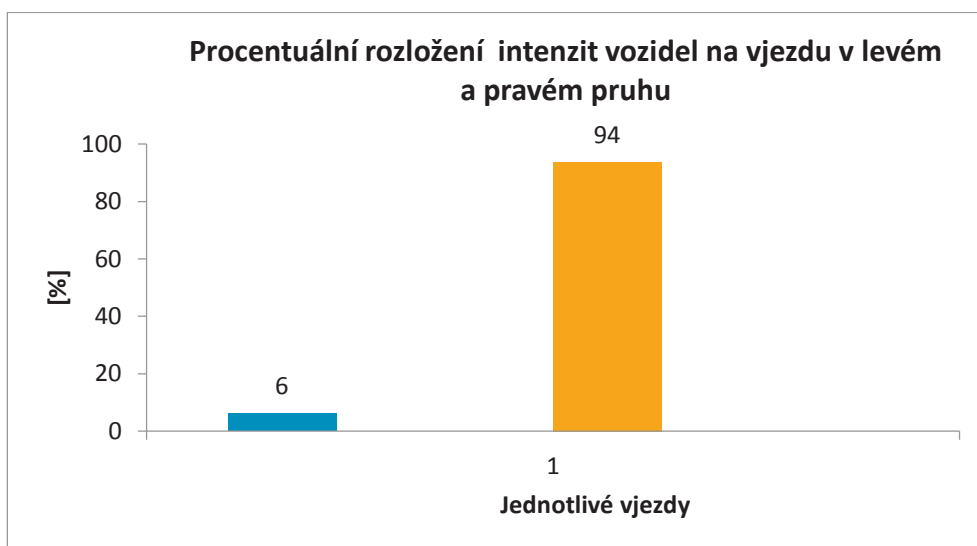
6.1.5 OK v Hranicích na Moravě na silnici I/35

Měření využívání jednotlivých jízdních pruhů na vjezdech do OK bylo provedeno na vjezdovém paprsku ve směru od Lipníka nad Bečvou u vícepruhové OK silnic I/35 a I/647 v Hranicích na Moravě

pomocí videozáznamu v době od 14 do 15 hodin dne 14. 10. 2010. Jednalo se o běžný pracovní den – čtvrtek. Výsledky ze sčítání jsou patrné z Tab. 10 a Graf 7.

Tab. 10 Hodinová Intenzita vozidel na vjezdu do dvoupruhové okružní křižovatky v Hranicích na Moravě

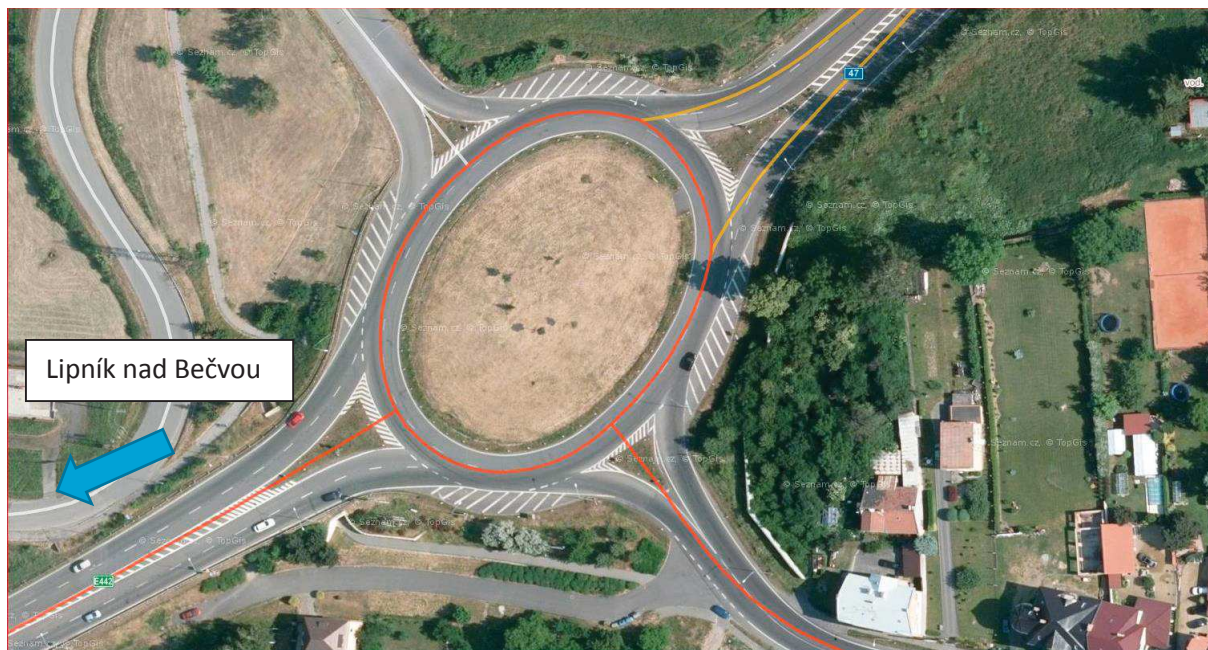
1- I/35 od Lipníka nad Bečvou		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
38	572	počet vozidel
6	94	procento



Graf 7 Procentuální rozložení intenzit vozidel na vjezdu od Lipníka nad Bečvou do dvoupruhové okružní křižovatky v Hranicích na Moravě ze směru od Lipníka nad Bečvou

Ze sčítání dopravy bylo patrné, že i když je před vjezdem na okružní pás pravý jízdní pruh zaplněn a tvoří se na něm kolona, vozidla jen zcela výjimečně využívají levý jízdní pruh, který tak zůstává často prázdný.

Z Graf 7 je patrné, že pouze 6 % vozidel využívá na tomto vjezdu do křižovatky levý jízdní pruh.



Obr. 99 Pohled na vícepruhovou okružní křižovatku v Hranicích na Moravě. Měřen byl vjezd v levém dolním rohu obrázku.

6.1.6 TOK v Brně – Bohunicích na ulicích Kamenice x Netroufalky

Obdobné měření na vjezdech do TOK bylo provedeno v Brně – Bohunicích v blízkosti Fakultní nemocnice Brno dne 26. 4. 2011 v době od 6:30 do 7:30 hodin, což bylo úterý, viz Tab. 11 a Graf 8.

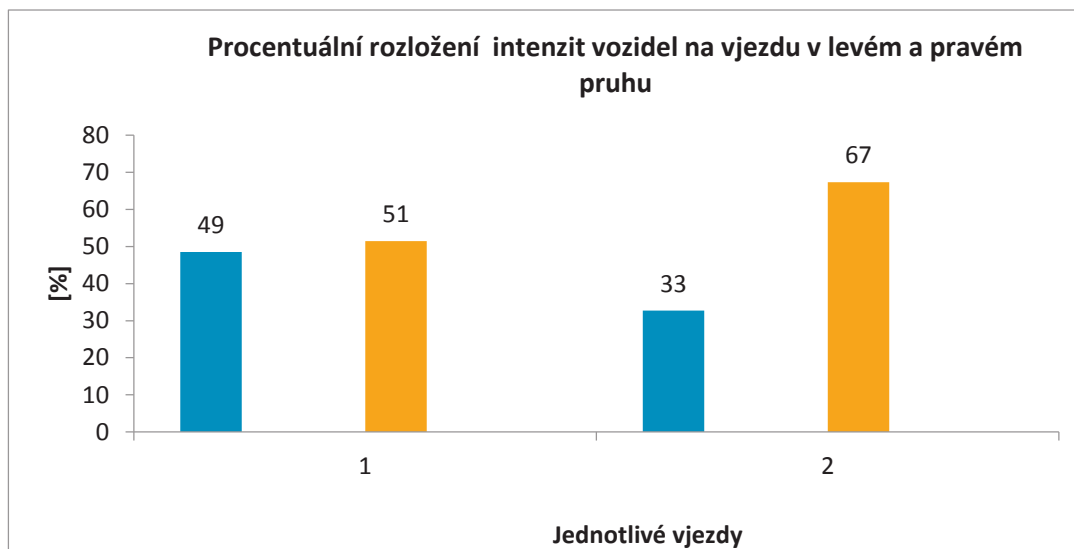


Obr. 100 Pohled na TOK v Brně - Bohunicích

Tab. 11 Intenzita vozidel ve sledované hodině na vjezdech do TOK v Brně – Bohunicích u Kampusu.

1- ulice Kamenice směr z Nového Lískovce		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
359	381	počet vozidel
49	51	procento
2 - ulice Kamenice směr od Červeného kopce		
levý jízdní pruh	pravý jízdní pruh	
121	249	počet vozidel
33	67	procento

Výsledky ukazují, že TOK může fungovat a zvýšit kapacitu silniční sítě. Zejména u paprsku křižovatky ve směru od Nového Lískovce je vidět, že rozdělení vozidel na vjezdu je téměř identické. Protože se jedná o ranní špičku a tedy vjezd od Nového Lískovce je více zatížený, je patrné, že levý jízdní pruh na vjezdu do křižovatky začínají využívat až po vytvoření kolony před vjezdem do okružního pásu. K těmto situacím značně přispívá také využívanější přechod pro chodce na paprsku ve směru od Nového Lískovce.



Graf 8 Procentuální rozložení intenzit vozidel v měřené hodině provozu na vjezdech do TOK v Brně – Bohunicích u Kampusu

6.1.7 Závěr z měření intenzit v jednotlivých jízdních pruzích před OK a TOK

Z výsledků měření vyplývá, že využívání levého a pravého jízdního pruhu na vícepruhových křižovatkách je v Nizozemí i v České republice efektivnější pouze v případě návrhu TOK. Z měření je patrný větší počet najíždějících vozidel do okružního pásu a zároveň větší propustnost křižovatky. Tato měření potvrzují, že kapacita TOK je větší než na vícepruhových OK s klasickým řazením jízdních pruhů.

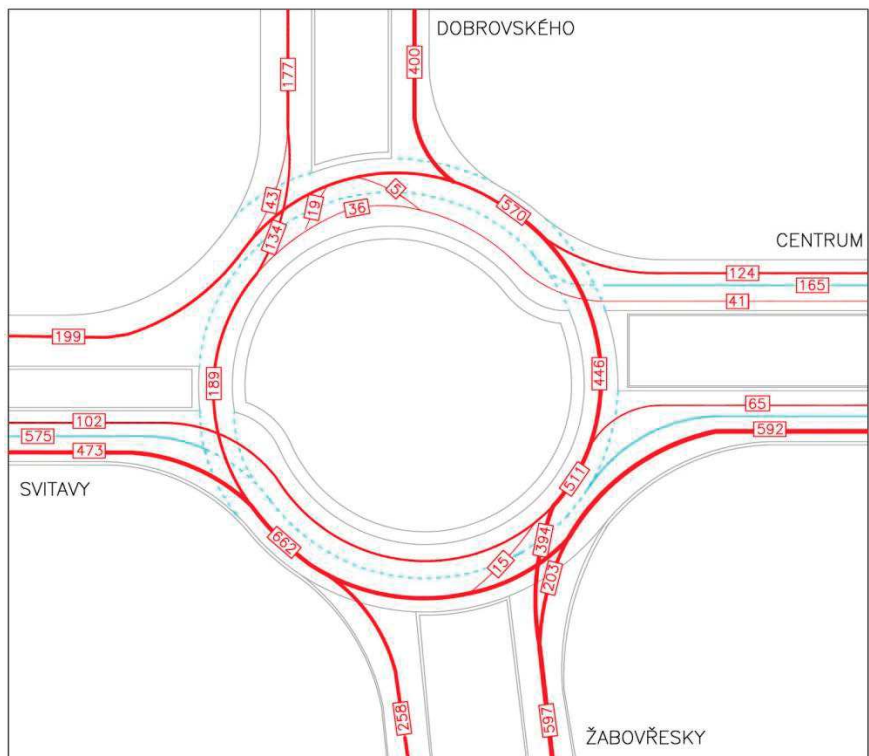
Tato práce se podrobněji vlastní kapacitou TOK nezabývá, pouze potvrzuje jejich výhodu a oprávněnost používání v ČR. Práce se zabývá v převážné míře vlastním geometrickým uspořádáním TOK.

6.2 Intenzity vozidel na TOK v ČR

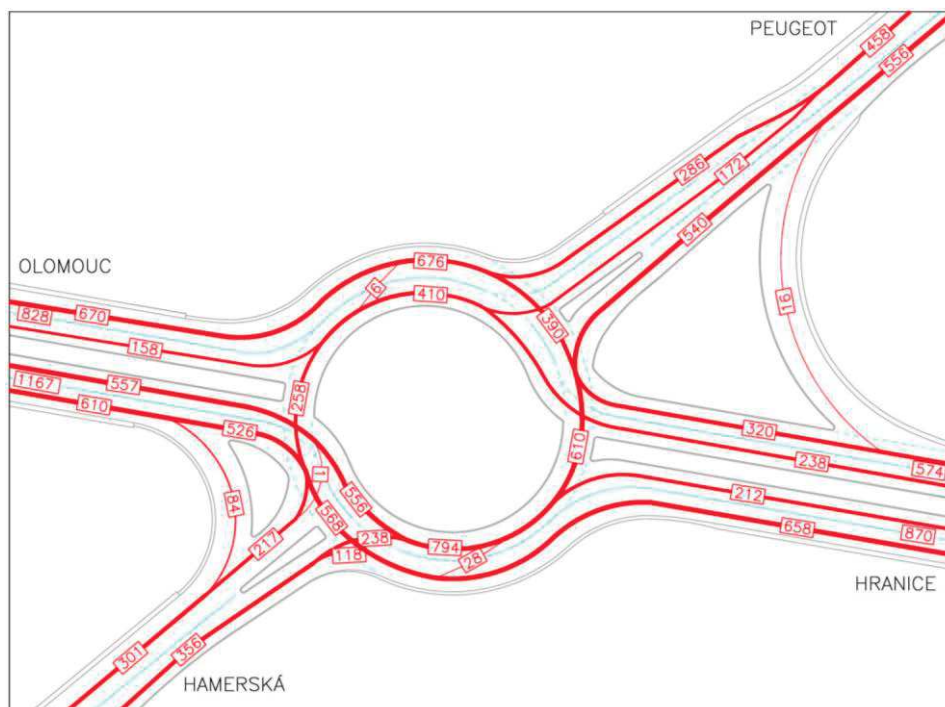
Doplněním ke kapitole 6.1 je sčítání dopravy na vybraných TOK v délce několika hodin v době ranní nebo odpolední špičky a vyhodnocení bylo provedeno pro špičkovou hodinu.

V práci jsou na ukázkou přiloženy kartogramy intenzit dopravy na vybraných křižovatkách a zde jsou vypsány intenzity vozidel na všech vjezdech do křižovatky. V Tab. 13 jsou pak vypsány rozměry některých sledovaných křižovatek.

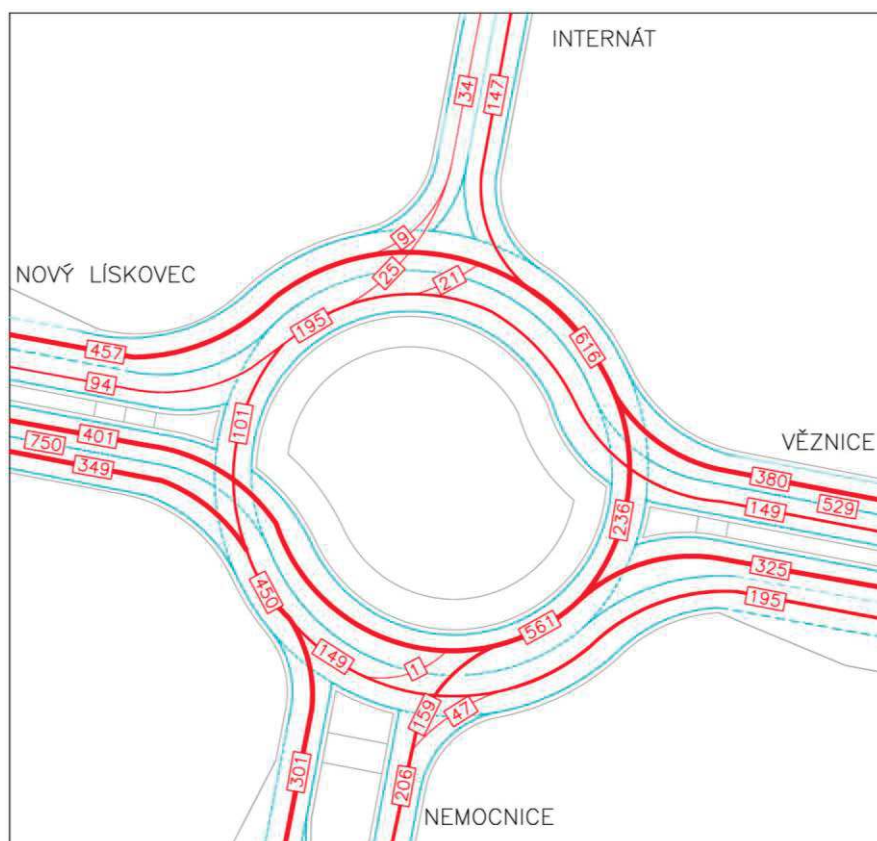
Žádná ze sledovaných TOK nemá fyzické oddělení jízdních pruhů.



Obr. 101 TOK Brno Hradecká. Intenzita vozidel 9. 9. 2013 v době od 7:35 do 8:35 hodin v pondělí.



Obr. 102 TOK Olomouc - Hamerská. Intenzita vozidel 26. 9. 2013 v době od 14:45 do 15:45 hodin ve čtvrtek.



Obr. 103 TOK Brno Kamenice x Netroufalky. Intenzita vozidel 24. 9. 2013 v době od 7:15 do 8:15 hodin v úterý.

Tab. 12 Součty intenzit vozidel ve špičkové hodině na vjezdech na některých TOK v ČR, měřeno v roce 2013

TOK	počet vjezdů	suma počtu vozidel na vjezdech za hodinu
Olomouc – Hamerská	4	2555
Havířov u nádraží	6	3700
Olomouc ul. Keplerova	4	2026
Brno –Kamenice x Netroufalky	4	1519
Brno – křižovatka ulic Hradecká x Žabovřeská	4	1514
Beroun – křižovatka ulic Koněpruská x K Nádraží, u D5	4	1150
Prostějov – křižovatka ulic Wolkerova x Dolní x Újezd a Petrské nám.	4	2079
Brno – Slatina, ul. Řípská x Hvězdoslavova x Olomoucká	5	2879

Tab. 13 Rozměry některých navržených křižovatek v ČR.

Název křižovatky	Brno – křižovatka ulic Kamenice, Netroufalky	Olomouc - křižovatka ulic Lipenská, Hamerská	Brno – křižovatka ulic Hradecká, Žabovřeská	Olomouc u Olympie
Prvek	Poloměr a rozměr [m]			
Šířka vnitřní vozovky	4,00	4,00	4,00	4,00
Šířka vnější vozovky	4,00	4,00	5,50	5,00
Šířka vnitřního jízdního pruhu	4,50	4,50	3,50	5,00
Šířka vnějšího jízdního pruhu	4,50	4,50	5,00	6,00
Šířka dlážděného prstenece	3,00	3,00	0,00	1,50
Fyzické oddělení jízdních pruhů	-	-	-	-
Největší průměr	52,00	52,00	85,50	52,00
Nejmenší průměr	48,00	43,50	66,50	42,00
Poloměr oblouku na vjezdu	12,00	12,00	17,00	15,00
Poloměr oblouku na výjezdu	15,00	18,00	22,00	25,00
Poloměr oblouku fyzického oddělení na vjezdu	-	-	-	-
Poloměr oblouku fyzického oddělení na výjezdu	-	-	-	-

Z měření intenzit vozidel na vybraných křižovatkách vyplývá, že intenzita vozidel se blíží kapacitě křižovatky na křižovatce v Havířově a následně potom v Olomouci na ulici Hamerské, nicméně jak je uvedeno na příkladu právě křižovatky Olomouc – Hamerská i dle kapacitního výpočtu uvedeného v technických podmínkách [38] nedosahuje křižovatka Hamerská své kapacity a je zde tedy velká rezerva.

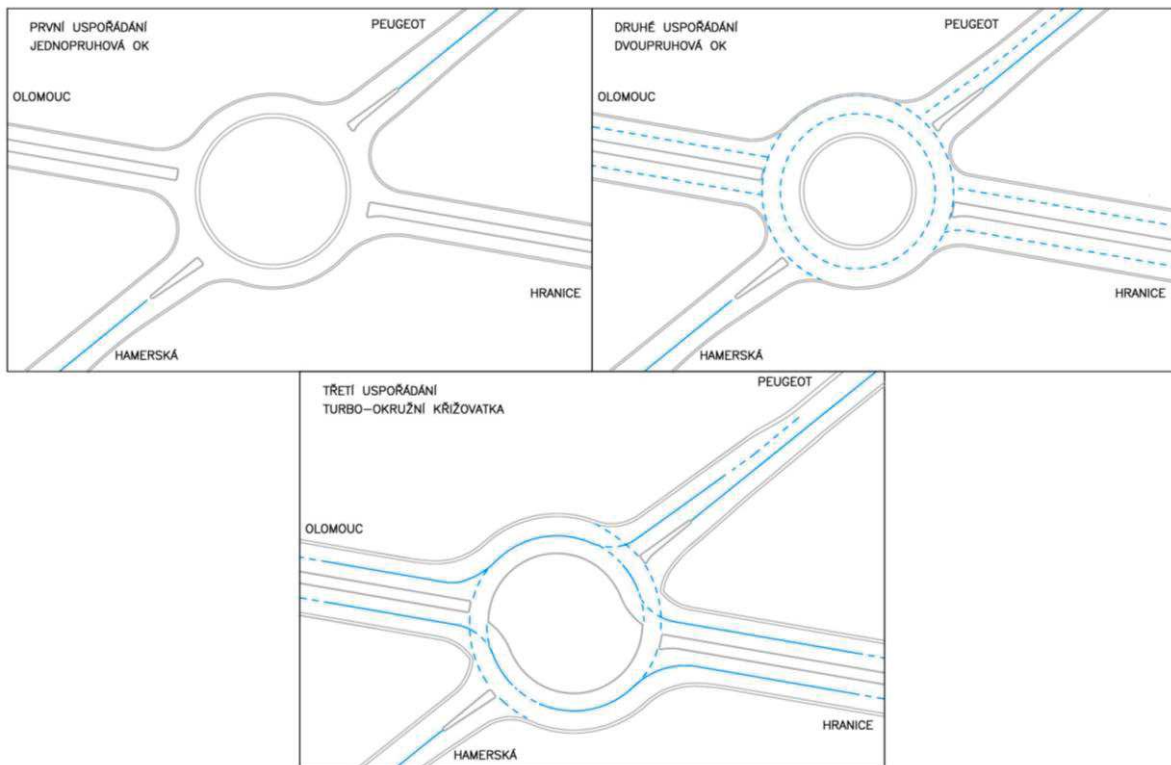
Nicméně z předložených kartogramů je patrné rovnoměrné využívání vícepruhových vjezdů, okružních pásů i výjezdů, což jednak potvrzuje tvrzení z předešlé kapitoly a dále potom na vyšší reálnou kapacitu TOK v provozu.

6.3 Srovnání kapacity OK a TOK dle TP 234

Pro obecné srovnání kapacity různých druhů OK byl proveden modelový výpočet na křižovatce v Olomouci na ulici Hamerské podle technických podmínek [38]. Předmětem posouzení byla tři schématická uspořádání pro naměřené intenzity, viz Obr. 104.

1. Jednopruhová okružní křižovatka, kdy na všech vjezdech okružního pásu i výjezdech je jeden jízdní pruh.
2. Vícepruhová okružní křižovatka se dvěma jízdními pruhy na okružním jízdním pásu pásem na OK a v místě, kde je na vjezdu u TOK dvoupruhový vjezd a výjezd je volen rovněž dvoupruhový vjezd.
3. Turbo-okružní křižovatka (realizovaný tvar)

Pozn.: Tvary OK pro jednotlivé posouzení jsou patrné z Obr. 104.



Obr. 104 Uspořádání OK pro jednotlivé posouzení dle [38]

K posouzení jednotlivých uspořádání je dále použitý formulář z technických podmínek [38]. Intenzity vozidel jsou převzaty ze sčítání vozidel prováděného 26. 9. 2013 v době od 14:45 do 15:45 hodin. Intenzity vozidel jsou patrné z kapitoly 6.2 a Obr. 102. Stejně intenzity jsou použity pro všechny tři uspořádání křižovatky, aby bylo patrné, jak je ve výpočtu uvedeném v [38] nastavena kapacita jednotlivých druhů OK.

6.3.1 Příklad kapacitního výpočtu

Tab. 14 Výpočet OK dle prvního uspořádání v Obr. 104

Kapacitní posouzení okružní křižovatky podle TP 234

Název křižovatky Olomouc - ulice Hamerská

Posuzovaný stav 26.9.2013 v době od 14:45 do 15:45

Typ okružní křižovatky jeden pruh na okruhu

Vnější průměr 52

Vstupní parametry

Papřsek	Název komunikace	požad.st.	$t_{w,lim}$
		UKD	[s]
		1	2
1	Olomouc	D	45
2	Hamerská	E	---
3	Peugeot	E	---
4	Hranice	D	45

Geometrické podmínky

Papřsek	Název komunikace	n_k	n_i	n_e	typ vjezdu	R_i	R_e	b	d_p
		[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]
		3	4	5	6	7	8	9	10
1	Olomouc	1	1	1	-	12,0	18,0	16,0	0,0
2	Hamerská	1	1	1	-	12,0	18,0	10,0	0,0
3	Peugeot	1	1	1	-	12,0	18,0	13,0	0,0
4	Hranice	1	1	1	-	12,0	18,0	16,0	0,0

Kapacita vjezdu

Papřsek	Název komunikace	l_k	l_i	C_i	Rez	t_w	a_v	$N_{95\%}$	UKD
		[pvoz/h]	[pvoz/h]	[pvoz/h]	[pvoz/h]	[s]	[-]	[m]	[-]
		11	12	13	14	15	16	17	18
1	Olomouc	258	1167	1037	-130	298	1,13	513	F
2	Hamerská	1124	356	321	-35	260	1,11	201	F
3	Peugeot	658	458	676	218	16	0,68	36	B
4	Hranice	610	558	751	193	18	0,74	48	B

Stanovená úroveň kvality dopravy na vjezdech okružní křižovatky

F

Tab. 15 Výpočet OK dle druhého uspořádání v Obr. 104

Kapacitní posouzení okružní křižovatky podle TP 234

Název křižovatky Olomouc - ulice Hamerská
 Posuzovaný stav 26.9.2013 v době od 14:45 do 15:45
 Typ okružní křižovatky vícepruhová okružní křižovatka
 Vnější průměr 52

Vstupní parametry

Papřsek	Název komunikace	požad.st. UKD	$t_{w,lim}$ [s]
		1	2
1	Olomouc	D	45
2	Hamerská	E	---
3	Peugeot	E	---
4	Hranice	D	45

Geometrické podmínky

Papřsek	Název komunikace	n_k	n_i	n_e	typ vjezdu	R_i	R_e	b	d_p
		[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]
		3	4	5	6	7	8	9	10
1	Olomouc	2	2	2	-	12,0	18,0	16,0	0,0
2	Hamerská	2	1	1	-	12,0	18,0	10,0	0,0
3	Peugeot	2	2	1	-	12,0	18,0	13,0	0,0
4	Hranice	2	2	2	-	12,0	18,0	16,0	0,0

Kapacita vjezdu

Papřsek	Název komunikace	l_k	l_i	C_i	Rez	t_w	a_v	$N_{95\%}$	UKD
		[pvoz/h]	[pvoz/h]	[pvoz/h]	[pvoz/h]	[s]	[-]	[m]	[-]
		11	12	13	14	15	16	17	18
1	Olomouc	258	1167	1738	571	6	0,67	36	A
2	Hamerská	1124	356	570	214	17	0,62	29	B
3	Peugeot	658	458	1284	826	4	0,36	10	A
4	Hranice	610	558	1334	776	5	0,42	13	A

Stanovená úroveň kvality dopravy na vjezdech okružní křižovatky

B

Tab. 16 Výpočet OK dle třetího uspořádání v Obr. 104

Kapacitní posouzení okružní křižovatky podle TP 234

Název křižovatky Olomouc - ulice Hamerská
 Posuzovaný stav 26.9.2013 v době od 14:45 do 15:45
 Typ okružní křižovatky turbo-okružní křižovatka
 Vnější průměr 52

Vstupní parametry

Paprasek	Název komunikace	požad.st. UKD	$t_{w,lim}$ [s]
		1	2
1	Olomouc	D	45
2	Hamerská	E	---
3	Peugeot	E	---
4	Hranice	D	45

Geometrické podmínky

Paprasek	Název komunikace	n_k	n_i	n_e	typ vjezdu	R_i	R_e	b	d_p
		[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]
		3	4	5	6	7	8	9	10
1	Olomouc	1	2	2	-	12,0	18,0	16,0	0,0
2	Hamerská	2	1	1	typ 3	12,0	18,0	10,0	0,0
3	Peugeot	2	2	1	typ 1	12,0	18,0	13,0	0,0
4	Hranice	1	2	2	typ 1	12,0	18,0	16,0	0,0

Kapacita vjezdu

Paprasek	Název komunikace	l_k	l_i	C_i	Rez	t_w	a_v	$N_{95\%}$	UKD
		[pvoz/h]	[pvoz/h]	[pvoz/h]	[pvoz/h]	[s]	[-]	[m]	[-]
		11	12	13	14	15	16	17	18
1	Olomouc	258	1167	1727	560	6	0,68	37	A
2	Hamerská	1124	356	570	214	17	0,62	29	B
3	Peugeot	658	458	1284	826	4	0,36	10	A
4	Hranice	610	558	1272	714	5	0,44	14	A

Stanovená úroveň kvality dopravy na vjezdech okružní křižovatky

B

6.3.2 Závěr k výpočtům kapacity

Z výpočtů uvedených v předešlé kapitole je patrné, že nejnižší kapacitu mají jednopruhovové okružní křižovatky. V tomto případě je vidět, že byla překročena kapacita křižovatky a ÚKD (úroveň kvality dopravy) vychází na stupni F, tedy křižovatka pro toto uspořádání jízdnic pruhů nevyhovuje z hlediska své kapacity, viz Tab. 14.

Z Tab. 15 pro vícepruhovou okružní křižovatku s klasickým (soustředným) uspořádáním jízdnic pruhů na okružním pásu vychází nejnižší stupeň ÚKD – B. Křižovatka tedy vyhověla pro stávající stav.

Třetí případ, viz Tab. 16 s uspořádání křižovatky se spirálovým uspořádáním jízdnic pruhů (TOK). Pro stávající stav křižovatka vyhověla s nejvyšším stupněm ÚKD na stupni B, což je vyhovující i s určitou rezervou kapacity, která zajišťuje křižovatce funkčnost ještě několik let. Doba dostatečné kapacity TOK je závislá na vývoji nárůstu dopravy.

Cílem tohoto porovnání bylo dokázat, že i stávající předpisy pro výpočet kapacity OK uvažují s vysokou kapacitou TOK. Z výpočtu je patrné, že TOK má podobnou kapacitu jako vícepruhová OK. Nicméně je třeba upozornit, že kapacitní výpočet vícepruhových OK je v technických podmínkách [38] ve své podstatě stejný jako pro jednopruhovou OK s tím, že zde je zvolen koeficient $n_{i,koef}$, který je u vícepruhové OK o 50 % větší než u jednopruhovových OK. Z kapitoly 6.1 je patrné, že takové rozdělení

dopravy na vícepruhových OK v reálném provozu není. Proto je tento výpočet s nejvyšší pravděpodobností nereálný.

Postup výpočtu pro posouzení TOK uvedený v technických podmínkách [38] byl autory tohoto předpisu nastaven na základě jedné TOK, což je statisticky nedostatečný vzorek.

Zpřesnění postupu kapacitního posouzení OK i TOK by bylo na podrobnější zkoumání, nicméně tato problematika není předmětem řešení této práce.

6.4 Nehodovost na stávajících TOK a OK

Hodnocení bezpečnosti vychází ze statistik Policie ČR. Jsou zde tedy sledovány pouze dopravní nehody, které má Policie ČR ve své volně přístupné internetové databázi [29]. Databáze dopravních nehod je omezená na evidované dopravní nehody, tedy nejsou v ní zaznamenány nehody s hmotnou škodou do 100 000 Kč, zpravidla „pomačkané plechy, či škrábance“.

Nehodovost OK byla sledována pro skupinu dvanácti OK s vícepruhovým uspořádáním jízdních pruhů a porovnána s nehodovostí na osmi TOK v ČR. Do statistiky nebyly přidány 3 TOK v Českých Budějovicích, kde nebyla zaznamenána žádná dopravní nehoda, což vyplývá s nízké intenzity vozidel danou tím, že se jedná o etapu výstavby. Do statistiky nehodovosti nebyla rovněž přidána TOK v Brně Modřicích, kde nebylo možné, díky zákazu vlastníka komunikace Nákupního centra Olympie, získat data o intenzitách vozidel.

Porovnání nehodovosti OK a TOK bylo provedeno na základě ukazatele, který se nazývá relativní nehodovost. Výpočet relativní nehodovosti byl proveden dle metodiky [51]. Jedná se o nejběžnější ukazatel pro vyhodnocování nehodovosti, kdy můžeme srovnávat různé křižovatky po různou dobu s různými intenzitami dopravy. Jednotkou je počet nehod na milion vozokilometrů a rok. Hodnota tohoto ukazatele se obvykle pohybuje v rozmezí od 0,1 do 0,9. Jakmile relativní nehodovost stoupne nad 1, jedná se o známku nedostatků z hlediska bezpečnosti.

(8)

$$R = \frac{N_o}{365 \cdot I \cdot t}$$

kde

N_o – celkový počet nehod ve sledovaném období [počet nehod / mil.vozkm a rok]

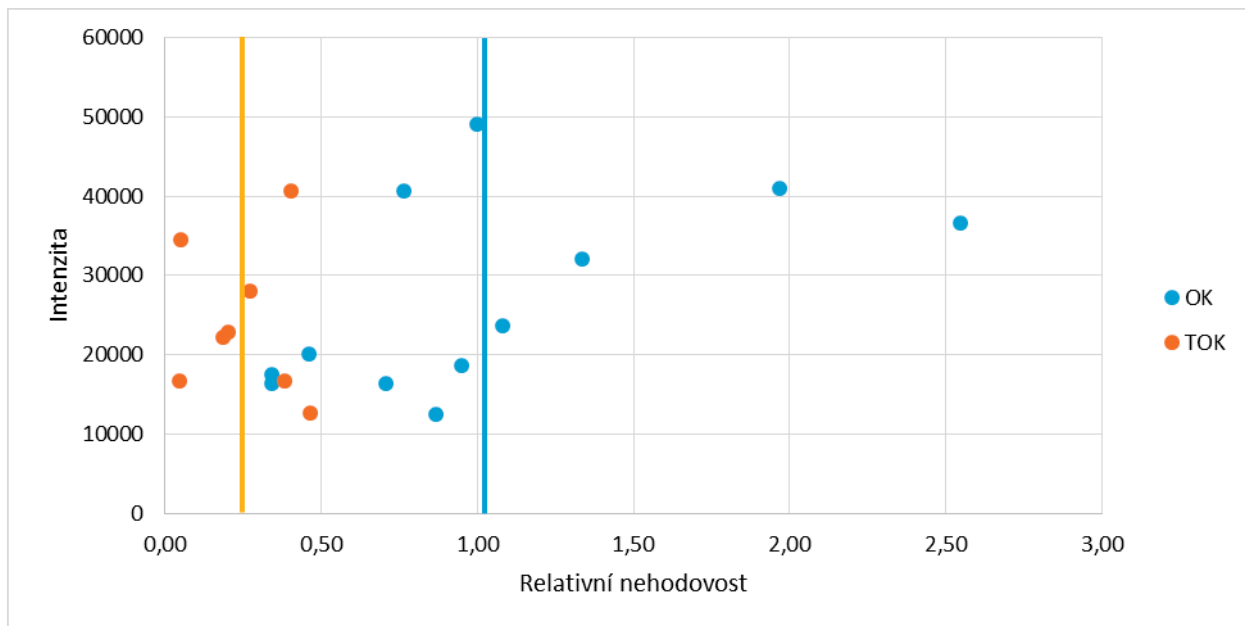
I – průměrná denní intenzita vozidel na vjezdech do OK [voz/24 hod]

t – sledované období [roky]

Z Tab. 17 a Graf 9 je patrné, že u TOK je relativní nehodovost nižší oproti vícepruhových OK.

pořadí	křižovatky	počet paprsků	intenzita vozidel na vjezdech [voz/24 hodin]								sledované období [roky]	relativní nehodovost [počet nehod/mil. voz a rok]	průměrná hodnota N _o
				2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015			
1	OK Praha - Vítězné náměstí	4	40953	37	42	24	24	15	30	29	6,83	1,97	1,03
2	OK Praha - Litochlebské náměstí	4	49036	10	16	26	24	10	17	19	6,83	1,00	
3	OK Praha - Ryšavého x Roztýlská	4	36670	22	36	24	52	24	38	37	6,83	2,55	
4	OK Hranice na Moravě	4	17559	3	4	1	2	3	1	1	6,83	0,34	
5	OK Frýdek - Místek I/48 x I/56	4	18573	15	6	7	5	2	8	1	6,83	0,95	
6	OK Ostrava - Radvanice	4	20043	7	4	3	3	2	2	2	6,83	0,46	
7	OK Hradec Králové - I/11 x I/33 x I/35	4	32148	15	7	17	17	24	16	11	6,83	1,33	
8	OK Mladá Boleslav - Průmyslová x 13. brána	4	16395	4	3	4	6	3	4	5	6,83	0,71	
9	OK Mladá Boleslav - Průmyslová x Pod Loretou	3	16395	3	2	2	2	2	2	1	6,83	0,34	
10	OK Mladá Boleslav - Průmyslová x Boleslavská	4	12456	3	5	4	2	5	4	4	6,83	0,87	
11	OK Chomutov - Lipská x Zborovská	5	23726	15	6	4	6	4	19	10	6,83	1,08	
12	OK Havířov u nádraží před přestavbou	6	40700	14	4	TOK	TOK	TOK	TOK	TOK	1,58	0,77	
1	TOK Brno - Kamenice x Netroufalky	4	16709	1	1	5	3	0	5	1	6,83	0,38	0,25
2	TOK Brno - Hradecká x Žabovčeská	5	16654				0	0	0	1	3,50	0,05	
3	TOK Prostějov	5	22869		2	4	2	0	1	0	5,25	0,21	
4	TOK Olomouc Keplerova	4	22286	1	1	3	1	1	3	0	6,58	0,19	
5	TOK Olomouc - Hamerská	4	28105		1	2	3	2	3	5	5,67	0,28	
6	TOK Havířov u nádraží po přestavbě	6	40700		3	5	4	4	11	4	5,16	0,40	
7	TOK Beroun	6	12650					1	3	1	2,33	0,46	
8	TOK Brno - Slatina	5	34560						1	0	1,50	0,05	

Tab. 17 Vypočet relativní nehodovosti pro OK a TOK

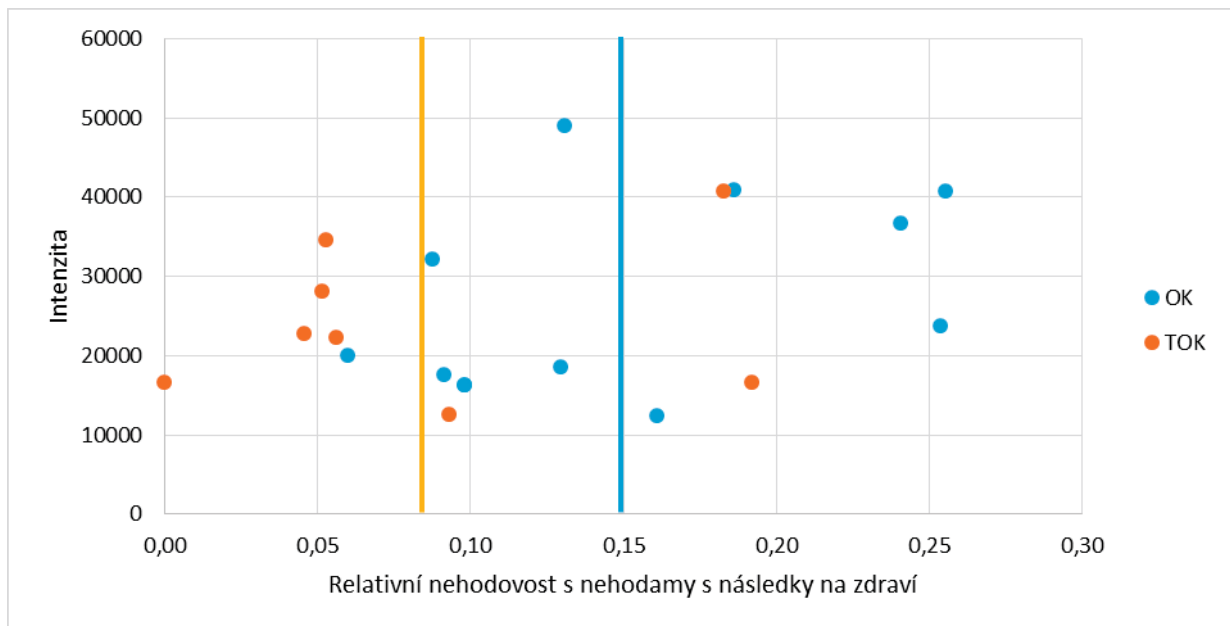


Graf 9 Relativní nehodovost na vícepruhových OK a TOK. Čáry v grafu zobrazují průměrnou hodnotu relativních nehodovostí na sledovaných křižovatkách.

Následně byla porovnána relativní nehodovost s nehodami s následky na zdraví, které popisuje [51]. I zde je patrné, že relativní nehodovost s následky na zdraví je u TOK nižší, i když v Brně na ulicích Kamenice – Netroufalky a Havířově u nádraží je tento ukazatel srovnatelný s OK s klasickým řazením jízdních pruhů.

Tab. 18 Výpočet relativní nehodovosti s následky na zdraví pro OK a TOK

pořadí	křižovatky	intenzita vozidel na vjezdech [voz/24 hodin]	sledované období [roky]	počet nehod se zraněním			relativní nehodovost s nehodami s následky na zdraví [počet zdrav nehod/mil. voz a rok]	průměrná hodnota N _o
				počet usmrcených osob	počet nehod s těžkým zraněním	počet nehod s lehkým zraněním		
1	OK Praha - Vítězné náměstí	40953	6,83	1	3	15	0,19	0,15
2	OK Praha - Litochlebské náměstí	49036	6,83	0	1	15	0,13	
3	OK Praha - Ryšavého x Roztýlská	36670	6,83	0	1	21	0,24	
4	OK Hranice na Moravě	17559	6,83	0	0	4	0,09	
5	OK Frýdek - Místek I/48 x I/56	18573	6,83	0	0	6	0,13	
6	OK Ostrava - Radvanice	20043	6,83	0	0	3	0,06	
7	OK Hradec Králové - I/11 x I/33 x I/35	32148	6,83	0	0	7	0,09	
8	OK Mladá Boleslav - Průmyslová x 13. brána	16395	6,83	1	1	2	0,10	
9	OK Mladá Boleslav - Průmyslová x Pod Loretou	16395	6,83	0	1	3	0,10	
10	OK Mladá Boleslav - Průmyslová x Boleslavská	12456	6,83	0	1	4	0,16	
11	OK Chomutov - Lipská x Zborovská	23726	6,83	0	1	14	0,25	
12	OK Havířov u nádraží před přestavbou	40700	1,58	0	0	6	0,26	
1	TOK Brno - Kamenice x Netroufalky	16709	6,83	0	2	6	0,19	0,08
2	TOK Brno - Hradecká x Žabovčeská	16654	3,50	0	0	0	0,00	
3	TOK Prostějov	22869	5,25	0	0	2	0,05	
4	TOK Olomouc Keplerova	22286	6,58	0	0	3	0,06	
5	TOK Olomouc - Hamerská	28105	5,67	0	0	3	0,05	
6	TOK Havířov u nádraží po přestavbě	40700	5,16	0	2	12	0,18	
7	TOK Beroun	12650	2,33	0	0	1	0,09	
8	TOK Brno - Slatina	34560	1,50	0	0	1	0,05	



Graf 10 Relativní nehodovost na vícepruhových OK a TOK s nehodami s následky na zdraví. Čáry v grafu zobrazují průměrnou hodnotu relativních nehodovostí na sledovaných křižovatkách.

Při podrobnější analýze dopravních nehod byly analyzovány hlavní příčiny vzniku nehod. V převážné míře se jedná o nehody z důvodu nedání přednosti v jízdě, což bývá způsobené nevhodným nebo nedostatečně srozumitelným dopravním značením. Dále se jedná o nehody s chodci na přechodu pro chodce. To dokazuje, že přechody pro chodce u TOK i u OK obecně způsobují problémy nejen s jejich kapacitou, ale i s bezpečností.

TOK v Brně je blízko kampusu Masarykovy univerzity a Fakultní nemocnice Brno – Bohunice a tyto skutečnosti, společně s přítomností autobusových zastávek, generují velké množství chodců.

V Havířově se k výše popsaným skutečnostem přidává velikost průměru okružního pásu křižovatky (150 m) a s tím spojená vysoká rychlost vozidel na okružním pásu OK. Dále pak přítomnost světelně signalizačního zařízení na OK, což není obvyklým řešením.

Po mnoha přestavbách OK v Havířově došlo v roce 2010 ke konverzi na hybridní TOK (částečně světelně řízenou TOK), což vedlo k výraznému poklesu počtu nehod i počtu zraněných, jak je patrné z Tab. 17 a Tab. 18, případně Graf 9 a Graf 10.

6.4.1 Pozorování dopravních situací na TOK

Nehodovost na pozemních komunikacích lze posuzovat i pomocí sledování dopravních konfliktů, tzv. skoronehod dle metodiky [51]. Nebylo však prokázáno, že množství sledovaných dopravních konfliktů nějak konverguje k vysoké nehodovosti. Proto bylo přistoupeno pouze ke sledování chování řidičů na TOK z natočených videí. Sledování chování účastníků silničního provozu je zatíženo určitou subjektivitou pozorovatele, nicméně závěry z tohoto pozorování doplňují celkový pohled na problémy v současných návrzích TOK v ČR.

6.4.2 Závěr k nehodovosti na vícepruhových OK a TOK

Z vyhodnocení nehodovosti na TOK a OK vyplývá, že nehodovost na vícepruhových OK je 4x větší než na TOK. Zároveň je možné říci, že u nehod s následky na zdraví je nehodovost na vícepruhových OK 2x větší než na TOK.

Lze tedy říci, že TOK splňují základní požadavky na ně kladené pro zvýšení bezpečnosti, tj.:

- nedochází k žádným průpletům (resp. změnám pruhu) na okružním pásu,
- nadřazený dopravní proud na okružním pásu má max. 2 jízdní pruhy (v místě připojení),
- nízké rychlosti (na vjezdech i na okružním pásu).

Je nutno zmínit, že tyto závěry z nehodovosti vycházejí z vzorku TOK, které jsou postaveny poměrně krátkou dobu, nicméně je to většina TOK v ČR v provozu v době psaní této práce. Podrobnější závěry z nehodovosti lze zjistit spíše z rozsáhlejších zahraničních zkušeností a studií [18], [22], [50]. Na druhou stranu řidiči každé země mají své dopravní zvyklosti a nelze tak vždy využít zkušenosti ze zahraničí.

Nehody na sledovaných křižovatkách jsou v převážné míře způsobeny přejížděním jízdních pruhů v malých poloměrech oblouků, podobně jako v zahraničních studiích. Velký vliv na nehodovost a zejména na nehody s následky na zdraví osob, má přítomnost tzv. „úzkých“ (obvykle označovaných jako zranitelných) účastníků silničního provozu (cyklisté a motocyklisté). Tito účastníci se mnohem častěji schovávají do mrtvých úhlů v zrcátkách vozidel jedoucích před nimi, čímž dochází k jejich přehlédnutí a následně ke kolizním situacím případně i k nehodám.

6.5 Rychlost vozidel při průjezdu TOK

Sledování rychlosti vozidel při průjezdu OK je důležitý podklad pro vlastní návrh geometrie křižovatky. Sledována byla rychlost vozidel při průjezdu dvou TOK na vjezdu, okružním pásu a výjezdu. K získávání informací o rychlostech byl použit postup měření rychlosti pomocí počítačového vidění. Nejdříve byl hexakoptérou pořízen videozáznam a následně byla provedena analýza jednotlivých trajektorií vozidel pomocí softwaru DataForSky, viz kapitola 5.3.

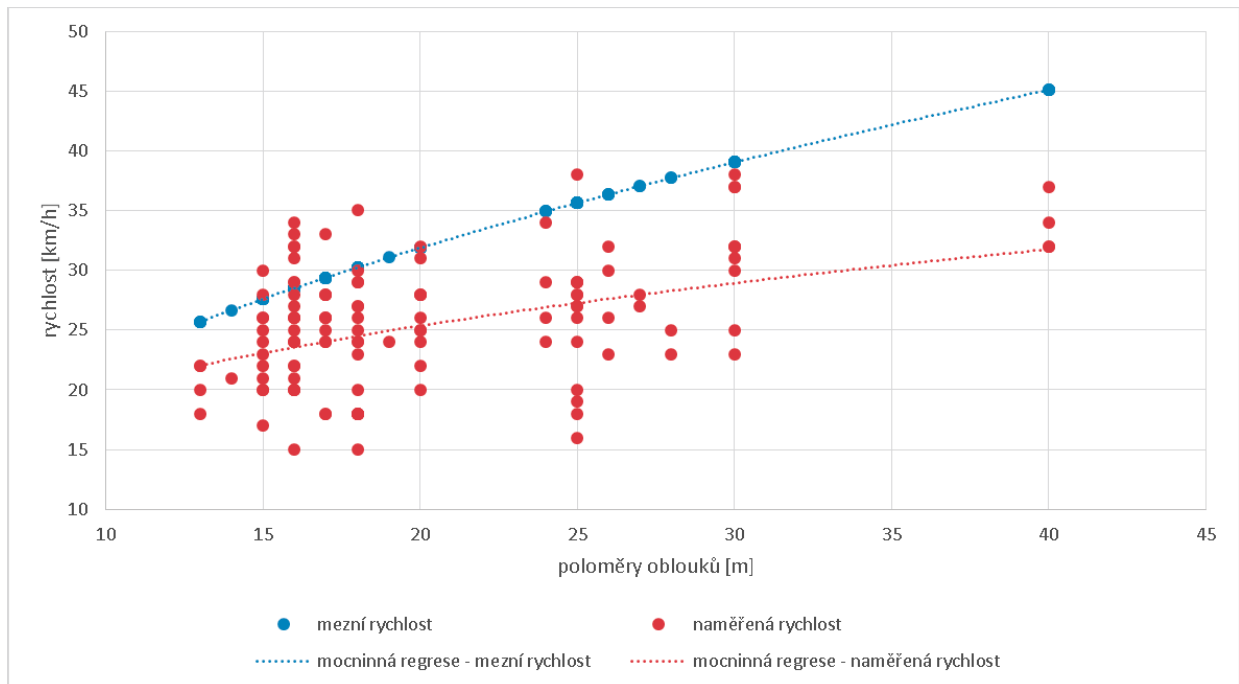
Pro měření rychlostí bylo nutné sledovat pouze vozidla, u kterých nebyl průjezd ovlivněn ostatními vozidly nebo přítomností chodců či jiných věcí rozptylujících řidiče. Tato vozidla tak musela být vybrána ručně z pořízených videozáznamů.

K měření byly vybrány TOK v Brně Bohunicích na ulicích Kamenice x Netroufalky a TOK v Brně Slatině. Bylo vyhodnoceno celkem 127 vozidel na TOK v Brně Bohunicích a 80 vozidel na TOK v Brně Slatině.

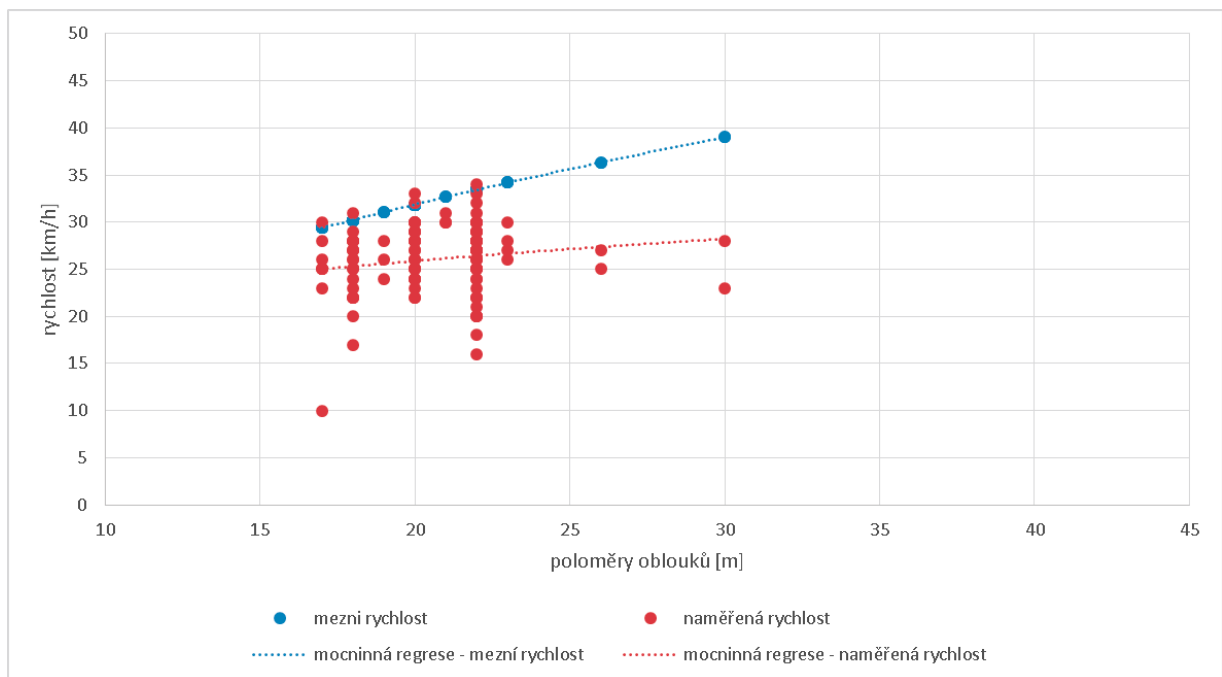
Výsledky byly následně zpracovány do grafů vždy pro jednotlivý vjezd, okružní pás a výjezd z křižovatky. Protože vozidla při průjezdu křižovatkou nejezdí v ose jízdního pruhu, ale volí pro sebe optimální trasu, bylo v křižovatkách nalezeno více poloměrů, na kterých byla rychlost zaznamenána. Zároveň byla vypočítána dosahovaná rychlost vozidel (viz kapitola 7.1) pro jednotlivé poloměry směrových oblouků a porovnána s naměřenou rychlostí.

Obě měření byla provedena v běžný pracovní den (21. 10. 2013 a 22. 11. 2014) za sucha a za nezhoršené viditelnosti. Měření bylo prováděno mimo dopravní špičku, tak aby bylo možné sledovat co největší množství neovlivněných průjezdů.

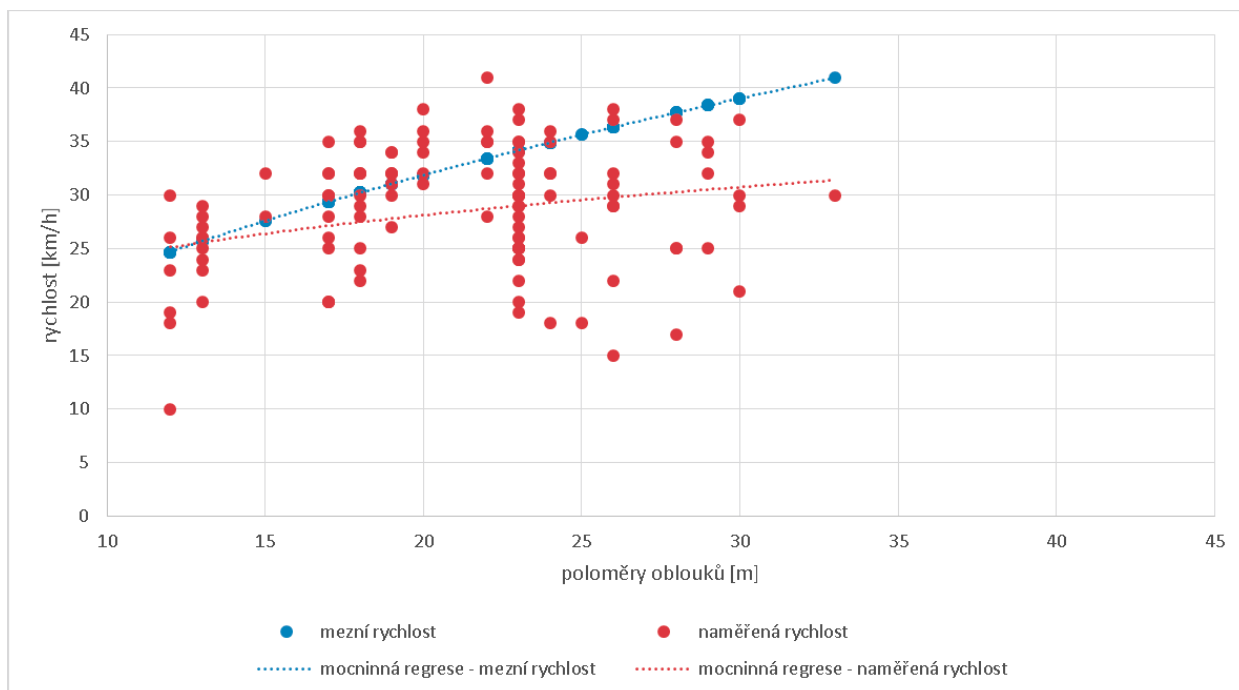
6.5.1 Měření na TOK v Brně – Bohunicích



Graf 11 TOK v Brně Bohunicích – porovnání naměřených a mezních rychlostí – vjezd na okružní pás TOK

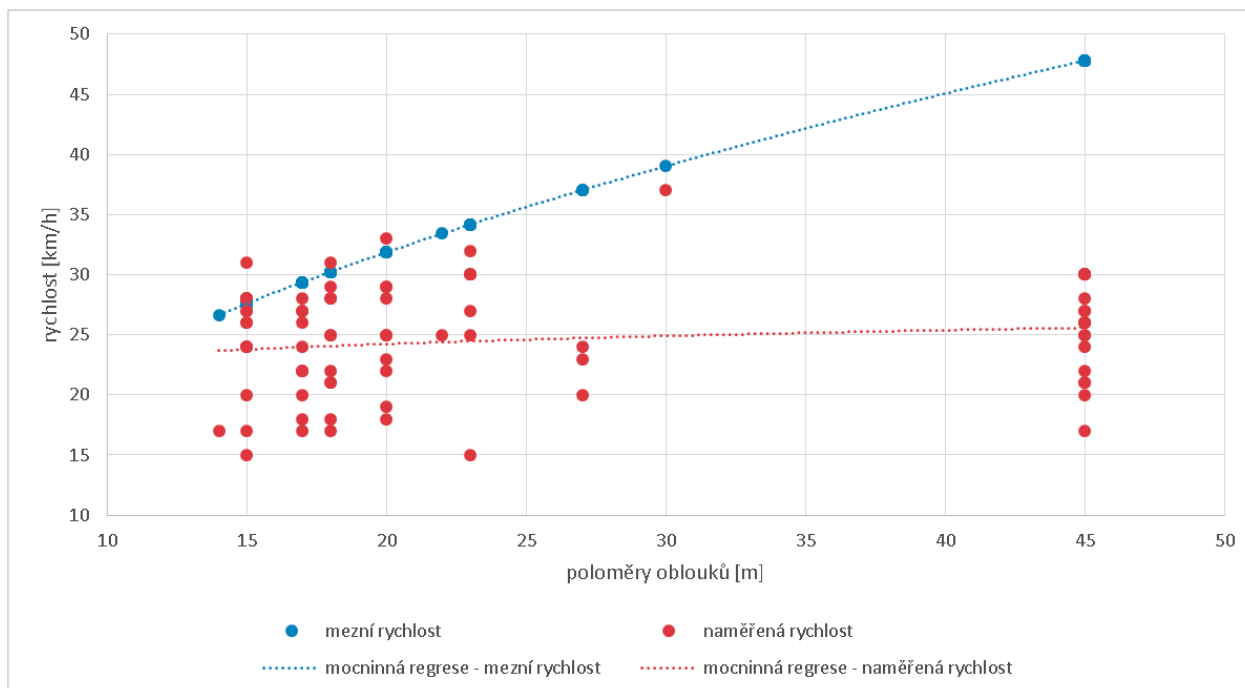


Graf 12 TOK v Brně Bohunicích – porovnání naměřených a mezních rychlostí – na okružním pásu TOK

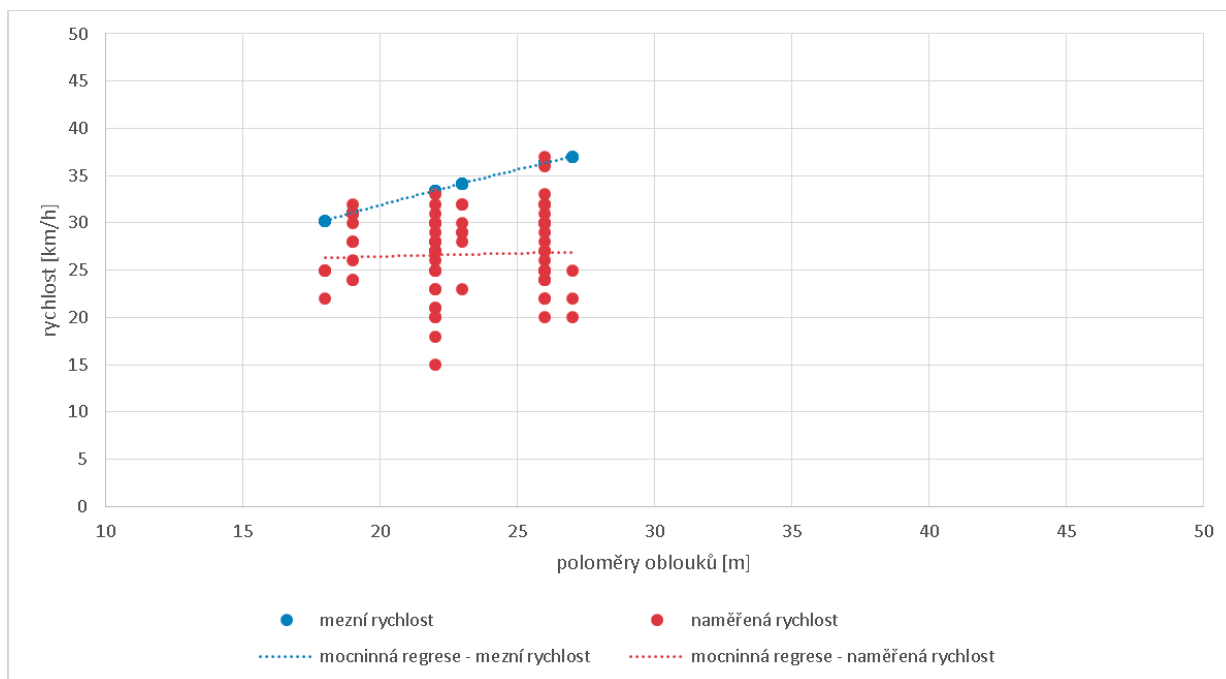


Graf 13 TOK v Brně Bohunicích – porovnání naměřených a mezních rychlostí – výjezd z okružního pásu TOK

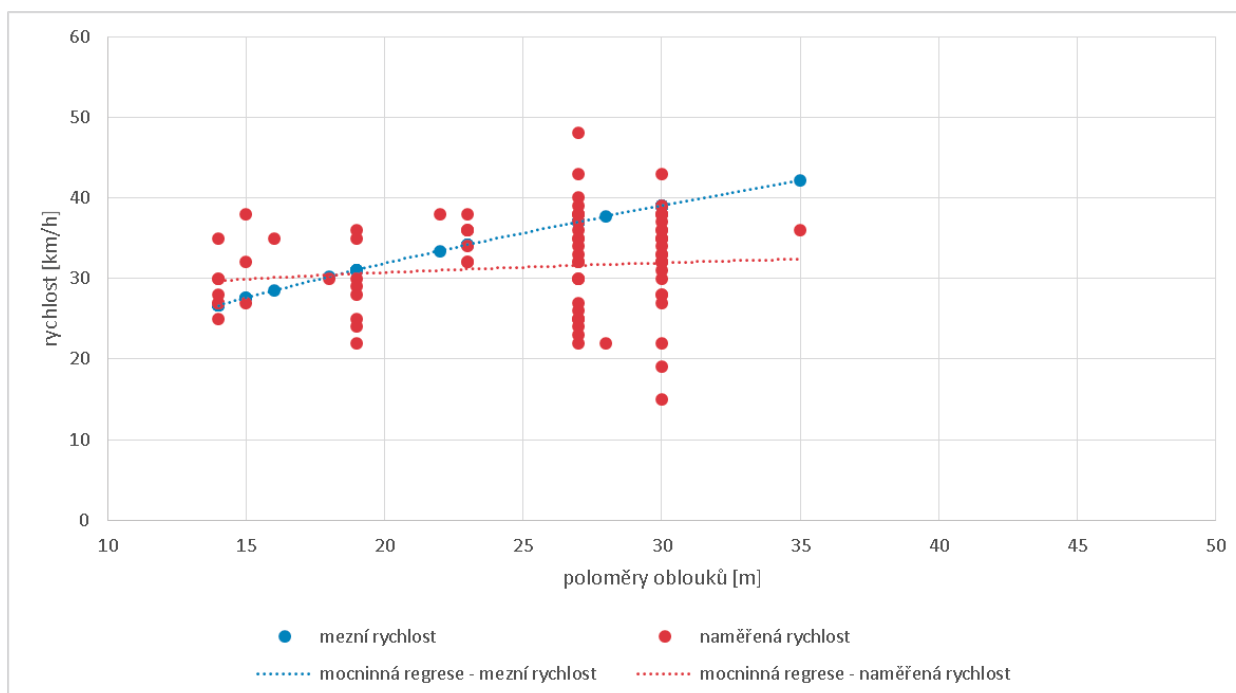
6.5.2 Měření na TOK v Brně Slatině



Graf 14 TOK v Brně Slatině – porovnání naměřených a mezních rychlostí – vjezd na okružní pás TOK



Graf 15 TOK v Brně Slatině – porovnání naměřených a mezních rychlostí – na okružním pásu TOK



Graf 16 TOK v Brně Slatině – porovnání naměřených a mezních rychlostí – výjezd z okružního pásu TOK

6.5.3 Závěr k měření rychlostí na TOK

Bylo změřeno více než 200 vozidel ve třech směrových obloucích, tedy přibližně 600 průjezdů směrových oblouků. Sledování bylo provedeno na TOK v městském prostředí. V extravilánu TOK v ČR nejsou nebo nebyly vhodné z důvodů velkých intenzit. Z těchto důvodů se v převážné míře jedná o průjezd osobních vozidel. Celkově byl změřen průjezd u 17 kloubových autobusů a 4 jízdních souprav, ostatní vozidla byla osobní.

Z měření je patrné, že většina vozidel se pohybuje na TOK rychlostí nižší, než je mezní rychlost pro projížděné poloměry. Zároveň měření potvrzuje skutečnost, že rychlost vozidel na výjezdu je větší a naopak na vjezdu do TOK je menší.

Z měření dále vyplývá, že rychlost vozidel v prostoru obou TOK nepřekračuje rychlost 30 až 35 km/h. Zároveň z měření vyplývá, že velká vozidla (návěsové soupravy, nákladní auta s přívěsem a kloubové autobusy) mohou projet TOK rychlostí 20 km/h a vyšší.

Tyto skutečnosti jsou výchozím předpokladem pro následující úvahy při vlastním návrhu geometrie TOK, viz kapitola 7.

6.6 Vlečné křivky při průjezdu TOK

Pro ověření průjezdu TOK bylo využito simulačních průjezdů pomocí software AutoTURN. Principy simulace jsou popsány v kapitole 5.4.

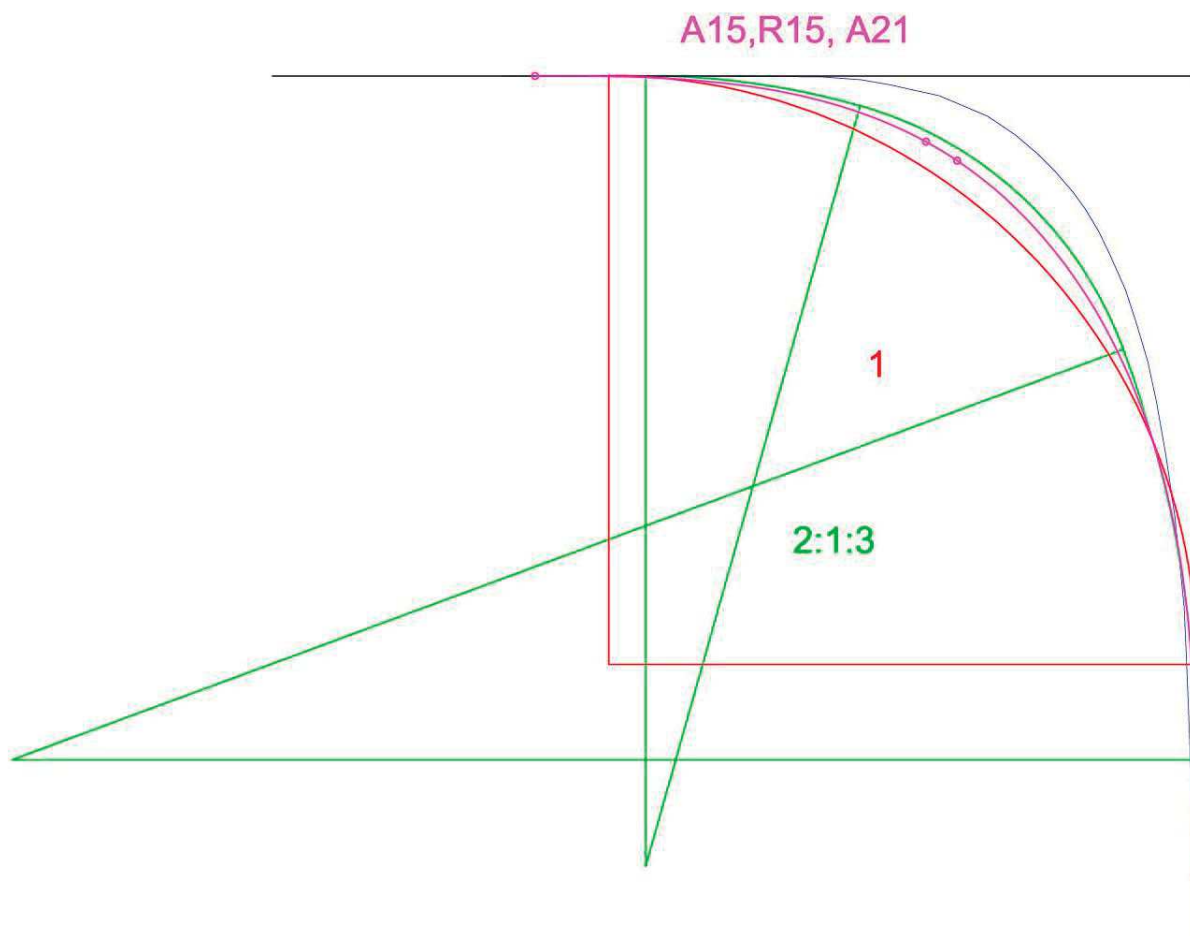
Ze simulace průjezdu křižovatkou je patrné, že použití prostého kružnicového oblouku na vjezdu a výjezdu z okružního pásu TOK není příliš hospodárné řešení. Prostý kružnicový oblouk je přitom doporučen v technických podmínkách [35] i v zahraničních předpisech [22] a [47]. V rámci návrhu geometrie TOK byly však hledány další možné křivky, které by pro nároží křižovatek byly vhodnější. Tedy se více přibližovaly vnitřní obalové křivce vzniklé při simulaci průjezdu návěsovou soupravou nárožím křižovatkou pro úhel tečen 100 gradů.

Nejvhodnějším řešením se jeví konstrukce nároží kružnicovým obloukem s nesymetrickými přechodnicemi. Důvodem je zejména fakt, že klotoidické přechodnice, které jsou charakterizovány plynulým nárůstem křivosti, se lépe přimykají k obalové křivce vozidla vyjíždějícího z oblouku. Nicméně z praxe je známo, že vytyčení a stavba nárožních oblouků probíhá pomocí podrobných bodů pokrytí ve vzájemných vzdálenostech obvykle po 5 m a v obloucích menších poloměrech po 1 až 2 m. Lze se tedy domnívat, že klotoida je pro využití na stavbě zbytečně složitá křižovka, jejíž potenciál by nebyl pravděpodobně na stavbě využit. Navíc postupný nárůst křivosti může být vyřešen v rámci šířky jízdního pruhu.

Proto byly při návrhu nároží TOK použity složené kružnicové oblouky na místo kružnicových oblouků s přechodnicemi, kdy první a třetí kružnicový oblouk nahrazuje klotoidu. Složený oblouk s návrhem kružnicových oblouků v poměru poloměrů 2:1:3 je jednodušší na sestavení i vytyčení. Na Obr. 105 je provedeno srovnání mezi prostým kružnicovým obloukem, který má pro průjezd návěsové soupravy poloměr 22 m (červená křivka), kružnicový oblouk s přechodnicemi o poloměru 15 m (ružová křivka), oblouk se vstupní přechodnicí s parametrem 15 a výstupní přechodnicí s parametrem 21 (fialová křivka) a poslední složený oblouk v poměru kružnic 2:1:3 (zelená křivka).

Vozidla, která byla pro posouzení návrhů geometrie křižovatek použita, jsou patrná z Obr. 86. V Příloze A jsou výsledky simulace křivek patrné pro jednotlivá vozidla i rozměry křižovatek.

I norma [30] doporučuje pro nároží volit složený oblouk právě v poměru 2:1:3 na místo směrového oblouku s nesymetrickými přechodnicemi. Srovnání je patrné z Obr. 105, ze kterého je vidět, že oba nárožní oblouky jsou velice podobné s tím, že složený kružnicový oblouk je výrazně jednodušší na provádění na stavbě.



Obr. 105 Rozdíly mezi prostým kružnicovým obloukem, složeným obloukem a kružnicovým s přechodnicemi

Vlastní ověření bylo provedeno pomocí software AutoTURN verze 9.0.1.257 použitého jako nástavba na platformě software ZWCAD verze 14.

Software umožňuje celou řadu nastavení, které ovlivňují konečnou simulaci. Simulace pro ověření správnosti geometrie TOK byla provedena dle parametrů patrných z Obr. 106. Jedním z nejdůležitějších parametrů je rychlost jízdy, která byla nastavena na 20 km/h. Pokud se nastaví tato hodnota například na 1 km/h, simulace neodpovídá realitě a postavené křižovatky potom nebudou správně fungovat. Bohužel v praxi toto někteří projektanti nesprávně používají.



Obr. 106 Ukázka nastavení parametrů vozidel pro simulaci průjezdu navrženými TOK

6.6.1 Závěr k simulaci průjezdnosti TOK

Simulace je vhodný nástroj sloužící ke kontrole geometrie nejen TOK. Zásadní je jeho vhodné nastavení pro vlastní simulaci. Nastavení je závislé na významu a místě jejího využití. Při kontrole TOK byla nastavena rychlost pro směrodatná vozidla 20 km/h, což koresponduje s filozofií použitou pro návrh křižovatky a s mezními rychlostmi pro nákladní vozidla. Tedy rychlost nákladních vozidel nesmí klesnout pod 20 km/h (samozřejmě při ničím neovlivněném průjezdu křižovatkou) a osobní vozidla by neměla křižovatkou projíždět vyšší rychlostí než je 30 – 35 km/h. Tato úvaha koresponduje s filozofií použitou i v zahraničních studiích, zejména potom [14], [19], [47].

6.7 Závěr z měření, analýz a modelování

Měření a vyhodnocení v kapitole 6 potvrdily předpoklad, že spirálové uspořádání na vícepruhových okružních křižovatkách má pozitivní vliv na kapacitu vícepruhových okružních křižovatek a zároveň na nehodovost.

Dále bylo ověřeno měřením rychlostí a modelováním, že optimální TOK by měla být navržena tak, aby rychlost nákladních vozidel při neovlivněném průjezdu neklesla pod 20 km/h a zároveň, aby osobní vozidla neprojížděla křižovatkou rychlostí vyšší než je 30 – 35 km/h.

Simulace a zkušenosti potvrdily, že vhodným náročím křižovatky je složený kružnicový oblouk. Dalším poznatkem, který koresponduje obecně s problematikou OK, je důsledné vyřešení pěších a cyklistů.

Tyto poznatky byly použity jako vstup pro návrh parametrů TOK v kapitole 7.

7 Návrhové parametry TOK

Při volbě návrhových parametrů TOK je třeba vycházet z rozměrů největších vozidel včetně počtu a rozmístění jejich náprav, které se budou po takové křižovatce pohybovat. Vzhledem k tomu, že se

předpokládá, že TOK jsou křižovatky určené pro větší dopravní zatížení, návrhové parametry vychází z těchto předpokladů. Současně je třeba vycházet z předpokládaných rychlostí průjezdů vozidel v křižovatce tak, aby byla využívána co možná nejefektivněji kapacita křižovatky a současně, aby byla zachována bezpečnost provozu na křižovatce. TOK budou navrhovány obvykle v intravilánu obcí na místních komunikacích II. třídy (funkční skupina B – sběrná komunikace) či průtazích silnic, nebo budou navrhovány v extravilánu na silnicích.

Největší směrodatná vozidla, na jejichž průjezd se TOK dimenzuje, byla popsána v kapitole 5.4. Jsou to kloubové autobusy, autobusy délky 15 m a nákladní vozidla s návěsem či přívěsem.

Principem návrhu TOK je konstrukce jednotlivých kružnicových oblouků od středu směrem ven. Vychází se z minimálního poloměru otáčení směrodatných vozidel 15 m (převzato ze zahraničních předpisů), což se rovná minimálnímu poloměru středového ostrova, kolem kterého se poté postupně konstruují příslušně rozšířené jízdní pruhy okružního pásu rozdělené fyzickým oddělením. Pro účely konstrukce TOK se zavádí dva pojmy: turboblok a translační osa, viz kapitola 3. Vnější průměr TOK je dle definice průměr kružnice, kterou je možné vepsat mezi vnitřní líc obrubníků nebo vnější okraje vodících proužků vnějšího jízdního pruhu okružního jízdního pásu křižovatky v místě translační osy. V součtu je velikost průměru TOK standardní velikosti typu vejce 62 m, graficky je patrný vnější průměr křižovatky z Obr. 109.

Návrhové prvky popsané níže v této kapitole byly podkladem pro vytvoření Metodiky pro navrhování turbo-okružních křižovatek (ISBN 978-80-214-5202-2), která byla dne 8. června 2015 certifikována Ministerstvem dopravy ČR pod číslem jednacím 50/2015-710-VV/1. Dále budou tyto parametry použity při revizi TP 135 - Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích.

Návrhové prvky vychází z vybraných českých i zahraničních předpisů zaměřených obecně na křižovatky a byly optimalizovány na základě provedených měření, analýz a prověření průjezdnosti pomocí software pro konstrukci vlečných křivek.

Postup sestavení TOK používaný v zahraničí (především v Nizozemí a Slovinsku) však nevychází z průjezdů směrodatných vozidel, ale je ponechán na kreativité projektantů. Reálné křižovatky dle těchto postupů pak není možné postavit tak, aby byly funkční pro všechny typy vozidel. Níže uvedený návrh tuto problematiku do výpočtu přidává a řeší jej.

7.1 Návrhová rychlost

Při návrhu OK obecně platí, že je nutné zajistit podobnou/blízkou rychlost na vjezdu na okružní pás a na okružním pásu. Tento parametr je důležitý pro správné využití kapacity OK. Tento princip aplikovaný na vjezdu do TOK (ale i OK) je stejný jako u stykové nebo průsečné křižovatky a souvisí s jejich kapacitou.

Principem kapacitních posouzení OK používaných po celém světě je volba bezpečné mezery mezi vozidly jedoucími po okružním pásu pro vozidla, která na okružní pás chtějí vjet. Pokud je umožněno jet vozidlům po okružním pásu výrazně rozdílnou rychlostí než je rychlost na vjezdu do OK, mezera mezi vozidly na okružním pásu musí být větší pro bezpečné vjetí vozidla stojící na vjezdu. Lze zde vidět analogii s několika stykovými případně průsečnými křižovatkami (souvisí s typem vjezdu do TOK) těsně za sebou, proto je doporučeno a z měření vyplývá, že je nutné TOK ale i jednopruhé OK navrhovat tak, aby dosahovaná rychlost vozidel na okružním pásu nepřekročila u osobních automobilů 30-35 km/h a zároveň by neměla být u směrodatného vozidla (jízdní souprava, kloubový autobus atd.) menší než 20 km/h. Příčné zrychlení u směrodatného vozidla by nemělo v žádném úseku křižovatky překročit hodnotu 0,33 g při rychlosti 20 km/h. Mezní hodnota příčného zrychlení

0,33 g byla vypočtena z hodnot uvedených v tabulce 11 normy [30] pro poloměr oblouku 15,0 m, příčný sklon 2,5 %, a návrhovou rychlost 25 km/h. Jedná se o hodnotu, u které předpokládáme přijatelnou dávku komfortu a z pohledu bezpečnosti dopravy je nastavena dostatečná rezerva. Z naměřených hodnot v kapitole 6.5 je patrné, že většina řidičů projíždí směrové oblouky v křižovatce rychlostmi spíše menšími. Je zřejmé, že osobní vozidla a nákladní vozidla budou projíždět směrový oblouk rozdílnou rychlostí. Rychlost vozidel při průjezdu směrovým obloukem je závislá na několika parametrech, které jsou ovlivněny zejména konkrétním přijutím míry komfortu jednotlivých řidičů, na druhu vozidla a jeho konstrukčních možnostech, na druhu nákladu a způsobu jeho naložení, obsazenosti vozidel atd.

Tyto parametry nejsou snadno zjistitelné, a proto bylo přihlédnuto k měření, viz kapitola 6.5, k výsledkům simulací průjezdnosti vozidel pomocí vlečných křivek, k normovým hodnotám a následně i ke zkušenostem autora.

Dosahovaná rychlost na oblouku se vypočítá dle vzorce:

(10)

$$v_1 = 3,6 \cdot \sqrt{g \cdot R_L \cdot f_0'} = \sqrt{127 \cdot R_L \cdot f_0'} \quad [km/h]$$

kde je:

g - gravitační zrychlení [m/s^2],

R_L - poloměr kružnicové dráhy [m],

f_0' - koeficient příčného tření (0,35 pro rychlost do 20 km/h a 0,40 pro rychlost přes 20 km/h).

Příčné zrychlení se vypočítá dle vzorce.

(11)

$$a = \frac{\left(\frac{v_1}{3,6}\right)^2}{R_L \cdot g}$$

kde je:

v_1 - dosahovaná rychlost na oblouku [km/h],

R_L - poloměr kružnicové dráhy [m]

g - gravitační zrychlení [m/s^2].

Výsledek se uvádí v násobcích g .

Mezní rychlost na oblouku se vypočítá dle vzorce:

(12)

$$v_m = 3,6 \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot (f + 0,01 \cdot p)} = \sqrt{127 \cdot R \cdot (f + 0,01 \cdot p)} \quad [km/h]$$

kde je:

g - gravitační zrychlení [m/s^2],

R - poloměr kružnicové dráhy [m],

f – využitelná hodnota součinitele adheze $f = 0,25$.

p – dostředný příčný sklon, pokud je ve směrovém oblouku opačný příčný sklon, dosazuje se do vzorce záporná hodnota [%].

Příčné zrychlení z mezní rychlosti se vypočítá dle vzorce.

(13)

$$a_m = \frac{\left(\frac{v_m}{3,6}\right)^2}{R \cdot g}$$

kde je:

v_L - dosahovaná rychlost na oblouku [km/h],

R_L - poloměr kružnicové dráhy [m]

g - gravitační zrychlení [m/s²].

Výsledek se uvádí v násobcích g .

Poloměry jednotlivých oblouků trajektorie průjezdu vozidla křižovatkou jsou získány aproximací křivky této trajektorie soustavou prostých kružnicových oblouků, viz

Obr. 107. Posouzení je potom patrné z Tab. 19 a Tab. 20. Ze vzorců z normy [30] vyplývá, že dosahovaná rychlost, která nezohledňuje příčný sklon vozovky, překračuje mírně rychlost 37 km/h. Naopak mezní rychlost, která příčný sklon vozovky zohledňuje, rychlost 35 km/h nepřekračuje.

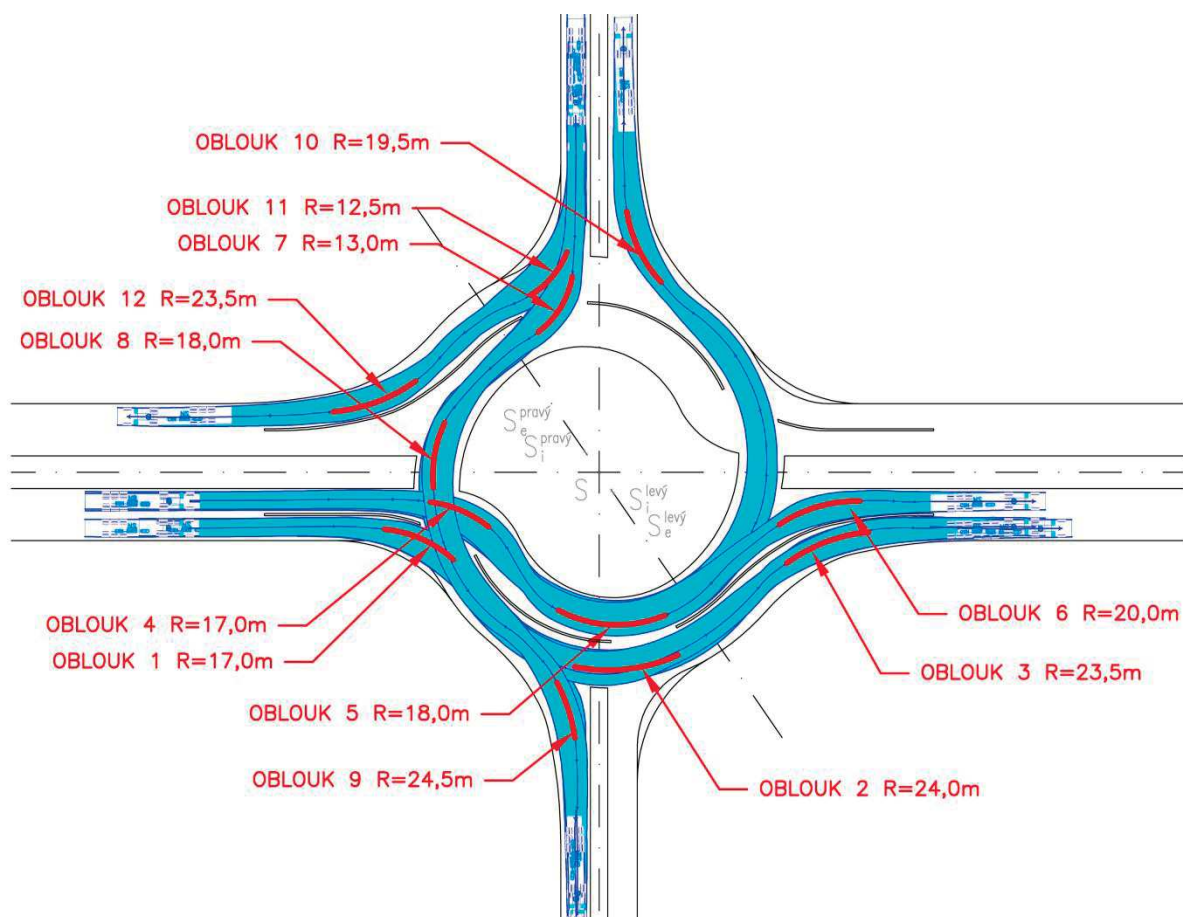
Tab. 19 Kontrola velikosti příčného zrychlení a dosahované rychlosti.

	R	Dosahovaná rychlost	Dosahovaná rychlost je nižší než 35km/h
	[m]	[km/h]	[-]
Oblouk 1	15,0	28	VYHOVUJE
Oblouk 2	26,0	36	NEVYHOVUJE
Oblouk 3	24,5	35	VYHOVUJE
Oblouk 4	10,0	23	VYHOVUJE
Oblouk 5	17,0	29	VYHOVUJE
Oblouk 6	19,0	31	VYHOVUJE
Oblouk 7	15,0	28	VYHOVUJE
Oblouk 8	27,5	37	NEVYHOVUJE
Oblouk 9	16,5	29	VYHOVUJE
Oblouk 10	19,5	31	VYHOVUJE
Oblouk 11	9,5	22	VYHOVUJE
Oblouk 12	20,5	32	VYHOVUJE

Tab. 20 Kontrola velikosti příčného zrychlení a mezní rychlosti, kde je zohledněn i příčný sklon.

	R	Předpokládaný příčný sklon	Mezní rychlost	Mezní rychlost je nižší než 35km/h
	[m]	[%]	[km/h]	[-]
Oblouk 1	15,0	2,5	23	VYHOVUJE
Oblouk 2	26,0	-2,5	27	VYHOVUJE
Oblouk 3	24,5	2,5	29	VYHOVUJE
Oblouk 4	10,0	2,5	19	VYHOVUJE
Oblouk 5	17,0	-2,5	22	VYHOVUJE
Oblouk 6	19,0	2,5	26	VYHOVUJE
Oblouk 7	15,0	2,5	23	VYHOVUJE
Oblouk 8	27,5	-2,5	28	VYHOVUJE
Oblouk 9	16,5	2,5	24	VYHOVUJE
Oblouk 10	19,5	2,5	26	VYHOVUJE
Oblouk 11	9,5	2,5	18	VYHOVUJE
Oblouk 12	20,5	2,5	27	VYHOVUJE

Bude-li na konkrétním případě projektantovi znám příčný sklon, může využít posouzení dle mezní rychlosti, které koresponduje více se skutečností. Rozdíly ve výsledcích výpočtu jsou patrné Tab. 19 a Tab. 20.



Obr. 107 Popis trajektorie průjezdu návrhového vozidla (tahače s návěsem dl. 16,5 m) TOK typu vejce standardní velikosti.

7.2 Směrové uspořádání TOK

V práci výzkumného projektu bylo směrové uspořádání TOK rozděleno do čtyř křižovatek s přesně vypočítanými rozměry tak, aby se běžný uživatel (projektant) nemusel zabývat vlastním výpočtem, ale mohl využít tabelované hodnoty. Tyto rozměry mají návaznost na slovinské a nizozemské předpisy nicméně se zohledněním rozšíření v oblouku pro směrodatná vozidla vyplývající z normy [3]. Tyto rozměry jsou patrné z Tab. 21 a Obr. 109. Důvodem návrhu jednoznačných rozměrů křižovatky je zejména bezpečnost, kdy řidič může předvídat, jak taková křižovatka bude vypadat a přizpůsobit tomu rychlost průjezdu. Volba rozměrů křižovatky je závislá na intenzitě všech projíždějících vozidel, na množství nákladních vozidel a samozřejmě také prostorovými možnostmi konkrétní lokality. Ideálním, bezpečným a komfortním řešením je TOK standardní velikosti. Velká TOK bude sice mírně kapacitnější, ale potenciálně více nehodová, rovněž zde bude docházet k větším závlekům. Malá a malá standardní TOK budou mít nižší kapacitu a nižší míru komfortu průjezdu. Volbu rozměrů TOK není možné konkrétně tabelovat, protože jsou závislé na celé řadě parametrů, které se vyskytují v konkrétním řešení, jako jsou rozdělení vozidel do jednotlivých směrů v křižovatce, prostorové možnosti z pohledu vlastnických vztahů a výskytu ochranných pásem a inženýrských sítí atd. Rozměry uvedené v Tab. 21 jsou ideálním řešením, kdy bude možné v co možná největší míře zohlednit výhody a naopak potlačit nevýhody TOK.

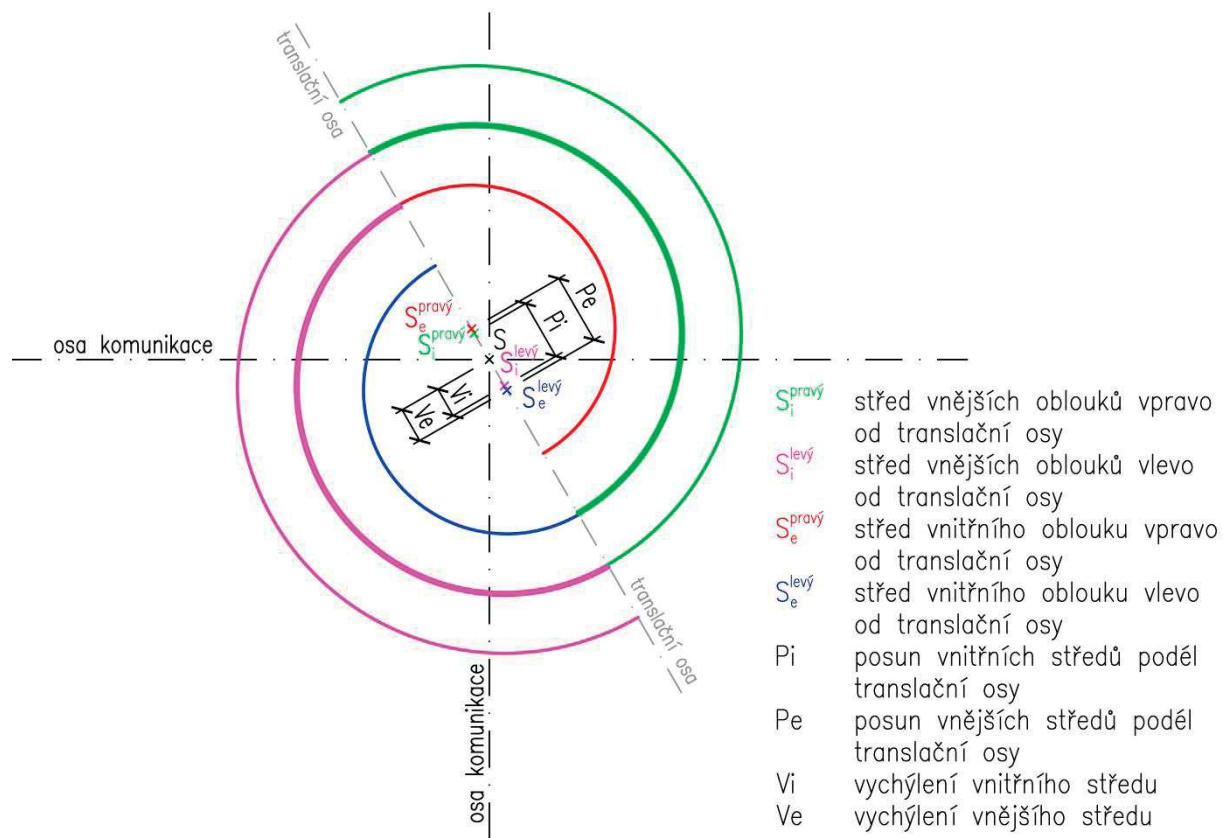
7.2.1 Princip sestrojení geometrie okružního pásu

TOK se skládají ze spirál. Tyto spirály tvoří kruhové segmenty ($1/2$, $1/3$, nebo $1/4$ kruhu dle typu křižovatky), kde každý oblouk má větší poloměr než ten předchozí. Vždy, když se poloměr oblouku mění, dochází k posunu středu oblouku na translační ose o odpovídající hodnotu tak, aby křivka zůstávala spojitá.

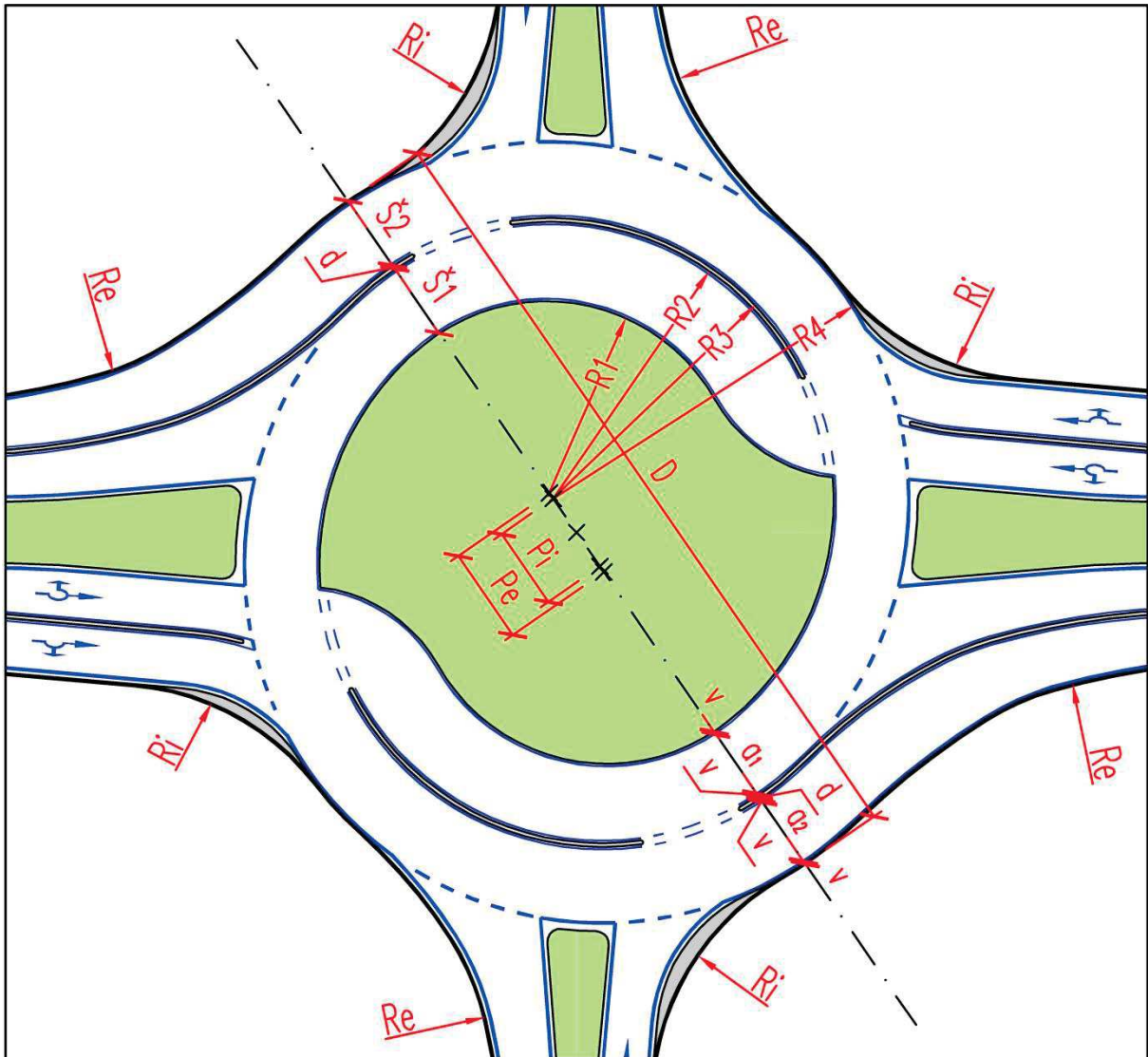
Pro názornost bude dále popsána konstrukce geometrie TOK na konkrétním typu vejce (viz

Obr. 14). Idealizované geometrie je tvořena ze dvou spirál, které představují okraje vozovek. Každá spirála sestává ze tří půlkruhů s postupně většími poloměry R_1 , R_2 a R_4 , přičemž poloměry R_2 a R_3 vytváří fyzické oddělení jízdních pruhů. Půlkruhy se setkávají na linii, která se nazývá *translační osa*. Oblouky na pravé straně translační osy mají střed v bodě $S^{\text{pravý}}$, který se nachází nad celkovým středem TOK S . Oblouky na levé straně translační osy mají střed v bodě $S^{\text{levý}}$, který se nachází pod celkovým středem TOK. Vzdálenost mezi těmito středy oblouků se nazývá *posun podél translační osy* (označení P_e a P_i). *Vychýlení oblouku* (označení V_e a V_i) je potom vzdálenost od jeho středu ($S^{\text{pravý}}$ nebo $S^{\text{levý}}$) k celkovému středu S . Zároveň je tato hodnota rovna polovině posunu podél translační osy. Aby spirála byla spojitá, posun podél translační osy musí být roven změně poloměru.

V ideálním případě je *posun podél translační osy* roven šířce jízdního pruhu, protože průběh spirály směřuje ven od středového ostrova o šířku jednoho jízdního pruhu každých 180° . Schéma ukazující tyto spirály (viz Obr. 108) se nazývá *turboblok* a tvoří základ při konstrukci geometrie TOK. Jedná se o uskupení všech oblouků potřebných poloměrů, které je nutně určitým způsobem uspořádat tak, aby byly získány linie okrajů vozovek nebo jízdních pruhů na okružním pásu.



Obr. 108 Schéma geometrie TOK, tzv. turboblok.



Obr. 109 Rozměry uvedené v Tab. 21

Tab. 21 Tabelované rozměry návrhových prvků pro základní TOK a typ vejce (rozměry jednotlivých prvků jsou patrné z Obr. 109)

Prvek TOK	Ozn.	Rozměry			
		Malá TOK	Malá standardní TOK	Standardní TOK	Velká TOK
Vnější průměr TOK [m]	D	< 56,0	56,0 – 60,0	60,0 – 65,0	> 65,0
Vnitřní vozovka, vnitřní okraj [m]	R1	10,500	12,000	15,000	20,000
Vnitřní vozovka, vnější okraj [m]	R2	17,850	18,975	21,550	25,950
Vnější vozovka, vnitřní okraj [m]	R3	18,150	19,275	21,850	26,250
Vnější vozovka, vnější okraj [m]	R4	24,550	25,525	27,850	31,900
Šířka vnitřní vozovky [m]	Š1	8,30	7,70	7,10	6,25
Šířka vnější vozovky [m]	Š2	6,40	6,25	6,00	5,65
Šířka vnitřního jízdního pruhu [m]	a ₁	7,80	7,20	6,60	5,75
Šířka vnějšího jízdního pruhu [m]	a ₂	5,90	5,75	5,50	5,15
Vodící proužek [m]	v	0,25	0,25	0,25	0,25
Fyzické oddělení jízdních pruhů [m]	d	0,30	0,30	0,30	0,30
Posun vnější (vzdálenost vnějších středů) [m]	Pe	8,60	8,00	7,40	6,55
Posun vnitřní (vzdálenost vnitřních středů) [m]	Pi	6,70	6,55	6,30	5,95
Poloměr zaoblení na vjezdu [m]	R _i	20,00	20,00	20,00	20,00
Poloměr zaoblení na výjezdu [m]	R _{e1}	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0
Poloměr zaoblení fyzického oddělení na výjezdu [m]	R _{e2}	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0
Dosahovaná rychlost průjezdu dle ČSN 73 6102 [km/h]	v ₁	19-27	20-28	20-29	20-30

Poznámka: Natočení translační osy je popsáno v příloze B

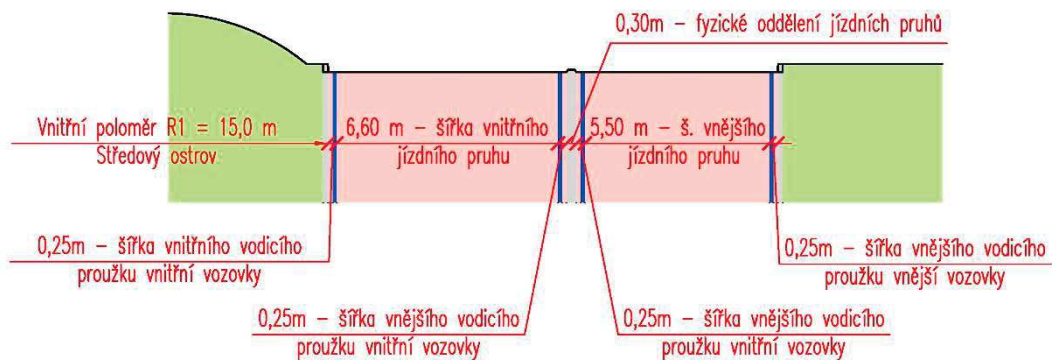
7.2.2 Postup návrhu

7.2.2.1 TOK typu vejce

Proces návrhu geometrie TOK se skládá z pěti kroků aplikovaných na příkladu TOK standardní velikosti typu vejce s vnějším průměrem $D = R_4 + R_4 + P_i = 27,85 + 27,85 + 6,30 = 62,0$ m (hodnota viz Tab. 21). Grafické znázornění postupu konstrukce je uvedeno krok za krokem na Obr. 116.

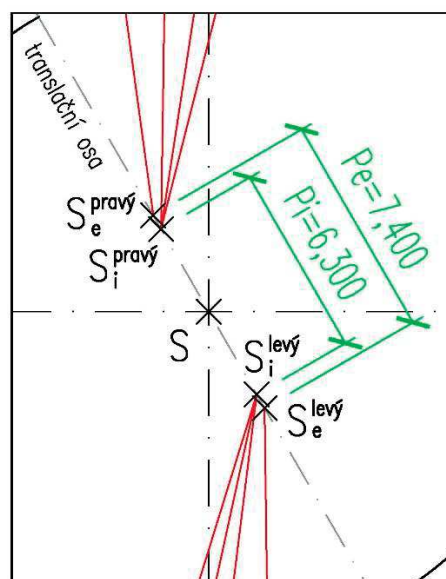
Krok 1 - výběr šířek základních prvků – vnitřní poloměr (poloměr středního ostrova), vnitřní a vnější okružní jízdní pruh, fyzické oddělení jízdních pruhů a vodící proužky, viz Obr. 110. Šířky jízdních pruhů

by měly být určeny pomocí vlečných křivek návrhového vozidla nebo dle normy ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích. Šířka vnitřního jízdního pruhu (6,60 m měřeno od vnitřních okrajů vodicích proužků nebo 7,10 m měřeno od okraje vozovky po fyzické oddělení jízdních pruhů) je o 1,10 m větší než šířka pruhu vnějšího, protože čím menší je poloměr oblouku, kterým musí vozidlo projet, tím širší jsou vlečné křivky tohoto vozidla.

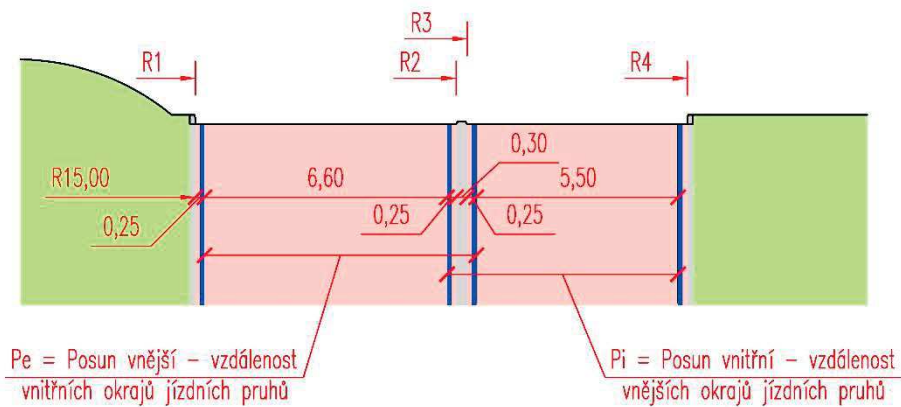


Obr. 110 Popis prvků šířkového uspořádání na příkladu TOK typu vejce s vnějším průměrem $D=62,0$ m

Krok 2 - určení posunu jízdních pruhů a z toho vyplývající vychýlení pro vykreslení půlkruhových oblouků. Požadovaná geometrie spirál je komplikována nutností započítat odlišné šířky jízdních pruhů a šířku fyzického oddělení jízdních pruhů. Namísto jednoho středu $S^{\text{pravý}}$ pro půlkruhové oblouky na pravé straně translační osy se tak použijí dva pravostranné středy, jeden s mírně větším vychýlením než druhý. Střed s větším vychýlením $S_e^{\text{pravý}}$ se použije pro vnitřní půlkruh ($R_1=15,00$ m) za účelem vytvoření přechodu od vnitřního okraje k fyzickému oddělení jízdních pruhů. Vnitřní střed $S_i^{\text{pravý}}$ se použije pro vytvoření zbytku spirály pomocí poloměrů $R_2=21,55$ m, $R_3=21,85$ m a $R_4=27,85$ m. Středy $S_e^{\text{pravý}}$ a $S_i^{\text{pravý}}$ jsou zobrazeny na schématech turbobloku, viz Obr. 111 a Obr. 113. Taktéž oblouky na levé straně translační osy mají dva středy $S_i^{\text{levý}}$ a $S_e^{\text{levý}}$, které jsou stejně vzdáleny od středu S jako středy $S_i^{\text{pravý}}$ a $S_e^{\text{pravý}}$.



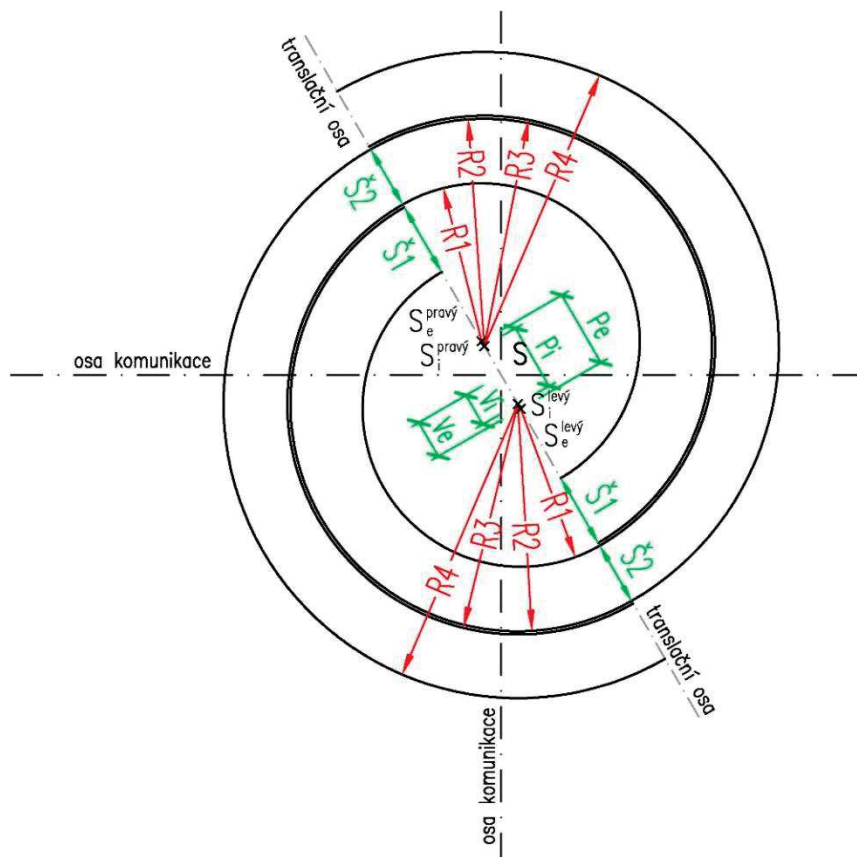
Obr. 111 Detail středů oblouků TOK.



Obr. 112 Šířkové uspořádání okružního jízdního pásu TOK typu vejce s vnějším průměrem $D=62,0$ m a vyznačení poloměrů a posunů.

Posun podél translační osy se vypočítá z náčrtu příčného řezu, viz Obr. 112. Vnitřní okraj vnitřního jízdního pruhu se musí odsunout o **7,40 m** od okraje vodicího proužku směrem k fyzickému oddělení jízdních pruhů. Stejně tak je zřejmé, že vnější okraj vnitřního jízdního pruhu se posune o **6,30 m** od fyzického oddělení jízdních pruhů k vnějšku TOK.

Krok 3 - výpočet poloměru kruhových oblouků a sestavení turbobloku. Na Obr. 113 jsou zakresleny oblouky reprezentující okraje vozovky, jejichž poloměry označujeme $R1$ až $R4$. Postup výpočtu poloměrů je popsán v Příloze B.



Obr. 113 Jednotlivé rozměry a poloměry turbobloku s fyzickým oddělením jízdních pruhů.

Krok 4 - pootočení a posunutí turbobloku tak, aby navazoval na jednotlivé paprsky křižovatky. Obr. 114 ukazuje správnou pozici translační osy za předpokladu, že převládající dopravní intenzity jsou ve směru východ – západ. Vzdálenost mezi pravým okrajem zpevnění každého vjezdu a vnějším obloukem vnitřní vozovky okružního pásu (poloměr R_2) by měla být za předpokladu správného umístění translační osy přibližně stejná (hodnota A je blízká hodnotě B, viz Obr. 114).

Krok 5 - zaoblení vjezdových a výjezdových hran (viz Obr. 115)

- vjezd
 - vnější okraj srpovité krajnice - prostý kružnicový oblouk $R=20,0$ m
 - vnitřní okraj srpovité krajnice - prostý kružnicový oblouk $R=12,0$ m
 - fyzické oddělení jízdních pruhů - prostý kružnicový oblouk $R=20,0$ m
- výjezd
 - vnější okraj vozovky - složený kružnicový oblouk s poloměry $R_1:R_2:R_3 = 2:1:3$
 - fyzické oddělení jízdních pruhů - složený kružnicový oblouk s poloměry $R_1:R_2:R_3 = 2:1:3$

V místě napojení paprsku křižovatky na okružní jízdní pás je vhodné provést mírné vychýlení jízdních pruhů na vjezdu i výjezdu (cca 5° směrem od osy paprsku). Tím se zajistí zpomalení vozidel přijíždějících k okružnímu jízdnímu pásu, usnadní průjezd rozměrných vozidel a oddálí vjezdy od výjezdů. Tato úprava má pozitivní vliv na kapacitu TOK.

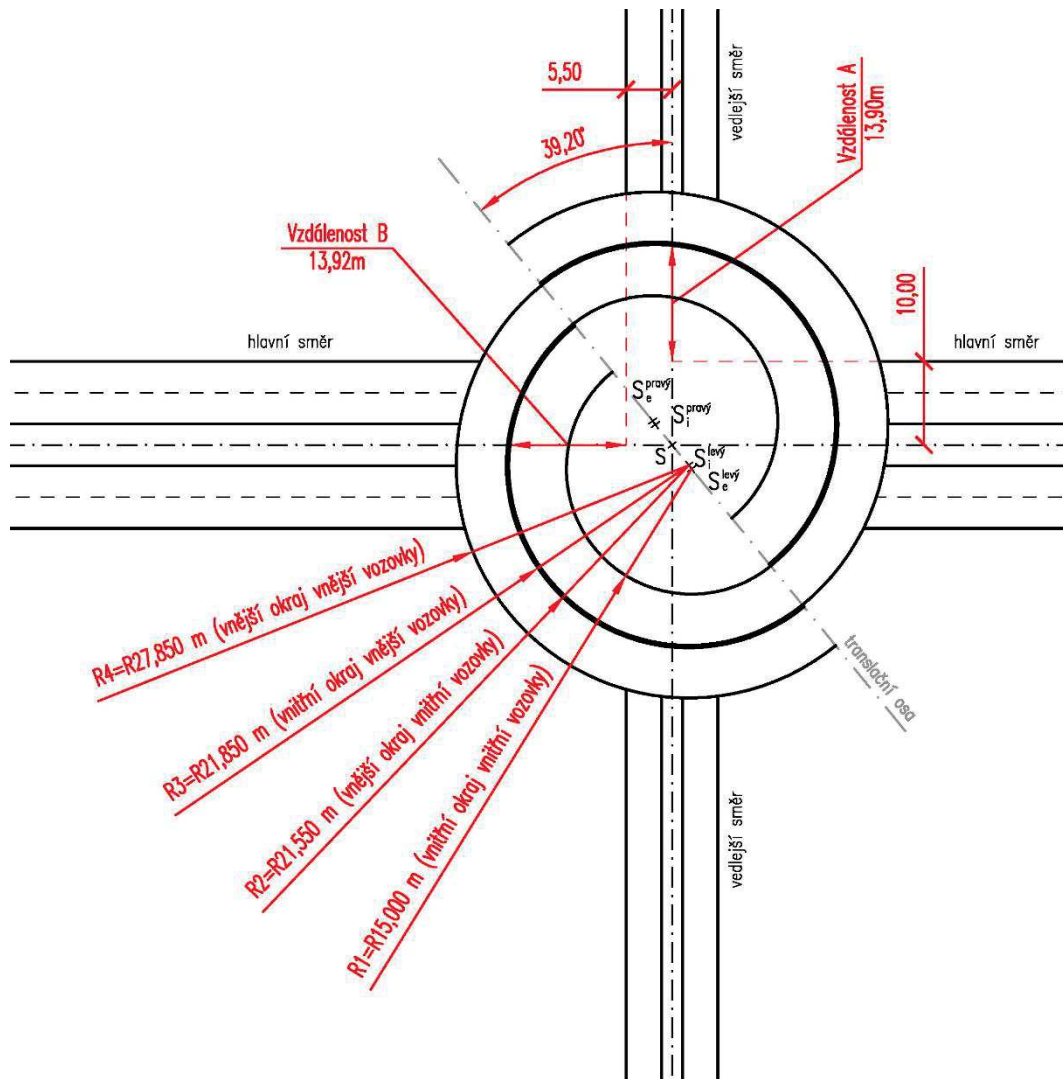
V případě, že by bylo navrženo větší vychýlení než 10° docházelo by k tzv. tangenciálnímu připojení vjezdů na okružní pás křižovatky, což by mělo za následek vyšší rychlost vozidel na vjezdu do okružního pásu křižovatky. Současně by se zhoršoval rozhled pro řidiče na okružní pás křižovatky.

Tab. 22 Rozměry a poloměry turbobloku TOK standardní velikosti typu vejce s vnějším průměrem $D=62,0\text{ m}$

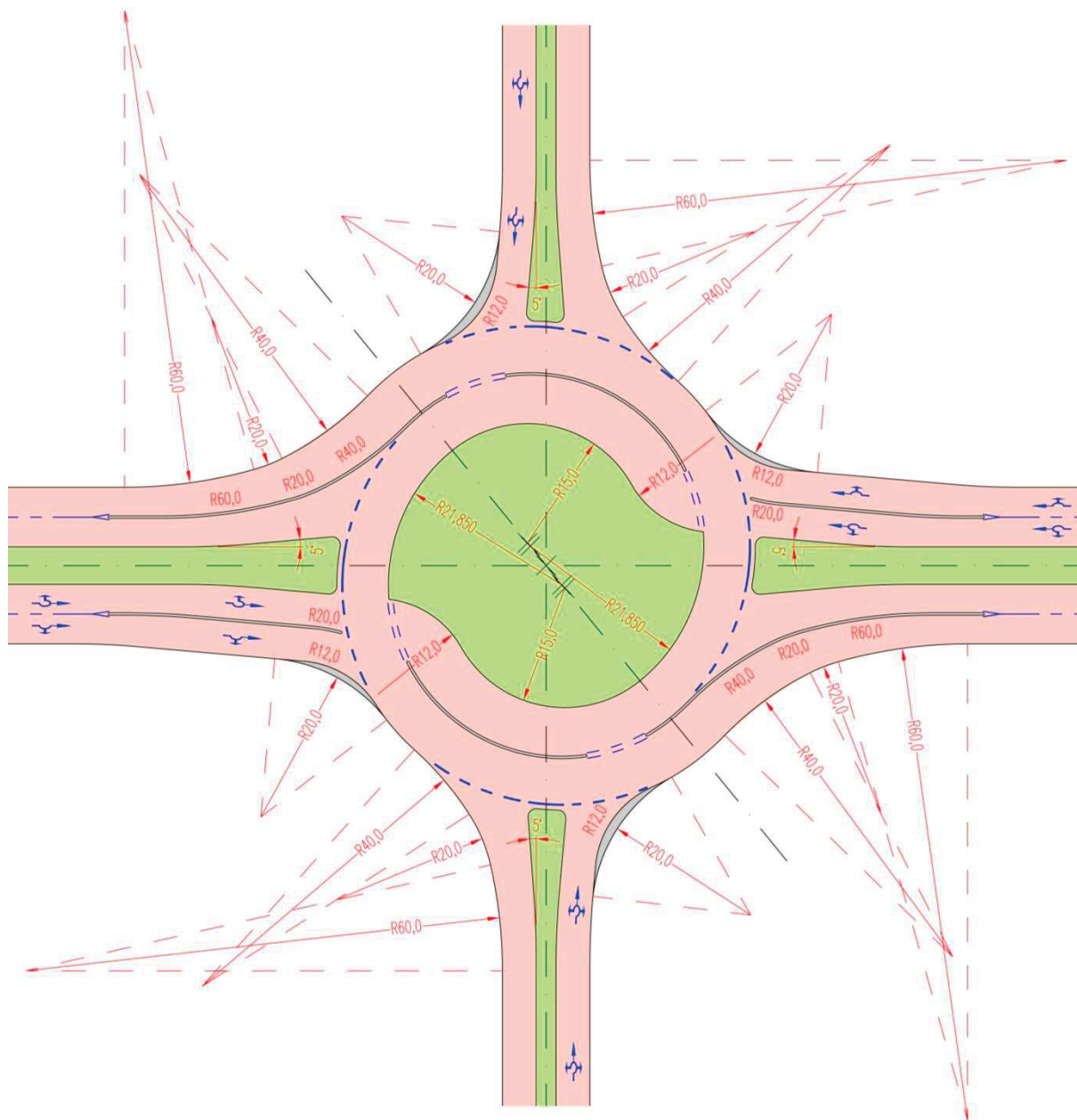
Šířkové uspořádání příčného řezu	Šířka [m]				
Vnitřní poloměr	15,00				
Vnitřní vodící proužek vnitřního jízdního pruhu	0,25	} Š1	} Pe	} Pi	
Vnitřní jízdní pruh	6,60				
Vnější vodící proužek vnitřního jízdního pruhu	0,25				
Fyzické oddělení jízdních pruhů	0,30				
Vnitřní vodící proužek vnějšího jízdního pruhu	0,25	} Š2			
Vnější jízdní pruh	5,50				
Vnější vodící proužek vnějšího jízdního pruhu	0,25				
Šířky vozovek, posunutí podél translační osy a vychýlení					
Š1 = šířka vnitřní vozovky	7,10				
Š2 = šířka vnější vozovky	6,00				
Pe = Posun vnější (vzdálenost vnitřních okrajů jízdních pruhů)	7,40				
Pi = posun vnitřní (vzdálenost vnějších okrajů jízdních pruhů)	6,30				
Ve = vychýlení vnější = $Pe / 2$ (pro R1)	3,700				
Vi = vychýlení vnitřní = $Pi / 2$ (pro ostatní R)	3,150				
Rozdíl vychýlení	0,550				
Poloměry okrajů vozovek	vychýlení středu oblouku	poloměr	počáteční pozice	koncová pozice	¹⁾ ²⁾ ³⁾
R1 = vnitřní vozovka, vnitřní okraj	3,700	15,000	11,300	18,700	⁴⁾
R2 = vnitřní vozovka, vnější okraj	3,150	21,550	18,400	24,700	⁵⁾
Rozdíly			7,100	6,000	⁶⁾
R3 = vnější vozovka, vnitřní okraj	3,150	21,850	18,700	25,000	⁷⁾
R4 = vnější vozovka, vnější okraj	3,150	27,850	24,700	31,000	⁸⁾

Poznámky:

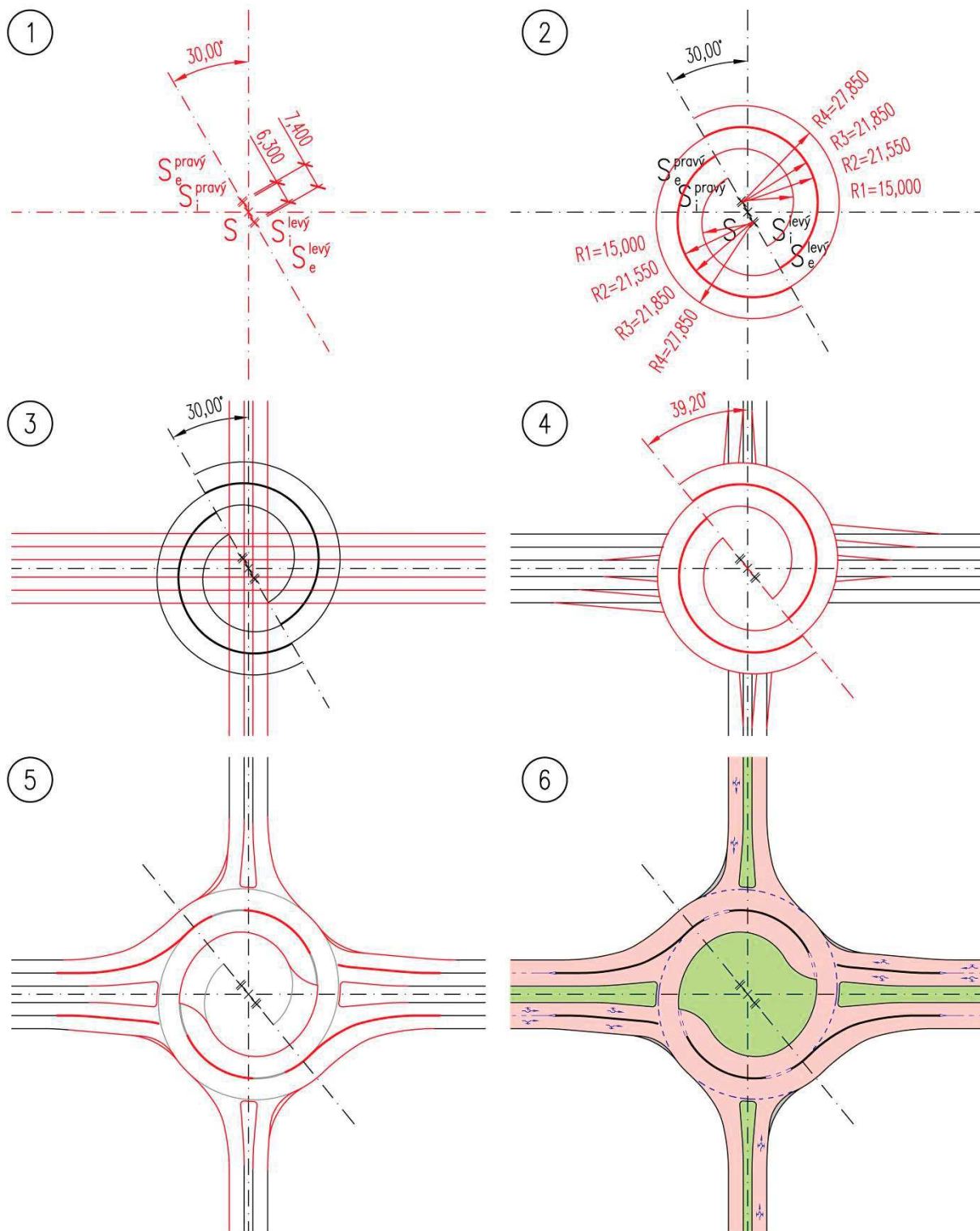
- 1) Pozice je vztažena k celkovému středu S
- 2) Počáteční pozice = poloměr – vychýlení
- 3) Koncová pozice = poloměr + vychýlení
- 4) R1 = vnitřní poloměr
- 5) R2 = R1 + Š1 šířka vnitřní vozovky – rozdíl vychýlení
- 6) Rozdíly odpovídají šířkám vozovek
- 7) R3 = R2 + šířka fyzického oddělení jízdních pruhů
- 8) R4 = R3 + Š2 šířka vnější vozovky



Obr. 114 Kontrola pozice translační osy.



Obr. 115 Zaoblení vjezdových a výjezdových nároží.



Obr. 116 Grafické znázornění postupu konstrukce TOK typu vejce s vnějším průměrem $D=62,0$ m.

7.2.3 Navrhování ostatních typů TOK

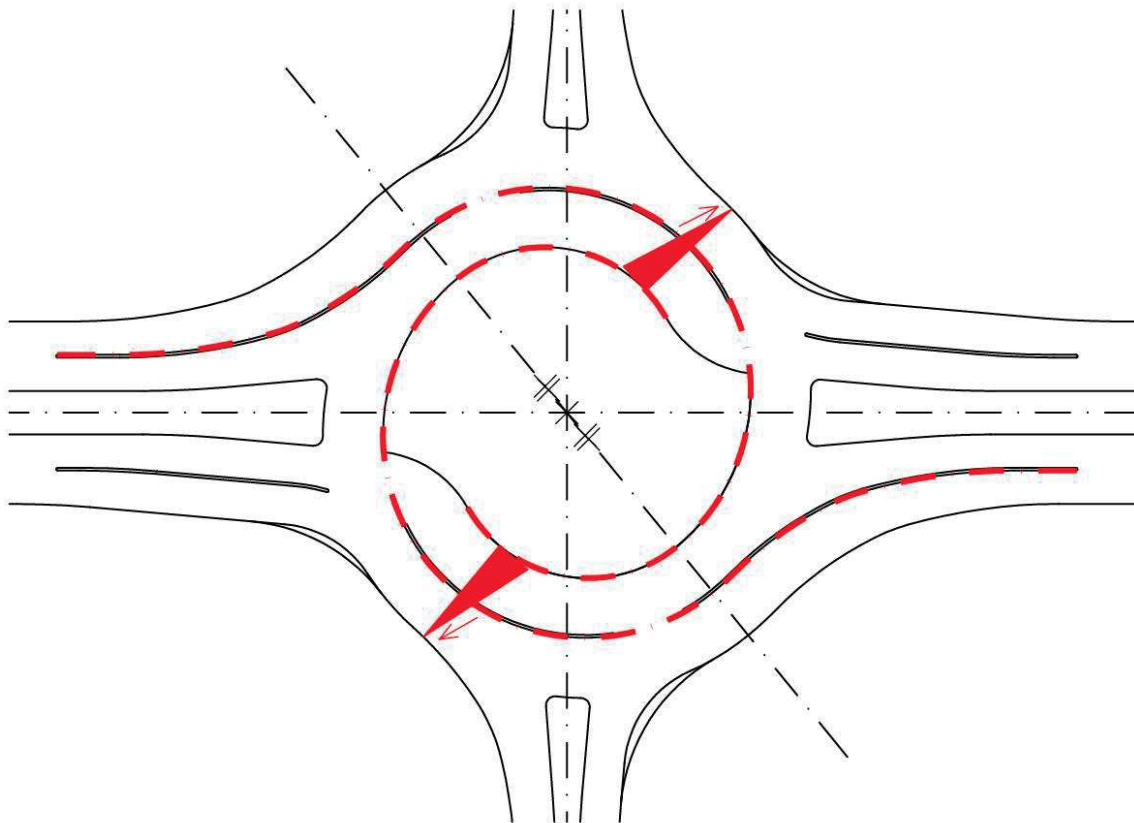
Výše popsaný postup návrhu TOK typu vejce je rovněž použitelný pro základní TOK, která má také dva pruhy na okružním pásu vytvořené ze dvou spirál. Ostatní typy TOK mají odlišné uspořádání spirál, a proto vyžadují modifikace v návrhu geometrie.

Podrobněji je tato problematika popsána v příloze B této práce.

7.3 Výškové řešení

Výškové řešení TOK je závislé na okolním terénu a na způsobu odvodnění křižovatky. Dalším hlediskem, které ovlivňuje výškové řešení TOK, je technologie provádění.

Komplikovaným řešením může být i umístění os a následně podélných profilů v TOK. Jedno z možných řešení umístění os a tedy i podélného profilu je patrné z Obr. 117.



Obr. 117 Umístění os, kde je následně vytvořen podélný profil na TOK

Okružní pás TOK je podobně jako u ostatních OK zpravidla vyspádován směrem od středu křižovatky. Z pohledu eliminování odstředivé síly se sice zdánlivě jedná o nelogické řešení, ale umožňuje snadnější průjezd směrovým obloukem delšími vozidly, zejména jízdním soupravám. Zároveň umožňuje jednodušší odvodnění křižovatky. S ohledem na stávající terén je možné celou křižovatku naklopit na jednu stranu, čímž docílíme lepšího napojení paprsků křižovatky na okružní pás. Okružní pás křižovatky by neměl mít sklon větší než 5 %, viz norma [30] a [35]. To je hodnota sklonu, která se obecně uvádí jako limitní v úrovnových křižovatkách. Obecně lze říci, že není vhodné navrhovat okružní křižovatky v území se sklonem terénu větším než 6 %.

7.4 Příčné uspořádání

7.4.1 Šířky jízdnic pruhů a rozšíření jízdnic pruhů

Vozidla při průjezdu okružní křižovatkou projíždí několika směrovými oblouky. Ty jsou zpravidla malých poloměrů a je nutné je tedy rozšířit.

Základní šířka jízdnic pruhu v křižovatce vyplývá z jejich obvyklého použití na silniční síti. Základní šířka jízdnic pruhu je tedy 3,25 m. Vodící proužek má šířku 0,25 m a zpevněná krajnice je z důvodu úspory záborů pozemků vynechána. V intravilánu obcí je navrhován vodící proužek v šířce rovněž 0,25 m s tím, že zpevněná krajnice se v intravilánu obvykle nenavrhuje. Jedná se však pouze o rozdílnost terminologie normy ČSN 73 6101 [29] a ČSN 73 6110[31]. Z pohledu provádění i z pohledu řidiče je základní šířka jízdnic pásu stále stejná.

V normě [1] i v ostatních normách, zabývajících se projekcí pozemních komunikací, je uvedeno, že pokud má být provedeno rozšíření v oblouku u prostého kružnicového oblouku, je nutné jízdnic pruh/pás rozšířit už v přímé?

Hodnota rozšíření jízdnic pruhů ve směrovém oblouku vychází z tabulky 38 v normě [3] hodnoty pro levotočivé na okruhu, pravotočivé na vjezdech a výjezdech. V případě bypassů je to obdobně jako na jednopruhových větvích mimoúrovňových křižovatek.

Protože v návrhu TOK bylo rozšiřováno v závislosti na poloměru směrových oblouků, je vnitřní jízdnic pruh okružního pásu TOK vždy širší než ten vnější, viz Obr. 110 a Obr. 112.

7.4.2 Fyzické dělení jízdnic pruhů

Fyzické oddělení jízdnic pruhů je pro jízdu v obloucích malých poloměrů velice důležitým prvkem v návrhu TOK. Snažíme se tím předejít problémům způsobeným přejížděním z jednoho jízdnic pruhu do druhého (tzv. průpletům). Obecně totiž platí, že ve směrových obloucích malých poloměrů není umožněn dostatečný rozhled ve zpětném zrcátku, což způsobuje kolize, viz Obr. 53. Problematika je popsána v kapitole 4.3.

Fyzické oddělení jízdnic pruhů se provádí pomocí zvýšeného, pevně založeného liniového prvku, který se doporučuje provádět s převýšením 40 mm nad povrchem vozovky v minimální šířce 300 mm. Jízdnic pásy na vjezdech, okružním pásu i výjezdech z TOK jsou rozšířeny o hodnotu 300 mm a navíc o šířku 250 mm z každé strany fyzického oddělení. Použitím fyzického oddělení dojde k rozšíření jízdnic pásů o 800 mm.

Fyzické oddělení jízdnic pruhů vychází ze zahraničních materiálů a zkušeností ve Slovinsku a Nizozemí. Důvodem těchto opatření je souběžná jízda vozidel v jednotlivých jízdnic pruzích, kdy se směrové vedení jejich trasy skládá ze směrových oblouků malých poloměrů. Tato situace nastává pouze u TOK, ale i u jiných úrovnňových křižovatek, například při odbočování dvou jízdnic pruhů vlevo na průsečné nebo stykové křižovatce. V těchto případech dochází k podobným problémům, ale u nich nelze použít obdobné řešení jako u TOK, protože tato místa jsou pojížděna vozidly také z jiných směrů.

Fyzické oddělení jízdnic pruhů se doporučuje navrhovat z těchto důvodů:

- předchází průpletům vozidel a křížení dráhy vozidel jedoucích po okruhu s vozidly, které okružní pás opouštějí (viz Obr. 4)
- předchází narovnávání trajektorie průjezdu vozidel v obdobích s nízkou intenzitou

dopravy (viz Obr. 3)

- snižuje obavy řidičů z vozidel v ostatních jízdnicích a tím zvyšuje kapacitu křižovatek.

Aby bylo zajištěno odvodnění vnitřního jízdnicího pruhu na okružním pásu, je třeba fyzické oddělení jízdnicích pruhů v pravidelných intervalech přerušit, aby zachycená voda mohla odtékat (viz Obr. 39).

Jako alternativa k monolitickému provedení fyzického oddělení jízdnicích pruhů lze navrhnout některé z v současnosti vyráběných prefabrikovaných obrubníků používaných jako lem dlážděných prstenců okružních křižovatek. V případě použití těchto prefabrikátů je třeba počítat s nárůstem jak šířky, tak výšky fyzického oddělení jízdnicích pruhů, viz Obr. 65 a Obr. 68.

Vodorovné zhlaví fyzického oddělení jízdnicích pruhů šířky 100 mm je nutné opatřit prvky zvyšujícími postřehnutelnost, např. zvýrazňujícími dopravními knoflíky bílé barvy, které odolávají pojezdu motorových vozidel.

Zároveň je třeba dodat, že toto fyzické dělení jízdnicích pruhů může za určitých okolností ohrožovat nepozorné řidiče jednostopých vozidel. Na druhou stranu fyzické oddělení jízdnicích pruhů není prvek, který je nucen řidič za běžných podmínek průjezdu křižovatkou přejíždět. Tento prvek má za úkol zvýšit důraz na správné vedení řidičů v jízdnicích pruzích.

7.5 Dopravní značení

Jak již bylo uvedeno, dopravní značení je pro tento druh křižovatek velice důležitým návrhovým parametrem, který má výrazný vliv na bezpečnosti i kapacitu těchto typů křižovatek.

Principem návrhu dopravního značení na TOK je sdělit řidičům už před vlastním vjezdem do prostoru křižovatek, jaký jízdnicí pruh si mají vybrat ve vztahu k jejich následnému pokračování v jízdě.

Navržené dopravní značky jsou podklady pro příští revizi TP 100 - Zásady pro orientační dopravní značení na PK.

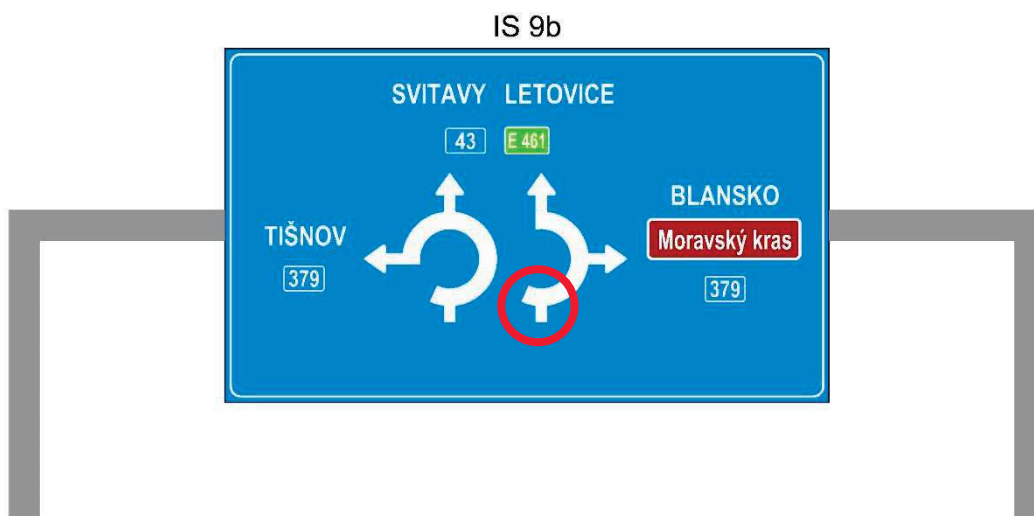
7.5.1 Návrh svislého dopravního značení na TOK

Svislé dopravní značení se provádí v souladu s technickými podmínkami [32] a [34]. Příklad provedení a rozmístění svislého dopravního značení je patrný z Obr. 123.

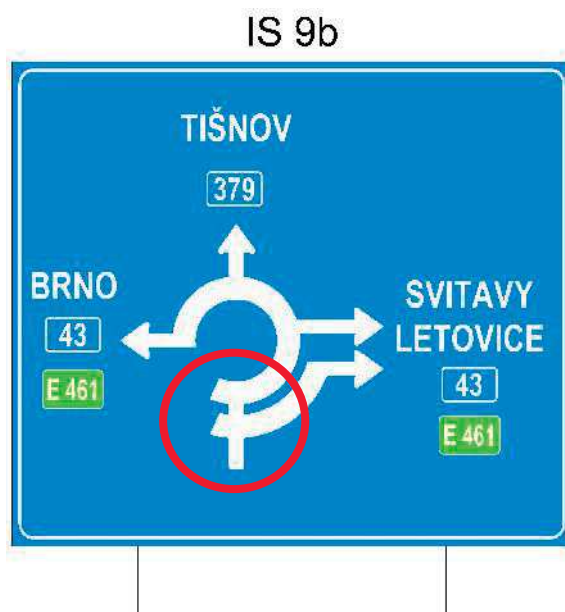
Pro návrh svislého dopravního značení jsou důležité zejména tyto dopravní značky:

- IS 9b Návěst před křižovatkou, které je vhodné umísťovat na portálu nad jízdnicími pruhy, protože na krajích vozovky jsou tyto značky často zcloněny zelení nebo vozidlem jedoucím v pravém jízdnicí pruhu.
- IS 3c Směrová tabule (s jedním cílem) a IS 3d Směrová tabule (s dvěma cíli) – použití dle [33]. Byl zvažován návrh, zda směrové tabule IS 3c nebo IS 3d umísťovat alternativně do čela dělicího ostrůvku přilehlého k okružnímu jízdnicímu pásu (např. vhodné využití osazeného sloupu veřejného osvětlení, v zahraničí je tento způsob běžně používán – viz Obr. 120, objevuje se i na některých okružních křižovatkách v ČR, viz Obr. 121). Přestože je toto řešení z praktického hlediska vyhovující, neodpovídá zásadám pro umísťování tohoto typu značek dle TP 65.
- Z 3 Vodicí tabule – použití a umístění dle technických podmínek [36]. Tyto svislé dopravní značky mají za úkol upozornit řidiče na překážku v jeho přímém směru, tedy v tomto případě středový ostrůvek. Jejich osazení není vždy nutné a záleží na konkrétní situaci.

- IP 19 Řadící pruhy s vyobrazením konfigurace jízdních pruhů, která odpovídá konkrétnímu vjezdu na dané TOK. Umístění a provedení se řídí dle technických podmínek [33]. Možné podoby dopravní značky IP 19 jsou uvedeny níže na Obr. 123.



Obr. 118 Návěst před křižovatkou IS 9b u dvoupruhového vjezdu



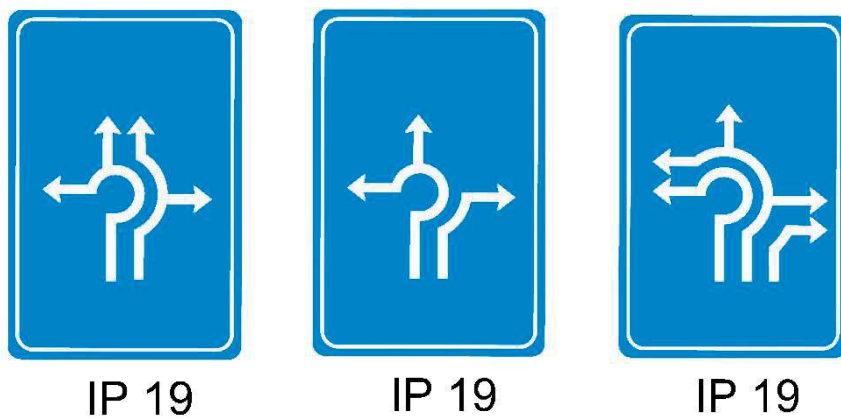
Obr. 119 Návěst před křižovatkou IS 9b u jednopruhového vjezdu



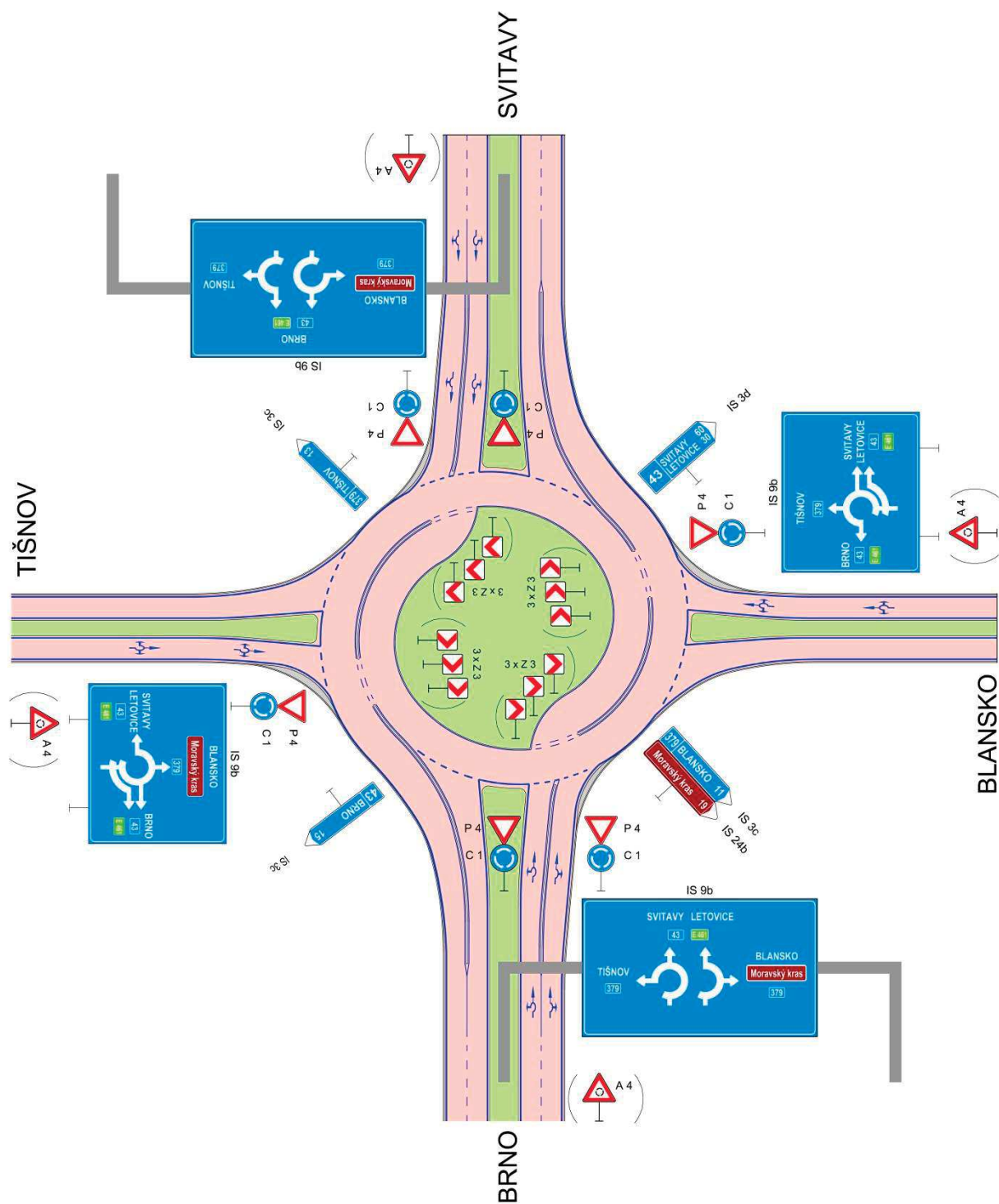
Obr. 120 Příklad osazování směrových tabulí v čele dělicího ostrůvku - Nizozemí [47]



Obr. 121 Příklad osazování směrových tabulí v čele dělicího ostrůvku – Nové Město nad Metují (zdroj <https://www.google.cz/maps>)



Obr. 122 – Návrh podoby svislých dopravních značek IP 19 Řadící pruhy na vjezdu do TOK.

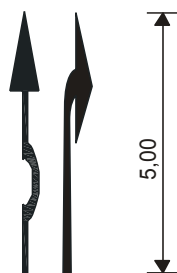


Obr. 123 Svislé dopravní značení na TOK.

7.5.2 Návrh vodorovného dopravního značení na TOK

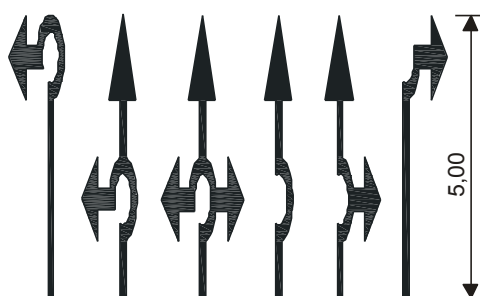
Vodorovné dopravní značení se provádí v souladu s technickými podmínkami [34] a [36].

Jízdní pruhy před TOK se spojovací větví („bypassem“) se doporučuje vyznačit jako řadičí pruhy užitím směrových šipek vyznačujících stanovený směr jízdy křižovatkou.

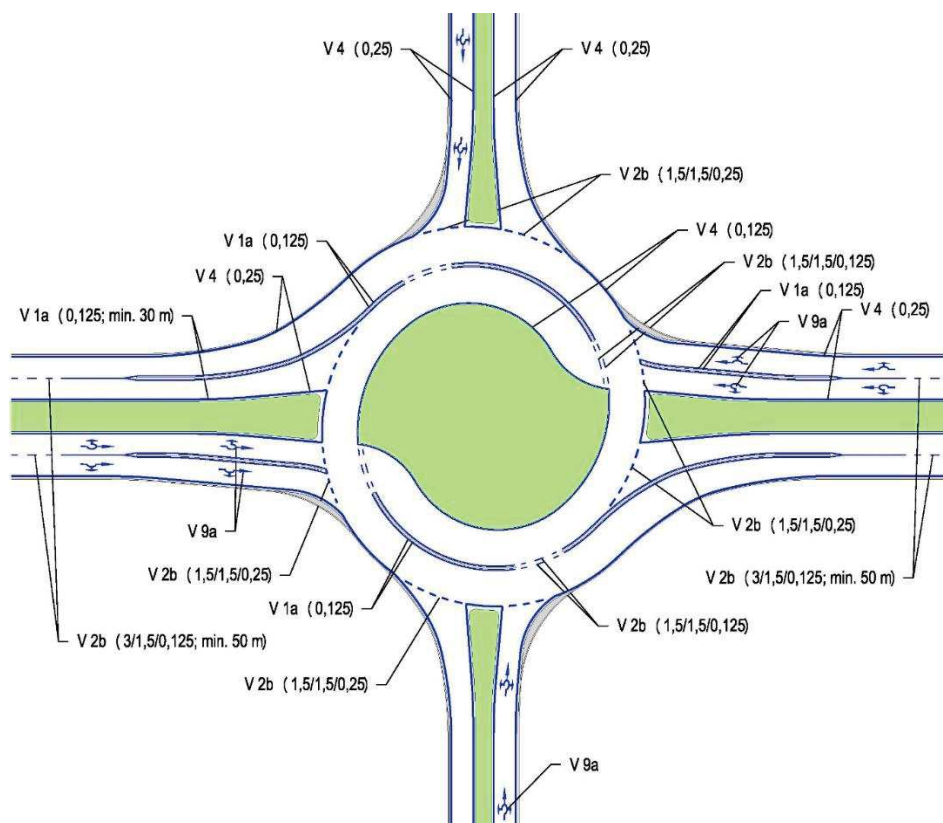


Obr. 124 Vyznačení spojovacích větví. Převzato z technických podmínek [34].

Jízdní pruhy před TOK je nezbytné vyznačit jako řadičí pruhy užitím směrových šipek v provedení odpovídajícím stanovenému směru jízdy v prostoru křižovatky (v okružním jízdním pásu).



Obr. 125 Vyznačení jízdních pruhů před křižovatkou. Převzato z technických podmínek [34].



Obr. 126 Vodorovné dopravní značení TOK s fyzickým oddělením jízdních pruhů.

7.6 Ověření návrhu TOK

Ověření návrhu TOK bylo provedeno několika způsoby. Jednak měřením rychlostí vozidel, která projížděla stejný nebo podobný směrový oblouk na křižovatkách postavených v České republice. Výsledky měření jsou patrné z kapitoly 6.5.

Druhým způsobem bylo provedeno ověření průjezdnosti pomocí vlečných křivek v software AutoTURN. Výsledky tohoto ověření jsou v příloze A této práce.

V neposlední řadě byla geometrie křižovatký a její jednotlivé směrové oblouky prověřeny zpětně z hlediska hodnot příčného zrychlení a rychlostí vozidel, viz Tab. 19 a Tab. 20.

Výškové řešení křižovatký vychází z platné legislativy a dále potom ze zkušeností autora práce získaných při návrhu a následně provádění těchto křižovatek. Je třeba mít na paměti, že dokumentaci stavby je nutné zpracovat tak, aby stavbu bylo možné následně realizovat. Autor tímto postupem doporučuje jedno z možných řešení výškového návrhu této křižovatký, tak jak se mu osvědčil při následné realizaci.

Návrh řešení převádění chodců vychází z platných předpisů a zkušeností získaných pozorováním chodců při přecházení pozemních komunikací, viz příloha B.

Návrh dopravního značení vychází z pozorování řidičů a jejich chování ve vlastním provozu.

Návrhové prvky byly dále schváleny dopravními experty na připomínkovém řízení k Metodice pro navrhování turbo-okružních křižovatek, kterého se účastnili zástupci MD ČR, ŘSD, PČR atd.

8 Závěr a doporučení

Vzhledem k tomu, že se jedná o část veřejné silniční sítě, není možné části křižovatký provádět v rozporu s platnou legislativou. Zároveň musí být návrh paradoxně co možná nejméně inovativní, aby sice umožnil zvýšit kapacitu OK při zachování udržitelné bezpečnosti, ale zároveň neuváděl řidiče (uživatelé) do rozpaků. Návrh musí být tedy pro řidiče co nejvíce pochopitelný.

V rámci měření a analýz se podařilo prokázat, že TOK jsou schopny převést větší intenzitu vozidel než klasické vícepruhové okružní křižovatký. Dále bylo prokázáno, že poměr vozidel na vjezdu mezi levým a pravým jízdním pruhem je více vyrovnaný. Nehodovost na TOK je nižší než na klasických vícepruhových TOK.

Pomocí měření rychlostí bylo zjištěno, že optimální je navrhovat geometrii TOK tak, aby neumožňovala průjezd vozidel rychlostí vyšší než 35 km/h a zároveň zajistila minimální průjezd 20 km/h pro směrodatná vozidla, což jsou návěsové a přívěsové soupravy a autobusy.

V rámci řešení výzkumného projektu VaV s číslem TA03030050 u Technologické agentury ČR řešeného v letech 2013-2015, jehož byl autor disertační práce řešitelem, byl vytvořen postup návrhu TOK vycházející ze středu směrem ven z křižovatký. Začne se s $R = 15$ m a pokračuje se přidáváním jízdních pruhů. Inovativní je tento návrh zejména v tom, že se provádí rozšíření v oblouku v závislosti na směrodatném vozidlu a tento postup je tedy aplikovatelný v praxi v celém svém rozsahu.

V rámci projektu byla vytvořena Metodika pro navrhování turbo-okružních křižovatek, která byla projednána s širokou odbornou veřejností včetně zástupců vlastníka a správce komunikací (ŘSD, MD ČR, PČR). Tato metodika byla dne 8. června 2015 certifikována Ministerstvem dopravy ČR.

Použití TOK se předpokládá v extravilánu, i v intravilánu zejména ve větších městech, kde mohou TOK za určitých podmínek nahradit světelně řízené křižovatky. TOK mají i svoje místo v blízkosti světelně řízených křižovatek, protože mají na rozdíl od jednopruhových OK výbornou vyklizovací schopnost. Jsou tedy schopné převést i skokové nárůsty intenzit dopravy, které pro jednopruhové křižovatky nejsou vhodné. TOK je samozřejmě možné použít jako přestavbu z vícepruhové OK se soustředným uspořádáním jízdních pruhů.

Co je však nutné dořešit, je vlastní kapacitní posouzení TOK. Metoda uvedená v [38] je sice převzatá ze zahraničí, ale v podmínkách provozu v ČR nepříliš ověřená. V tomto výzkumu je třeba dále pokračovat na realizovaných TOK v ČR, sledovat chování řidičů a prověřovat hodnoty kritických a následných časů tak, aby bylo možné zpřesnit stávající výpočet uvedený v [38].

9 Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Popis prvků TOK s fyzickým oddělením jízdních pruhů.</i>	8
<i>Obr. 2 Historická fotografie první okružní křižovatky v New Yorku (zdroj: internet).....</i>	9
<i>Obr. 3 Riskantní situace při přejíždění mezi jízdními pruhy na okruhu. Červené body na obrázku zobrazují místa častých dopravních nehod na vícepruhových OK.</i>	10
<i>Obr. 4 Riskantní situace při přejíždění mezi jízdními pruhy na okruhu (okružní křižovatka v Berouně)</i>	11
<i>Obr. 5 Krátký průplet na okružním pásu vícepruhové OK.....</i>	11
<i>Obr. 6 Velká okružní křižovatky v Ostravě – Hrabůvce.....</i>	12
<i>Obr. 7 Velká okružní křižovatka v Kolíně</i>	12
<i>Obr. 8 Vícepruhová okružní křižovatka s klasickým (soustředným uspořádáním) řazením jízdních pruhů</i>	13
<i>Obr. 9 Riziková situaci při odbočování modrého vozidla z levého jízdního pruhu okružního pásu křižovatky do levého jízdního pruhu na výjezdu</i>	14
<i>Obr. 10 Svislé a vodorovné dopravní značka před okružní křižovatkou se spirálovitým uspořádáním (TOK – Holandsko – město Uden).....</i>	15
<i>Obr. 11 Princip jízdy TOK</i>	16
<i>Obr. 12 Hlavní návrhové parametry (principy) TOK</i>	17
<i>Obr. 13 Količní body TOK s dvoupruhovými vjezdy a dvěma páry jedno a dvoupruhových výjezdů (4 křížné body na vjezdu, 6 přípojných a 4 odbočné) (převzato z [22])</i>	18
<i>Obr. 14 TOK typu vejce</i>	20
<i>Obr. 15 Základní TOK.....</i>	20
<i>Obr. 16 TOK typu koleno.....</i>	21
<i>Obr. 17 Spirálová TOK.....</i>	21
<i>Obr. 18 Rotorová TOK.....</i>	22
<i>Obr. 19 TOK typu propnuté koleno.....</i>	22
<i>Obr. 20 TOK typu hvězda.....</i>	23
<i>Obr. 21 Příklad osvětlení za pomoci LED diod pro zlepšení viditelnosti fyzického oddělení jízdních pruhů (převzato z [47])</i>	24
<i>Obr. 22 Výstražná značka „zvýšené oddělení jízdních pruhů“ pro motocyklisty a srpovitá krajnice určená pro pojezd kloubovými vozidly (převzato z [2])</i>	24
<i>Obr. 23 Nadměrné vozidlo, projíždějící křižovatkou, je naváděno organizátorem přepravy (převzato z [47])</i>	25
<i>Obr. 24 Oddělování jízdních pruhů v TOK Nizozemí (zdroj: Ing. Michal Kosňovský, Ph.D.)</i>	25
<i>Obr. 25 Detail provedení „přídlažby“ na TOK Nizozemí. Vzhledem k nedostatku přírodního kamene v Nizozemí, jsou prstence na OK betonové (zdroj: Ing. Michal Kosňovský, Ph.D.)</i>	26
<i>Obr. 26 Detail provedení vjezdu na TOK v Nizozemí (zdroj: Ing. Michal Kosňovský, Ph.D.)</i>	26
<i>Obr. 27 Základní koncept TOK včetně osy symetrie (převzato z [22])</i>	27
<i>Obr. 28 Trojúhelníkový (trychtýřovitý) dělicí ostrůvek (převzato z [18])</i>	28
<i>Obr. 29 Kapkovitý dělicí ostrůvek v uspořádání bez přítomnosti nemotorizovaných účastníků silničního provozu (převzato z [18]).....</i>	28
<i>Obr. 30 Oddělení vjezdových a/nebo výjezdových jízdních pruhů dělicím ostrůvkem (převzato z [22])</i>	29
<i>Obr. 31 Přechod pro chodce a přejezd pro cyklisty ve tvaru písmene Z mezi vjezdem a výjezdem (převzato z [19])</i>	30
<i>Obr. 32 Lichoběžníkový zpomalovací práh TOK (převzato z [19])</i>	30
<i>Obr. 33 Řez prvkem fyzického oddělení jízdních pruh – detail provedení (převzato z [22])</i>	31
<i>Obr. 34 Rozměry, vyztužení a způsob zabudování prvků fyzického oddělení jízdních pruhů (převzato z [19])</i>	31

Obr. 35 Prvek „špice“ (převzato z [19])	32
Obr. 36 Možná provedení „špice“ (převzato z [19])	32
Obr. 37 TOK v zimním období (převzato z [18]).....	33
Obr. 38 TOK v centru Mariboru, řešení spolu s hromadnou dopravou.....	33
Obr. 39 Oddělení jízdních pruhů před TOK v Mariboru	34
Obr. 40 Dopravní značení před TOK v Mariboru.....	34
Obr. 41 Oddělení jízdních pruhu před TOK v Mariboru	34
Obr. 42 Noční pohled na osvětlenou TOK v Mariboru	35
Obr. 43 Světelně řízena TOK v Ljublaně	35
Obr. 44 Světelně řízena TOK v Ljublaně	35
Obr. 45 Mobilní, provizorní TOK v Treste.....	36
Obr. 46 Mobilní, provizorní TOK v Treste.....	36
Obr. 47 Propojení čtyřpruhové a dvoupruhové komunikace (převzato z [18]).....	37
Obr. 48 Propojení čtyřpruhové a dvoupruhové komunikace, kdy hlavní směr je veden za roh (převzato z [18])	37
Obr. 49 Propojení čtyřpruhových komunikací (převzato z [16])	38
Obr. 50 Návěst před křižovatkou s vyznačením způsobu vedení jízdních pruhů odpovídajícím skutečnosti (převzato z [16])	38
Obr. 51 TOK v Baden Badenu (převzato z [15])	39
Obr. 52 Kolizní diagram TOK v Baden Badenu (převzato z [15]). Kolizní diagram je grafické zobrazení nehod ve sledovaném území, z kterého jsou přehledněji patrné místa vzniku dopravních nehod.....	39
Obr. 53 Důsledky nahrazení fyzického oddělení jízdních pruhů na okružním pásu pouze vodorovným dopravním značením (převzato z [15])	40
Obr. 54 Tahač s návěsem přejíždějící fyzické oddělení jízdních pruhů (převzato z [13]).	40
Obr. 55 Analyzované uspořádání: a) běžná okružní křižovatka a b) TOK (převzato z [6]).	41
Obr. 56 TOK, průjezd kamionu, v Olomouci na ulici Lipenská	43
Obr. 57 TOK v Brně ulic Kamenice, Netroufalky	43
Obr. 58 TOK v Olomouci ulic Lipenská, Hamerská.....	44
Obr. 59 TOK v Brně ulic Hradecká, Žabovřeská	44
Obr. 60 Částečně světelně řízená křižovatka v Havířově blízko železničního nádraží (zdroj PATRIOT, spol. s r.o.)	45
Obr. 61 Havířov: konverze z vícepruhové okružní na hybridní TOK se SSZ	45
Obr. 62 Olomouc: Hamerská – konverze průsečné křižovatky na TOK.....	46
Obr. 63 Konverze průsečné signalizované křižovatky na TOK v Prostějově.....	46
Obr. 64 Pohled na dvě ze tří TOK v Českých Budějovicích – Nové Hodějovice.....	47
Obr. 65 Průjezd návěsové soupravy délky 16,5 m na TOK v Českých Budějovicích – Nové Hodějovice	47
Obr. 66 Pohled na vjezd do TOK před úpravou v Nizozemí - Uden (zdroj google).....	47
Obr. 67 Pohled na úpravu vjezd do TOK v Nizozemí - Uden (zdroj google).....	48
Obr. 68 Pohled způsob fyzického oddělení na TOK v Českých Budějovicích – Nové Hodějovice	48
Obr. 69 Měření fyzického oddělení na TOK v Českých Budějovicích – Nové Hodějovice	49
Obr. 70 Nelogicky použitá dopravní značka na TOK v Českých Budějovicích – Nové Hodějovice, kdy použitá dodatková tabulka může evokovat zrychlování vozidel před TOK.	49
Obr. 71 TOK v Brně – Slatině, s fyzickým oddělením jízdních pruhů na výjezdu z křižovatky.	50
Obr. 72 Vizualizace v prostoru křižovatky Kamenice x Netroufalky (Zdroj: A PLUS BRNO a.s.)	51
Obr. 73 TOK v Brně – Modřicích, OC Olympia.....	51
Obr. 74 TOK v Olomouci ul. Keplerova.....	52
Obr. 75 Příklad průběhu dvou rozdílných os průjezdu vozidel dle obrázku přes okružní pás křižovatky při nedodržování jízdy vozidel v jízdních pruzích	53

<i>Obr. 76 Ukázka pohledu na křižovatku ze sedmimetrového stožáru</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 77 Ukázka pohledu na křižovatku z patnáctimetrového stožáru</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 78 Měření rychlost vozidel pomocí radaru</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 79 Příklad odklonění jízdy vozidla od přímého směru měřeného radarem</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 80 Ukázka rozdělení měřené křižovatky pro sledování intenzity vozidel včetně směrového průzkumu na TOK</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 81 Výsledek práce klasifikátorů při detekci vozidel</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 82 Ukázka určování trajektorie vozidel</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 83 Hexakoptéra a její ovládací zařízení</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 84 Grafické zobrazení optimalizovaný odhad přesnosti při srovnání videa z hexakoptery s referenčním geodetickým měření, převzato od Ing. Adama Babince.</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 85 Definice rozměrů u vozidel důležité pro jeho vlečnou křivku dle technických podmínek [41] ..</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 86 Rozměry použitých vozidel pro ověření průjezdnosti křižovatkou</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 87 Vzdálenost mezi kolizními body dle technické podmínky [38].....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 88 Typy uspořádání vjezdů do TOK dle technických podmínek [38].....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 89 Schéma čtyřramenné okružní křižovatky v Udenu.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 90 Kartogram s hodinovými intenzitami vozidel na čtyřramenné okružní křižovatce v Udenu</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 91 Schéma další podobné křižovatky na silnici N264, kde je patrné rozšíření komunikace v prostoru před a za TOK</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 92 Kartogram s hodinovými intenzitami vozidel na třiramenné okružní křižovatce v Udenu</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 93 Křižovatka třiramenná v Udenu (Holandsko) – ortofoto mapa neexistuje.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 94 Pohled na okružní křižovatky ve městě Harderwijk (Holandsko).....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 95 Úprava vjezdu do okružní křižovatky ve městě Harderwijk.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 96 Přechod pro chodce a přejezd pro cyklisty na vjezdu do okružní křižovatky ve městě Harderwijk</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 97 Kartogram s hodinovými intenzitami vozidel na okružní křižovatce v Harderwijk včetně</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 98 Pentlogram intenzit dopravy a využívání jednotlivých pruhů (měřeno ČVUT)</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 99 Pohled na vícepruhovou okružní křižovatku v Hranicích na Moravě. Měřen byl vjezd v levém dolním rohu obrázku.</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 100 Pohled na TOK v Brně - Bohunicích.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 101 TOK Brno Hradecká. Intenzita vozidel 9. 9. 2013 v době od 7:35 do 8:35 hodin v pondělí. ...</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 102 TOK Olomouc - Hamerská. Intenzita vozidel 26. 9. 2013 v době od 14:45 do 15:45 hodin ve čtvrtek.</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 103 TOK Brno Kamenice x Netroufalky. Intenzita vozidel 24. 9. 2013 v době od 7:15 do 8:15 hodin v úterý.....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 104 Uspořádání OK pro jednotlivé posouzení dle [38]</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 105 Rozdíly mezi prostým kružnicovým obloukem, složeným obloukem a kružnicovým s přechodnicemi.....</i>	<i>98</i>
<i>Obr. 106 Ukázka nastavení parametrů vozidel pro simulaci průjezdu navrženými TOK.....</i>	<i>99</i>
<i>Obr. 107 Popis trajektorie průjezdu návrhového vozidla (tahače s návěsem dl. 16,5 m) TOK typu vejce standardní velikosti.</i>	<i>103</i>
<i>Obr. 108 Schéma geometrie TOK, tzv. turboblok.</i>	<i>105</i>
<i>Obr. 109 Rozměry uvedené v Tab. 21</i>	<i>106</i>
<i>Obr. 110 Popis prvků šířkového uspořádání na příkladu TOK typu vejce s vnějším průměrem D=62,0 m</i>	<i>108</i>
<i>Obr. 111 Detail středů oblouků TOK.....</i>	<i>108</i>
<i>Obr. 112 Šířkové uspořádání okružního jízdniho pásu TOK typu vejce s vnějším průměrem D=62,0 m a vyznačení poloměrů a posunů.</i>	<i>109</i>

<i>Obr. 113 Jednotlivé rozměry a poloměry turbobloku s fyzickým oddělením jízdních pruhů.</i>	<i>109</i>
<i>Obr. 114 Kontrola pozice translační osy.</i>	<i>112</i>
<i>Obr. 115 Zaoblení vjezdových a výjezdových nároží.</i>	<i>113</i>
<i>Obr. 116 Grafické znázornění postupu konstrukce TOK typu vejce s vnějším průměrem D=62,0 m. ...</i>	<i>114</i>
<i>Obr. 117 Umístění os, kde je následně vytvořen podélný profil na TOK.</i>	<i>115</i>
<i>Obr. 118 Návěst před křižovatkou IS 9b u dvoupruhového vjezdu.</i>	<i>118</i>
<i>Obr. 119 Návěst před křižovatkou IS 9b u jednopruhového vjezdu.</i>	<i>118</i>
<i>Obr. 120 Příklad osazování směrových tabulí v čele dělicího ostrůvku - Nizozemí [47]</i>	<i>119</i>
<i>Obr. 121 Příklad osazování směrových tabulí v čele dělicího ostrůvku – Nové Město nad Metují (zdroj https://www.google.cz/maps)</i>	<i>119</i>
<i>Obr. 122 – Návrh podoby svislých dopravních značek IP 19 Řadící pruhy na vjezdu do TOK.</i>	<i>119</i>
<i>Obr. 123 Svislé dopravní značení na TOK.</i>	<i>120</i>
<i>Obr. 124 Vyznačení spojovacích větví. Převzato z technických podmínek [34].</i>	<i>121</i>
<i>Obr. 125 Vyznačení jízdních pruhů před křižovatkou. Převzato z technických podmínek [34].</i>	<i>121</i>
<i>Obr. 126 Vodorovné dopravní značení TOK s fyzickým oddělením jízdních pruhů.</i>	<i>121</i>
<i>Obr. 127 Průjezd návrhového vozidla (autobus dl. 15,0 m) TOK typu vejce velikosti malá.</i>	<i>134</i>
<i>Obr. 128 Průjezd návrhového vozidla (autobus dl. 15,0 m) TOK typu vejce velikosti malá standardní</i>	<i>135</i>
<i>Obr. 129 Průjezd návrhového vozidla (autobus dl. 15,0 m) TOK typu vejce velikosti standardní</i>	<i>136</i>
<i>Obr. 130 Průjezd návrhového vozidla (autobus dl. 15,0 m) TOK typu vejce velikosti velká</i>	<i>137</i>
<i>Obr. 131 Průjezd návrhového vozidla (kloubový autobus dl. 18,0 m) TOK typu vejce velikosti malá .</i>	<i>138</i>
<i>Obr. 132 Průjezd návrhového vozidla (kloubový autobus dl. 18,0 m) TOK typu vejce velikosti malá standardní</i>	<i>139</i>
<i>Obr. 133 Průjezd návrhového vozidla (kloubový autobus dl. 18,0 m) TOK typu vejce velikosti standardní</i>	<i>140</i>
<i>Obr. 134 Průjezd návrhového vozidla (kloubový autobus dl. 18,0 m) TOK typu vejce velikosti velká. </i>	<i>141</i>
<i>Obr. 135 Průjezd návrhového vozidla (návěsová souprava dl. 16,5 m) TOK typu vejce velikosti malá</i>	<i>142</i>
<i>Obr. 136 Průjezd návrhového vozidla (návěsová souprava dl. 16,5 m) TOK typu vejce velikosti malá standardní</i>	<i>143</i>
<i>Obr. 137 Průjezd návrhového vozidla (návěsová souprava dl. 16,5 m) TOK typu vejce velikosti standardní</i>	<i>144</i>
<i>Obr. 138 Průjezd návrhového vozidla (návěsová souprava dl. 16,5 m) TOK typu vejce velikosti velká</i>	<i>145</i>
<i>Obr. 139 Průjezd návrhového vozidla (přívěsová souprava dl. 18,75 m) TOK typu vejce velikosti malá</i>	<i>146</i>
<i>Obr. 140 Průjezd návrhového vozidla (přívěsová souprava dl. 18,75 m) TOK typu vejce velikosti malá standardní</i>	<i>147</i>
<i>Obr. 141 Průjezd návrhového vozidla (přívěsová souprava dl. 18,75 m) TOK typu vejce velikosti standardní</i>	<i>148</i>
<i>Obr. 142 Průjezd návrhového vozidla (přívěsová souprava dl. 18,75 m) TOK typu vejce velikosti velká</i>	<i>149</i>

10 Seznam tabulek

Tab. 1 Zanedbatelný rozdíl v rychlostech pro červenou a modrou trasu.....	53
Tab. 3 Rozdíl v rychlostech měřených radarem a skutečných dle úhlu odklonu vozidla od přímého směru ve vztahu k radaru.	56
Tab. 4 Intenzita vozidel na vjezdech na TOK, UDEN - čtyřramenná křižovatka, hodinové sčítání od 8 do 9 hodin v úterý dne 7. 9. 2010.	65
Tab. 5 Intenzita vozidel na vjezdech rozdělených podle levého a pravého vjezdu na okružní pás křižovatky	67
Tab. 6 Intenzita vozidel na vjezdech na okružní pás křižovatky, UDEN - tříramenná křižovatka, hodinové sčítání od 15 do 16 hodin v úterý dne 7. 9. 2010.	69
Tab. 7 Intenzita vozidel v době sčítání vozidel (hodinová intenzita) na vjezdech rozdělených podle levého a pravého vjezdu na okružní pás křižovatky	70
Tab. 8 Intenzita vozidel na vjezdech na okružní pás křižovatky, v Harderwijku, hodinové sčítání od 12 do 13 hodin ve středu dne 8. 9. 2010.	73
Tab. 9 Intenzita vozidel na vjezdech na okružní pás křižovatky, Harderwijk, hodinové sčítání přepočteno na počet vozidel za 24 hodin	75
Tab. 10 Intenzita vozidel době měření (intenzita za hodinu) a vjezdech rozdělených podle levého a pravého vjezdu na okružní pás křižovatky.....	76
Tab. 11 Hodinová Intenzita vozidel na vjezdu do dvoupruhové okružní křižovatky v Hranicích na Moravě	78
Tab. 12 Intenzita vozidel ve sledované hodině na vjezdech do TOK v Brně – Bohunicích u Kampusu. .	79
Tab. 13 Součty intenzit vozidel ve špičkové hodině na vjezdech na některých TOK v ČR, měřeno v roce 2013.....	82
Tab. 14 Rozměry některých navržených křižovatek v ČR.....	83
Tab. 15 Výpočet OK dle prvního uspořádání v Obr. 104.....	85
Tab. 16 Výpočet OK dle druhého uspořádání v Obr. 104.....	86
Tab. 17 Výpočet OK dle třetího uspořádání v Obr. 104	87
Tab. 18 Výpočet relativní nehodovosti pro OK a TOK.....	89
Tab. 19 Výpočet relativní nehodovosti s nehodami s následky na zdraví pro OK a TOK.....	91
Tab. 20 Kontrola velikosti příčného zrychlení a dosahované rychlosti.	102
Tab. 21 Kontrola velikosti příčného zrychlení a mezní rychlosti, kde je zohledněn i příčný sklon.	103
Tab. 22 Tabelované rozměry návrhových prvků pro základní TOK a typ vejce (rozměry jednotlivých prvků jsou patrné z Obr. 109)	107
Tab. 23 Rozměry a poloměry turbobloku TOK standardní velikosti typu vejce s vnějším průměrem D=62,0 m	111

11 Seznam grafů

<i>Graf 1 Rozdíl rychlosti podle volby jednotlivých časů průjezdu po modré a červené trase</i>	<i>54</i>
<i>Graf 2 Hustoty logaritmicko-normálního rozdělení se stejným parametrem μ a různými parametry σ [53]</i>	<i>62</i>
<i>Graf 3 Hodinová intenzita vozidel na vjezdu v levém a pravém pruhu pro jednotlivé vjezdy</i>	<i>67</i>
<i>Graf 4 Hodinová intenzita vozidel na vjezdu v levém a pravém pruhu na vjezdech do křižovatky</i>	<i>71</i>
<i>Graf 5 Hodinová intenzita vozidel na vjezdech v levém a pravém pruhu.....</i>	<i>76</i>
<i>Graf 6 Zastoupení vozidel v jednotlivých pruzích na vjezdech (měřeno ČVUT)</i>	<i>77</i>
<i>Graf 7 Procentuální rozložení intenzit vozidel na vjezdu od Lipníka nad Bečvou do dvoupruhové okružní křižovatky v Hranicích na Moravě ze směru od Lipníka nad Bečvou</i>	<i>78</i>
<i>Graf 8 Procentuální rozložení intenzit vozidel v měřené hodině provozu na vjezdech do TOK v Brně – Bohunicích u Kampusu</i>	<i>80</i>
<i>Graf 9 Relativní nehodovost na vícepruhových OK a TOK. Čáry v grafu zobrazují průměrnou hodnotu relativních nehodovostí na sledovaných křižovatkách.</i>	<i>90</i>
<i>Graf 10 Relativní nehodovost na vícepruhových OK a TOK s nehodami s následky na zdraví. Čáry v grafu zobrazují průměrnou hodnotu relativních nehodovostí na sledovaných křižovatkách.</i>	<i>92</i>
<i>Graf 11 TOK v Brně Bohunicích – porovnání naměřených a mezních rychlostí – vjezd na okružní pás TOK</i>	<i>94</i>
<i>Graf 12 TOK v Brně Bohunicích – porovnání naměřených a mezních rychlostí – na okružním pásu TOK</i>	<i>94</i>
<i>Graf 13 TOK v Brně Bohunicích – porovnání naměřených a mezních rychlostí – výjezd z okružního pásu TOK</i>	<i>95</i>
<i>Graf 14 TOK v Brně Slatině – porovnání naměřených a mezních rychlostí – vjezd na okružní pás TOK</i>	<i>95</i>
<i>Graf 15 TOK v Brně Slatině – porovnání naměřených a mezních rychlostí – na okružním pásu TOK....</i>	<i>96</i>
<i>Graf 16 TOK v Brně Slatině – porovnání naměřených a mezních rychlostí – výjezd z okružního pásu TOK</i>	<i>96</i>

12 Seznam použitých zdrojů

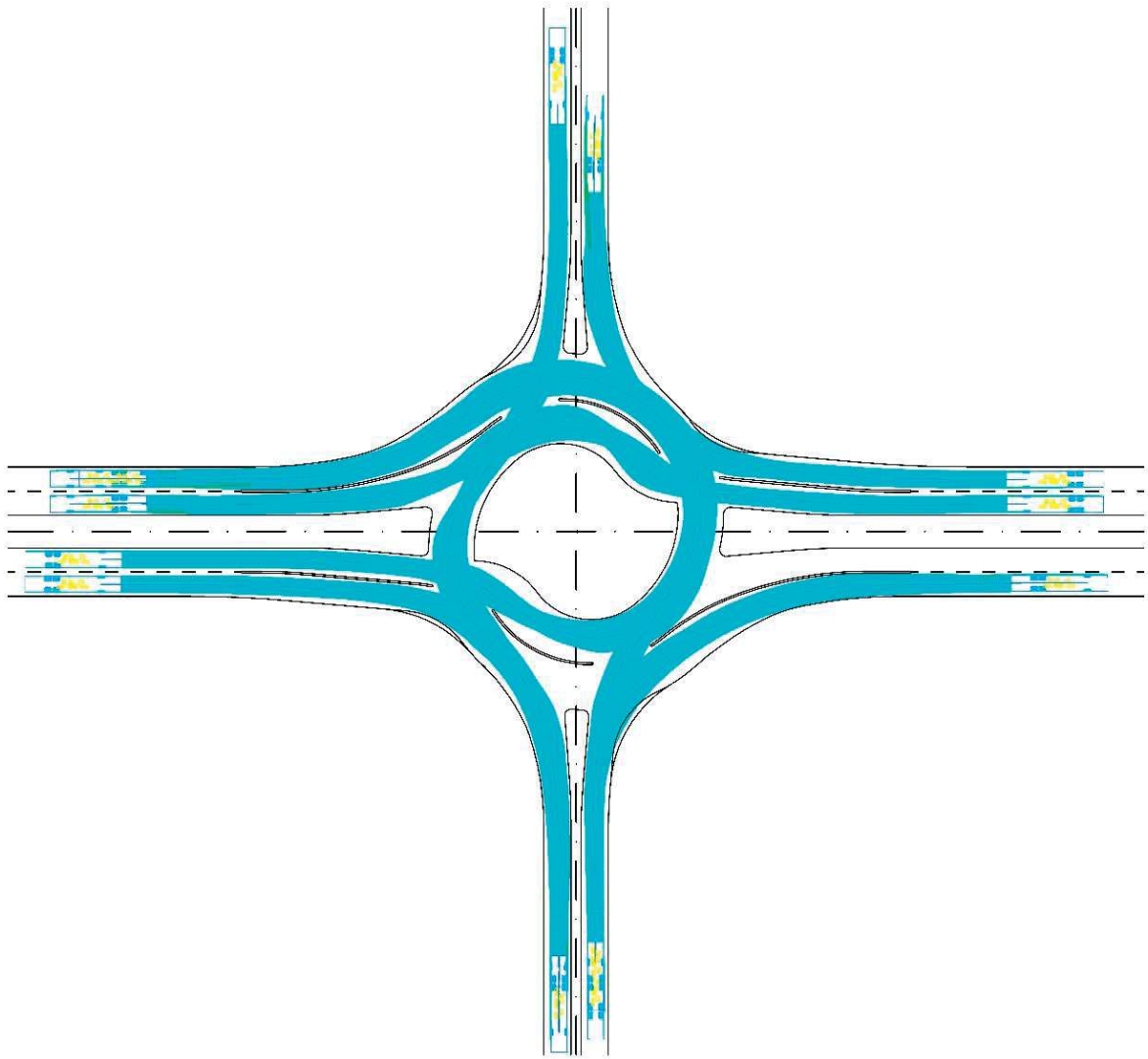
1. **SMĚLÝ, M., APELTAUER T., RADIMSKÝ M.** Kapacita okružních křižovatek s vícepruhovými vjezdy. *Dopravní inženýrství*. 2011, Sv. 6, 1.
2. *Popis kolizních situací při průjezdu vícepruhovou okružní křižovatkou.* **SMĚLÝ, M., APELTAUER T., RADIMSKÝ M.** Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, 2011. LOGVD 2011 – Dopravná logistika a krízové situácie (id 19573).
3. **YPERMAN, Isaak a Ben IMMERS.** *Capacity of a Turbo-Roundabout Determined by Micro-Simulation*. 2003.
4. **CORRIERE, Ferdinando a Marco GUERRIERI.** Performance Analysis of Basic Turbo-Roundabouts in Urban Context. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2012.
5. **GIUFFRÈ, Orazio, Marco GUERRIERI a Anna GRANÀ.** *TURBO-ROUNDABOUT GENERAL DESIGN CRITERIA AND FUNCTIONAL PRINCIPLES: CASE STUDIES FROM REAL WORLD*. 2009.
6. **VASCONCELOS, António Luís Pimentel, Álvaro Jorge da Maia SECO a Ana Bastos SILVA.** *Capacity of normal and turbo-roundabouts: comparative analysis*.
7. **DUNCAN CAMPBELL, Ivan Jurisich.** *Improved multi-lane roundabout designs for urban areas*. Wellington, N.Z : NZ Transport Agency, 2012. ISBN 978-047-8394-160.
8. **HAGRING, O.** Vehicle–Vehicle Interactions at Roundabouts and Their Implications for the Entry Capacity: A Methodological Study with Applications to Two-Lane Roundabouts. *Bulletin 159. University of Lund and Lund Institute of Technolog*. 1998, 159.
9. **FISK, C. S.** *Priority Intersection Capacity: A Generalization of Tanner’s Formula*. 1989.
10. **BRILON, W., and H. BÄUMER.** *Überprüfung von Kreisverkehren mit zweistreifig markierter oder einstreifig markierter, aber zweistreifig befahrbarer Kreisfahrbahn. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*. Bonn : autor neznámý, 2004.
11. **SULLIVAN, D. P. a R. J. TROUTBECK.** *The Use of Cowan’s M3 Headway Distribution for Modelling Urban Traffic Flow*. místo neznámé : Traffic Engineering and Control, 1994.
12. *Turbo Roundabouts, Estimation of Capacity.* **FORTUIJN, Lambertus G. H.** Delft : Transport and Planning Department, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, TU Delft, 2009.
13. *TURBO ROUNDABOUTS AS AN ALTERNATIVE TO TWO LANE ROUNDABOUTS.* **ENGELSMAN, J. C. a M. UKEN.** Pretoria, South Africa : Pietermaritzburg, 2007. 033-8461000.
14. *Turbo-Roundabout - an Experience from Germany.* **BRILON, Werner.** Bochum, Germany : Ruhr-University Bochum/Institute for Transportation and Traffic Engineering, 2008.
15. **BRILON, Werner.** *Studies on roundabouts in Germany*. Bochum, Germany : Ruhr-University Bochum/Institute for Transportation and Traffic Engineering, 2011.
16. **SKLÁDANÝ, Pavel.** *Kritéria používání velkých okružních křižovatek se světelným signalizačním zařízením i bez něho na dopravně významných komunikacích*. Brno : CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU, 2003.
17. *TURBO ROUNDABOUTS – SLOVENIAN EXPERIENCES.* **TOLLAZZI, Tomaž a Sašo, RENČELJ Marko a TURNŠEK.**

18. SLOVENIAN EXPERIENCES WITH ALTERNATIVE TYPES OF ROUNDABOUTS - "TURBO" AND "FLOWER" ROUNDABOUTS. **TOLLAZZI, Tomaz; RENCELJ, Marko a TURNSEK, Saso.** Vilnius : THE 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ENVIRONMENTAL ENGINEERING, 2011. ISBN 9789955288299ISSN.
19. **TOLLAZZI, Tomaz.** KROŽNA KRIŽIŠČA S SPIRALNIM POTEKOM KROŽNEGA VOZIŠČA. Maribor : REPUBLIKA SLOVENIJA MINISTRSTVO ZA PROMET, 2011.
20. **Ing. Jaroslav HEINRICH, Ing. Pavel SKLÁDANÝ, Ing. Pavel KARLICKÝ a Ing. ČARSKÁ.** BESIDIDO I. ETAPA: Rešerše aktuálneho stavu predpisů a výzkumných zpráv týkajících se uspořádání dopravního prostoru pozemních komunikací vybraných evropských států, ČÁST 4 VELKÁ BRITÁNIE. Brno : CDV v.v.i, leden 2003.
21. Průjezd vozidel vícepruhovou okružní křižovatkou. **SMĚLÝ, M., RADIMSKÝ M.** Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2011. 11. Mezinárodní vedecká konferencia MOBILITA '11 (id 19296).
22. Traffic safety of multi-lanes roundabouts. **RADIMSKÝ, M., SMĚLÝ, M. a APELTAUER, T.** Bratislava : Slovak Transport Society at the Slovak Academy of Sciences, 2011. MOSATT 2011 - International Scientific Conference Modern Safety Technologies in Transportation (id 19512).
23. Srovnání siphonových okružních křižovatek navržených v Nizozemí a České republice. **SMĚLÝ, M.**
24. Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.
25. Vyhláška č. 30/2001 Sb., kterou se provádějí pravidla provozu na pozemních komunikacích a úprava a řízení provozu na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.
26. Jednotná dopravní vektorová mapa. <http://www.jdvm.cz/>. [Online] Ministerstvo dopravy, 2006.
27. Design Manual for Roads and Bridges. <http://www.dft.gov.uk>. [Online] 2008.
28. Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích.
29. ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic (změna 1, změna 2).
30. ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích (edice 2).
31. ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací.
32. TP 65 Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích.
33. TP 100 Zásady pro orientační dopravní značení na PK.
34. TP 133 Zásady pro vodorovné dopravní značení na PK.
35. TP 135 Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích.
36. TP 169 Zásady pro označování dopravních situací na pozemních komunikacích.
37. TP 188 Posuzování kapacity neřízených úrovnových křižovatek.
38. TP 234 Posuzování kapacity okružních křižovatek.
39. **TOLLAZZI, T.** Alternative types of roundabouts. Maribor, Slovenia : Springer, 2015. ISBN 978-331-9090-832.
40. TP 171 Vlečné křivky pro ověřování průjezdnosti směrových prvků pozemních komunikací.

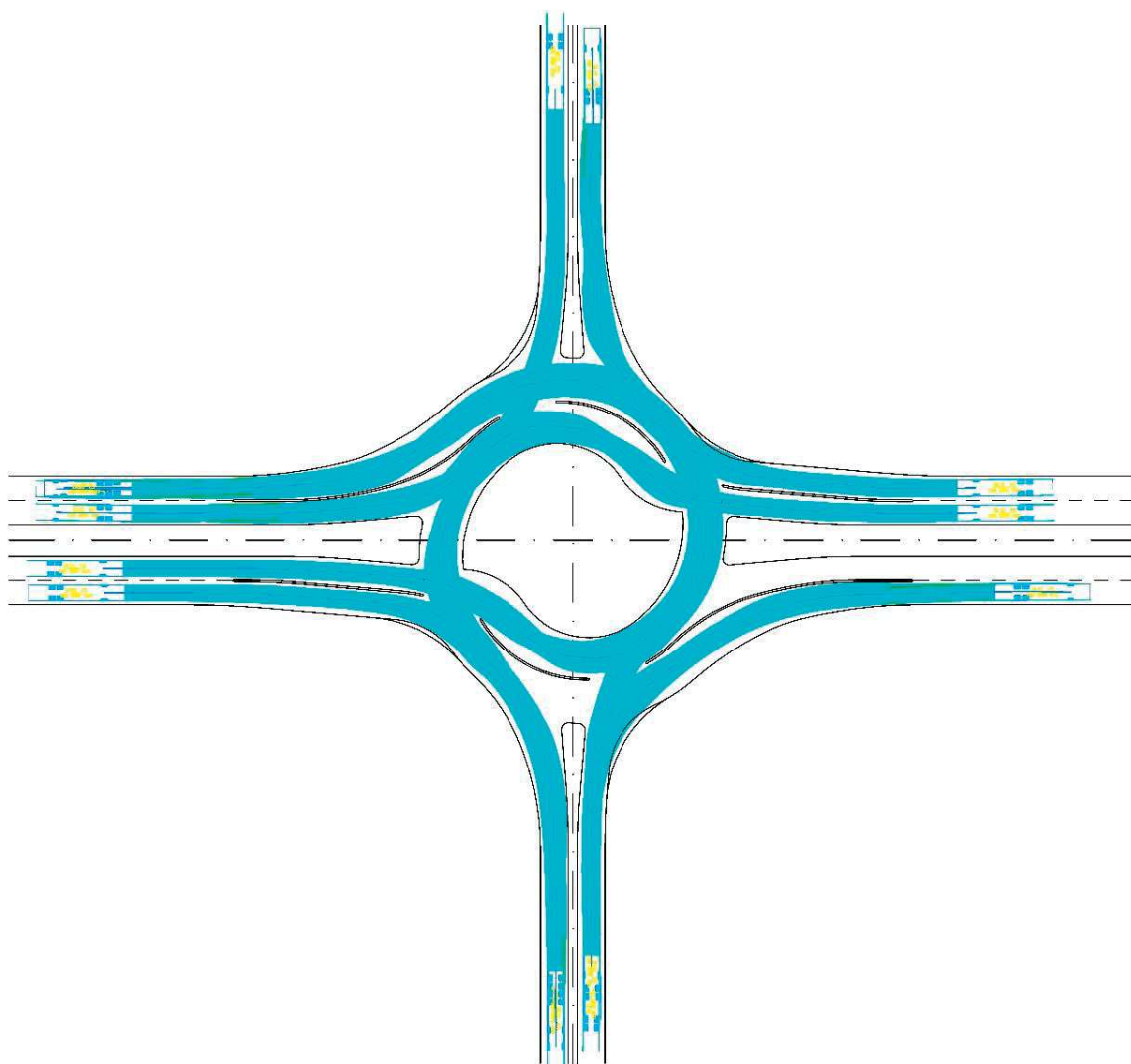
41. **KUSALA, J.** http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/radar.htm. *Radarová encyklopedie*. [Online] 2008.
42. **APELTAUER, J., MATUSZKOVÁ, R. a VŠETEČKA, M.** Aplikace počítačového vidění v dopravním inženýrství. *Silnice železnice*. 1, 2014, 1.
43. **Yeung, William.** Transsoftsolutions. *www.transsoftsolutions.com*. [Online] Transoft Solutions Inc. [Citace: 4. 10 2015.]
<https://faculty.unlv.edu/jensen/html/Transoft/docs/AutoTURNTheEssentialsSessionNotes.pdf>.
44. **Doc. ing. Marián Krajčovič, CSc.** *Aplikace - ČSN 736101 Projektování silnic a dálnic při navrhování pozemních komunikací*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2000.
45. The PocketFlyer. *The PocketFlyer*. [Online] 2015. <https://email.seznam.cz/#inbox/128089>.
46. **SMĚLÝ, M., a další, a další.** *Metodika pro navrhování turbo-okružních křižovatek*. 1. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2015. str. 48. ISBN 978-80-214-5202-2.
47. **OVERKAMP, D. P. a W.** *Roundabouts – Application and design: A practical manual*. Rotterdam : Ministry of Transport, 2009. str. 104. VB/SE2008.0772.
48. **Thomas, Warne R.** *A policy on geometric design of highways and streets*. 4. Washington, D.C. : autor neznámý, 2001. str. 942. 1-56051-156-7.
49. *398/2009 Sb. Vyhláška o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb*. Praha : Česká republika, 2009.
50. **ANDRES, J.** *Metodický pokyn Velké okružní křižovatky*. 1. Brno : CDV, v.v.i., 2004. str. 141. ISBN 8086502155.
51. —. *Metodika identifikace a řešení míst častých dopravních nehod*. Brno : CDV, v.v.i., 2001.
52. **AMBROS, J., KOCOUREK, J.** *Metodika sledování a vyhodnocování dopravních konfliktů*. Brno : CDV v.v.i., 2013. ISBN 978-80-86502-62-5.
53. Wikipedie - otevřená encyklopedie. [Online] 18. 1 2015. [Citace: 25. 11 2015.]
https://cs.wikipedia.org/wiki/Logaritmicko-norm%C3%A1ln%C3%AD_rozd%C4%9Blen%C3%AD.

Příloha A – Ověření průjezdnosti

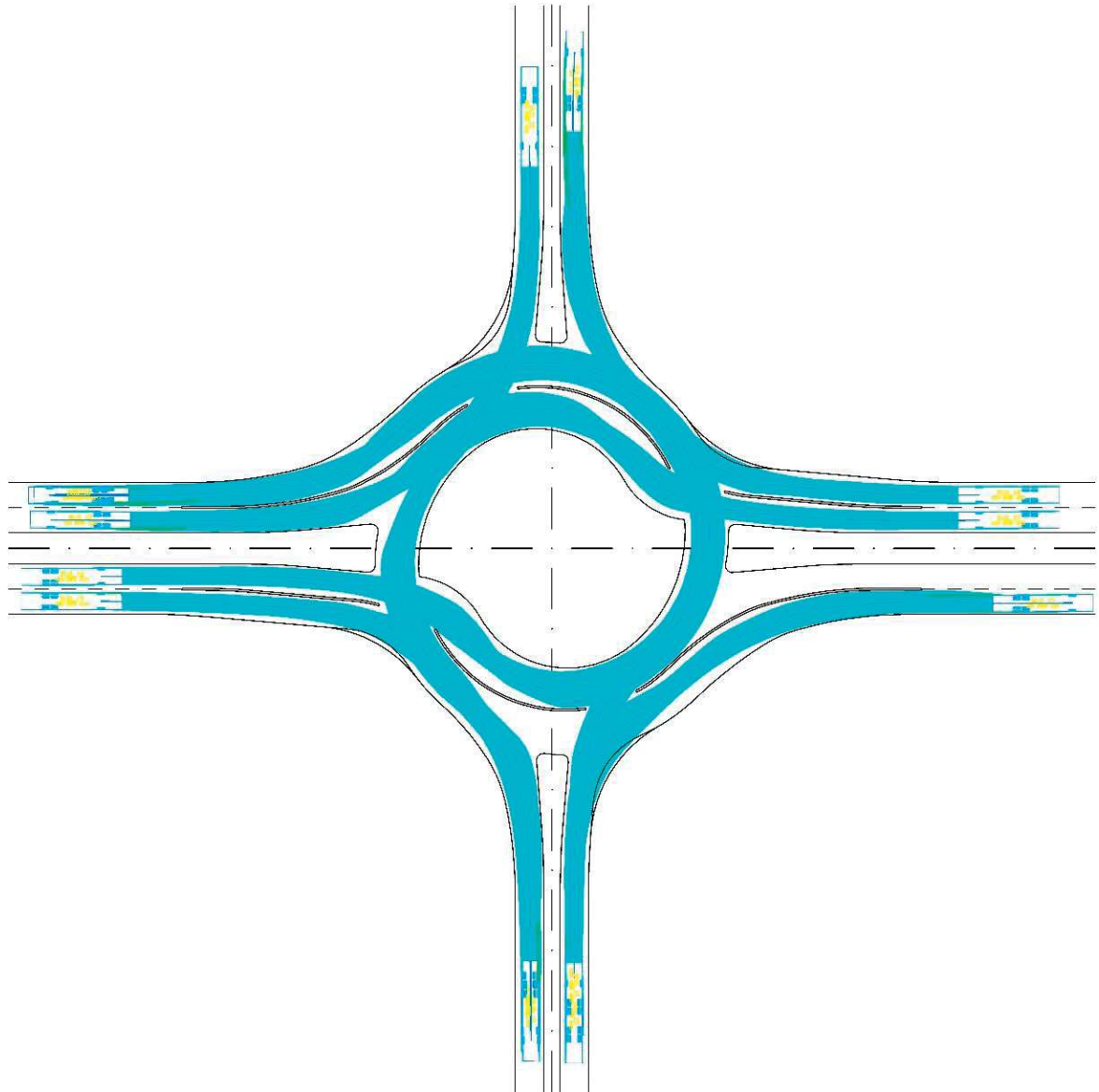
V této příloze jsou zobrazeny postupně trajektorie dokazující průjezd směrodatných vozidel viz. Obr. 86 jednotlivými druhy TOK typu vejce. Trajektorie byly vykresleny pomocí software AutoTurn a ZWCAD. Z obrázků je patrné, že všechny navržené rozměry křižovatek umožňují průjezd směrodatných vozidel minimálně 20 km/h. Reálné rychlosti průjezdů budou samozřejmě ovlivněny dalšími skutečnostmi, jako je zejména způsob naložení nákladů ve směrodatných vozidlech.



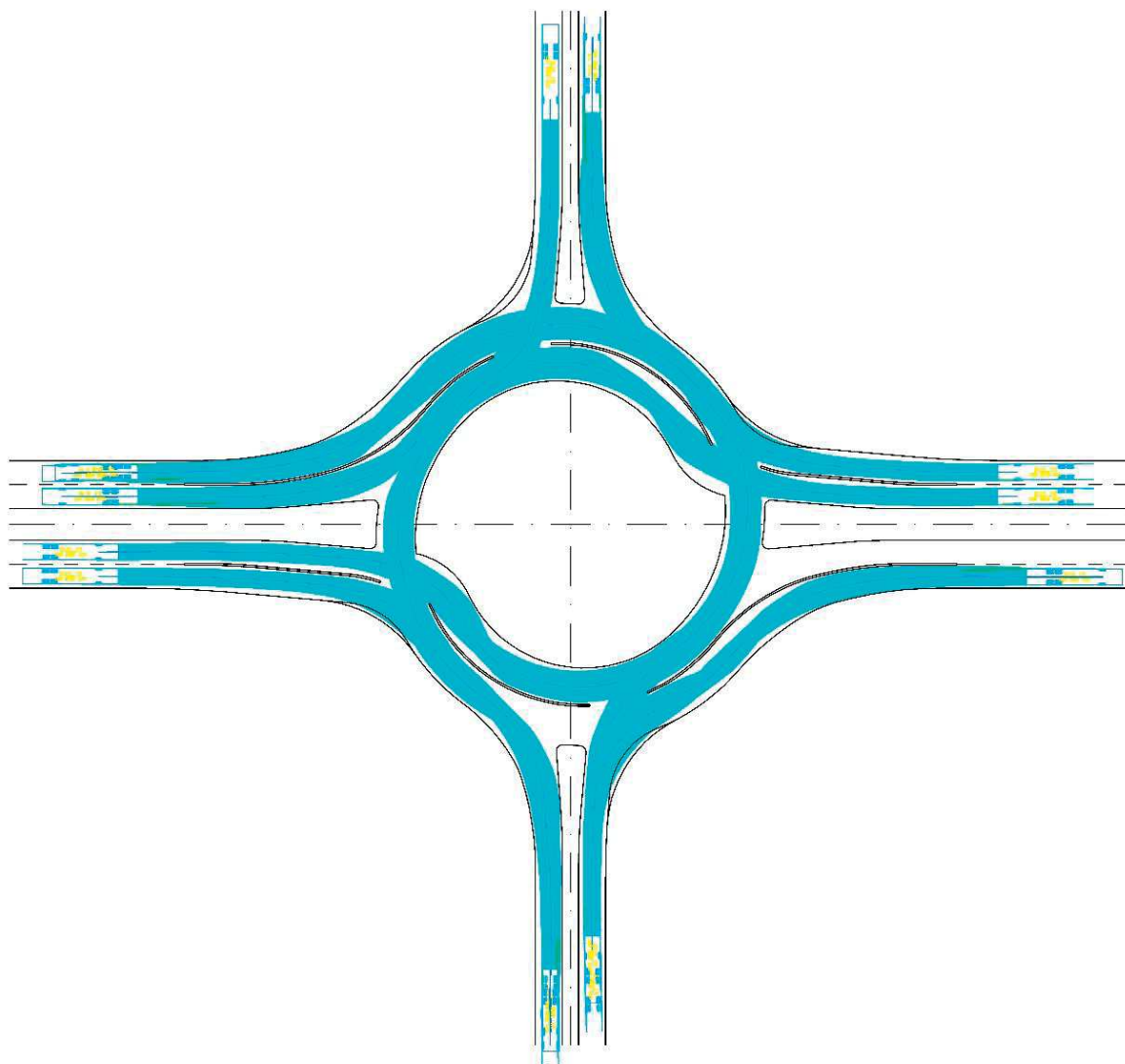
Obr. 127 Průjezd návrhového vozidla (autobus dl. 15,0 m) TOK typu vejce velikosti malá



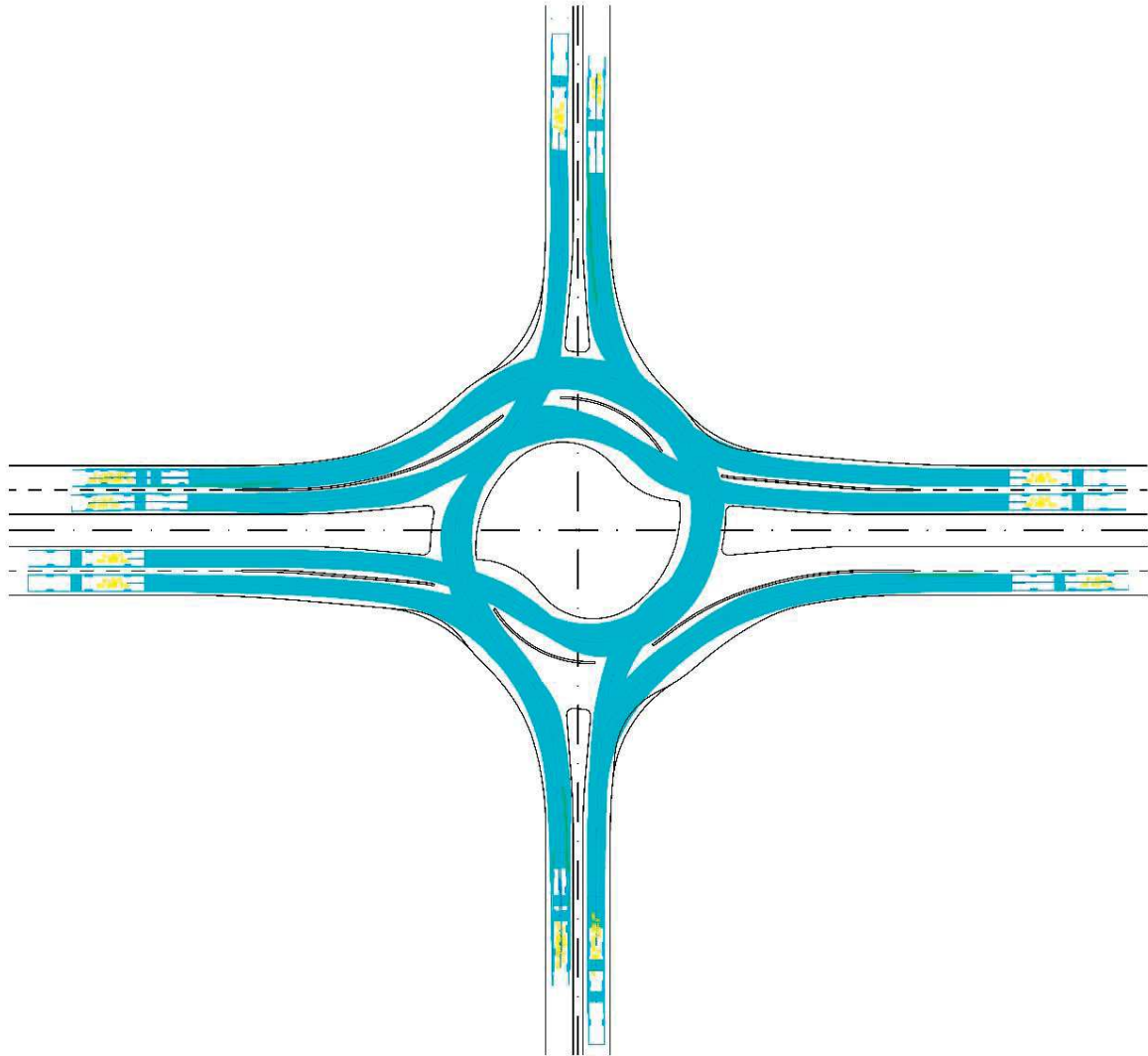
Obr. 128 Průjezd návrhového vozidla (autobus dl. 15,0 m) TOK typu vejce velikosti malá standardní



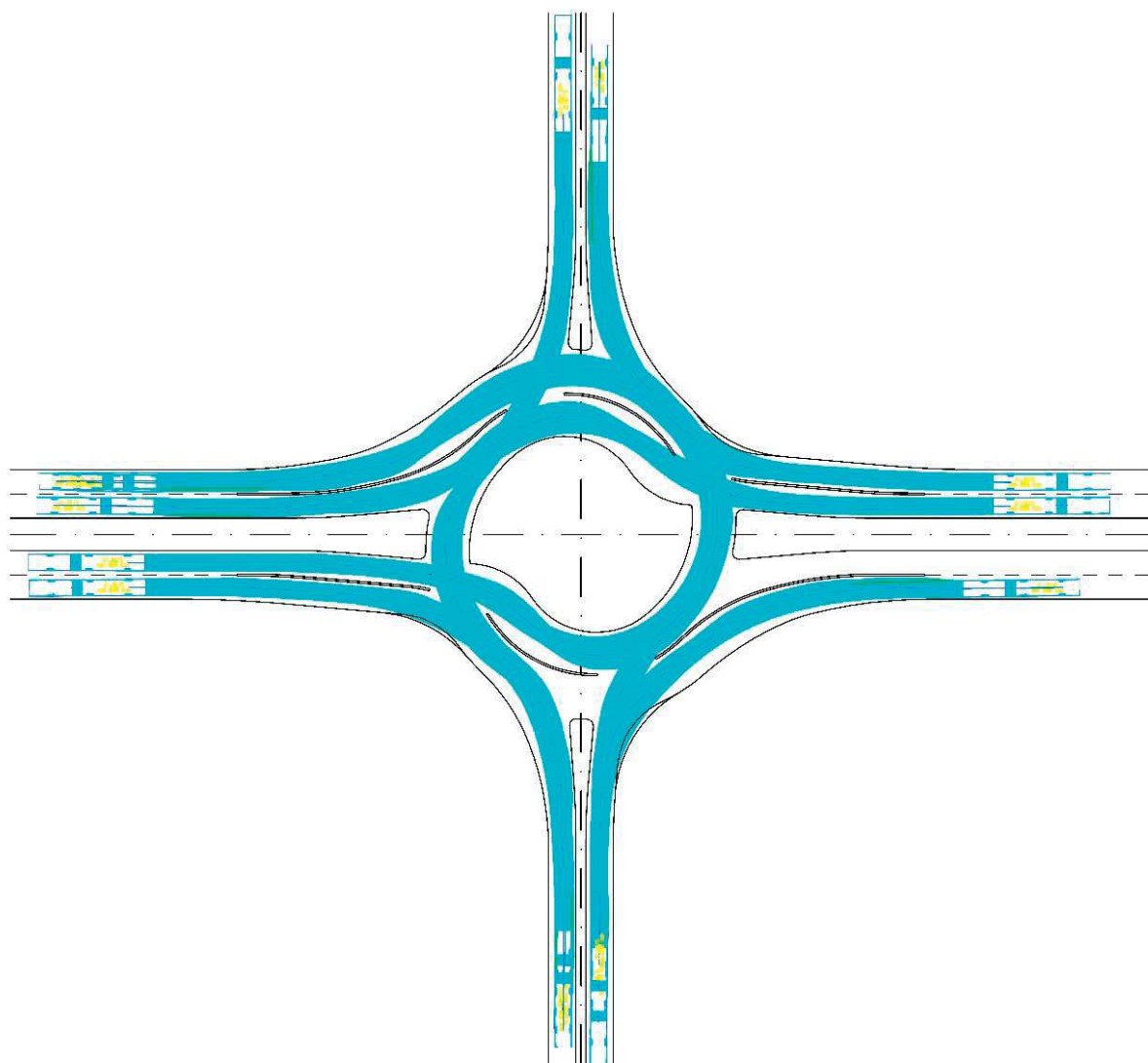
Obr. 129 Průjezd návrhového vozidla (autobus dl. 15,0 m) TOK typu vejce velikosti standardní



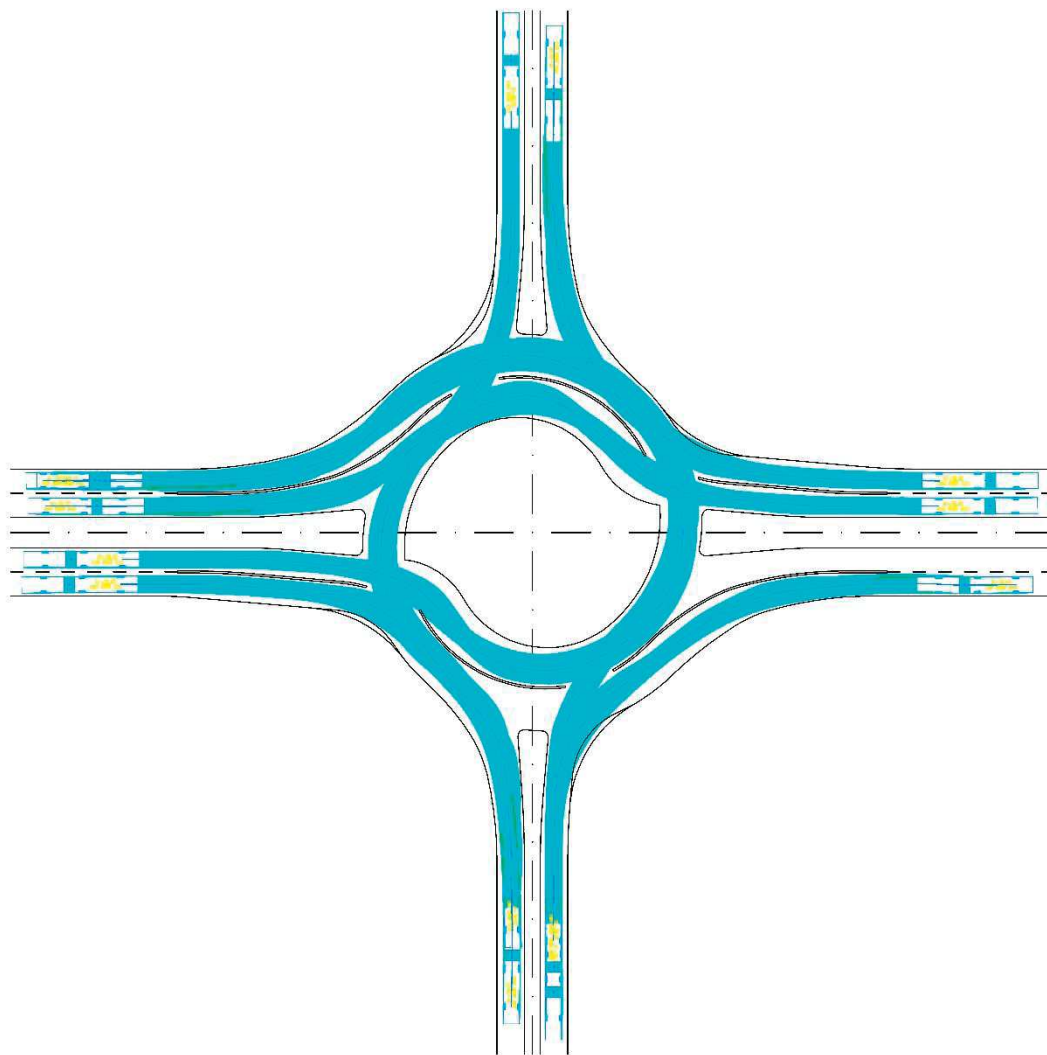
Obr. 130 Průjezd návrhového vozidla (autobus dl. 15,0 m) TOK typu vejce velikosti velká



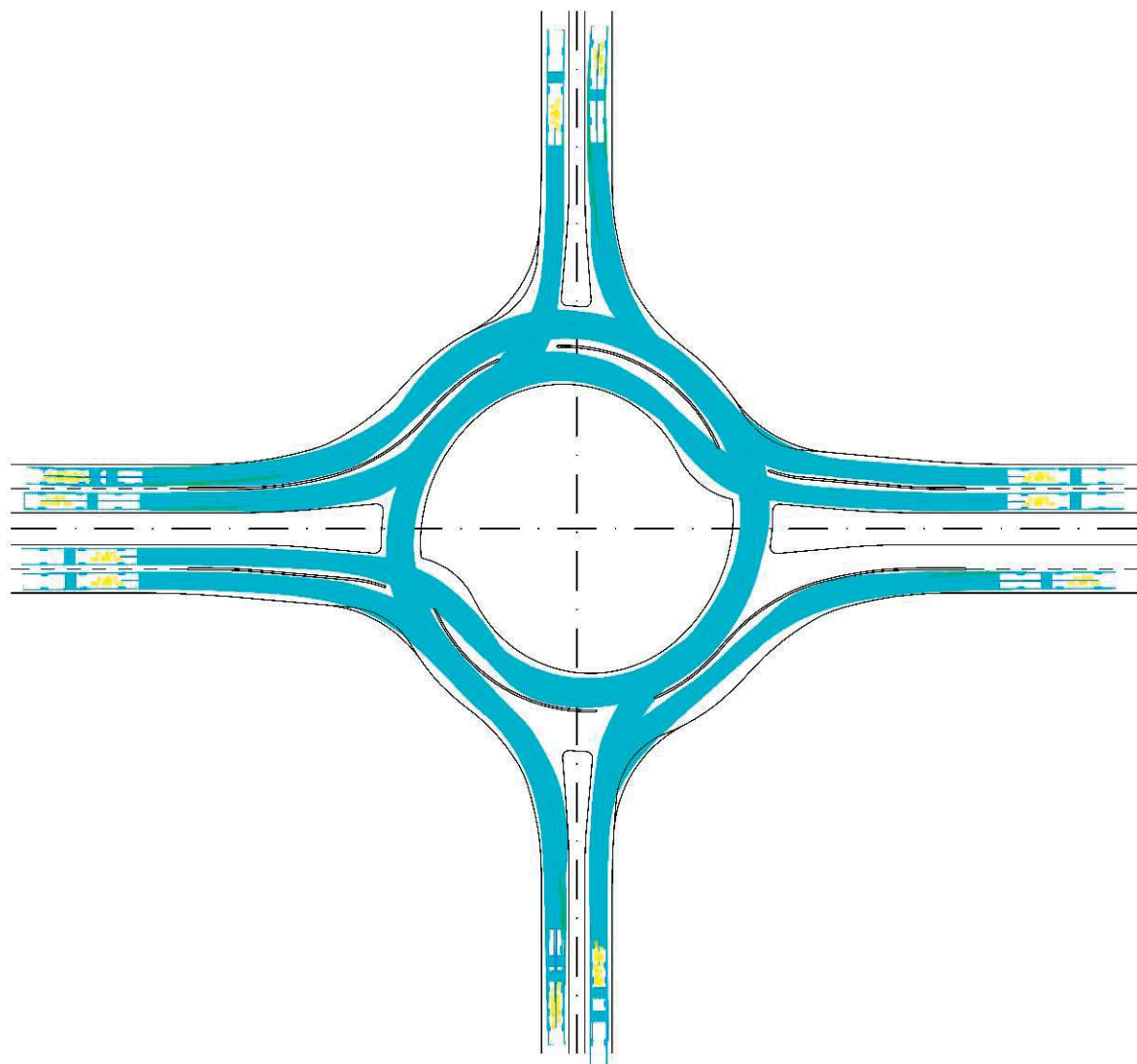
Obr. 131 Průjezd návrhového vozidla (kloubový autobus dl. 18,0 m) TOK typu vejce velikosti malá



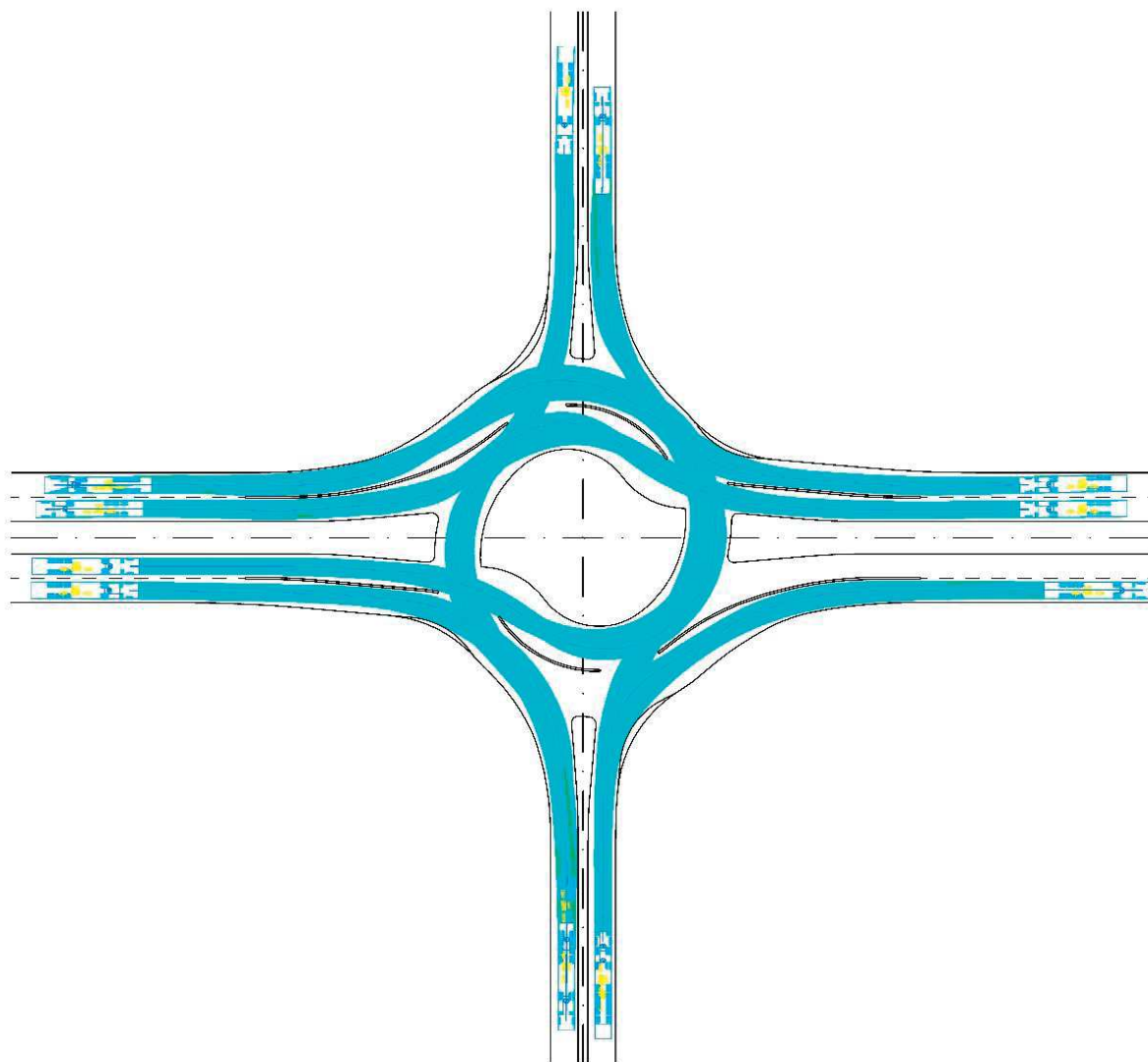
Obr. 132 Průjezd návrhového vozidla (kloubový autobus dl. 18,0 m) TOK typu vejce velikosti malá standardní



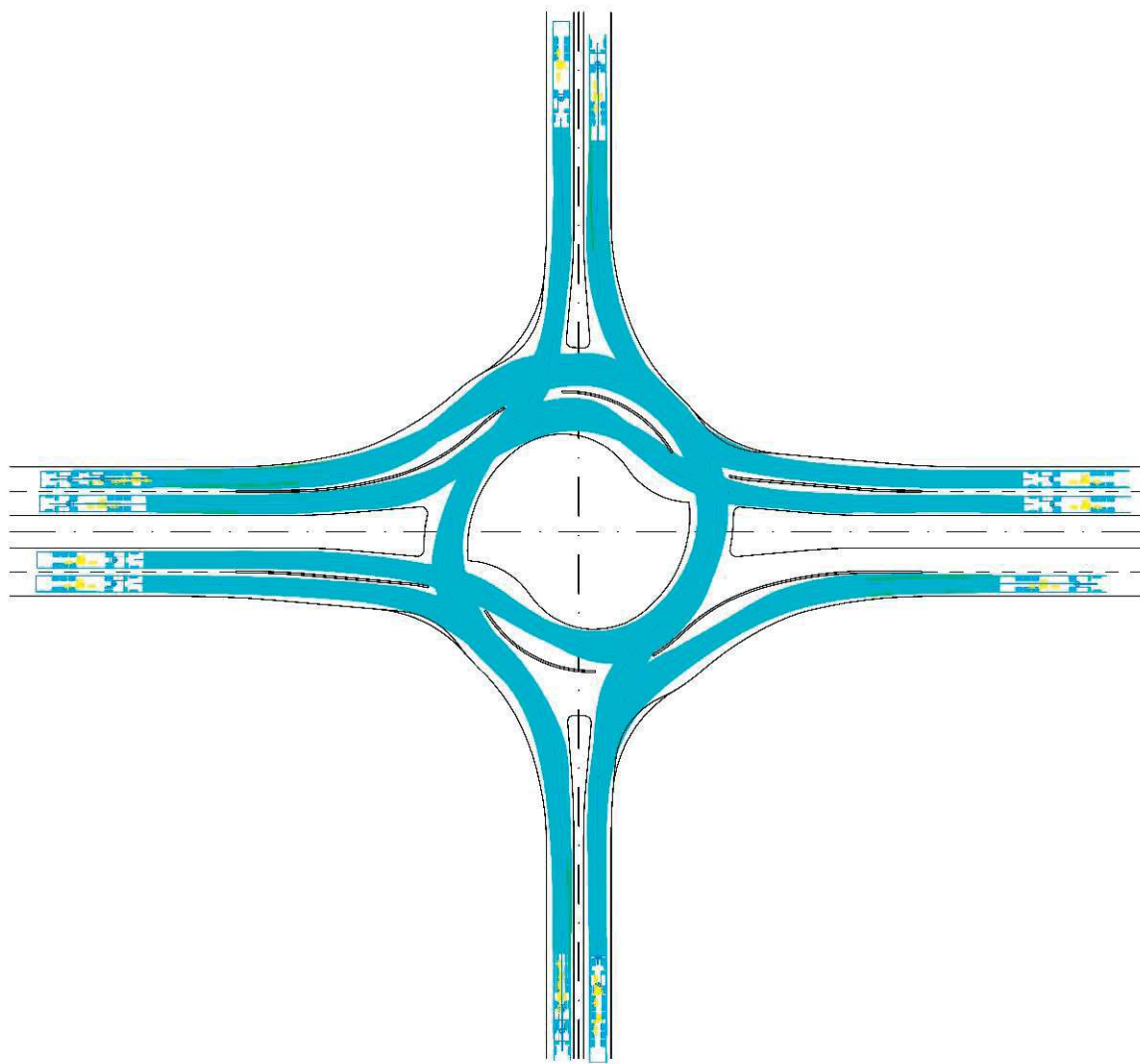
Obr. 133 Průjezd návrhového vozidla (kloubový autobus dl. 18,0 m) TOK typu vejce velikosti standardní



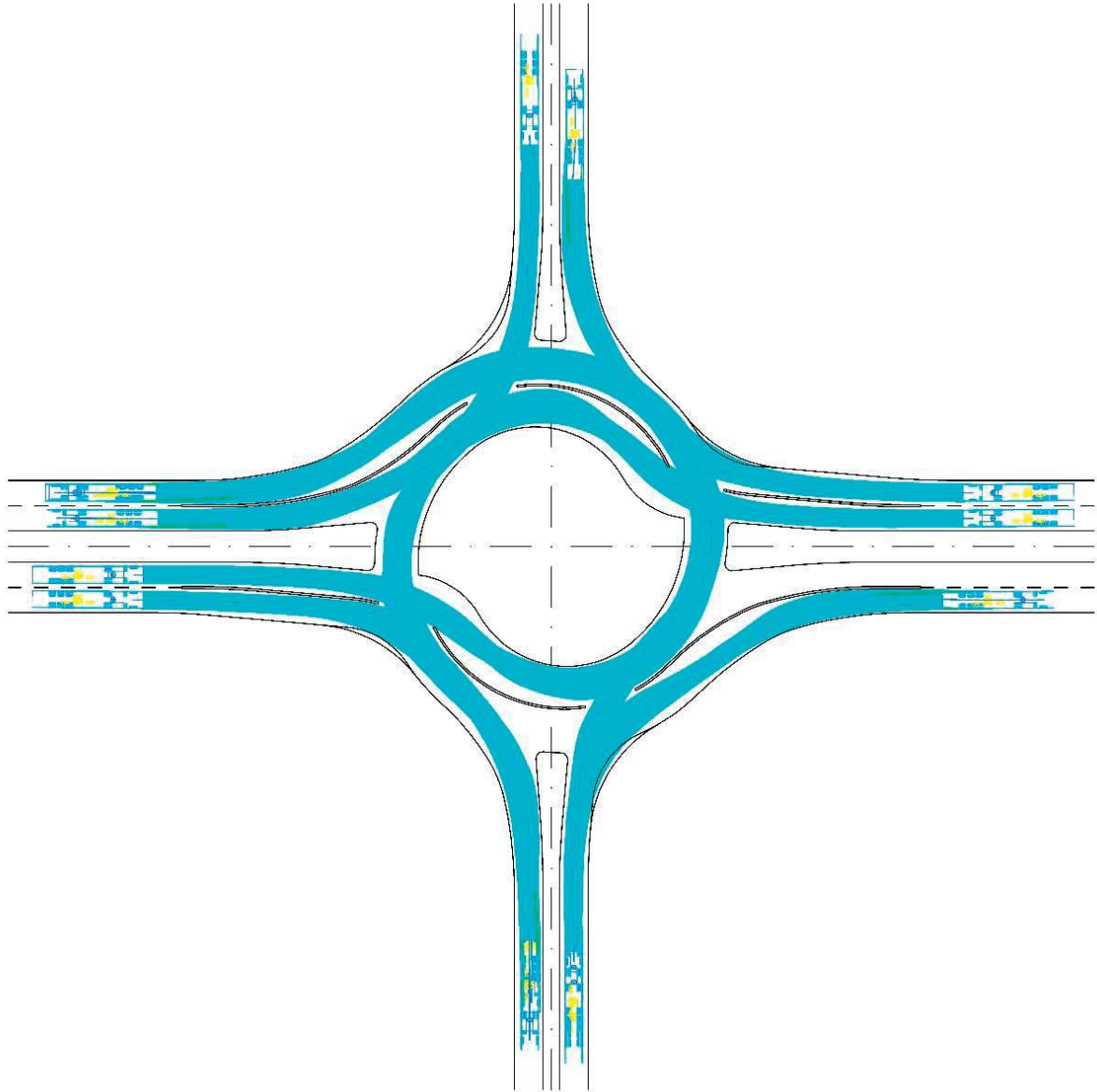
Obr. 134 Průjezd návrhového vozidla (kloubový autobus dl. 18,0 m) TOK typu vejce velikosti velká



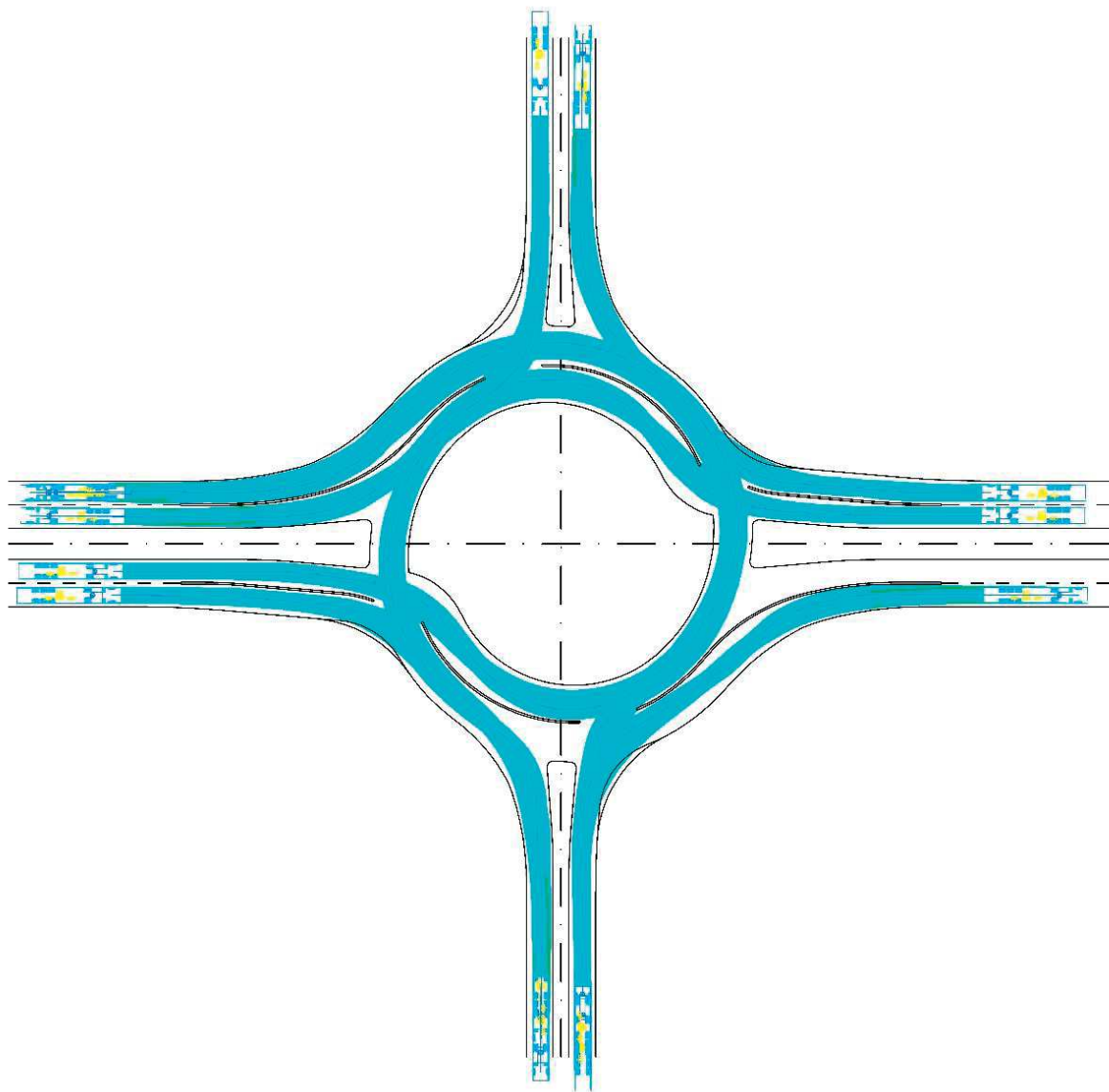
Obr. 135 Průjezd návrhového vozidla (návěšová souprava dl. 16,5 m) TOK typu vejce velikosti malá



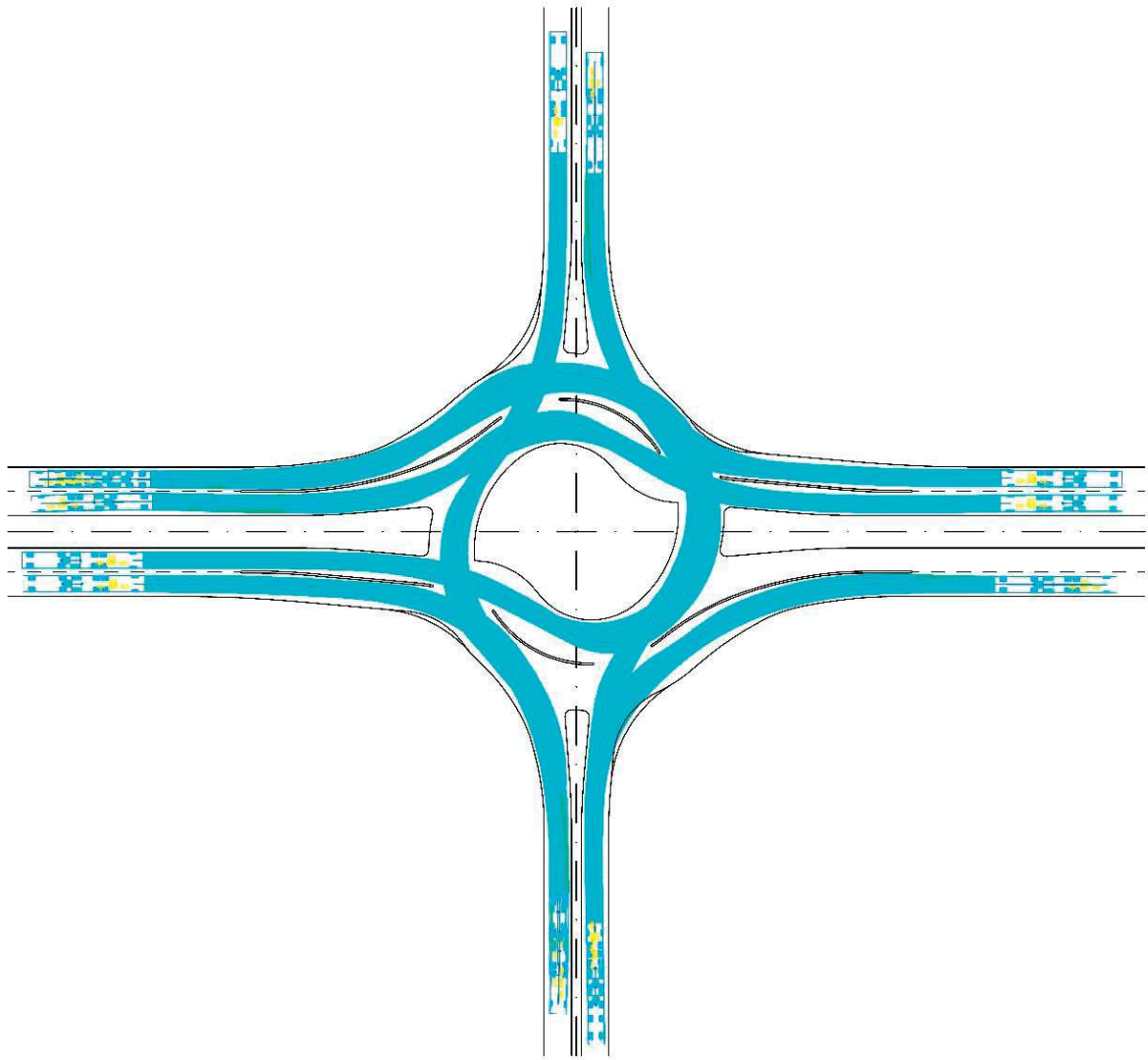
Obr. 136 Průjezd návrhového vozidla (návěšová souprava dl. 16,5 m) TOK typu vejce velikosti malá standardní



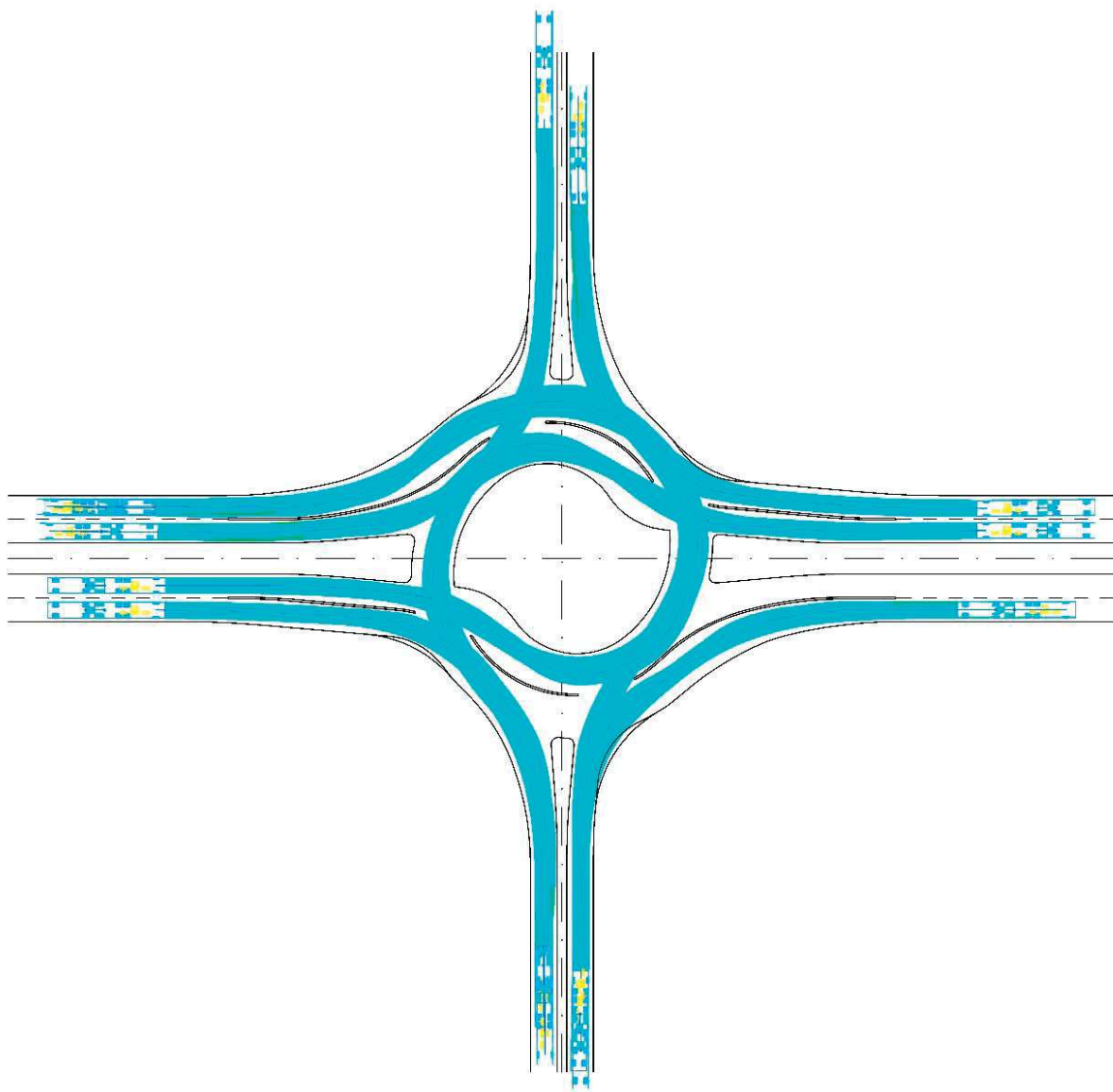
Obr. 137 Průjezd návrhového vozidla (návěšová souprava dl. 16,5 m) TOK typu vejce velikosti standardní



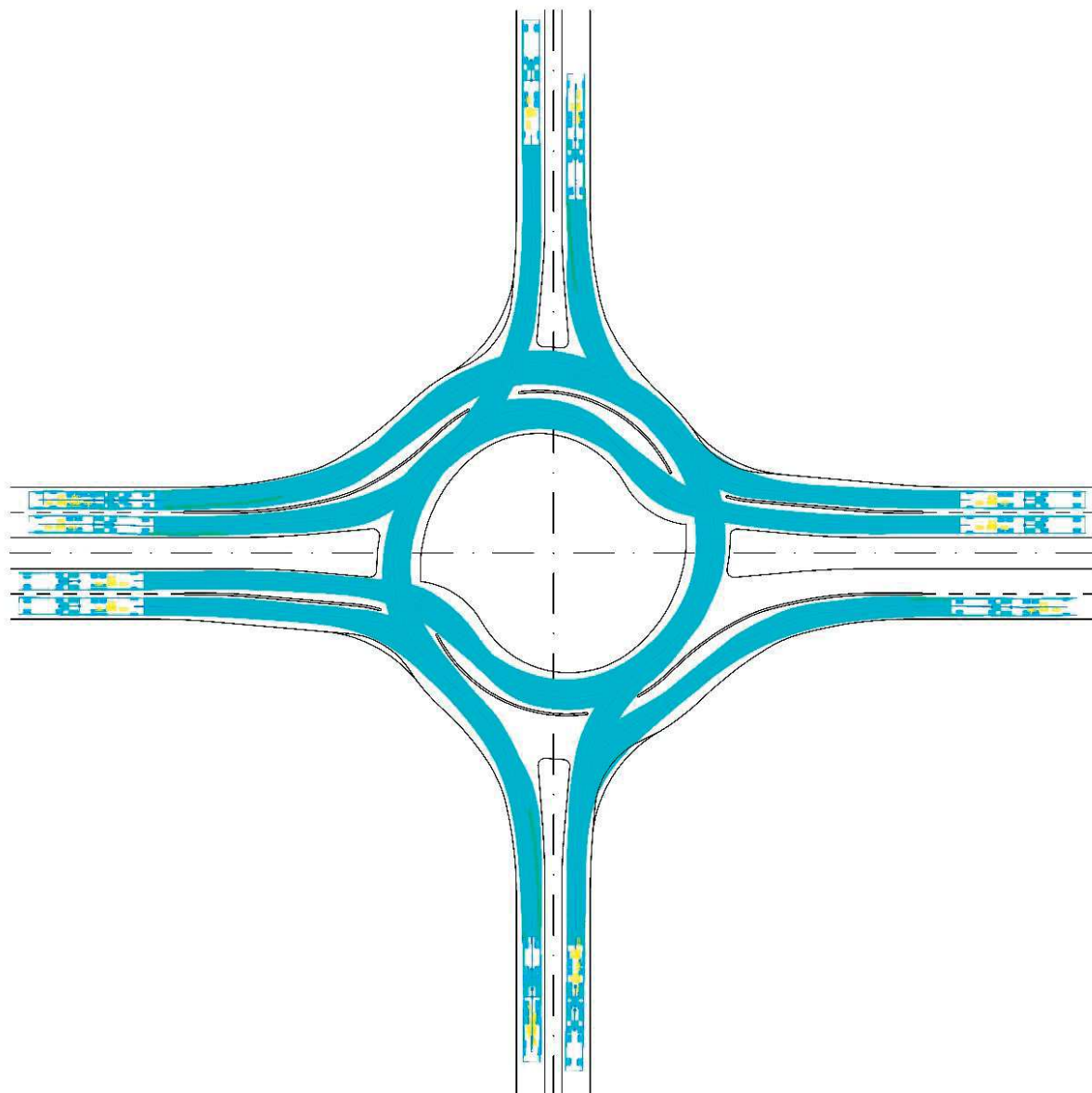
Obr. 138 Průjezd návrhového vozidla (návěšová souprava dl. 16,5 m) TOK typu vejce velikosti velká



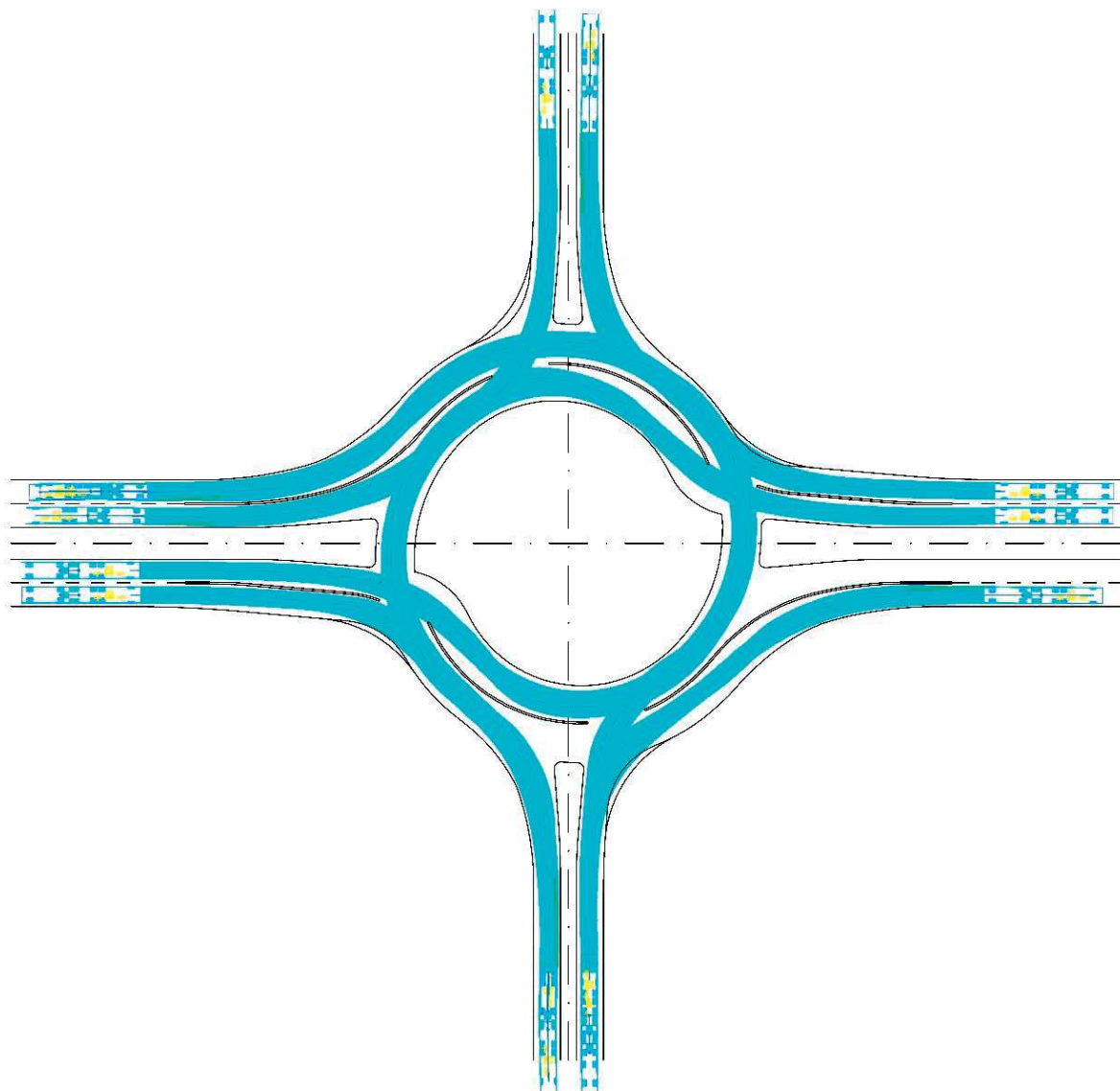
Obr. 139 Průjezd návrhového vozidla (přívěsová souprava dl. 18,75 m) TOK typu vejce velikosti malá



Obr. 140 Průjezd návrhového vozidla (přívěsová souprava dl. 18,75 m) TOK typu vejce velikosti malá standardní



Obr. 141 Průjezd návrhového vozidla (přívěsová souprava dl. 18,75 m) TOK typu vejce velikosti standardní



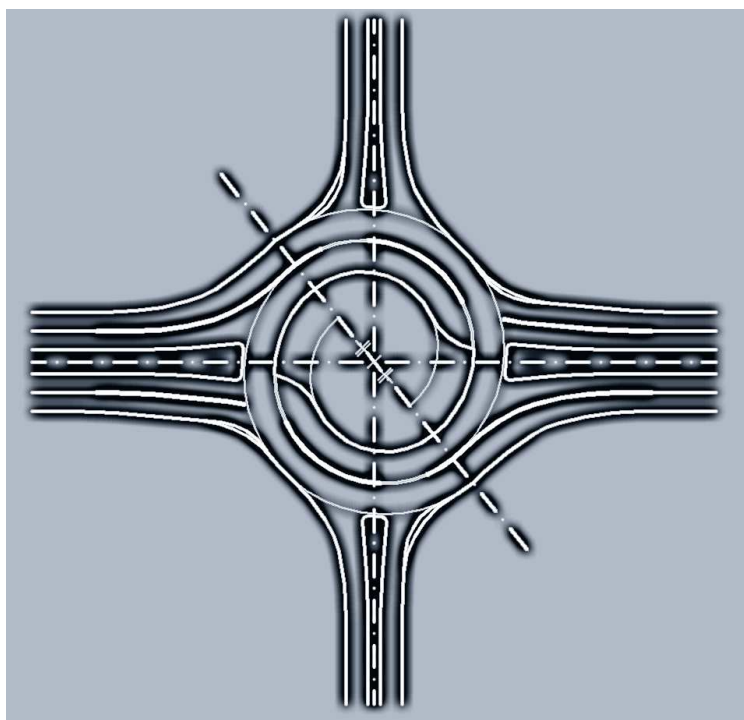
Obr. 142 Průjezd návrhového vozidla (přívěsová souprava dl. 18,75 m) TOK typu vejce velikosti velká

Příloha B – Metodika pro navrhování turbo-okružních křižovatek

Metodika vznikla v rámci výzkumného projektu TA03030050 – Moderní turbo-okružní křižovatky a jejich aplikace v návrhu dopravních staveb financovaného Technologickou agenturou České republiky, programem na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje ALFA.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ

METODIKA PRO NAVRHOVÁNÍ TURBO-OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATEK



BRNO 2015

Metodika vznikla v rámci výzkumného projektu TA03030050 – Moderní turbo-okružní křižovatky a jejich aplikace v návrhu dopravních staveb financovaného Technologickou agenturou České republiky, programem na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje ALFA.

Název: Metodika pro navrhování turbo-okružních křižovatek

Autor:

Vysoké učení technické v Brně

Ing. Martin Smělý, Ing. Miroslav Patočka, Ing. Michal Radimský, Ph.D., Ing. Jíří Apeltauer

Spoluautor:

AF-CITYPLAN s.r.o.

Ing. Petr Hofhansl, Ph.D., Ing. Marek Šída

Recenzenti:

Ing. Vladimír Pančík, IČ: 87120305

kpt. Ing. Lubomír Sedlák, Policie České republiky, Krajské ředitelství policie Jihomoravského kraje

Brno 2015

ISBN 978-80-214-5202-2

OBSAH

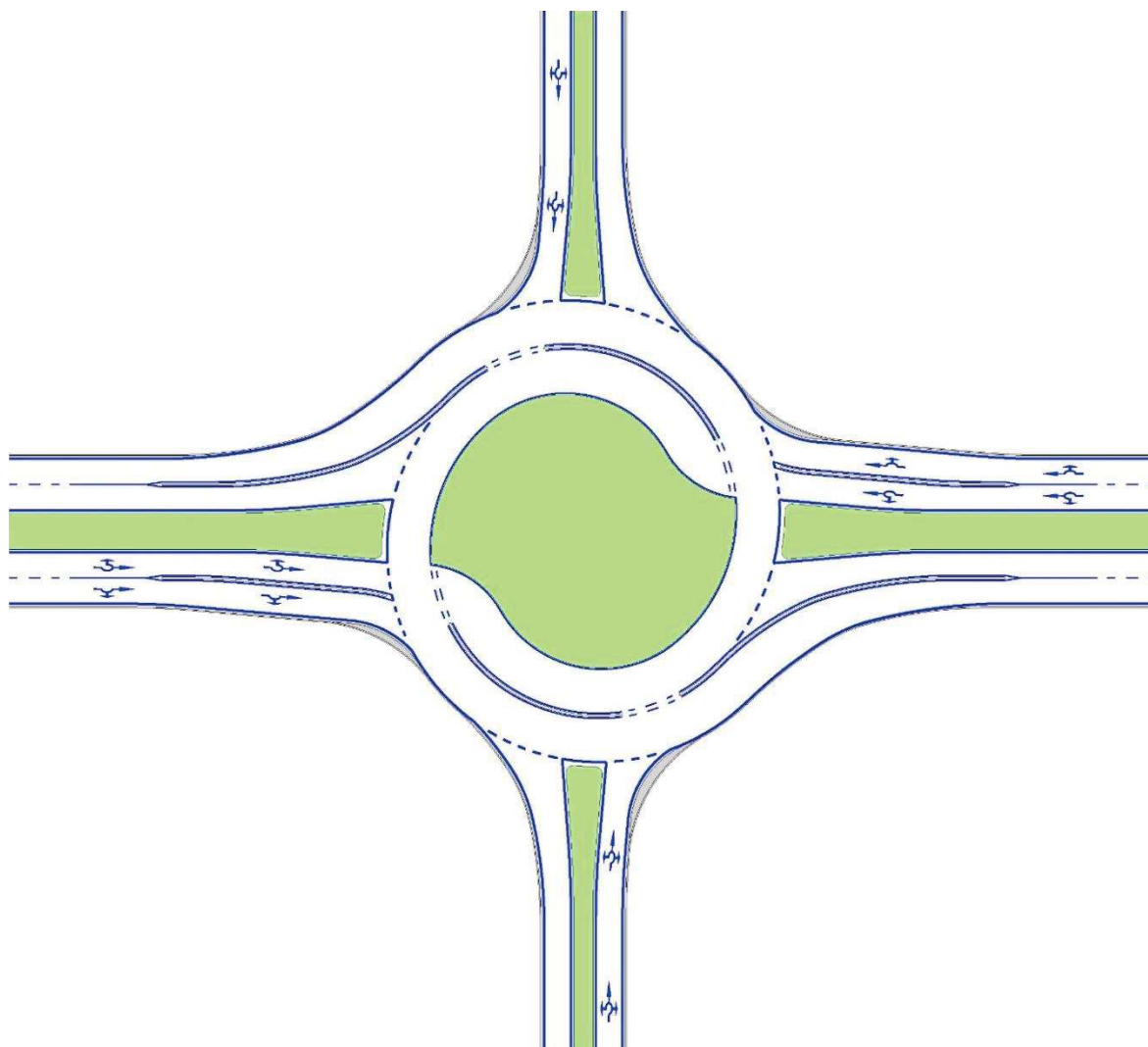
1.	PŘEDMĚT METODIKY.....	3
2.	TERMÍNY A DEFINICE.....	4
3.	SOUVISEJÍCÍ PŘEDPISY.....	7
4.	ATRIBUTY TURBO-OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATEK.....	8
5.	ROZDĚLENÍ TURBO-OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATEK.....	9
6.	GEOMETRIE TURBO-OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATEK.....	15
7.	KONTROLA VELIKOSTI PŘÍČNÉHO ZRYCHLENÍ A DOSAHOVANÉ RYCHLOSTI.....	29
8.	ROZHLEDOVÉ POMĚRY.....	31
9.	FYZICKÉ ODDĚLENÍ JÍZDNÍCH PRUHŮ.....	34
10.	ZIMNÍ ÚDRŽBA.....	36
11.	ODVODNĚNÍ.....	36
12.	VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ.....	37
13.	SVISLÉ DOPRAVNÍ ZNAČENÍ.....	38
14.	VODOROVNÉ DOPRAVNÍ ZNAČENÍ.....	39
15.	MÍSTA PRO PŘECHÁZENÍ A PŘECHODY PRO CHODCE.....	40
16.	BEZPEČNOSTNÍ ZAŘÍZENÍ.....	41
17.	UKÁZKY REALIZOVANÝCH TURBO-OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATEK.....	42

1. PŘEDMĚT METODIKY

Tato metodika se zabývá navrhováním a praktickým využitím turbo-okružních křižovatek. Dle ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích se jedná o okružní křižovatky se dvěma a více jízdními pruhy s usměrněním dopravy na okružním pásu spirálovým uspořádáním jízdních pruhů a dopravním značením, které vyloučí výskyt průpleťových úseků. Dle zákona č. 361/2000 Sb. se jedná o kruhový objezd označený dopravní značkou C1. V české literatuře se někdy tyto křižovatky nazývají jako spirálové okružní křižovatky.

Turbo-okružní křižovatky se navrhují na dopravně významných místních komunikacích a silnicích určených zejména pro dálkovou a mezistátní dopravu podle zásad a parametrů uvedených v této metodice a ČSN 73 6102. Spirálové uspořádání jízdních pruhů je rovněž vhodným řešením pro prstencovité mimoúrovňové křižovatky.

Pokud výpočet provedený na stávající neřízené úrovně křižovatce dle TP 188 nebo TP 234 prokáže vyčerpání nebo nedostatek rezervy kapacity, je vhodné navrhnout turbo-okružní křižovatku za předpokladu, že kapacitní výpočet prokáže předepsanou UKD na konci návrhového období a bude možné akceptovat případný dodatečný zábor pozemků.



Obr. 1. Schéma uspořádání turbo-okružní křižovatky.

2. TERMÍNY A DEFINICE

Turbo-okružní křižovatka – je zvláštní typ okružní křižovatky se dvěma a více jízdními pruhy na okružním jízdním pásu, jejímž principem je rozřazení vozidel do jízdních pruhů pro požadovaný směr odbočení před křižovatkou. Vozidla následně projíždí křižovatkou po plynule vedených, spirálově uspořádaných, jízdních pruzích okružního pásu, na kterých je zamezeno proplétání vozidel a konfliktům vozidel jedoucích po okružním pásu s vozidly okružní pás opouštějícími fyzickým oddělením jízdních pruhů. Navrhuje se na stávajících nebo nově řešených křižovatkách za účelem zvýšení kvality dopravy. V české literatuře se někdy tyto křižovatky nazývají jako spirálové okružní křižovatky.

Vnější průměr turbo-okružní křižovatky – je průměr kružnice, kterou je možné vepsat mezi vnitřní líc obrubníků nebo vnější okraje vodicích proužků vnějšího jízdního pruhu okružního jízdního pásu křižovatky v místě translační osy.

Fyzické oddělení jízdních pruhů – je zvýšený, pevně založený, liniový prvek (viz Obr. 25), jehož výška by neměla přesahovat 40 mm. Fyzické oddělení jízdních pruhů má tyto funkce:

- předchází průpletům vozidel a křížení drah vozidel jedoucích po okruhu s vozidly okružní pás opouštějícími
- předchází narovnávání trajektorie průjezdu vozidel v obdobích s nízkou intenzitou dopravy
- snižuje obavy řidičů z vozidel v ostatních jízdních pruzích

Turboblok - je uskupení všech oblouků potřebných poloměrů (viz Obr. 12), které je nutné určitým způsobem uspořádat tak, abychom získali linie okrajů vozovek nebo jízdních pruhů na okružním pásu. Tvoří základ při návrhu geometrie turbo-okružní křižovatky.

Translační osa – je linie, na které se setkávají jednotlivé navazující oblouky turbobloku a zároveň na ni leží středy těchto oblouků (viz Obr. 12).

Posun podél translační osy – je vzdálenost mezi středy oblouků na pravé a levé straně translační osy (viz Obr. 12).

Vychýlení – je vzdálenost od středu oblouku k celkovému středu turbo-okružní křižovatky. Jedná se zároveň o polovinu posunu podél translační osy (viz Obr. 12).

Středový ostrov – je fyzická překážka tvaru odsazeného kruhu sloužící k usměrnění pohybu vozidel po okružním jízdním pásu křižovatky proti směru hodinových ručiček. Součástí středového ostrova je i prstenec, jímž se v některých případech lemuje okraj středového ostrova.

Prstenec – je zpevněná část vnějšího okraje středového ostrova. Prstenec se navrhuje tak, aby mohl být ojedinele pojížděn zejména rozměrnými vozidly (kamión, kloubový autobus, apod.). Prstenec není nutnou součástí turbo-okružních křižovatek. Využitelný je zejména v trasách, kde lze předpokládat přepravu nadměrných nákladů.

Okružní jízdni pás křižovatky – je jízdni pás v šířce zpevnění vozovky okolo středového ostrova (vozovka včetně eventuálního fyzického oddělení jízdních pruhů a vodicích proužků). V případě použití fyzického oddělení jízdních pruhů se dělí na vnitřní a vnější okružní jízdni pruh.

Vjezd – je jízdni pruh nebo pás křižující komunikace, ze kterého se vjíždí na okružní jízdni pás křižovatky.

Výjezd – je jízdní pruh nebo pás křižující komunikace, kterým vozidla vyjíždějí z okružního jízdního pásu křižovatky.

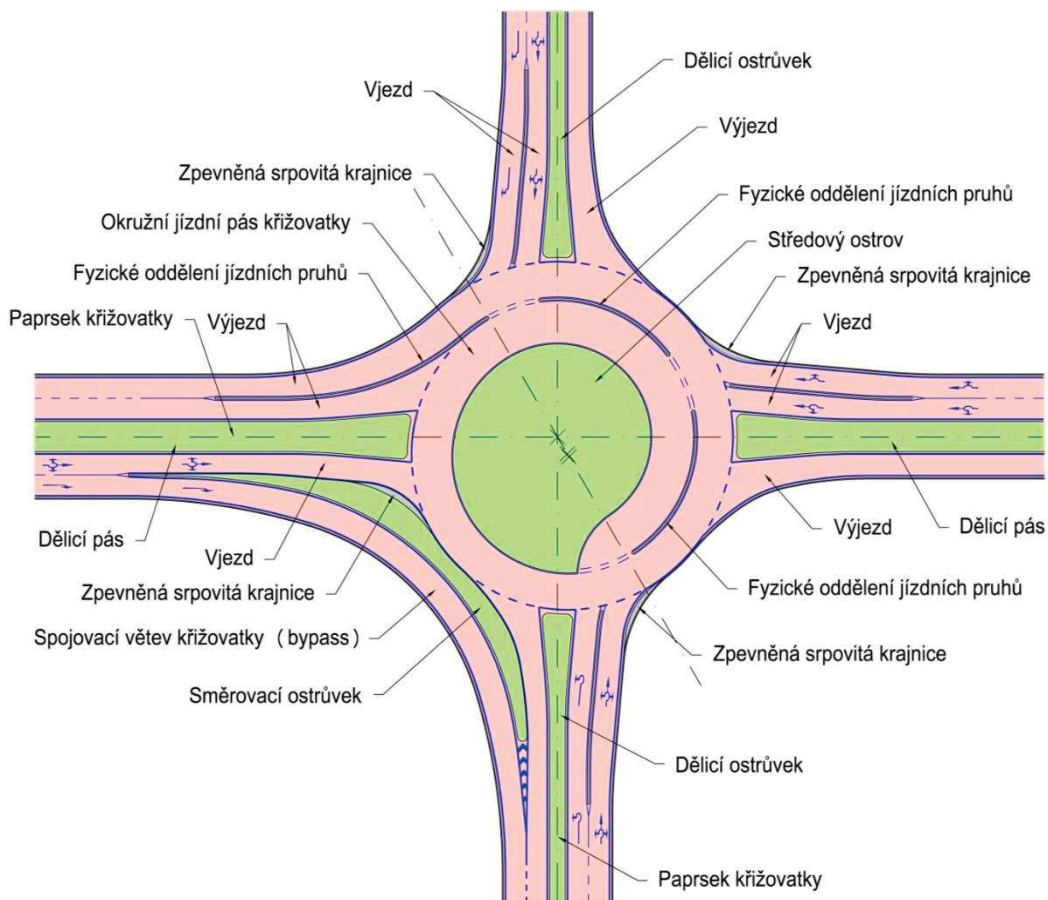
Samostatný vjezd/výjezd – je jízdní pás na jednosměrné komunikaci v místě napojení na okružní jízdní pás.

Zpevněná srpovitá krajnice – je záměrně nerovný zpevněný okraj vozovky v místě připojení nebo odpojení jízdního pruhu na/z okružního pásu křižovatky. Slouží pro ojedinelý pojezd vozidla s větším poloměrem zatáčení než jaký má připojovací pravostranný oblouk vjezdu/výjezdu na/z okružního pásu křižovatky.

Dělicí pás – je plocha ohraničená fyzicky nebo opticky vůči přilehlým dopravním pruhům, která na křižující komunikaci křižovatky odděluje jízdní pásy v délce nad 25 m od okružního jízdního pásu křižovatky. Minimální šířka dělicího pásu je 1,50 m, v odůvodněných případech 1,0 m.

Směrovací ostrůvek – je plocha ohraničená po celém svém obvodu fyzicky nebo opticky vůči přilehlým jízdním pruhům, která odděluje dopravní proud vozidel na okružním jízdním pásu od dopravního proudu vozidel na spojovací větvi (bypassu).

Dělicí ostrůvek – je plocha ohraničená na všech stranách fyzicky nebo opticky vůči přilehlým jízdním pruhům. Dělicí ostrůvek se umísťuje mezi protisměrnými jízdními pruhy/pásky v délce 5 – 25 m a tvoří zpomalovací (retardační) prvek před vjezdem do křižovatky. Slouží také ke zdvojenému osazení svislých dopravních značek, popřípadě i jako ochranný ostrůvek pokud je využíván pro přechod pěších.



Obr. 2. Popis prvků turbo-okružní křižovatky s fyzickým oddělením jízdních pruhů.

Paprsek okružní křižovatky – je jízdní pás (pásky v případě směrově rozdělené komunikace), kterým jsou propojeny pozemní komunikace v oblasti křižovatky na okružní jízdní pás a vzájemně mezi sebou.

Spojovací větev křižovatky (bypass) – je jízdní pruh nebo pás, který spojuje dva sousední paprsky okružní křižovatky mimo okružní jízdní pás křižovatky a umožňuje odlehčení křižovatky uskutečněním pravého odbočení po této spojovací větvi bez napojení na okružní jízdní pás křižovatky.

Průjezdnost – vyjadřuje fyzickou možnost průjezdu vozidel křižovatkou s ohledem na vlastnosti a rozměry vozidla a geometrické uspořádání a rozměry křižovatky, a to jak půdorysné, tak i výškové (ověřuje se vlečnými křivkami).

Směrodatné vozidlo – je největší vozidlo, na jehož jízdní parametry a rozměry se navrhuje geometrický tvar dané okružní křižovatky.

Dosahovaná rychlost na oblouku – je předpokládaná maximální rychlost vozidla stanovená pro určitý úsek trajektorie průjezdu křižovatkou na základě jejího poloměru a koeficientu příčného tření.

Koeficient příčného tření – proměnný parametr vozovky, který závisí na rychlosti, pneumatikách (měkkost, vzorek), stavu povrchu (suchý, mokrý, náledí) a charakteristikách povrchu (makrotextura, mikrotextura). Pro účely této metodiky, tzn. pro výpočet dosahované rychlosti na oblouku, je stanovena hodnota 0,35 pro rychlost do 20 km/h a 0,40 pro rychlost přes 20 km/h.

Příčné zrychlení – jedna ze složek určující velikost odstředivé síly, vypočte se jako podíl druhé mocniny rychlosti vozidla a poloměru oblouku.

3. SOUVISEJÍCÍ PŘEDPISY

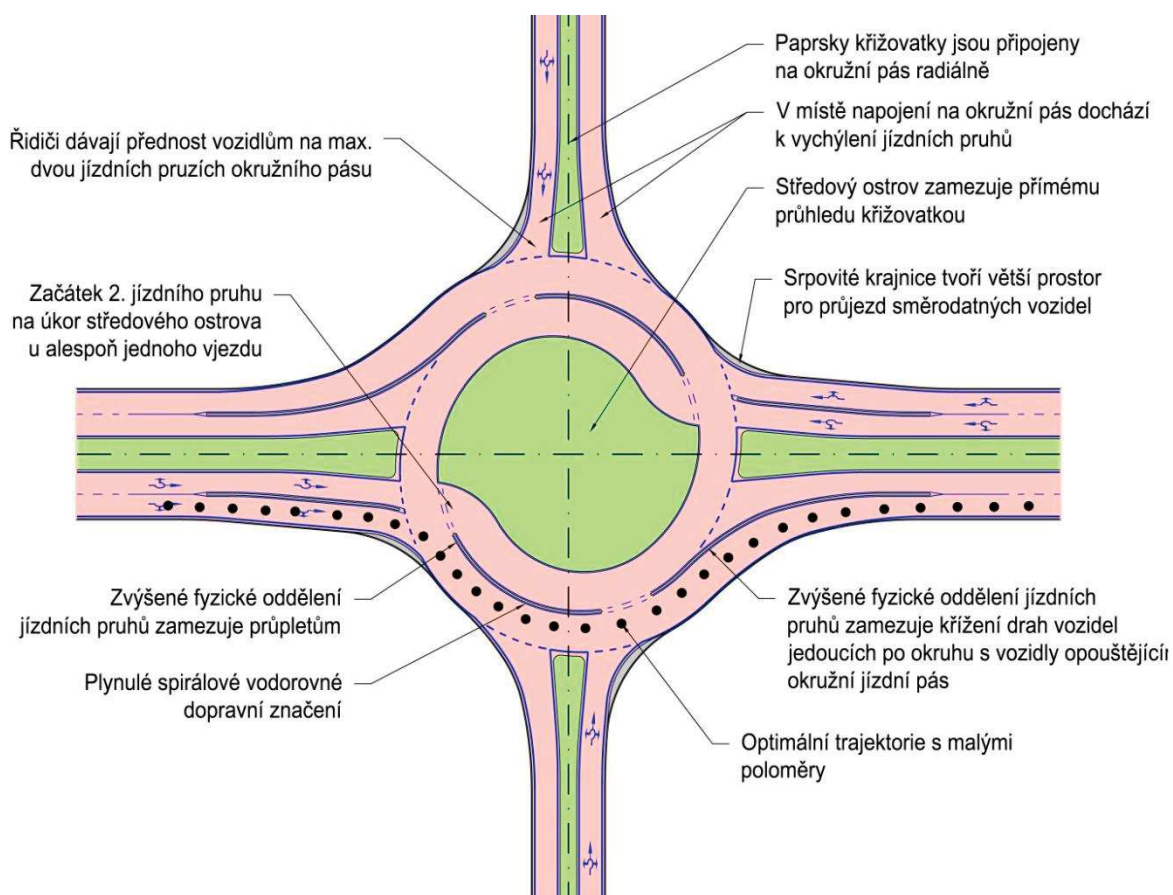
- Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích
- ČSN CEN/TR 13201 Osvětlení pozemních komunikací
- ČSN 73 6100 Názvosloví pozemních komunikací
- ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic (změna 1, změna 2)
- ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích (edice 2)
- ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací
- ČSN 73 6133 Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací
- TP 58 Směrové sloupky a odrazky – Zásady pro používání
- TP 65 Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích
- TP 100 Zásady pro orientační dopravní značení na PK
- TP 101 Výpočet svodidel
- TP 114 Svodidla na PK (zatížení, stanovení úrovně zadržení na PK, navrhování “jiných” svodidel, zkoušení a uvádění svodidel na trh)
- TP 128 Ocelové svodidlo NH4
- TP 133 Zásady pro vodorovné dopravní značení na PK
- TP 135 Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích
- TP 139 Betonové svodidlo
- TP 140 Dřevoocelová svodidla TERTU
- TP 159 Vodící stěny - roztřídění vodících stěn, požadavky na vodící stěny, použití a uvádění na trh
- TP 169 Zásady pro označování dopravních situací na pozemních komunikacích
- TP 188 Posuzování kapacity neřízených úroňových křižovatek
- TP 234 Posuzování kapacity okružních křižovatek
- TOLLAZZI, Tomaz. Alternative types of roundabouts. ISBN 978-331-9090-832.

4. ATRIBUTY TURBO-OKRUŽNÍCH KŘIŽOVATEK

Následující výčet návrhových prvků může být nazván základní v tom smyslu, že bez jejich aplikace nelze křižovatku považovat za turbo-okružní:

1. naproti alespoň jednomu vjezdu začíná druhý jízdní pruh okružního pásu na úkor středového ostrova
2. alespoň na dvou paprscích turbo-okružní křižovatky se čtyřmi paprsky musí být vjezdy, na kterých dávají řidiči přednost vozidlům na dvou jízdních pruzích okružního pásu
3. alespoň na jednom paprsku turbo-okružní křižovatky se třemi paprsky musí být vjezd, na kterém dávají řidiči přednost vozidlům na dvou jízdních pruzích okružního pásu
4. nesmí nastat uspořádání, ve kterém by řidiči na vjezdu museli dávat přednost vozidlům na třech a více jízdních pruzích okružního pásu
5. spirálové vodorovné dopravní značení plynule vede vozidla od vjezdu po výjezd bez potřeby průpletů a bez umožnění křížení dráhy vozidel jedoucích po okruhu s vozidly opouštějícími okružní pás
6. fyzické oddělení jízdních pruhů doporučené výšky 40 mm nad vozovkou na okružním pásu zajišťuje jednak optimální zakřivení jízdní dráhy s malým poloměrem a jednak používání zvoleného jízdního pruhu po celou dobu průjezdu křižovatkou.

0 popisuje hlavní atributy turbo-okružních křižovatek, které je nezbytné dodržet při jejich konstrukci.



Obr. 3. Atributy turbo-okružní křižovatky.

5. ROZDĚLENÍ TURBO-OKRUŽNÍCH KŘIŽOVATEK

Metodika zavádí 7 typů turbo-okružních křižovatek, které se liší jednak počtem paprsků a jednak počtem jízdnic pruhů na jednotlivých paprscích a okružním jízdnicím pásem v závislosti na rozložení intenzit dopravy. Rozložení intenzit dopravy je u každého typu znázorněno poměrově černými šipkami.

Čtyřpaprskové turbo-okružní křižovatky:

- Turbo-okružní křižovatka typu vejce (viz Obr. 4)
- Základní turbo-okružní křižovatka (viz Obr. 5)
- Turbo-okružní křižovatka typu koleno (viz Obr. 6)
- Spirálová turbo-okružní křižovatka (viz Obr. 7)
- Rotorová turbo-okružní křižovatka (viz Obr. 8)

Třípaprskové turbo-okružní křižovatky:

- Turbo-okružní křižovatka typu propnuté koleno (viz Obr. 9)
- Turbo-okružní křižovatka typu hvězda (viz Obr. 10)

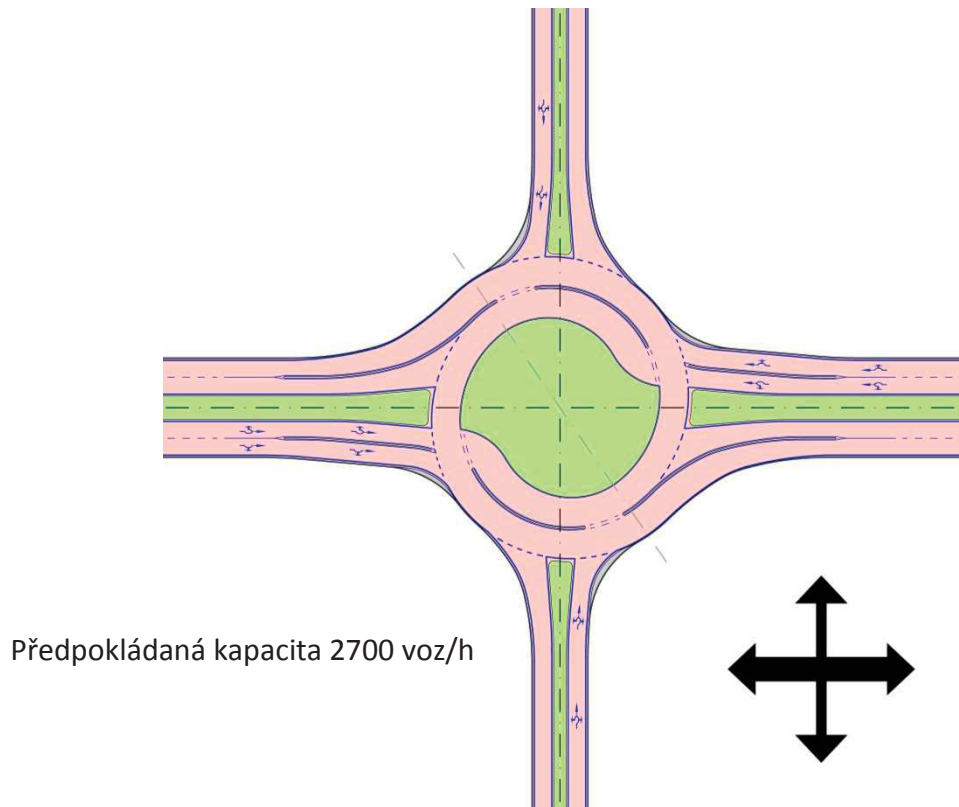
Vícepaprskové turbo-okružní křižovatky jsou křižovatky s více než 4 paprsky. Jedná se o atypické řešení, u kterého je třeba zajistit dostatečný vnější průměr pro napojení všech paprsků.

Podle velikosti dále rozdělujeme výše uvedené typy turbo-okružních křižovatek na (rozměry viz Tab. 1):

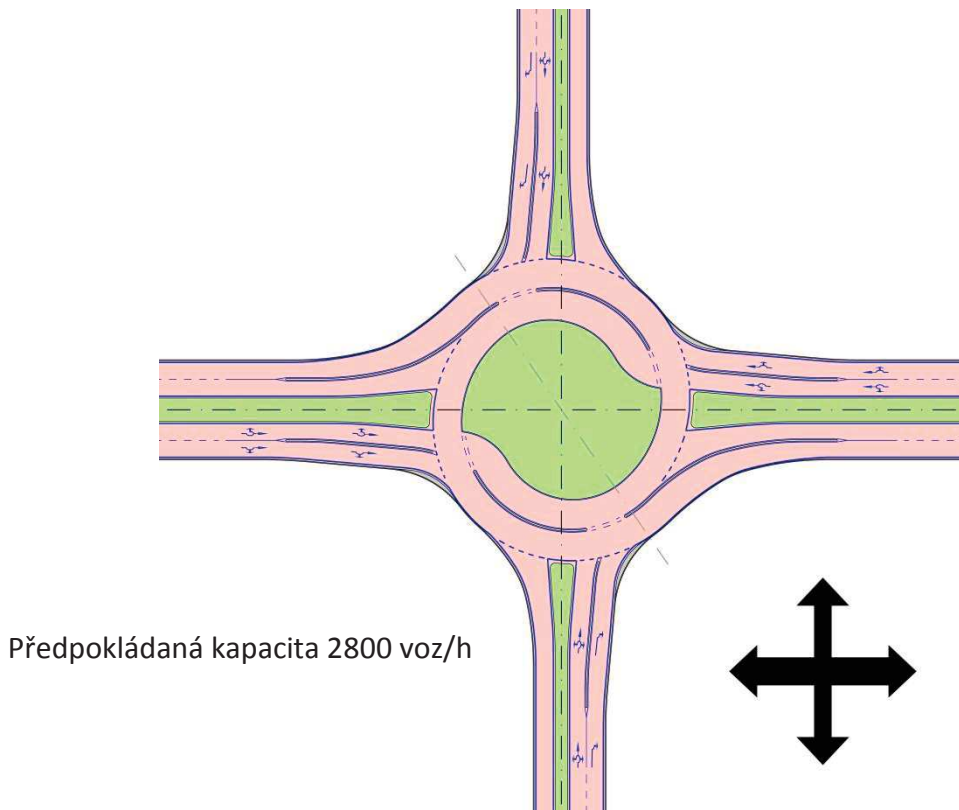
- malé
- malé standardní
- standardní
- velké

Faktory ovlivňující výběr typu a velikosti turbo-okružní křižovatky jsou následující:

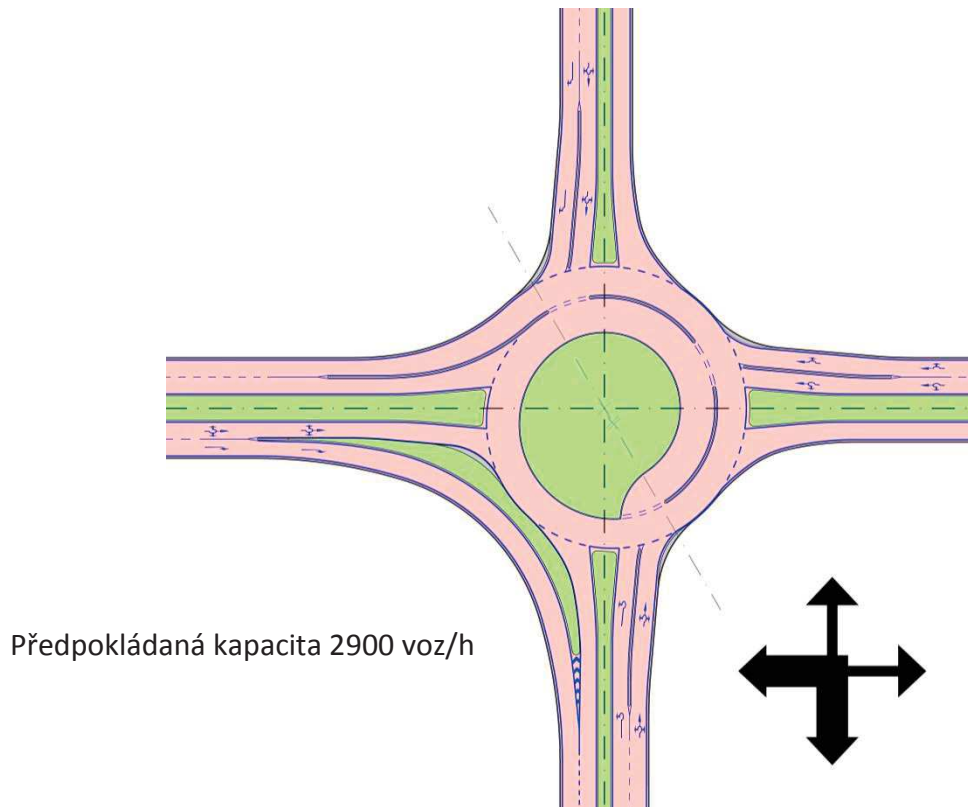
- počet připojovaných paprsků
- rozložení intenzit dopravy
- požadovaná průměrná doba zdržení
- prostorové možnosti a zábory pozemků
- náklady na výstavbu



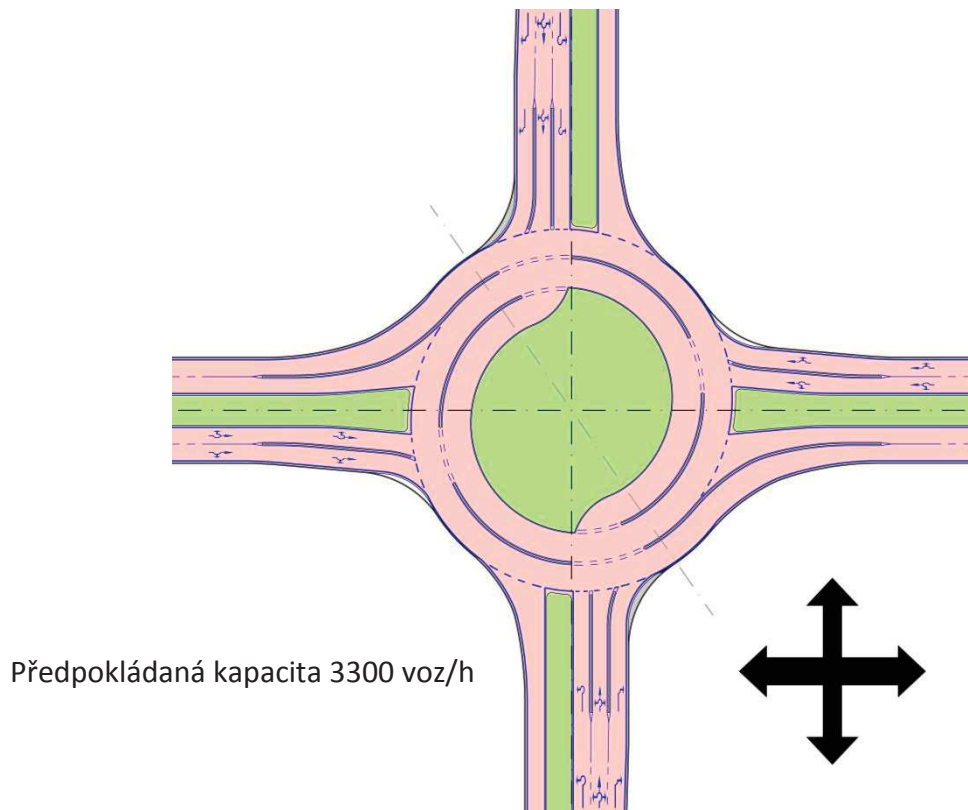
Obr. 4. Turbo-okružní křižovatka typu vejce.



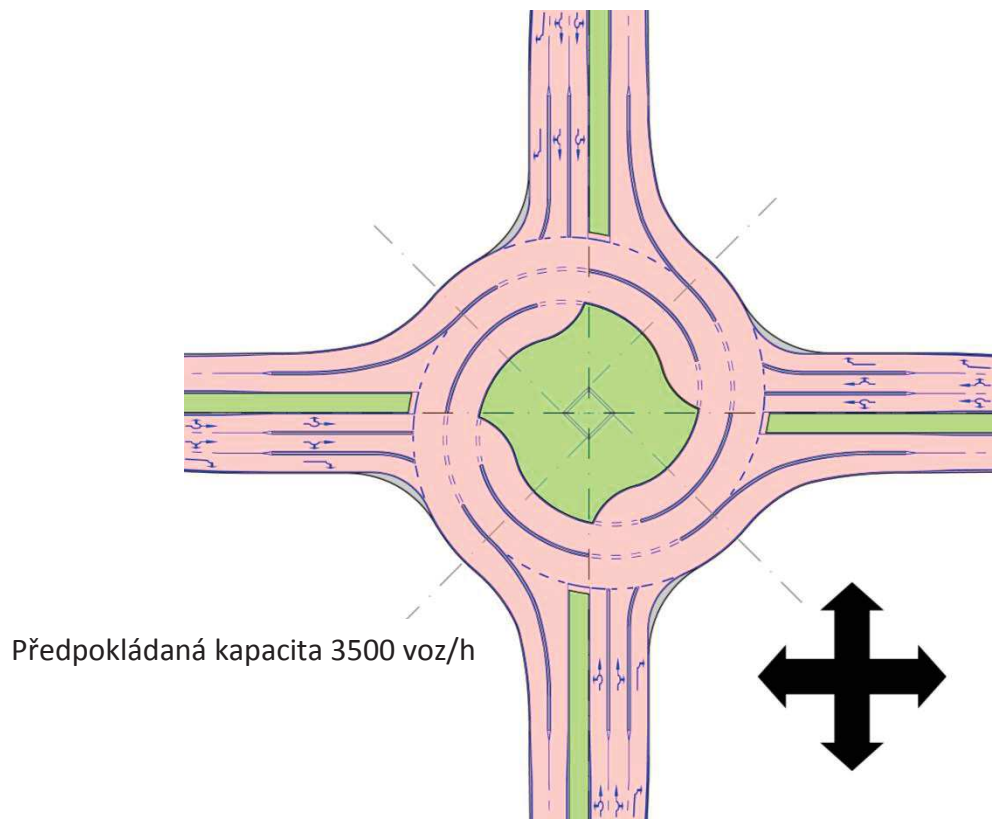
Obr. 5. Základní turbo-okružní křižovatka.



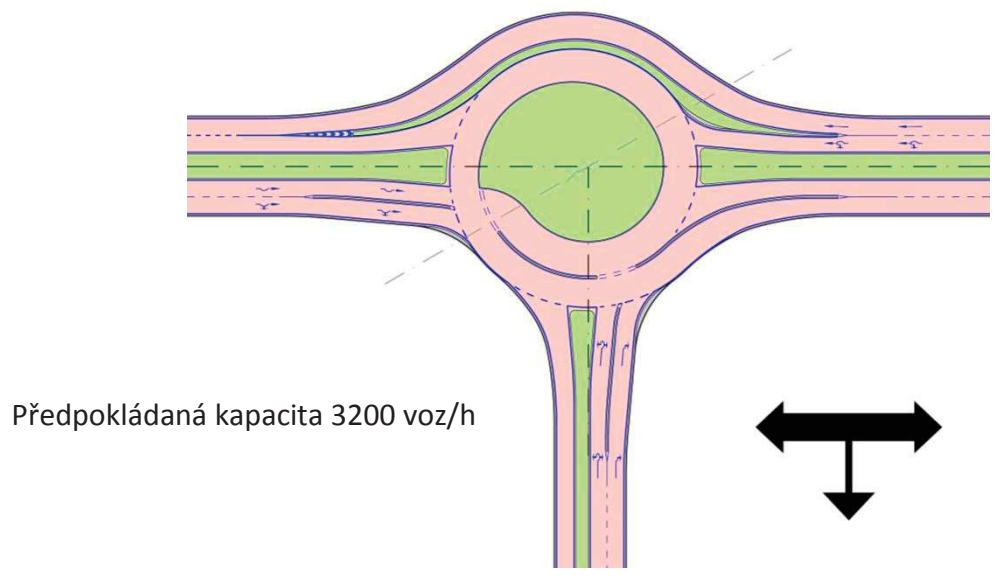
Obr. 6. Turbo-okružní křižovatka typu koleno.



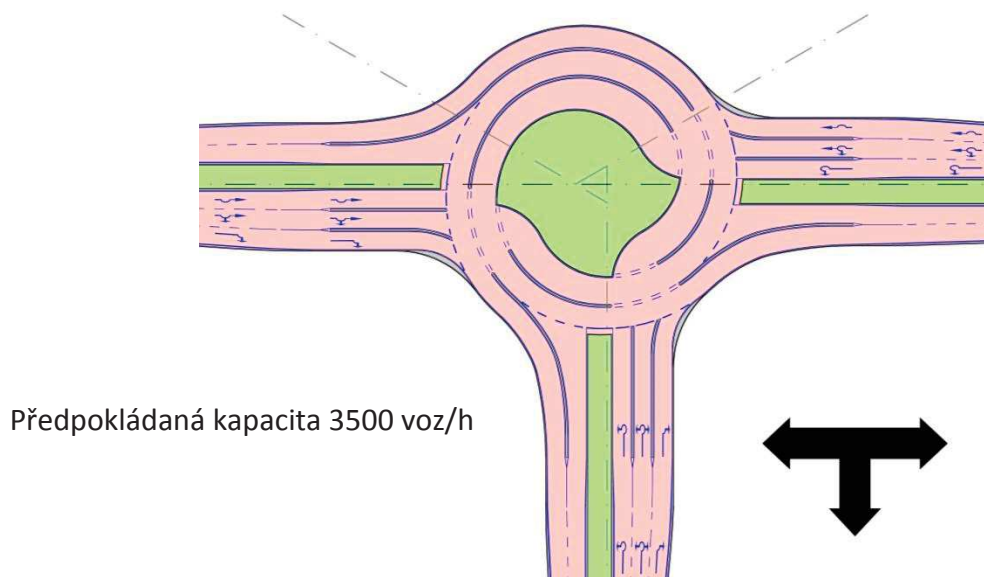
Obr. 7. Spirálová turbo-okružní křižovatka.



Obr. 8. Rotorová turbo-okružní křižovatka.



Obr. 9. Turbo-okružní křižovatka typu propnuté koleno.



Obr. 10. Turbo-okružní křižovatka typu hvězda.

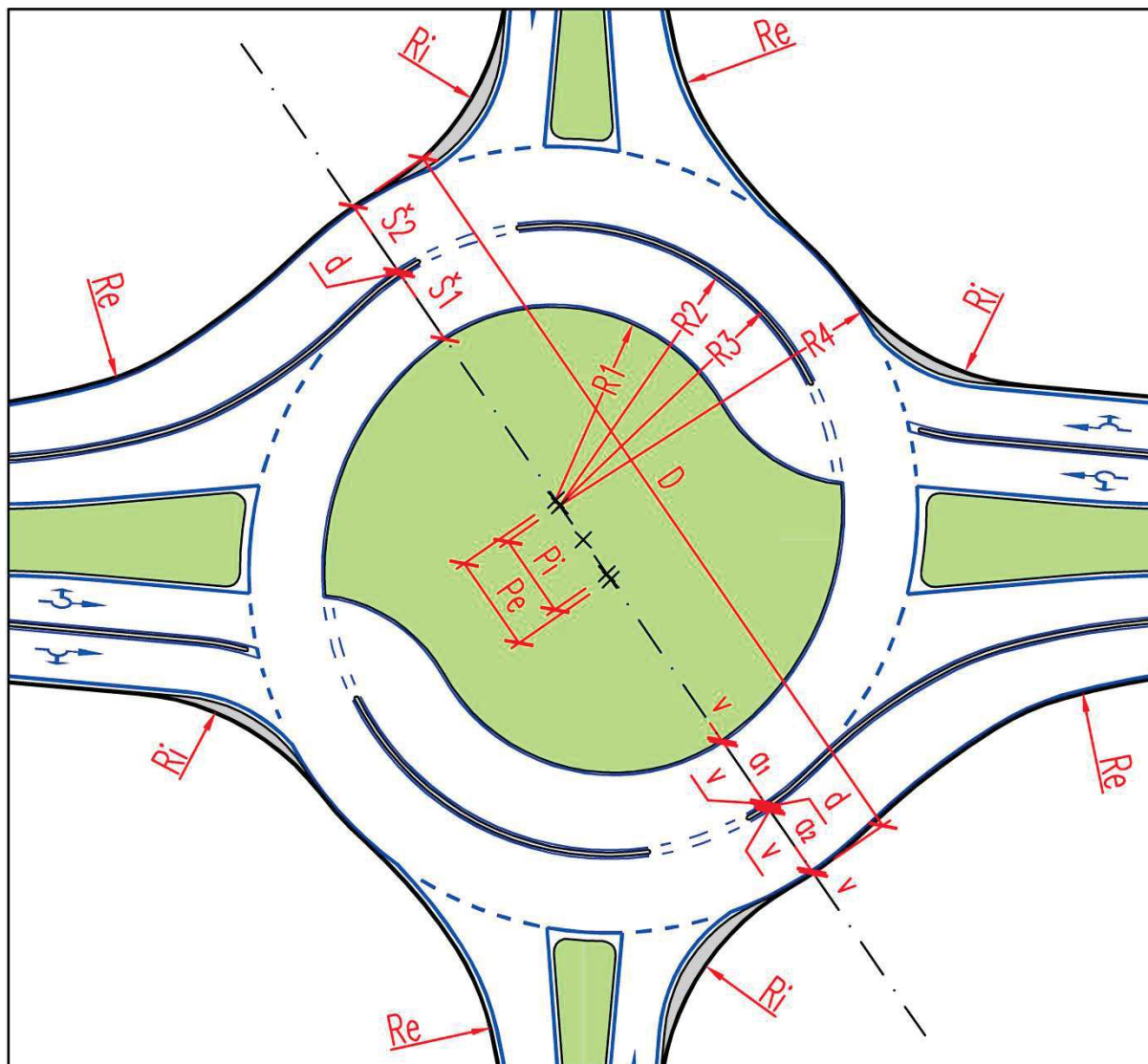
Použití turbo-okružní křižovatky typu hvězda (viz Obr. 10), spirálové a rotorové turbo-okružní křižovatky (viz Obr. 7 a Obr. 8) se doporučuje zvážit kvůli jejich komplikovanosti a obtížné orientaci řidičů. Rovněž nutnost dávat přednost vozidlům na dvou jízdnicích na okružním jízdnicím pásu způsobuje na již realizovaných křižovatkách v zahraničí dopravní problémy.

V budoucnosti, jakmile se řidiči obeznámí s těmito typy křižovatek a osvojí si jejich využívání, se uplatní především pro velké okružní křižovatky s vnějším průměrem $D > 60,0$ m, případně pro světelně řízené turbo-okružní křižovatky.

Tab. 1 Tabelaované rozměry návrhových prvků pro základní turbo-okružní křižovatku a typ vejce (rozměry jednotlivých prvků jsou patrné z Obr. 11)

Prvek TOK	Ozn.	Rozměry			
		Malá TOK	Malá standardní TOK	Standardní TOK	Velká TOK
Vnější průměr turbo okružní křižovatky [m]	D	< 56,0	56,0 – 60,0	60,0 – 65,0	> 65,0
Vnitřní vozovka, vnitřní okraj [m]	R1	10,500	12,000	15,000	20,000
Vnitřní vozovka, vnější okraj [m]	R2	17,850	18,975	21,550	25,950
Vnější vozovka, vnitřní okraj [m]	R3	18,150	19,275	21,850	26,250
Vnější vozovka, vnější okraj [m]	R4	24,550	25,525	27,850	31,900
Šířka vnitřní vozovky [m]	Š1	8,30	7,70	7,10	6,25
Šířka vnější vozovky [m]	Š2	6,40	6,25	6,00	5,65
Šířka vnitřního jízdního pruhu [m]	a ₁	7,80	7,20	6,60	5,75
Šířka vnějšího jízdního pruhu [m]	a ₂	5,90	5,75	5,50	5,15
Vodící proužek [m]	v	0,25	0,25	0,25	0,25
Fyzické oddělení jízdních pruhů [m]	d	0,30	0,30	0,30	0,30
Posun vnější (vzdálenost vnějších středů) [m]	Pe	8,60	8,00	7,40	6,55
Posun vnitřní (vzdálenost vnitřních středů) [m]	Pi	6,70	6,55	6,30	5,95
Poloměr zaoblení na vjezdu [m]	R _i	20,00	20,00	20,00	20,00
Poloměr zaoblení na výjezdu [m]	R _{e1}	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0
Poloměr zaoblení fyzického oddělení na výjezdu [m]	R _{e2}	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0
Dosahovaná rychlost průjezdu dle ČSN 73 6102 [km/h]	v ₁	19-27	20-28	20-29	20-30

Poznámka: Natočení translační osy je popsáno v kapitole 6.1.



Obr. 11. Rozměry uvedené v Tab. 1.

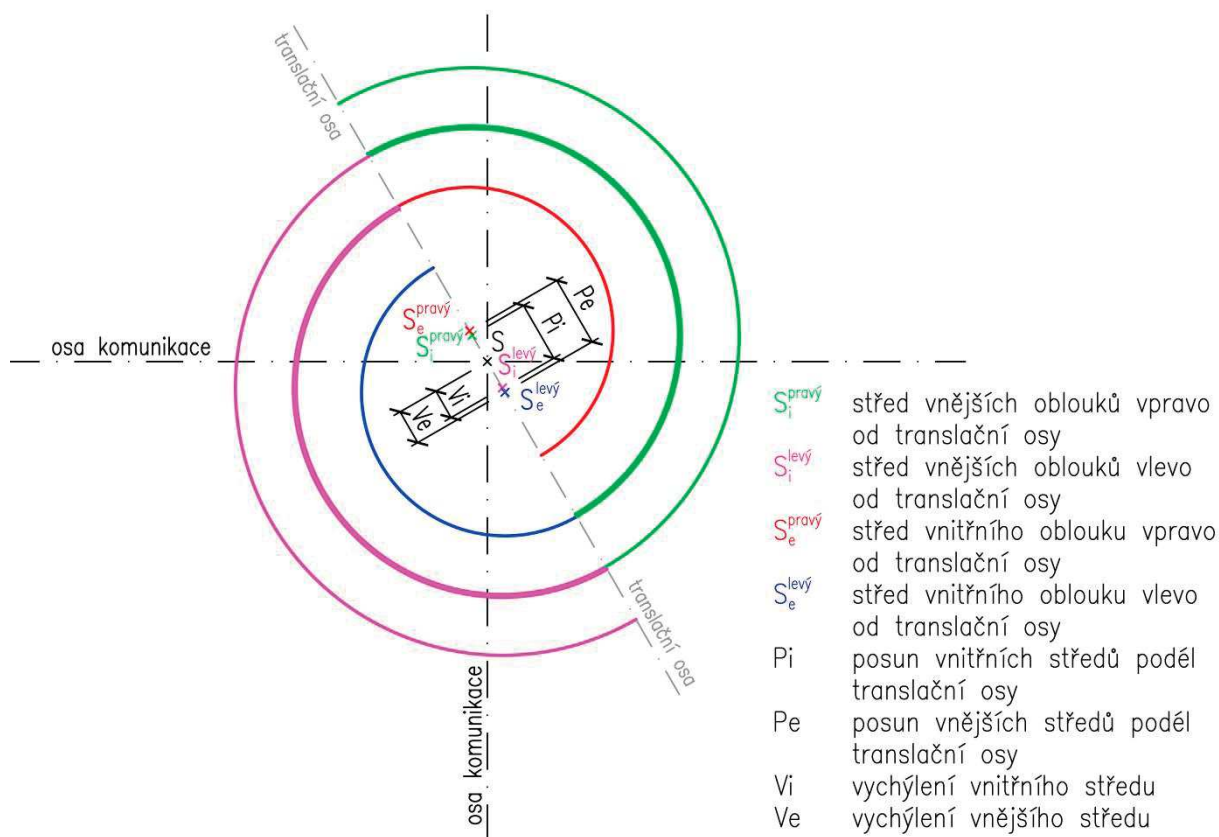
6. GEOMETRIE TURBO-OKRUŽNÍCH KŘIŽOVATEK

Turbo-okružní křižovatky se skládají ze spirál. Tyto spirály tvoří kruhové segmenty (1/2, 1/3, nebo 1/4 kruhu dle typu křižovatky), kde každý oblouk má větší poloměr než ten předchozí. Vždy, když se poloměr oblouku mění, se střed oblouku posune na translační ose o odpovídající hodnotu tak, aby křivka zůstávala spojitá.

Idealizovaná geometrie **turbo-okružní křižovatky typu vejce** (viz Obr. 4) sestává ze dvou spirál, které představují okraje vozovek. Každá spirála sestává ze tří půlkruhů s postupně většími poloměry R_1 , R_2 a R_4 , přičemž poloměry R_2 a R_3 vytváří fyzické oddělení jízdních pruhů. Půlkruhy se setkávají na linii, která se nazývá *translační osa*. Oblouky na pravé straně translační osy mají střed v bodě $S^{\text{pravý}}$, který se nachází nad celkovým středem turbo-okružní křižovatky S . Oblouky na levé straně translační osy mají střed v bodě $S^{\text{levý}}$, který se nachází pod celkovým středem turbo-okružní křižovatky. Vzdálenost mezi těmito středy oblouků se nazývá *posun podél translační osy*. *Vychýlení oblouku* je potom vzdálenost od jeho středu ($S^{\text{pravý}}$ nebo $S^{\text{levý}}$) k celkovému středu S . Zároveň je tato hodnota rovna

polovině *posunu podél translační osy*. Aby spirála byla spojitá, *posun podél translační osy* musí být roven změně poloměru.

V ideálním případě je *posun podél translační osy* roven šířce jízdního pruhu, protože průběh spirály směřuje ven od středového ostrova o šířku jednoho jízdního pruhu každých 180°. Schéma ukazující tyto spirály (viz Obr. 12) se nazývá *turboblok* a tvoří základ při konstrukci geometrie turbo-okružní křižovatky. Jedná se o uskupení všech oblouků potřebných poloměrů, které je nutné určitým způsobem uspořádat tak, aby byly získány linie okrajů vozovek nebo jízdních pruhů na okružním pásu.



Obr. 12. Schéma geometrie turbo-okružní křižovatky, tzv. turboblok.

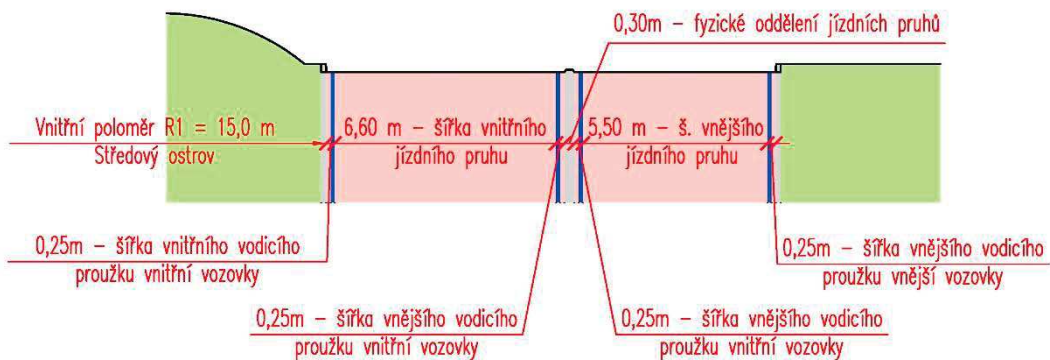
6.1 POSTUP NÁVRHU

6.1.1 Turbo-okružní křižovatka typu vejce

Proces návrhu geometrie turbo-okružní křižovatky se skládá z pěti kroků aplikovaných na příkladu turbo-okružní křižovatky standardní velikosti typu vejce s vnějším průměrem $D=62,0$ m. Grafické znázornění postupu konstrukce je uvedeno krok za krokem na Obr. 19.

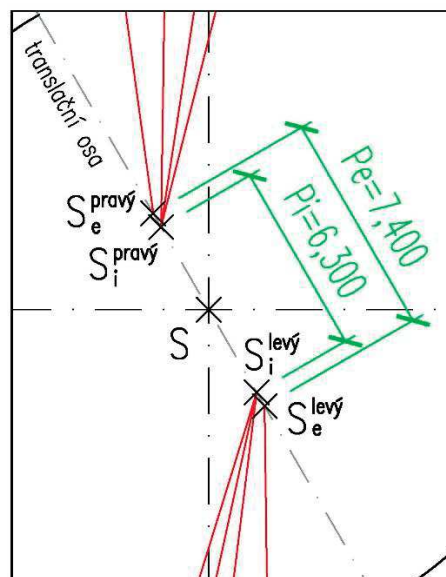
Krok 1 - výběr šířek základních prvků – vnitřní poloměr (poloměr středního ostrova), vnitřní a vnější okružní jízdní pruh, fyzické oddělení jízdních pruhů a vodicí proužky viz Obr. 13. Šířky jízdních pruhů by měly být určeny pomocí vlečných křivek návrhového vozidla nebo dle normy ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích. Šířka vnitřního jízdního pruhu (6,60 m měřeno od vnitřních okrajů vodicích proužků nebo 7,10 m měřeno od okraje vozovky po fyzické oddělení

jízdních pruhů) je o 1,10 m větší než šířka pruhu vnějšího, protože čím menší je poloměr oblouku, kterým musí vozidlo projet, tím širší jsou vlečné křivky tohoto vozidla.

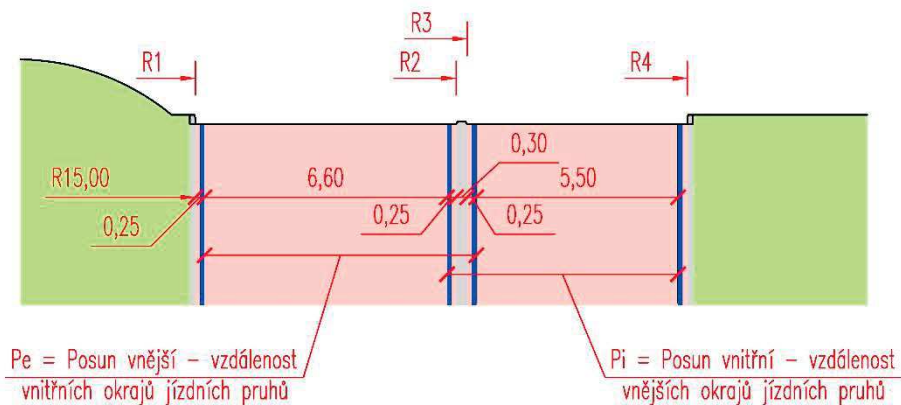


Obr. 13. Popis prvků šířkového uspořádání na příkladu turbo-okružní křižovatky typu vejce s vnějším průměrem $D=62,0$ m.

Krok 2 - určení posunu jízdních pruhů a z toho vyplývající vychýlení pro vykreslení půlkruhových oblouků. Požadovaná geometrie spirál je komplikována nutností započítat odlišné šířky jízdních pruhů a šířku fyzického oddělení jízdních pruhů. Namísto jednoho středu $S^{\text{pravý}}$ pro půlkruhové oblouky na pravé straně translační osy se tak použijí dva pravostranné středy, jeden s mírně větším vychýlením než druhý. Střed s větším vychýlením $S_e^{\text{pravý}}$ se použije pro vnitřní půlkruh ($R_1=15,00$ m) za účelem vytvoření přechodu od vnitřního okraje k fyzickému oddělení jízdních pruhů. Vnitřní střed $S_i^{\text{pravý}}$ se použije pro vytvoření zbytku spirály pomocí poloměrů $R_2=21,55$ m, $R_3=21,85$ m a $R_4=27,85$ m. Středy $S_e^{\text{pravý}}$ a $S_i^{\text{pravý}}$ jsou zobrazeny na schématech turbobloku, viz Obr. 14, Obr. 16. Taktéž oblouky na levé straně translační osy mají dva středy $S_i^{\text{levý}}$ a $S_e^{\text{levý}}$, které jsou stejně vzdáleny od středu S jako středy $S_i^{\text{pravý}}$ a $S_e^{\text{pravý}}$.



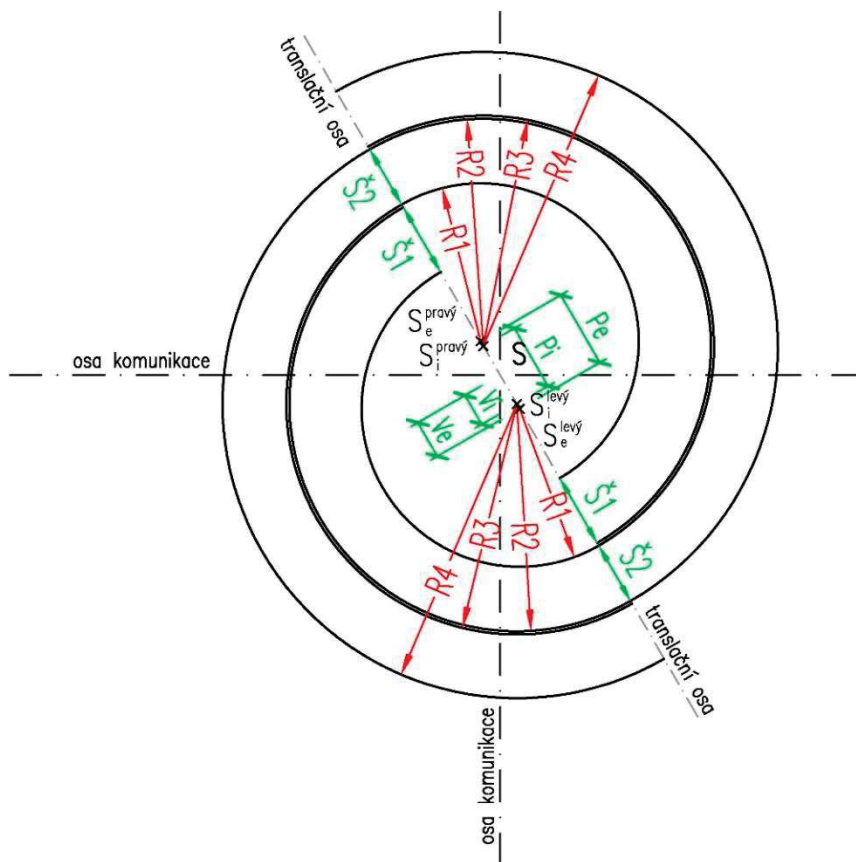
Obr. 14. Detail středů oblouků turbo-okružní křižovatky.



Obr. 15. Šířkové uspořádání okružního jízdnicího pásu turbo-okružní křižovatky typu vejce s vnějším průměrem $D=62,0$ m a vyznačení poloměrů a posunů.

Posun podél translační osy se vypočítá z náčrtu příčného řezu, viz Obr. 15. Vnitřní okraj vnitřního jízdnicího pruhu se musí odsunout o **7,40 m** od okraje vodícího proužku směrem k fyzickému oddělení jízdnicí pruhů. Stejně tak je zřejmé, že vnější okraj vnitřního jízdnicího pruhu se posune o **6,30 m** od fyzického oddělení jízdnicí pruhů k vnějšku turbo-okružní křižovatky.

Krok 3 - výpočet poloměru kruhových oblouků a sestavení turbobloku. Na Obr. 16 jsou zakresleny oblouky reprezentující okraje vozovky, jejichž poloměry označujeme R_1 až R_4 . Postup výpočtu poloměrů je popsán v Tab. 2.



Obr. 16. Jednotlivé rozměry a poloměry turbobloku s fyzickým oddělením jízdnicí pruhů.

Krok 4 - pootočení a posunutí turbobloku tak, aby navazoval na jednotlivé paprsky křižovatky. Obr. 17 ukazuje správnou pozici translační osy za předpokladu, že převládající dopravní intenzity jsou ve směru východ – západ. Vzdálenost mezi pravým okrajem zpevnění každého vjezdu a vnějším obloukem vnitřní vozovky okružního pásu (poloměr R_2) by měla být za předpokladu správného umístění translační osy přibližně stejná (hodnota A je blízká hodnotě B, viz Obr. 17).

Krok 5 - zaoblení vjezdových a výjezdových hran (viz Obr. 18)

- vjezd
 - vnější okraj srpovité krajnice - prostý kružnicový oblouk $R=20,0$ m
 - vnitřní okraj srpovité krajnice - prostý kružnicový oblouk $R=12,0$ m
 - fyzické oddělení jízdních pruhů - prostý kružnicový oblouk $R=20,0$ m
- výjezd
 - vnější okraj vozovky - složený kružnicový oblouk s poloměry $R_1:R_2:R_3 = 40:20:60$ m
 - fyzické oddělení jízdních pruhů - složený kružnicový oblouk s poloměry $R_1:R_2:R_3 = 40:20:60$ m

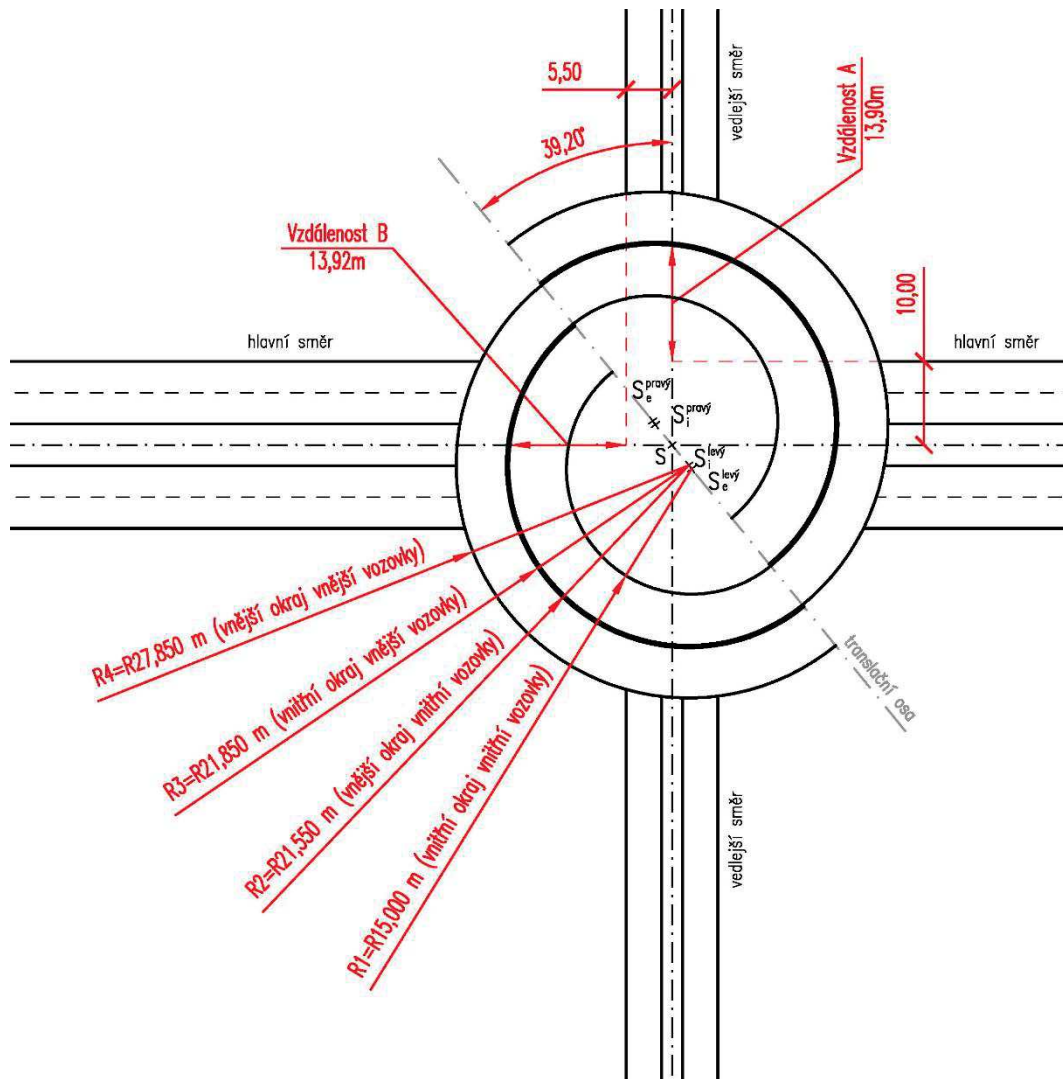
V místě napojení paprsku křižovatky na okružní jízdní pás je vhodné provést mírné vychýlení jízdních pruhů na vjezdu i výjezdu (cca 5° směrem od osy paprsku). Tím se zajistí zpomalení vozidel přijíždějících k okružnímu jízdnímu pásu, usnadní průjezd rozměrných vozidel a oddálí vjezdy od výjezdů. Tato úprava má pozitivní vliv na kapacitu turbo-okružní křižovatky.

Tab. 2 Rozměry a poloměry turbobloku turbo-okružní křižovatky základní a typu vejce s vnějším průměrem $D=62,0\text{ m}$

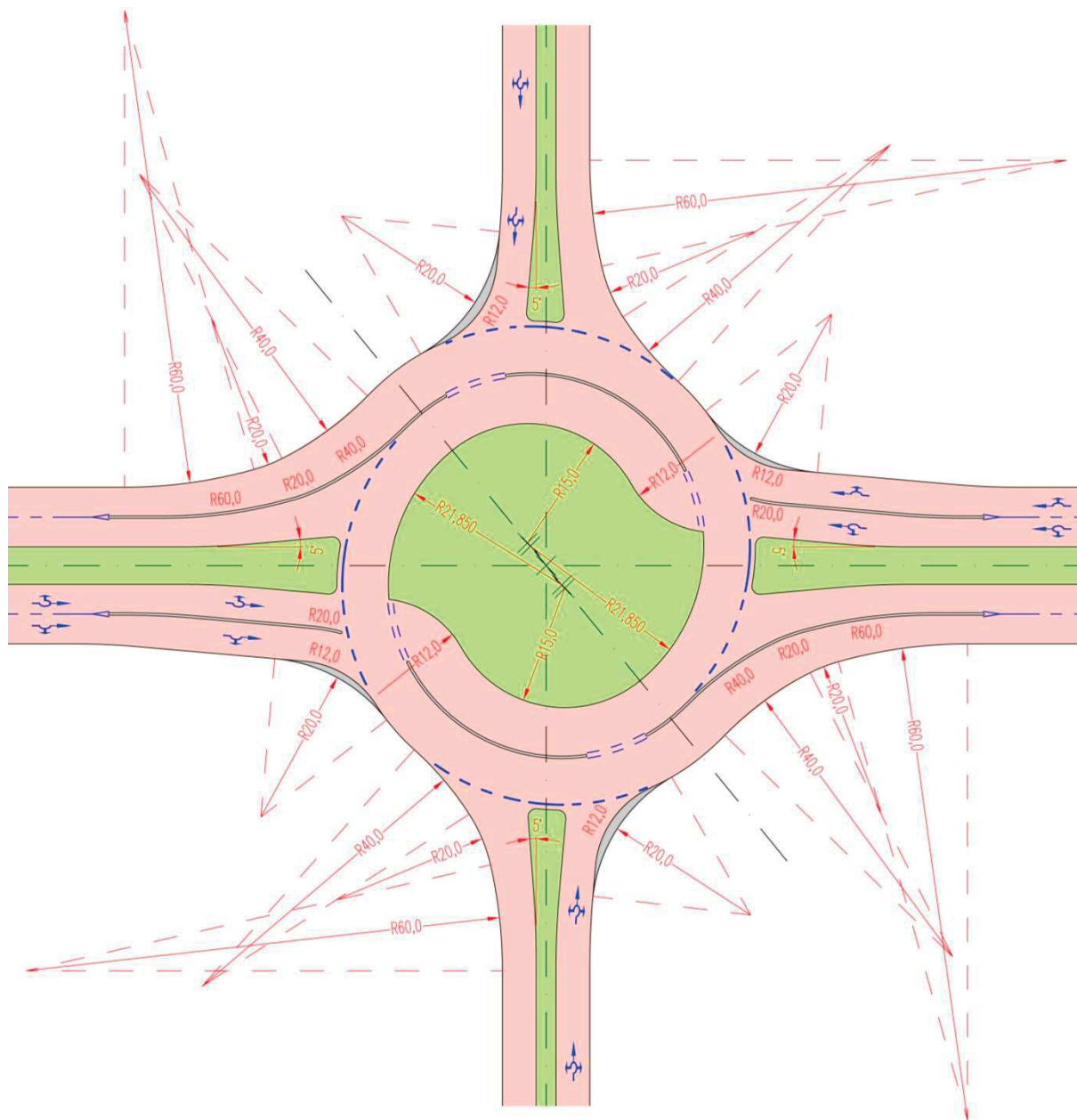
Šířkové uspořádání příčného řezu	Šířka [m]				
Vnitřní poloměr	15,00				
Vnitřní vodicí proužek vnitřního jízdního pruhu	0,25	} Š1	} Pe	} Pi	
Vnitřní jízdní pruh	6,60				
Vnější vodicí proužek vnitřního jízdního pruhu	0,25				
Fyzické oddělení jízdních pruhů	0,30				
Vnitřní vodicí proužek vnějšího jízdního pruhu	0,25	} Š2			
Vnější jízdní pruh	5,50				
Vnější vodicí proužek vnějšího jízdního pruhu	0,25				
Šířky vozovek, posunutí podél translační osy a vychýlení					
Š1 = Šířka vnitřní vozovky	7,10				
Š2 = Šířka vnější vozovky	6,00				
Pe = Posun vnější (vzdálenost vnitřních okrajů jízdních pruhů)	7,40				
Pi = posun vnitřní (vzdálenost vnějších okrajů jízdních pruhů)	6,30				
Ve = vychýlení vnější = $Pe / 2$ (pro R1)	3,700				
Vi = vychýlení vnitřní = $Pi / 2$ (pro ostatní R)	3,150				
Rozdíl vychýlení	0,550				
Poloměry okrajů vozovek	vychýlení středu oblouku	poloměr	počáteční pozice	koncová pozice	
R1 = vnitřní vozovka, vnitřní okraj	3,700	15,000	11,300	18,700	¹⁾
R2 = vnitřní vozovka, vnější okraj	3,150	21,550	18,400	24,700	²⁾
Rozdíly			7,100	6,000	³⁾
R3 = vnější vozovka, vnitřní okraj	3,150	21,850	18,700	25,000	⁴⁾
R4 = vnější vozovka, vnější okraj	3,150	27,850	24,700	31,000	⁵⁾

Poznámky:

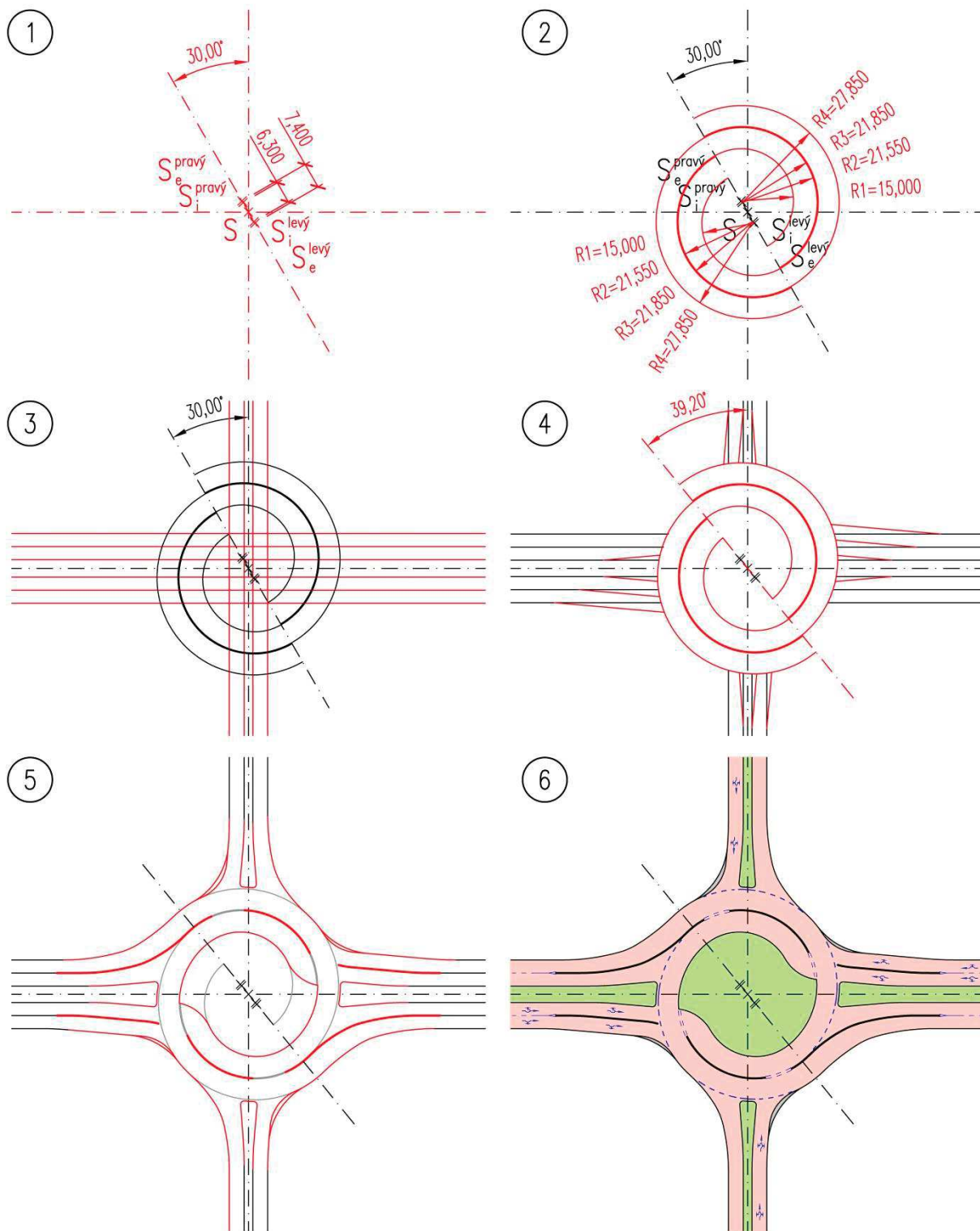
- ⁹⁾ Pozice je vztažena k celkovému středu S
- ¹⁰⁾ Počáteční pozice = poloměr – vychýlení
- ¹¹⁾ Koncová pozice = poloměr + vychýlení
- ¹²⁾ R1 = vnitřní poloměr
- ¹³⁾ R2 = R1 + Š1 šířka vnitřní vozovky – rozdíl vychýlení
- ¹⁴⁾ Rozdíly odpovídají šířkám vozovek
- ¹⁵⁾ R3 = R2 + šířka fyzického oddělení jízdních pruhů
- ¹⁶⁾ R4 = R3 + Š2 šířka vnější vozovky



Obr. 17. Kontrola pozice translační osy.



Obr. 18. Zaoblení vjezdových a výjezdových nároží.



Obr. 19. Grafické znázornění postupu konstrukce turbo-okružní křižovatky typu vejce s vnějším průměrem $D=62,0$ m.

6.2 NAVRHOVÁNÍ OSTATNÍCH TYPŮ TURBO-OKRUŽNÍCH KŘIŽOVATEK

Výše popsany postup návrhu turbo-okružní křižovatky typu vejce je rovněž použitelný pro základní turbo-okružní křižovatku, která má také dva pruhy na okružním pásu vytvořené ze dvou spirál. Ostatní typy turbo-okružních křižovatek mají odlišné uspořádání spirál, a proto vyžadují modifikace v návrhu geometrie.

6.2.1 Turbo-okružní křižovatka typu koleno a typu propnuté koleno

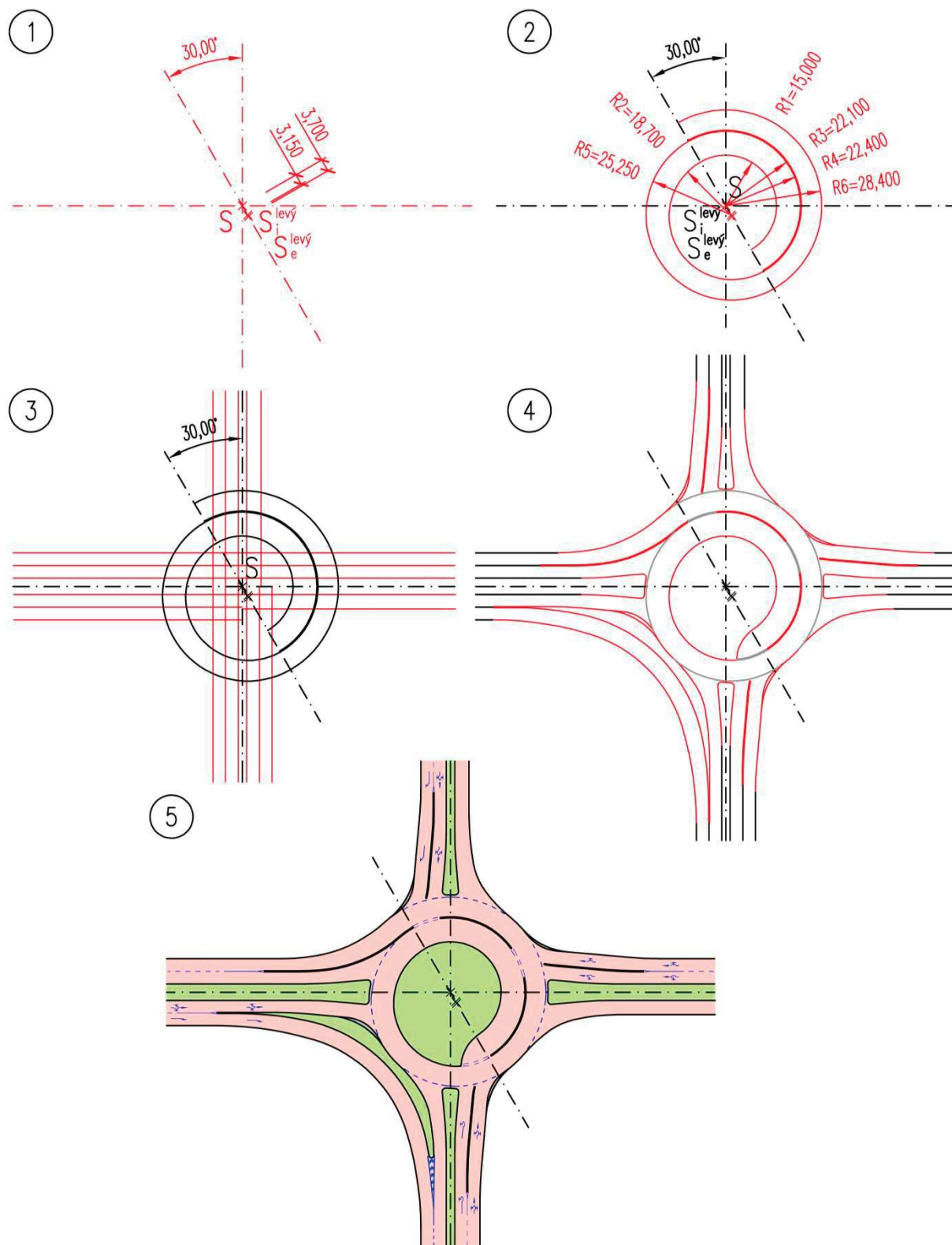
Konstrukce turbo-okružních křižovatek typu „koleno“ a „propnuté koleno“ (viz Obr. 6 a Obr. 9) je založena na jedné spirále. Spirála se tudíž posunuje pouze o polovinu šířky jízdního pruhu v každém půlkruhu, a proto mají tyto křižovatky jednodušší turboblok. Středů oblouků této spirály se posunují o polovinu posunu základní turbo-okružní křižovatky. Postup konstrukce je naznačen na Obr. 20 a Obr. 21. U těchto typů turbo-okružních křižovatek není třeba měnit natočení translační osy, ponechává se počáteční úhel 30°. Výpočet parametrů turbobloku je uveden v Tab. 3 a Tab. 4.

Tab. – 3 Rozměry a poloměry turbobloku turbo-okružní křižovatky typu koleno s vnějším průměrem $D=56,9$ m

Šířkové uspořádání příčného řezu	Šířka [m]				
Vnitřní poloměr	15,00				
Vnitřní vodící proužek vnitřního jízdního pruhu	0,25	} Š1			
Vnitřní jízdní pruh	6,60				
Vnější vodící proužek vnitřního jízdního pruhu	0,25				
Fyzické oddělení jízdních pruhů	0,30				
Vnitřní vodící proužek vnějšího jízdního pruhu	0,25	} Š2			
Vnější jízdní pruh	5,55				
Vnější vodící proužek vnějšího jízdního pruhu	0,25				
Šířka směrovacího ostrůvku	min. 1,50				
Šířky vozovek, posunutí podél translační osy a vychýlení					
Š1 = Šířka vnitřní vozovky	7,10	¹⁾			
Š2 = Šířka vnější vozovky	6,00	²⁾			
Š3 = Šířka vozovky bypassu	-	³⁾			
Ve = vychýlení vnější (pro R1 a R2)	3,700	⁴⁾			
Vi = vychýlení vnitřní (pro ostatní R)	3,150	⁵⁾			
Poloměry okrajů vozovek	vychýlení středu oblouku	poloměr	počáteční pozice	koncová pozice	⁶⁾ ⁷⁾ ⁸⁾
R1 = vnitřní vozovka, vnitřní okraj	0,000	15,000	15,000	15,000	⁹⁾
R2 = vnitřní vozovka, vnitřní okraj	3,700	18,700	15,000	22,400	¹⁰⁾
R3 = vnitřní vozovka, vnější okraj	0,000	22,100	22,100	22,100	¹¹⁾
R4 = vnější vozovka, vnitřní okraj	0,000	22,400	22,400	22,400	¹²⁾
R5 = vnitřní vozovka, vnější okraj	3,150	25,250	22,100	28,400	¹³⁾
R6 = vnější vozovka, vnější okraj	0,000	28,400	28,400	28,400	¹⁴⁾

Poznámky:

- 1) $\check{S}1$ = Vnitřní vodící proužek vnitřního jízdního pruhu + Vnitřní jízdní pruh + Vnější vodící proužek vnitřního jízdního pruhu
- 2) $\check{S}2$ = Vnitřní vodící proužek vnitřního jízdního pruhu + Vnější jízdní pruh + Vnější vodící proužek vnitřního jízdního pruhu
- 3) **Šířka vozovky bypassu $\check{S}3$** se určí dle normy ČSN 73 6102 na základě poloměru vnitřní hrany jízdního pruhu bypassu
- 4) $V_e = \check{S}1/2$ + Fyzické oddělení jízdních pruhů / 2
- 5) $V_i = \check{S}2/2$ + Fyzické oddělení jízdních pruhů / 2
- 6) Pozice je vztažena k celkovému středu S
- 7) Počáteční pozice = poloměr – vychýlení
- 8) Koncová pozice = poloměr + vychýlení
- 9) $R1$ = vnitřní poloměr
- 10) $R2 = R1 + \text{Vychýlení vnější } V_e$
- 11) $R3 = R2 + \text{Vychýlení vnější } V_e - \text{Fyzické oddělení jízdních pruhů}$
- 12) $R4 = R2 + \text{Vychýlení vnější } V_e + \text{Fyzické oddělení jízdních pruhů}$
- 13) $R5 = R3 + \text{Vychýlení vnitřní } V_i$
- 14) $R6 = R5 + \text{Vychýlení vnitřní } V_i$



Obr. 20. Grafické znázornění postupu konstrukce turbo-okružní křižovatky typu koleno s vnějším průměrem $D=56,9$ m.

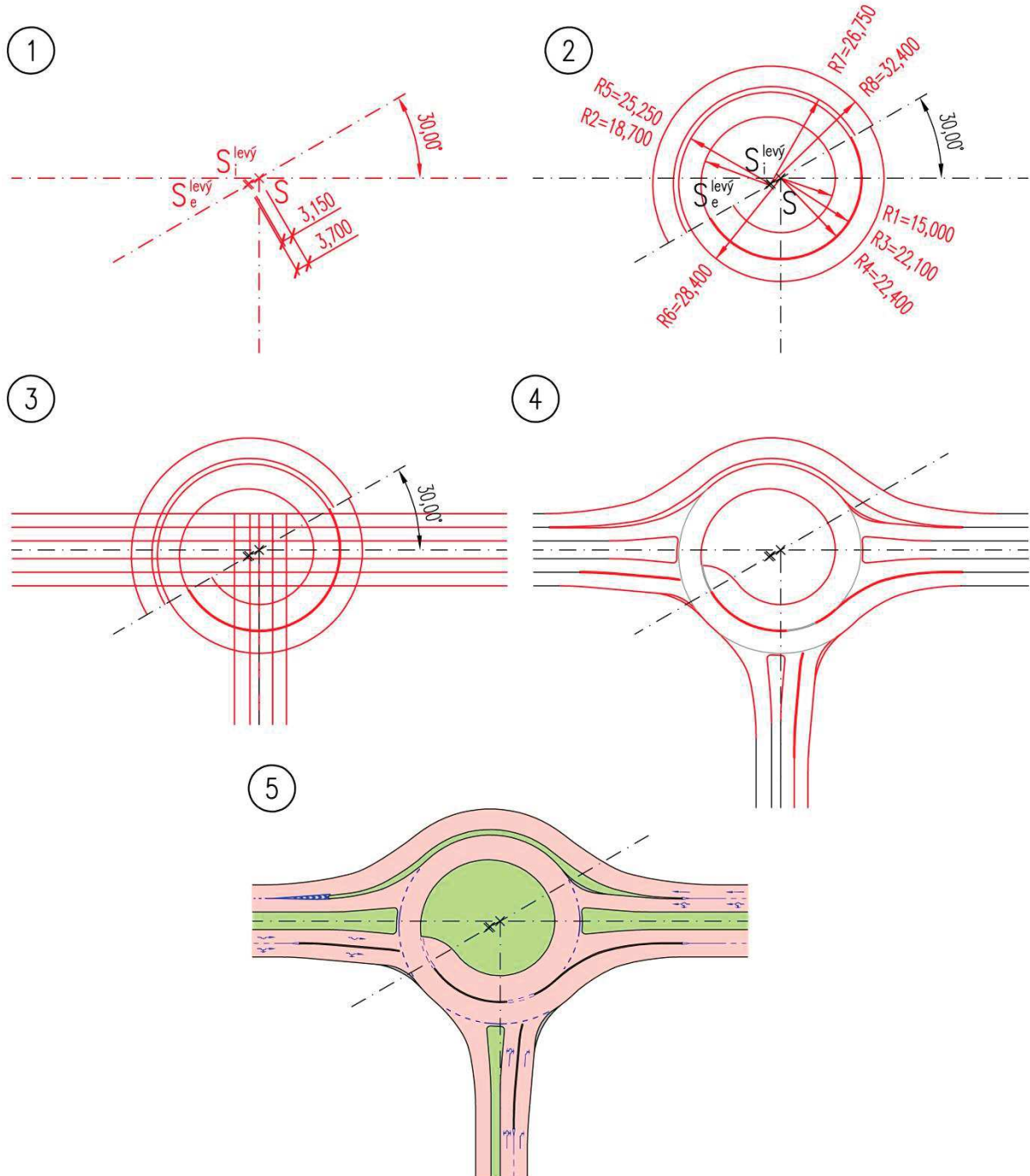
Tab. 4 Rozměry a poloměry turbobloku turbo-okružní křižovatky typu propnuté koleno s vnějším průměrem
D=50,55 m

Šířkové uspořádání příčného řezu	Šířka [m]				
Vnitřní poloměr	15,00				
Vnitřní vodící proužek vnitřního jízdniho pruhu	0,25	} Š1			
Vnitřní jízdni pruh	6,60				
Vnější vodící proužek vnitřního jízdniho pruhu	0,25				
Fyzické oddělení jízdni pruhů	0,30				
Vnitřní vodící proužek vnějšího jízdniho pruhu	0,25	} Š2			
Vnější jízdni pruh	5,55				
Vnější vodící proužek vnějšího jízdniho pruhu	0,25				
Šířka postranního dělicího pásu	min. 1,50				
Šířky vozovek, posunutí podél translační osy a vychýlení					
Š1 = Šířka vnitřní vozovky	7,10	1)			
Š2 = Šířka vnější vozovky	6,00	2)			
Š3 = Šířka vozovky bypassu	5,65	3)			
Ve = vychýlení vnější (pro R1 a R2)	3,700	4)			
Vi = vychýlení vnitřní (pro ostatní R)	3,150	5)			
Poloměry okrajů vozovek	vychýlení středu oblouku	poloměr	počáteční pozice	koncová pozice	6) 7) 8)
R1 = vnitřní vozovka, vnitřní okraj	0,000	15,000	15,000	15,000	9)
R2 = vnitřní vozovka, vnitřní okraj	3,700	18,700	15,000	22,400	10)
R3 = vnitřní vozovka, vnější okraj	0,000	22,100	22,100	22,100	11)
R4 = vnější vozovka, vnitřní okraj	0,000	22,400	22,400	22,400	12)
R5 = vnitřní vozovka, vnější okraj	3,150	25,250	22,100	28,400	13)
R6 = vnější vozovka, vnější okraj	0,000	28,400	28,400	28,400	14)
R7 = vnitřní poloměr bypassu	3,150	26,750	23,600	29,900	15)
R8 = vnější poloměr bypassu	3,150	32,400	29,250	35,550	16)

Poznámky:

- 1) Š1 = Vnitřní vodící proužek vnitřního jízdniho pruhu + Vnitřní jízdni pruh + Vnější vodící proužek vnitřního jízdniho pruhu
- 2) Š2 = Vnitřní vodící proužek vnitřního jízdniho pruhu + Vnější jízdni pruh + Vnější vodící proužek vnitřního jízdniho pruhu
- 3) Šířka vozovky bypassu Š3 se určí dle ČSN 73 6102 na základě poloměru vnitřní hrany jízdniho pruhu bypassu
- 4) $Ve = \frac{\text{Š1 Šířka vnitřní vozovky}}{2} + \text{Fyzické oddělení jízdni pruhů} / 2$
- 5) $Vi = \frac{\text{Š2 Šířka vnější vozovky}}{2} + \text{Fyzické oddělení jízdni pruhů} / 2$
- 6) Pozice je vztažena k celkovému středu S
- 7) Počáteční pozice = poloměr – vychýlení
- 8) Koncová pozice = poloměr + vychýlení
- 9) R1 = vnitřní poloměr
- 10) $R2 = R1 + \text{Vychýlení vnější } Ve$
- 11) $R3 = R2 + \text{Vychýlení vnější } Ve - \text{Fyzické oddělení jízdni pruhů}$

- 12) $R4 = R2 + \text{Vychýlení vnější } V_e$
- 13) $R5 = R3 + \text{Vychýlení vnitřní } V_i$
- 14) $R6 = R5 + \text{Vychýlení vnitřní } V_i$
- 15) $R7 = R5 + \text{Šířka postranního dělicího pásu}$
- 16) $R8 = R7 + \text{Š3 Šířka vozovky bypassu}$



Obr. 21. Grafické znázornění postupu konstrukce turbo-okružní křižovatky typu propnuté koleno s vnějším průměrem $D=50,55$ m.

Spirálová turbo-okružní křižovatka (viz Obr. 7) má podobnou geometrii jako základní turbo-okružní křižovatka a typ vejce založenou na dvou spirálách. Tyto spirály jsou však prodlouženy o další půlkruh za účelem vytvoření třetího jízdního pruhu na okružním pásu. Na základě dosavadních zahraničních

zkušeností se však nedoporučuje tuto křižovatku navrhovat z důvodu vyšší nepřehlednosti a nehodovosti.

6.2.2 Rotorová turbo-okružní křižovatka

Rotorová turbo-okružní křižovatka (viz Obr. 8) sestává ze čtyř vložených spirál, tzn. že její turboblok má čtyři translační osy. Na základě dosavadních zahraničních zkušeností se však nedoporučuje tuto křižovatku navrhovat z důvodu vyšší nepřehlednosti a nehodovosti.

6.2.3 Turbo-okružní křižovatka typu hvězda

Turbo-okružní křižovatka typu hvězda (viz Obr. 10) sestává ze tří spirál, tzn. že turboblok má tři translační osy. Na základě dosavadních zahraničních zkušeností se však nedoporučuje tuto křižovatku navrhovat z důvodu vyšší nepřehlednosti a nehodovosti.

7. KONTROLA VELIKOSTI PŘÍČNÉHO ZRYCHLENÍ A DOSAHOVANÉ RYCHLOSTI

Jako mezní hodnota příčného zrychlení je uvažována hodnota 0,33 g, která byla vypočtena z hodnot uvedených v Tabulce 11 ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích ed. 2 (červen 2012) pro poloměr oblouku 15,0 m, příčný sklon 2,5 %, a návrhovou rychlost 25 km/h.

Dosažovaná rychlost na oblouku se vypočítá dle vzorce:

$$v_1 = 3,6 \cdot \sqrt{g \cdot R_L \cdot f_0'} = \sqrt{127 \cdot R_L \cdot f_0'} \quad [km \cdot h^{-1}]$$

kde g je gravitační zrychlení [m/s^2], R_L je poloměr kružnicové dráhy [m], f_0' je koeficient příčného tření (0,35 pro rychlost do 20 km/h a 0,40 pro rychlost přes 20 km/h).

Příčné zrychlení se vypočítá dle vzorce.

$$a = \frac{\left(\frac{v_1}{3,6}\right)^2}{R_L \cdot g}$$

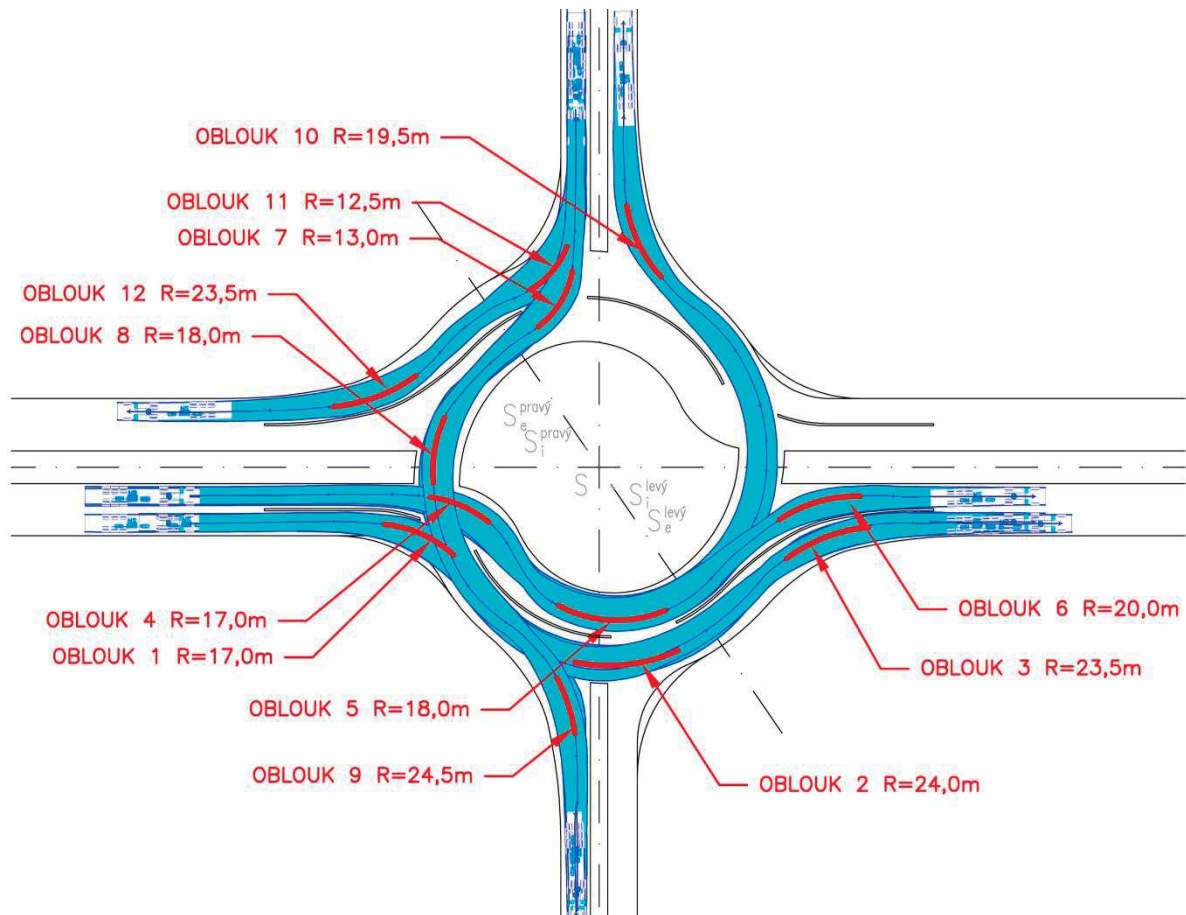
kde v_1 je dosažovaná rychlost na oblouku [$km \cdot h^{-1}$], R_L je poloměr kružnicové dráhy [m] a g je gravitační zrychlení [m/s^2]. Výsledek se uvádí v násobcích g .

Dosažovaná rychlost na oblouku by neměla překročit u osobních automobilů 30-35 $km \cdot h^{-1}$ a zároveň by neměla být u směrodatného vozidla menší než 20 $km \cdot h^{-1}$. Příčné zrychlení u směrodatného vozidla by nemělo v žádném úseku křižovatky překročit hodnotu 0,33 g při rychlosti 20 km/h.

Poloměry jednotlivých oblouků trajektorie průjezdu vozidla křižovatkou jsou získány aproximací křivky této trajektorie soustavou prostých kružnicových oblouků, viz Obr. 22.

Tab. 5 Kontrola velikosti příčného zrychlení a dosahované rychlosti.

	R	Dosahovaná rychlost v_1	$v_1 < 35$ km/h	Příčné zrychlení a pro dosahovanou rychlost v_1	$v_1 > 20$ km/h	Příčné zrychlení a pro rychlost 20 km/h	$a < 0,33$ g
	[m]	[km/h]	[-]	[g]	[-]	[g]	[-]
Oblouk 1	17,0	23	VYHOVUJE	0,25	ANO	0,19	VYHOVUJE
Oblouk 2	24,0	28	VYHOVUJE	0,25	ANO	0,13	VYHOVUJE
Oblouk 3	23,5	27	VYHOVUJE	0,25	ANO	0,13	VYHOVUJE
Oblouk 4	17,0	23	VYHOVUJE	0,25	ANO	0,19	VYHOVUJE
Oblouk 5	18,0	24	VYHOVUJE	0,25	ANO	0,17	VYHOVUJE
Oblouk 6	20,0	25	VYHOVUJE	0,25	ANO	0,16	VYHOVUJE
Oblouk 7	13,0	20	VYHOVUJE	0,25	ANO	0,24	VYHOVUJE
Oblouk 8	18,0	24	VYHOVUJE	0,25	ANO	0,17	VYHOVUJE
Oblouk 9	24,5	28	VYHOVUJE	0,25	ANO	0,13	VYHOVUJE
Oblouk 10	19,5	25	VYHOVUJE	0,25	ANO	0,16	VYHOVUJE
Oblouk 11	12,5	20	VYHOVUJE	0,25	ANO	0,25	VYHOVUJE
Oblouk 12	23,5	27	VYHOVUJE	0,25	ANO	0,13	VYHOVUJE



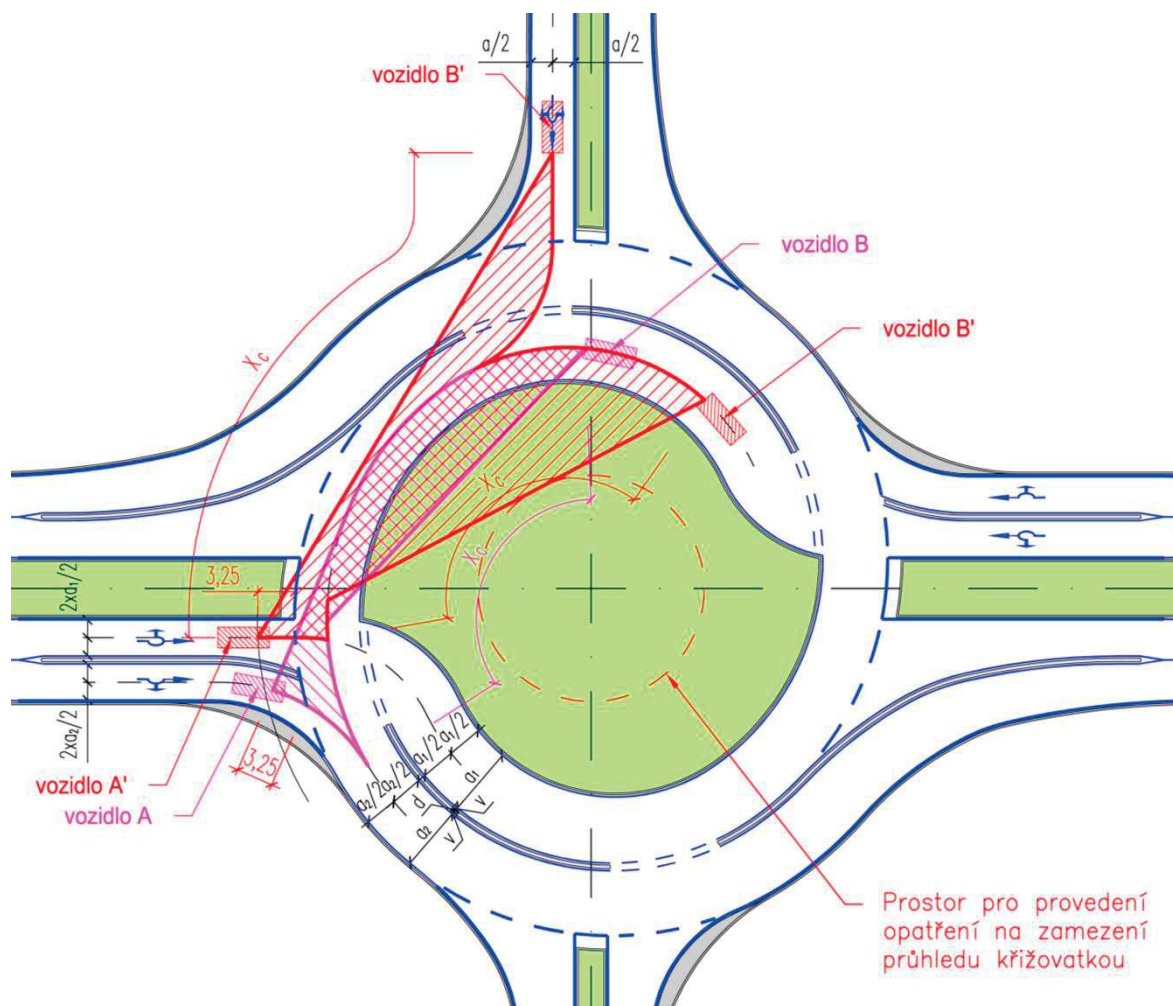
Obr. 22. Popis trajektorie průjezdu návrhového vozidla (tahače s návěsem dl. 16,5 m) turbo-okružní křižovatkou typu vejce standardní velikosti.

8. ROZHLEDOVÉ POMĚRY

Pro sestavení rozhledových trojúhelníků na vjezdech do turbo-okružní křižovatky se použije analogie s konstrukcí rozhledových trojúhelníků na stykové křižovatce podle uspořádání A dle ČSN 73 6102 s jediným rozdílem, že jako vstupní hodnota pro určení vzdáleností X_B a X_C se používá dosahovaná rychlost v_1 , nikoliv dovolená rychlost. Dosahovaná rychlost se vypočítá dle vzorce:

$$v_1 = 3,6 \cdot \sqrt{g \cdot R_L \cdot f_0'} = \sqrt{127 \cdot R_L \cdot f_0'} \quad [\text{km} \cdot \text{h}^{-1}]$$

kde g je gravitační zrychlení [m/s^2], R_L je poloměr kružnicové dráhy [m] a f_0' je koeficient příčného tření (0,35 pro rychlost do 20 km/h a 0,40 pro rychlost přes 20 km/h).



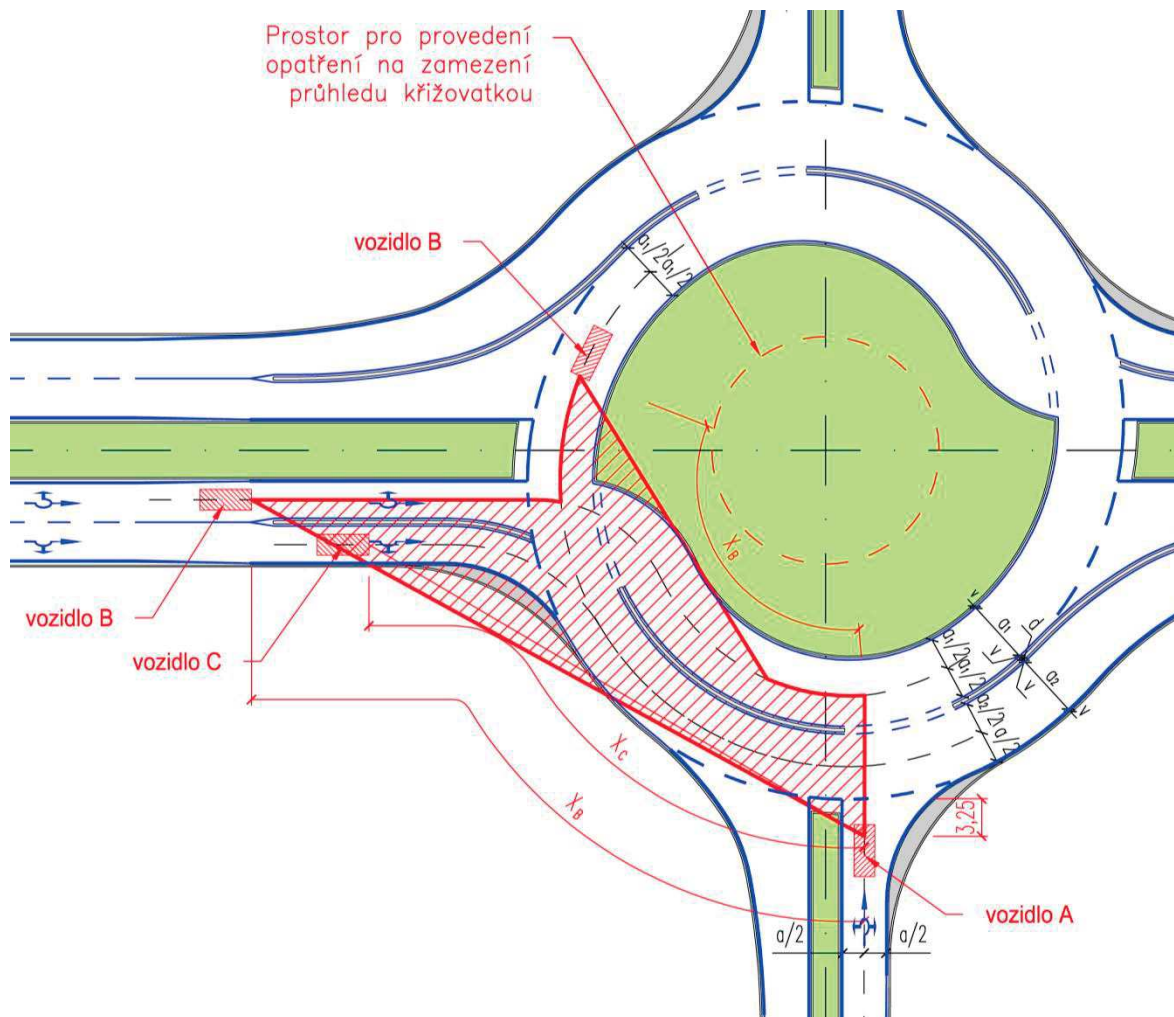
Obr. 23. Rozhledové trojúhelníky pro vozidla vjíždějící do křižovatky z dvoupruhového vjezdu.

Rozhledový bod na vjezdu leží ve vzdálenosti 3,25 m od vnějšího okraje vnějšího jízdního pruhu okružního jízdního pásu. Délka odvěsny rozhledového trojúhelníku X_C pro vjetí do vnějšího jízdního pruhu se vynese do osy vnějšího jízdního pruhu. Délka odvěsny rozhledového trojúhelníku X_B pro vjetí do vnitřního jízdního pruhu se vynese do osy vnitřního jízdního pruhu (viz Obr. 24)

Délka rozhledu pro zastavení D_z se určí rovněž z dosahované rychlosti v_1 a musí být zajištěna na okružním jízdním pásu a na výjezdech.

Požadavkům na zajištění rozhledů musí být přizpůsobeno řešení křižovatky jak z hlediska geometrických prvků, tak z hlediska umístění bezpečnostních zařízení a svislých dopravních značek, umístění veřejného osvětlení, výškového uspořádání středového ostrova, terénu na vnějším okraji turbo-okružní křižovatky, ozelenění křižovatky a také případných překážek v rozhledu např. telefonní budky, prodejní stánky, městský mobiliář atd.

Pokud je část nebo celý středový ostrov mimo rozhledové pole, řeší se v tom místě jeho výškové uspořádání tak, aby bylo zabráněno v průhledu křižovatkou z paprsků křižujících komunikací křižovatky.



Obr. 24. Rozhledové trojúhelníky pro vozidla vjíždějící do křižovatky z jednopruhového vjezdu.

Rozhledy na vjezdech je vhodné prověřit i podle uspořádání B tak, aby řidič přijíždějící ke křižovatce viděl dopravní situaci na okružním jízdním pásu. Bez ohledu na to, zda bude zajištěn rozhled i podle uspořádání B, bude vždy osazena na vjezdu na okružní jízdní pás křižovatky dopravní značka P4 – Dej přednost v jízdě spolu s dopravní značkou C1 Kruhový objezd.

Tab. 6 Délky stran rozhledových trojúhelníků v m s předností v jízdě podle uspořádání A (vynášení jednotlivých vzdáleností je patrné z Obr. 23 a Obr. 24) – tabulkové hodnoty byly převzaty z ČSN 73 6102.

Strany rozhledového trojúhelníku v m								
Rychlost ^{a)} [km/h]	Vozidla skupiny 1		Vozidla skupiny 2		Vozidla skupiny 3		Vozidla skupiny 4	
	X _B	X _C	X _B	X _C	X _B	X _C	X _B	X _C
20	30	25	35	25	45	40	50	40
30	40	35	45	35	55	45	60	50
40	55	50	60	50	75	65	80	70
50	70	65	80	65	100	85	110	95
60	90	80	100	85	125	110	140	125
70	110	100	125	105	160	140	170	155
80	135	120	150	130	195	170	210	190
90	160	145	180	160	230	210	250	230

^{a)} Dosahovaná rychlost v_1

9. FYZICKÉ ODDĚLENÍ JÍZDNÍCH PRUHŮ

Fyzické oddělení jízdních pruhů je zvýšený, pevně založený liniový prvek, který se doporučuje provádět s převýšením 40 mm nad povrchem vozovky v minimální šířce 300 mm. V případě návrhu místa pro přecházení/přechodu pro chodce je vhodné jej navrhovat širší, zejména při výjezdu z okružního pásu. Rozšířené fyzického oddělené jízdních pruhů na výjezdu je patrné z Obr. 34 a Obr. 37.

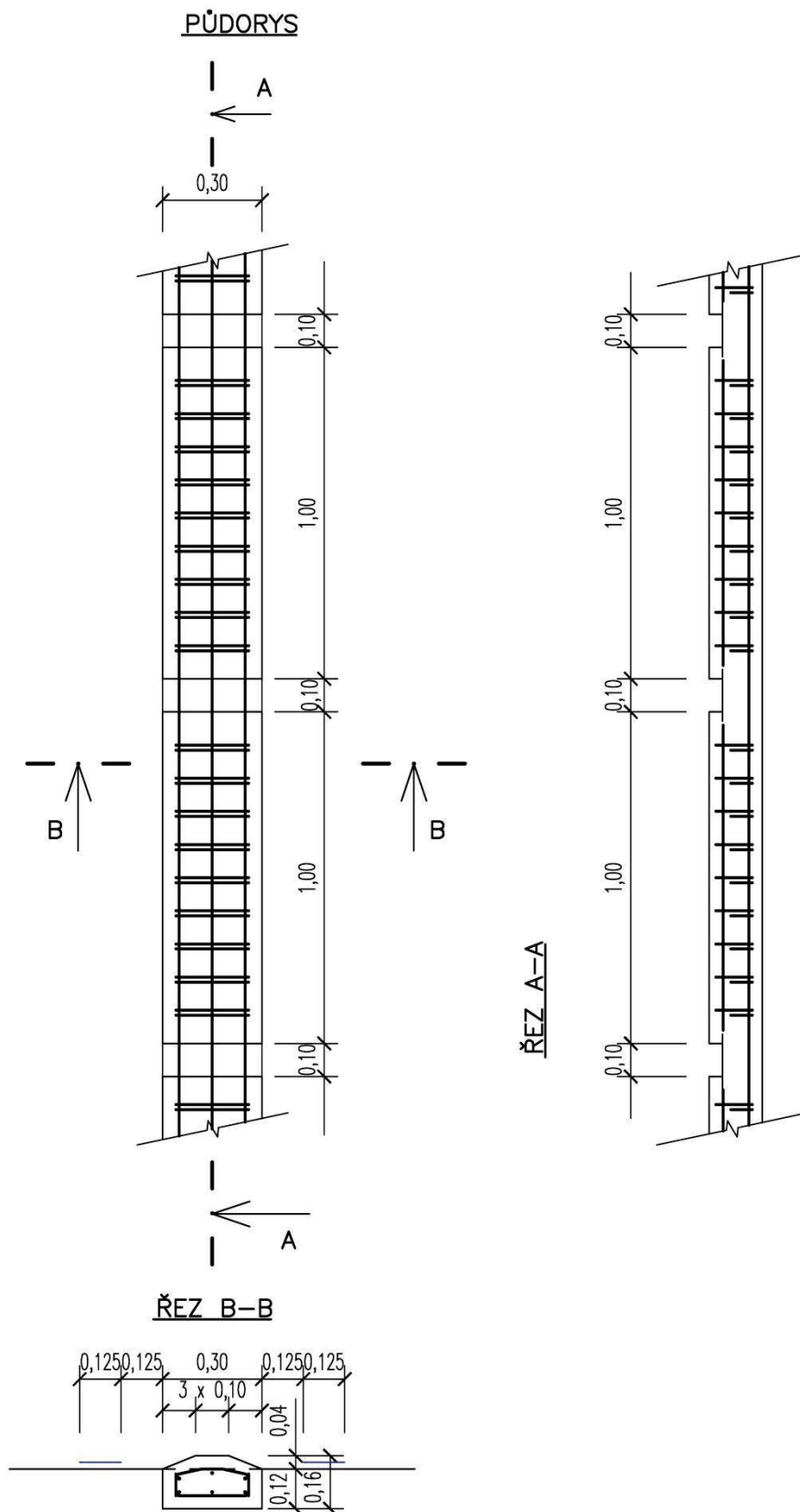
Fyzické oddělení jízdních pruhů se doporučuje navrhovat z těchto důvodů:

- předchází průpletům vozidel a křížení dráhy vozidel jedoucích po okruhu s vozidly, které okružní pás opouštějí
- předchází narovnávání trajektorie průjezdu vozidel v obdobích s nízkou intenzitou dopravy
- snižuje obavy řidičů z vozidel v ostatních jízdních pruzích

Aby bylo zajištěno odvodnění vnitřního jízdního pruhu na okružním pásu, je třeba fyzické oddělení jízdních pruhů v pravidelných intervalech přerušit, aby zachycená voda mohla odtéct (viz Obr. 25).

Jako alternativa k monolitickému provedení fyzického oddělení jízdních pruhů lze navrhnout některé z v současnosti vyráběných prefabrikovaných obrubníků používaných jako lem dlážděných prstenců okružních křižovatek. V případě použití těchto prefabrikátů je třeba počítat s nárůstem jak šířky, tak výšky fyzického oddělení jízdních pruhů.

Vodorovné zhlaví fyzického oddělení jízdních pruhů šířky 100 mm je nutné opatřit prvky zvyšujícím postřehnutelnost, např. zvýrazňujícími knoflíky bílé barvy, které odolávají pojezdu motorových vozidel a působení povětrnosti. Tato opatření musí být provedena v souladu s TP 58.



Obr. 25. Příklad provedení monolitického fyzického oddělení jízdních pruhů.

10. ZIMNÍ ÚDRŽBA

Při návrhu křižovatky je třeba zohledňovat technické parametry vozidel zimní údržby příslušného správce komunikace. Například běžné vozidlo zimní údržby dálnic a rychlostních silnic je třínápravové vozidlo kategorie N3 se sněhovou radlicí šířky 5000 mm. Viz výkresy opakovaných řešení ŘSD ČR – R 49 (<http://www.rsd.cz/doc/Technicke-predpisy/PPK-a-dopravni-znacení/vykresy-opakovanych-reseni>).

11. ODVODNĚNÍ

Plocha turbo-okružní křižovatky musí být vyspádována tak, aby nedocházelo ke zdržování vody na zpevněných plochách. Okružní jízdní pás by měl být spádován mimostředně (viz Obr. 26), vyžadují-li to podmínky, je možné použít dostředný sklon (viz Obr. 27), eventuálně jednostranně naklonit celou plochu křižovatky (viz Obr. 28).

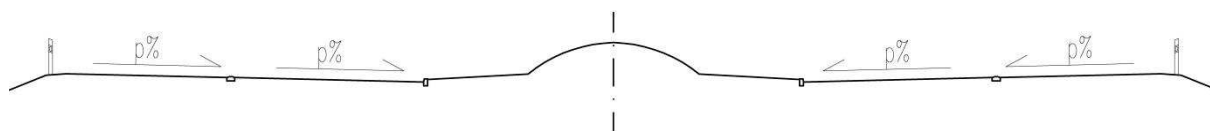
Podélné sklony křižujících se komunikací musí mít takové hodnoty, aby při plynulém napojení na okružní jízdní pás křižovatky nebyl na okružním jízdním pásu překročen příčný sklon 3,5 % směrem k vnějšímu okraji a 6,0% směrem ke středu křižovatky. Podélný sklon okružního jízdního pásu křižovatky nesmí překročit 5 %. Výsledný sklon okružního jízdního pásu musí být nejméně 0,5 %.

S výjimkou výše uvedených odlišných parametrů se příčné sklony na turbo-okružní křižovatce navrhuje v souladu s ČSN 73 6101, ČSN 73 6102 a ČSN 73 6110.

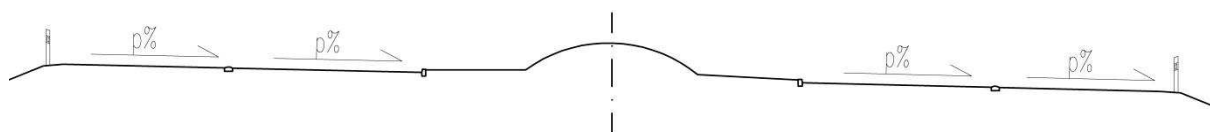
Příčný sklon lze na okružním jízdním pásu překlápet, a to tam, kde to vyžaduje výšková poloha turbo-okružní křižovatky a návaznost na podélné sklony paprsků křižujících se komunikací. Změna příčného sklonu by neměla být větší než 2,5 % na délku 10 m, přičemž tato délka se měří v ose jízdního pruhu. Přejed mezi podélným sklonem napojovaného paprsku a příčným sklonem okružního jízdního pásu má být plynulý, vytvořený vloženým výškovým obloukem. Ve stísněných poměrech mohou být paprsky napojeny přímo, přičemž rozdíl opačných sklonů má být do 4 % a ve zdůvodněných případech nejvíce 5 %.



Obr. 26. *Mimostředný příčný sklon.*



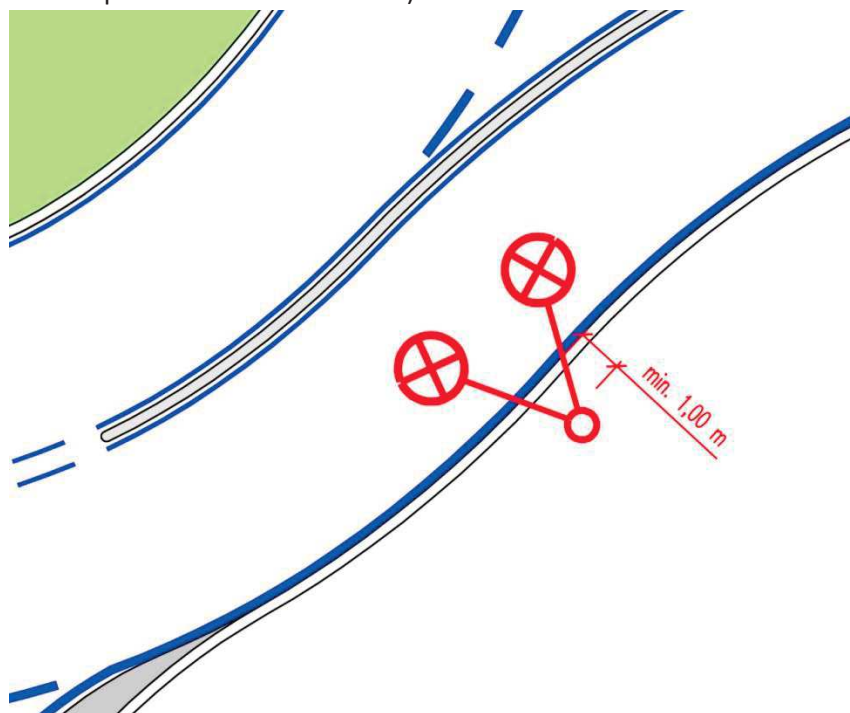
Obr. 27. *Dostředný příčný sklon.*



Obr. 28. *Jednostranně nakloněná plocha křižovatky.*

12. VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ

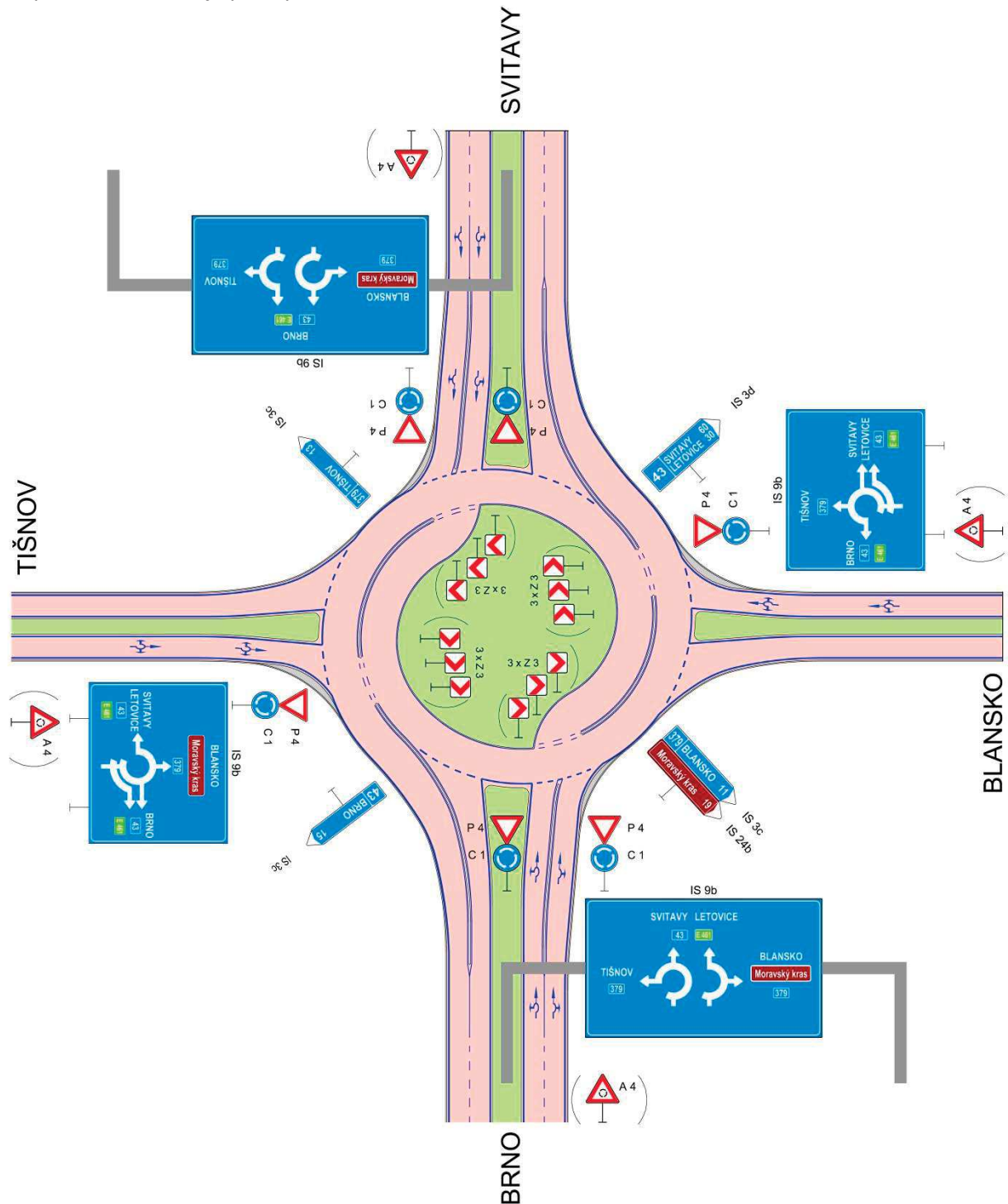
Veřejné osvětlení okružních křižovatek se navrhuje vždy v průjezdních úsecích silnic zastavěným územím. Na místních komunikacích, případně i na veřejně přístupných účelových komunikacích, okružních křižovatkách v extravilánu, se realizace osvětlení doporučuje na základě individuálního hodnocení. Osvětlení se navrhuje podle ČSN CEN/TR 13201 s přihlédnutím k příslušným ustanovením ČSN 73 6101 a ČSN 73 6110. Osvětlovací body se umísťují podél vjezdů a výjezdů a na vnější straně okružního jízdního pásu křižovatky. Pro zajištění případného průjezdu nadměrných přeprav se stožáry VO a případné zábradlí i mobiliář zpravidla navrhuje odsazený od okraje okružního jízdního pásu, vjezdů i výjezdů nejméně o 1,0 m, aby bylo možno na sloupy VO umístit svislé dopravní značení. Osvětlení nesmí v žádném případě oslňovat řidiče vozidel, cyklisty, ale ani chodce, a musí zabezpečit osvětlení svislých a vodorovných dopravních značek, okružního jízdního pásu, vjezdů a výjezdů okružní křižovatky, tvar a výškové uspořádání křižovatky, jakož i chodce na přechodech a cyklisty na přejezdech. Na přechodech je nutné doplnění veřejného osvětlení s intenzivnějším nasvětlením přechodů pro pěší. Zvýšený středový ostrov má být osvětlen (to však neznamená umístění osvětlovacího bodu na ploše středového ostrova).



Obr. 29. Detail umístění sloupu VO.

13. SVISLÉ DOPRAVNÍ ZNAČENÍ

Svislé dopravní značení se provádí v souladu s TP 65 a TP 169. Příklad provedení a rozmístění svislého dopravního značení je patrný z Obr. 30.

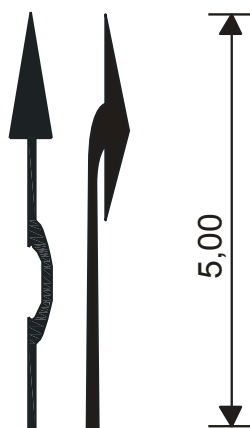


Obr. 30. Svislé dopravní značení na turbo-okružní křižovatce.

14. VODOROVNÉ DOPRAVNÍ ZNAČENÍ

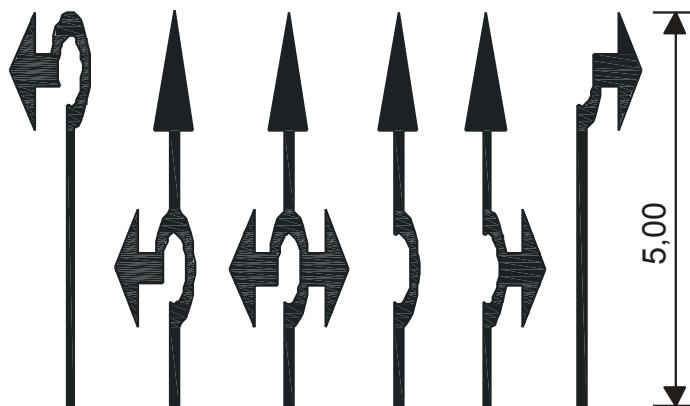
Vodorovné dopravní značení se provádí v souladu s TP 133 a TP 169.

Jízdni pruhy před turbo-okružní křižovatkou se spojovací větví („bypassem“) se doporučuje vyznačit jako řadicí pruhy užitím směrových šipek vyznačujících stanovený směr jízdy křižovatkou.

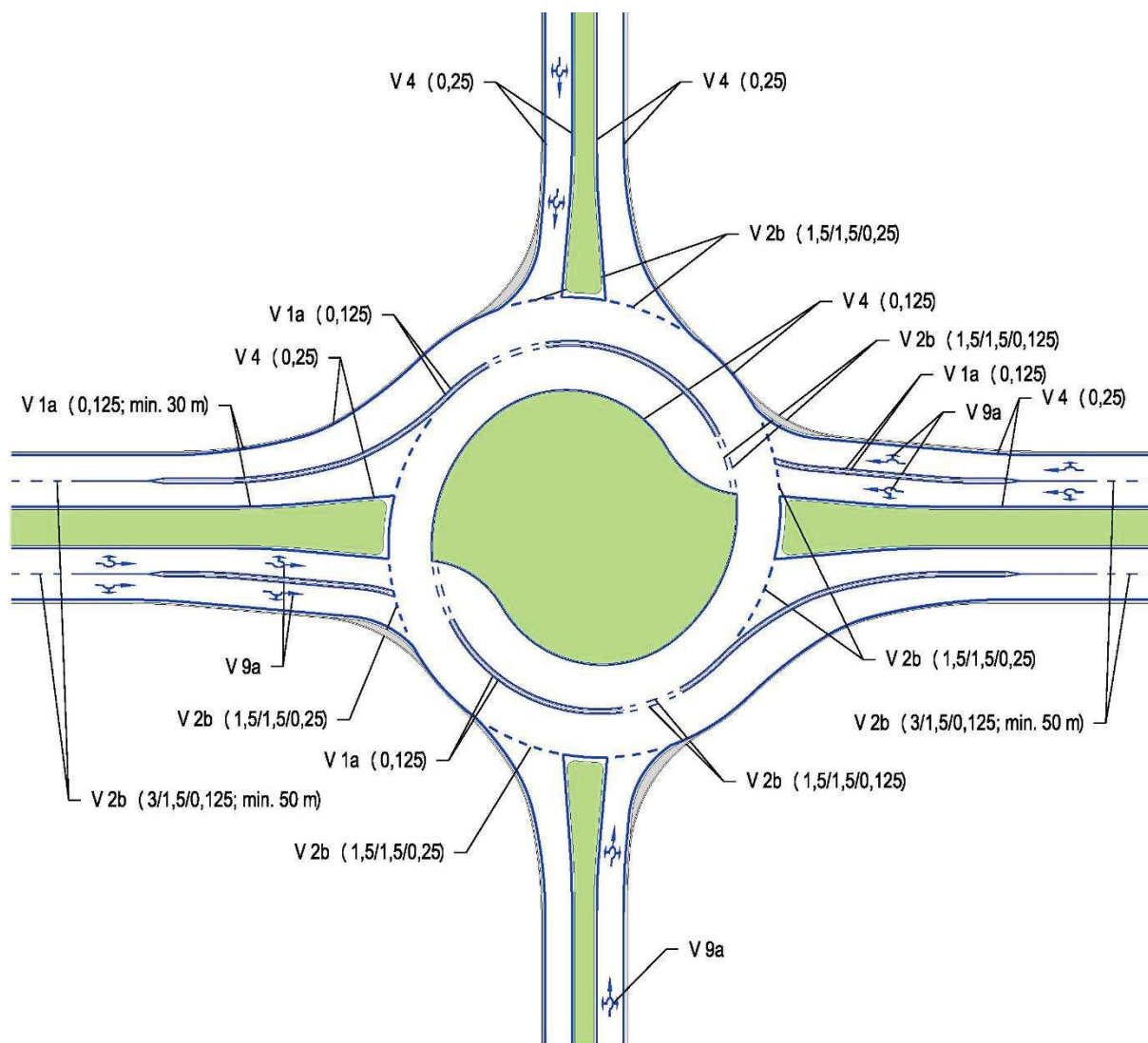


Obr. 31. Vyznačení spojovacích větví. Převzato z TP 133.

Jízdni pruhy před turbo-okružní křižovatkou je nezbytné vyznačit jako řadicí pruhy užitím směrových šipek v provedení odpovídajícím stanovenému směru jízdy v prostoru křižovatkou (v okružním jízdním pásu).



Obr. 32. Vyznačení jízdnicích pruhů před křižovatkou. Převzato z TP 133.



Obr. 33. Vodorovné dopravní značení turbo-okružní křižovatky s fyzickým oddělením jízdních pruhů.

15. MÍSTA PRO PŘECHÁZENÍ A PŘECHODY PRO CHODCE

Místa pro přecházení a přechody pro chodce se na paprscích turbo-okružních křižovatek navrhují dle ČSN 73 6110, není-li níže stanoveno jinak. Při návrhu turbo-okružních křižovatek je třeba si uvědomit, že chodci mohou ovlivňovat jejich kapacitu.

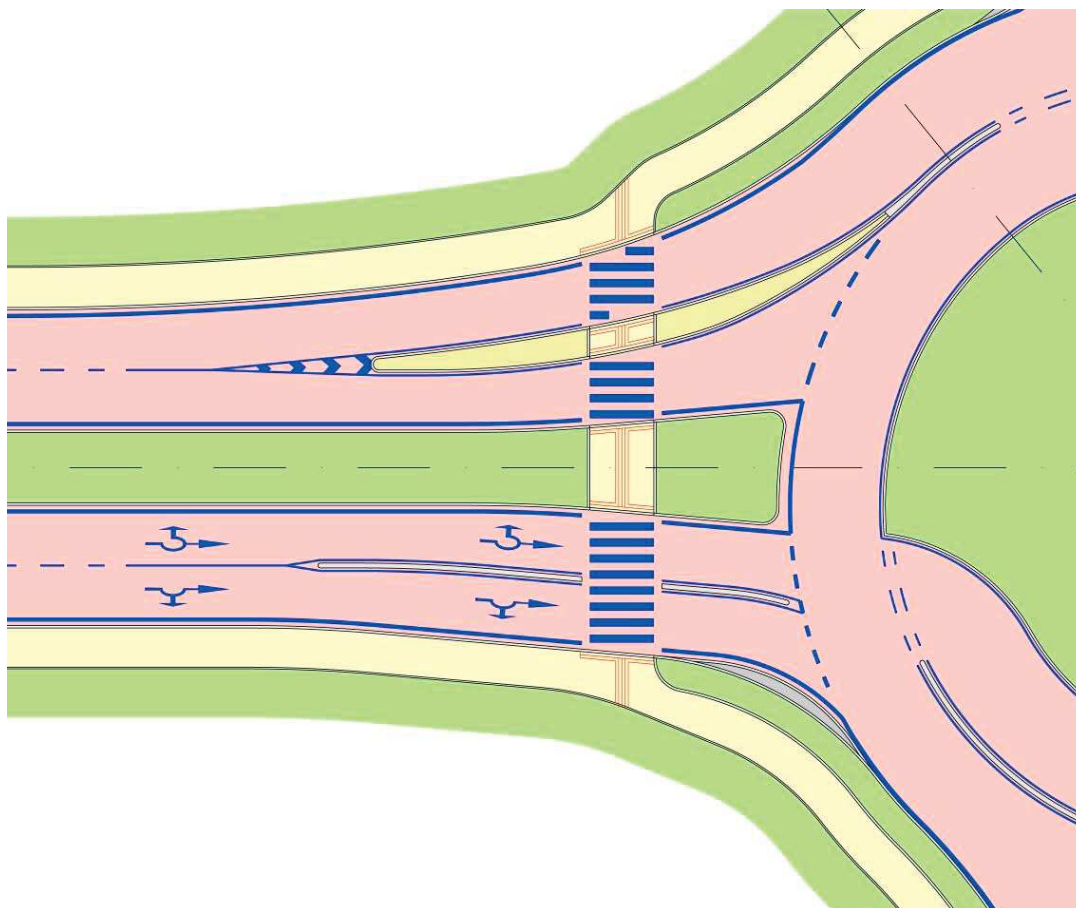
Místa pro přecházení a přechody pro chodce se zřizují pouze v místech existujících nebo předpokládaných pěších příčných vztahů, která navazují na přiměřeně chráněný prostor a dostatečný prostor k vyčkávání několika chodců mimo jízdní pás paprsku křižovatky. Místo pro přecházení/přechod pro chodce má křížit jízdní pruhy/pásky kolmo a má být umístěno tak, aby byly dodrženy rozhledové poměry a vzdálenost pro rozlišitelnost místa pro přecházení/přechodu pro chodce dle ČSN 73 6110.

Místa pro přecházení/přechody pro chodce musí být opatřeny prvky pro osoby se sníženou schopností pohybu a orientace dle vyhlášky 398/2009 Sb.

Přechody pro chodce na paprscích turbo-okružních křižovatek se smí navrhovat pouze přes dva protisměrné jízdní pruhy (přes dvoupruhovou obousměrnou komunikaci), nebo přes dva

stejnoseměrné řadicí jízdní pruhy před křižovatkou. Na dvoupruhovém výjezdu musí být přechod pro chodce vždy rozdělen ochranným ostrůvkem. Šířka ochranného ostrůvku má být 2,50 m až 3,00 m, ve stísněných podmínkách je možné šířku snížit až na 2,00 m. Případná zeleň v ochranném ostrůvku může mít výšku nejvíce 0,50 m

Standardní šířka přechodu pro chodce je 4,0 m, v místech s větší koncentrací chodců se šířka přechodů zvětší v kroku po jednom metru. Největší délku neděleného místa pro přecházení/přechodu pro chodce stanovuje ČSN 73 6110.



Obr. 34. Schéma uspořádání přechodu pro chodce na paprsku turbo-okružní křižovatky.

16. BEZPEČNOSTNÍ ZAŘÍZENÍ

Vodící a záchytná bezpečnostní zařízení se navrhují dle ČSN 73 6101, ČSN 73 6110, TP 101, TP 114, TP 128, TP 139 a TP 140.

Pokud se v menší než rozhodující vzdálenosti od okraje zpevnění plochy křižovatky nebo jejích paprsků nachází pevná překážka, např. sloupy portálových konstrukcí, sloupy veřejného osvětlení apod., je nutno v takovém případě osadit svodidlo.

Výjimku tvoří komunikace s dovolenou rychlostí ≤ 60 km/h, kde se svodidla obvykle nenavrhují. Pokud by bylo s ohledem na bezpečnost silničního provozu vhodné svodidla navrhnout, použijí se kritéria uvedená v ČSN 73 6101.

17. UKÁZKY REALIZOVANÝCH TURBO-OKRUŽNÍCH KŘIŽOVATEK



Obr. 35. Brno – křižovatka ulic Kamenice x Netroufalky.



Obr. 36. Brno – křižovatka ulic Olomoucká x Řípská.



Obr. 37. Brno – křižovatka ulic Olomoucká x Řípská, fyzické oddělení jízdnic pruhů na výjezdu.



Obr. 38. České Budějovice – aplikace fyzického oddělení jízdnic pruhů na okružním pásu.



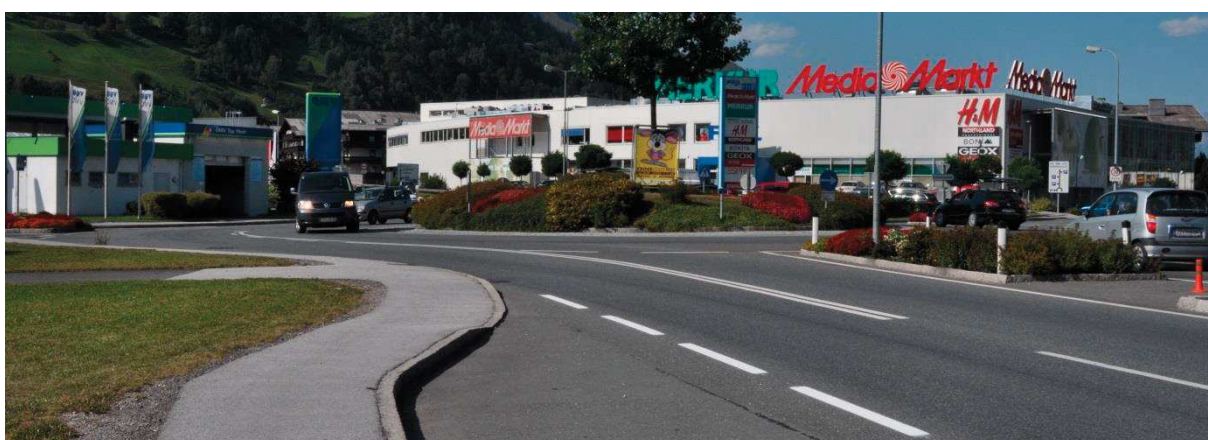
Obr. 39. České Budějovice – detail fyzického oddělení jízdnic pruhů na okružním pásu.



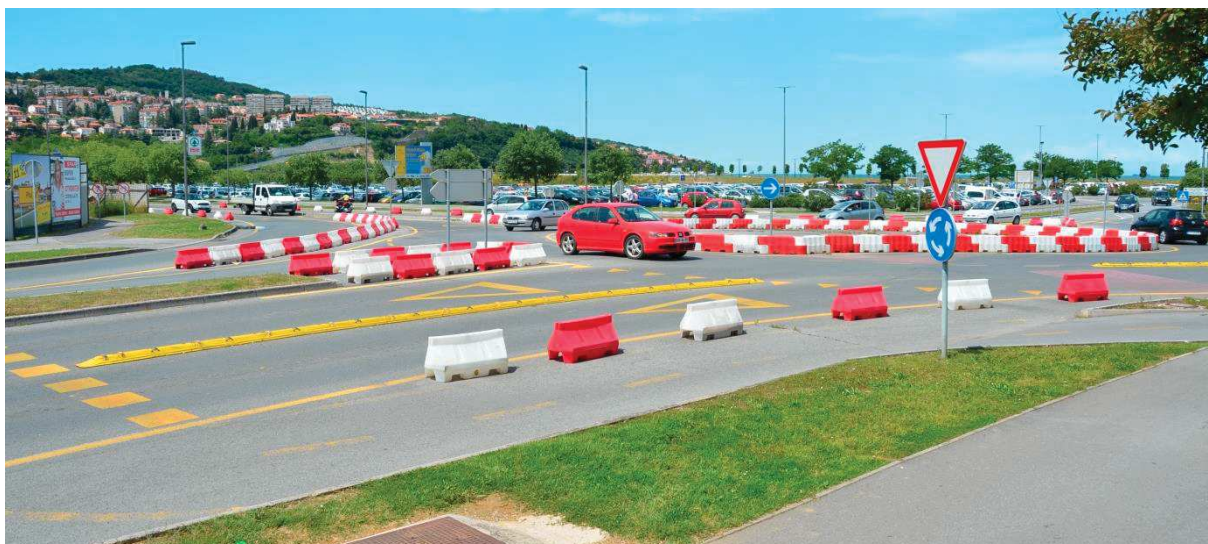
Obr. 40. Olomouc – křižovatka ulic Hamerská x Lipenská.



Obr. 41. Rakousko – Zell am See – detail vjezdu.



Obr. 42. Rakousko – Zell am See – detail výjezdu.



Obr. 43. *Slovinsko – Koper – provizorní turbo-okružní křižovatka.*



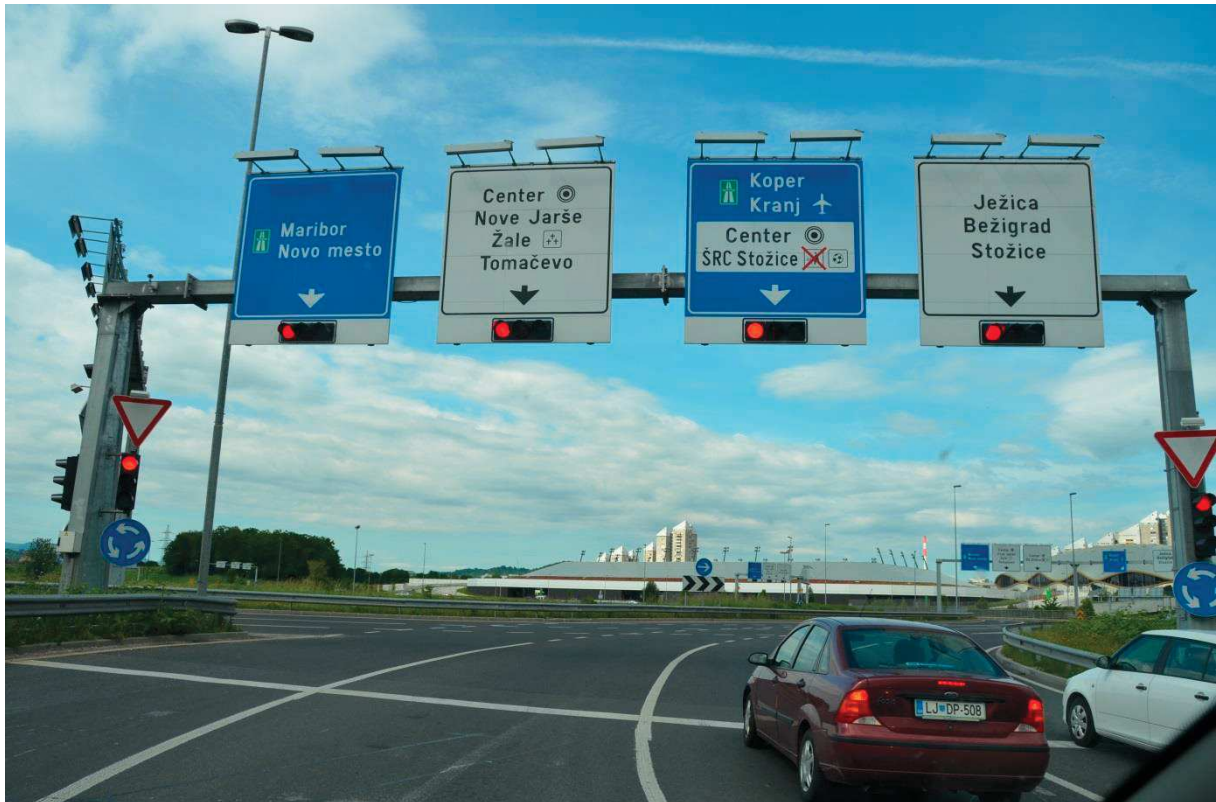
Obr. 44. *Slovinsko – Koper – provizorní turbo-okružní křižovatka.*



Obr. 45. *Slovinsko – Koper – návěstí před provizorní turbo-okružní křižovatkou.*



Obr. 46. Slovinsko – Ljubljana – světelně řízená turbo-okružní křižovatka.



Obr. 47. Slovinsko - Ljubljana - světelně řízená turbo-okružní křižovatka.



Obr. 48. *Slovensko – Maribor – turbo-okružní křižovatka v intravilánu.*



Obr. 49. *Slovensko – Maribor – detail betonové tvarovky fyzického oddělení jízdních pruhů.*



Obr. 50. Slovinsko – Maribor – turbo-okružní křižovatka s fyzickým oddělením jízdních pruhů v letním období.



Obr. 51. Slovinsko – Maribor – turbo-okružní křižovatka s fyzickým oddělením jízdních pruhů v zimním období po provedení zimní údržby (Převzato z: TOLAZZI, Tomaž; RENČELJ Marko a TURNŠEK Sašo; TURBO ROUNDABOUTS – SLOVENIAN EXPERIENCES).