

Vysoká škola logistiky o.p.s.

Návrh úpravy okružní křižovatky

(Diplomová práce)

Přerov 2022

Bc. David Průdek



**Vysoká škola
logistiky**
o.p.s.

Zadání diplomové práce

student

Bc. David Průdek

studijní program

Logistika

Vedoucí Katedry magisterského studia Vám ve smyslu čl. 22 Studijního a zkušebního řádu Vysoké školy logistiky o.p.s. pro studium v navazujícím magisterském studijním programu určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Návrh úpravy okružní křižovatky**

Cíl práce:

Navrhnout úpravu okružní křižovatky s ohledem na zvýšení její kapacity.

Zásady pro vypracování:

Využijte teoretických východisek oboru logistika. Čerpejte z literatury doporučené vedoucím práce a při zpracování práce postupujte v souladu s pokyny VŠLG a doporučeními vedoucího práce. Části práce využívající neveřejné informace uveďte v samostatné příloze.

Diplomovou práci zpracujte v těchto bodech:

Úvod

1. Dopravní systémy
2. Modelování a simulace
3. Návrh úpravy křižovatky
4. Zhodnocení navrhované úpravy

Závěr

Rozsah práce: 55 – 70 normostran textu

Seznam odborné literatury:

BULÍČEK, Josef. Modelování technologických procesů v dopravě. Pardubice: Univerzita Pardubice, Doprvní fakulta Jana Pernera, 2011. ISBN 978-80-7395-442-0.

ČERNÁ, Anna a Jan ČERNÝ. Manažerské rozhodování o dopravních systémech. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014. ISBN 978-80-7395-849-7.

EISLER, Jan. Modelování v dopravě. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-707-9360-0.

JANOTA, Aleš a kol. Aplikovaná telematika. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2015. ISBN 978-80-554-1037-1.

KALINČÁK, Daniel a Juraj GREŇČÍK. Dopravné systémy. Žilina: EDIS - vydavateľstvo ŽU, 2006. ISBN 80-710-0530-5.

KUTZ, Myer, ed. Handbook of Transportation Engineering. McGraw-Hill Education, 2004. ISBN 978-0-07139-122-1.

MEDELSKÁ, Viera. Dopravné inžinierstvo. Bratislava: Alfa, 1991. ISBN 80-050-0737-X.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Alexander Čapka, Ph.D.

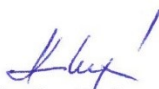
Datum zadání diplomové práce:

31. 10. 2021

Datum odevzdání diplomové práce:

12. 5. 2022

Přerov 31. 10. 2021


Ing. Blanka Kalupová, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.
rektor

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a že jsem ji vypracoval samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a že jsem v práci neporušil autorská práva ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Prohlašuji, že jsem byl také seznámen s tím, že se na mou diplomovou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola logistiky o.p.s. nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro pedagogické, vědecké a prezentační účely školy. Užiji-li svou diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat předtím o této skutečnosti prorektora pro vzdělávání Vysoké školy logistiky o.p.s.

Prohlašuji, že jsem byl poučen o tom, že diplomová práce je veřejná ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 47b. Taktéž dávám souhlas Vysoké škole logistiky o.p.s. ke zpřístupnění mnou zpracované diplomové práce v její tištěné i elektronické verzi. Souhlasím s případným použitím této práce Vysokou školou logistiky o.p.s. pro pedagogické, vědecké a prezentační účely.

Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze diplomové práce, elektronická verze na odevzdaném optickém médiu a verze nahraná do informačního systému jsou totožné.

V Přerově, dne 12. 05. 2022



podpis

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu práce Dr. Alexanderu Čapkovi za jeho vstřícný přístup, podněty a cenné rady. Současně bych také rád poděkoval své rodině za podporu při zpracování této práce.

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na vytvoření návrhu na úpravu okružní křižovatky s cílem zvýšení její kapacity. V teoretické části je popsán dopravní systém se zaměřením na okružní křižovatky a dále pak modelování dopravních procesů pomocí simulačního softwaru. V praktické části je analyzována dopravní situace na konkrétní okružní křižovatce, kde pro vytvoření návrhu pro zvýšení kapacity je využita mikrosimulace. V závěru jsou zhodnoceny přínosy výsledného návrhu.

Klíčová slova

okružní křižovatka, kapacita křižovatky, dopravní inženýrství, simulace, dopravní modelování

Annotation

The master thesis is focused on the development of a proposal for the modification of a roundabout with the aim of increasing its capacity. The theoretical part describes the traffic system with a focus on roundabouts and then the modelling of traffic processes using simulation software. In the practical part, the traffic situation at a specific roundabout is analysed, where microsimulation is used to develop a design for increasing capacity. Finally, the benefits of the resulting design are evaluated.

Keywords

roundabout, intersection capacity, traffic engineering, simulation, traffic modelling

Obsah

Úvod	9
1 Dopravní systémy	10
1.1 Základní terminologie	13
1.2 Křižovatky	16
1.2.1 Základní typy křižovatek a jejich charakteristika	16
1.3 Okružní křižovatky	17
1.3.1 Miniokružní křižovatka (MOK)	17
1.3.2 Jednopruhové okružní křižovatky (JOK)	18
1.3.3 Turbo-okružní křižovatky (TOK)	20
1.4 Zvláštní typy okružních křižovatek	23
1.4.1 Světelně řízené okružní křižovatky	23
1.4.2 Okružní křižovatky umožňující průjezd nadrozměrných vozidel	24
1.5 Posouzení kapacity pro okružní křižovatky	25
1.5.1 Úpravy pro zvýšení kapacity okružní křižovatky	26
1.5.2 Metoda pro výpočet kapacity pro okružní křižovatku	29
2 Modelování a simulace	35
2.1 Základní terminologie	36
2.2 Simulační modely	37
2.3 Mikrosimulační model a jeho možné aplikace	39
2.3.1 Identifikace rámce a cílů a výběr vhodného softwaru	40
2.3.2 Vytvoření základního modelu	40
2.3.3 Kalibrace mikrosimulačního modelu	42
2.3.4 Validace mikroskopického modelu	43
2.3.5 Kontrola výstupů	43
2.4 Výběr a práce se simulačním softwarem	44

2.4.1	PTV Vissim.....	45
2.4.2	Pracovní prostředí programu	46
2.4.3	Mapové podklady	47
2.4.4	Konstrukce linek a spojnic.....	47
2.4.5	Typy dopravních prostředků.....	49
2.4.6	Konfigurace tras vozidel.....	50
2.4.7	Konfliktní zóny	50
2.4.8	Sběr dat	51
2.4.9	Simulace.....	52
2.4.10	Souhrn.....	53
3	Návrh úpravy křižovatky.....	54
3.1	Město Břeclav	54
3.1.1	Doprava ve městě.....	54
3.1.2	Řešená oblast	55
3.1.3	Odůvodnění pro výběr této okružní křižovatky	55
3.1.4	Dopravní průzkum	58
3.1.5	Sběr dat	58
3.2	Návrh úpravy křižovatky.....	63
3.2.1	Návrh č. 1.....	64
3.2.2	Návrh č. 2.....	65
3.2.3	Návrh č. 3.....	67
4	Zhodnocení	70
	Závěr.....	72
	Seznam zdrojů	73
	Seznam grafických objektů.....	74
	Seznam zkratk a značek.....	76

Úvod

Cílem této diplomové práce je navrhnout úpravu okružní křižovatky s ohledem na zvýšení její kapacity, kde v odpolední dopravní špičce opakovaně dochází k častým dopravním kongescím. Dopravní situaci analyzovat, navrhnout řešení a pomocí simulačního programu nasimulovat zvolené dopravní východisko. Poté simulační model verifikovat a interpretovat jeho výsledky. V závěru zhodnotit přínosy tohoto řešení.

Individuální automobilová doprava vykazuje dlouhodobě vzrůstající tendenci. Jedná se o dopravu rychlou, operativní a pohodlnou. Počet vozidel se neustále zvyšuje. Podle mnoha průzkumů je také patrný trend, kdy v jednotlivých vozidlech cestuje stále menší počet cestujících. Běžně se stává, že jedním vozidlem cestuje pouze jeden cestující. Často se jedná o krátké cesty v rámci města nebo blízkého okolí. Tento stav má za následek zvýšenou intenzitu dopravy, která vede k řadě dopravních problémů a komplikací. Odpovědí na tento stav je budování, opravy, rozšiřování a zavádění technologií pro řízení dopravního systému s využitím moderních telematických technologií.

Diplomová práce je sestavena z několika částí. První část se zabývá problematikou dopravních systémů, kde je pozornost soustředěna na pevné části podsystemu, a to křižovatkám, především okružním. Druhá část je zaměřena na oblast modelování a simulaci a jejich využití v dopravních systémech. Je zde popsán způsob vytvoření simulačního modelu včetně schématu, který lze využít jako podklad pro navržení simulačního modelu. Třetí část se zabývá návrhem úpravy okružní křižovatky s využitím teoretických a praktických poznatků, které jsou uplatněny pro tvorbu simulačního modelu. Čtvrtá část je orientována na zhodnocení navrhované úpravy. Závěr je určen pro shrnutí celé práce.

Uvedené údaje jsou platné k danému období, kdy je tato práce zpracovávána. Podklady pro tuto práci byly pečlivě vybrány z odborné literatury a dostupných zdrojů. Cenné poznatky z těchto zdrojů jsou dále rozvíjeny ke zdárnému vyřešení daného úkolu.

1 Dopravní systémy

Definice dopravního systému říká, že se jedná o systém pro hromadné přemísťování hmotných nebo nehmotných věcí po jedné dopravní síti (např. železniční, silniční atd.).

Je třeba také definovat pojem doprava a systém, jelikož oba tyto pojmy vysvětlují podstatu vyššího celku tedy dopravního systému.

Doprava je cílevědomá změna místa osob nebo nákladů uskutečňovaná pomocí dopravního prostředku po dopravní cestě. Doprava je také průmyslový obor, zajišťující životně důležité potřeby společnosti v přepravě zboží a cestujících.

Vlastnosti dopravy odlišující ji od jiných odvětví ekonomiky:

- nevyrábí materiálové produkty, je pokračování přepravního procesu, který končí, když je produkt dodán na místo spotřeby – doprava je služba;
- dopravní produkt – přeprava zboží a cestujících je součástí přepravního procesu, který nelze akumulovat (vytvářet rezervy), problémy rezerv v dopravě nespočívají ve vytváření zásob produktů, ale ve vytváření rezerv v propustnosti a provozní způsobilosti;
- dopravní proces neobsahuje suroviny;
- na dopravním trhu se neprodává zboží, ale samotný dopravní proces (služba);
- doprava aktivně ovlivňuje životní prostředí – jeho podíl na celkové hodnotě emisí do ovzduší ze všech průmyslových aktivit je téměř 40 %, hlavní podíl má silniční doprava (asi 80 %) [1].

Význam dopravy:

- zajištění vazeb mezi jednotlivými regiony světa (jedné země),
- sociální hledisko – mobilita populace (dopravní dostupnost, kulturnost (zájezdy) a sociální úroveň obyvatel (vzdělání),
- zajištění obranyschopnosti (přemísťování vojsk a materiálu),
- politický význam – doprava fyzicky sjednocuje národ a utváří ekonomické vazby mezi jednotlivcem, regiony země a národy žijící na jejím území,
- vědecký význam – zlepšování techniky a technologií [1].

Z pohledu dopravních systémů je **system** definován jako reálný objekt s určitým cílovým chováním, na němž má subjekt řešit určitý problém, přičemž objekt lze na zdůvodněné rozlišovací úrovni rozdělit na odpovídající počet prvků a vazeb mezi nimi.

Na vlastnosti systémů lze nahlížet z několika různých hledisek.

Z hlediska nahodilosti:

- deterministické (určené) – hodnoty jsou jednoznačně určeny,
- náhodné (stochastické, neurčité) – proměnné se chovají náhodně dle zákonitostí pravděpodobnosti.

Z hlediska spojitosti:

- spojitě – veličiny se mění s časem spojitě (nespočet hodnot, zobrazení na ose jako spojitý interval),
- diskrétní – veličiny se nemění časem spojitě (izolované body na ose).

Z hlediska určitosti:

- neurčité (fuzzy = rozmazané) – neexistuje žádná zákonitost, o systému se nic neví,
- s cílovým chováním – dosahování žádoucího chování s pomocí vnitřních vlivů,
- s řízením – dosahování žádoucího chování s pomocí vnějších vlivů [1].

Hlavní vlastnosti systému:

- kvalita (jakost),
- spolehlivost,
- stabilita.

Kvalita má spojitou charakteristiku, plynule se mění od nejnižší k nejvyšší, pojem se používá pro procesy a služby (logistické, dopravní).

Jakost má diskrétní charakteristiku, jakostní třídy, pojem se používá pro hmotné věci (výrobky).

Spolehlivost se týká pouze stochastických systémů, vyjadřuje se pravděpodobností (P) dodrženího žádoucího chování (čím blíže k 1, tím vyšší spolehlivost). V dopravě se používají dva druhy spolehlivosti:

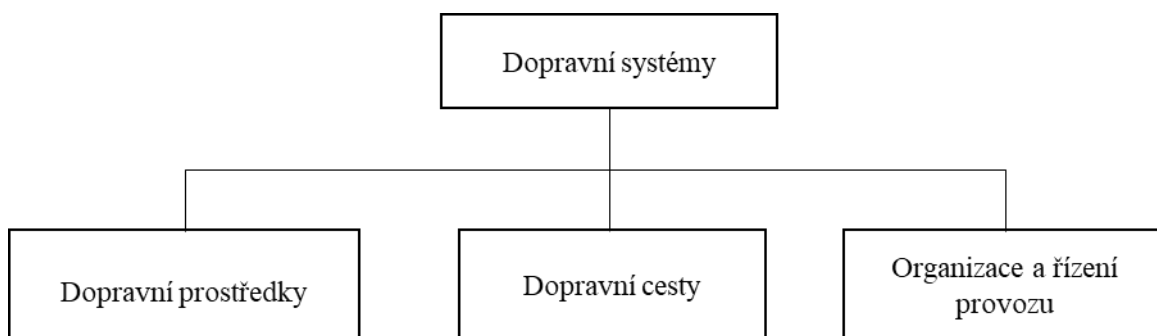
- D-spolehlivost (dopraveno bez poškození),
- T-spolehlivost (dopraveno včas, dopraveno podle jízdního řádu s určenou tolerancí).

Stabilita znamená, že systém nemá po krátkodobé poruše tendenci zvětšovat odchylku od žádoucího průběhu (po nepředvídaném zdržení se nezvyšuje jeho zpoždění).

Pro analýzu a následnou syntézu jakéhokoli systému je třeba tento systém dekomponovat na jednodušší podsystémy. Pak lze s těmito subsystémy snadněji pracovat, např. zjišťovat kvalitu (jakost) a spolehlivost podsystému a tu následně zlepšovat [1].

Dopravní systém a jeho dekompozice:

- pohyblivý podsystém – soubor pohyblivých zařízení (dopravní prostředky),
- pevný podsystém – část prostoru určený pro pohyb dopravních prostředků (dopravní cesty → dopravní síť),
- řídicí podsystém – soubor technických prostředků sloužících k řízení dopravy (řídicí pracovníci, software a hardware pro řízení).



Obr. 1.1 Dekompozice dopravního systému

Zdroj: vlastní zpracování podle [1].

Všechny tři podsystémy jsou spolu úzce provázány. Dopravní prostředky představují velké množství vozidel (silničních, železničních, letadel atd.), které se pohybují po dopravních cestách. Dopravní cesty lze chápat jako část prostoru vymezenou pro dopravu. Propojením dopravních cest vzniká konečná množina uzlů a úseků tedy **dopravní síť**. Organizace a řízení provozu zahrnuje systém řízení provozu a systém řízení dopravního prostředku. Systém řízení provozu dopravních prostředků je určen vybranou technologií a zpravidla je součástí dopravní infrastruktury. Systém řízení dopravního prostředku se odvíjí od řidiče (pilot, strojvedoucí), který přímo provádí cílené pokyny. V případě individuální automobilové dopravy je řidič jediným předmětem řídicího systému. Přítomnost řidiče v řídicím systému určuje potřebu zohlednit lidský faktor.

System řízení dopravy provádí nezbytné akce pro zefektivnění pohybu dopravních prostředků a odstranění konfliktů mezi nimi [1].

Jestliže je dopravní systém dekomponován na podsystémy, je možné určit jeho úrovně.

Úrovně podsystému:

- makroskopická (rozsáhlé území např. dopravní síť v ČR),
- mezoskopická (ohraničená část území, např. dopravní síť v určitém městě),
- mikroskopická (konkrétní část území, např. křižovatka).

Dále se tato práce zabývá mikroskopickým pohledem zaměřeným na uzly v silniční dopravní síti. Dopravní uzel je bod nebo místo v dopravní síti, kde dochází ke vstupu, výstupu nebo přestupu dopravních elementů. Tyto místa se nazývají křižovatky. Křižovatky se v dopravní síti vyskytují v mnoha tvarech a typech. Zásadním účelem těchto uzlů je umožnit bezpečný průjezd maximálního množství dopravních prostředků za co nejkratší možnou dobu. Minimum kolizních bodů a maximální kapacita jsou hlavním cílem při navrhování dopravních křižovatek.

1.1 Základní terminologie

Zde jsou uvedeny základní pojmy, vztahující se k dopravní terminologii, které pomohou v orientaci v dalším textu této práce. Jednotlivé pojmy byly převzaty z Technických podmínek TP 188 a TP 234 Ministerstva dopravy.

Časový odstup vozidel „je doba mezi průjezdem čel dvou vozidel jedoucích v dopravním proudu“.

Denní intenzita dopravy „je intenzita dopravy za 24 hodin (0:00–24:00)“.

Doba zdržení „je ztrátový čas po odečtení časových ztrát během brždění a rozjedu vozidla na křižovatce“.

Dopravní proud (vozidel) „je sled všech vozidel pohybujících se v jízdním pruhu za sebou nebo v jízdních pruzích vedle sebe týmž dopravním směrem“.

Hlavní komunikace „je komunikace s předností v jízdě“.

Intenzita dopravního proudu „je počet silničních vozidel nebo chodců, který projede nebo projde určitým příčným řezem pozemní komunikace nebo jeho částí za zvolené časové období v jednom směru“.

Intenzita dopravy „je počet silničních vozidel nebo chodců, který projede nebo projde příčným řezem pozemní komunikace nebo jeho částí za zvolené časové období“.

Intenzita dopravy špičkové hodiny „je nejvyšší hodinová intenzita dopravy v příslušném období (zpravidla v běžný pracovní den)“.

Jízdní proud „je sled všech vozidel pohybujících se v jízdním pruhu za sebou“.

Kapacita pozemní komunikace „je největší intenzita dopravy, kterou je komunikace schopná přenést.“

Kritický časový odstup (t_g) (pro křižovatku) „je střední hodnota přijatelných časových odstupů na křižovatce (všech řidičů) v daných vnějších podmínkách“.

Nadřazený dopravní proud „je dopravní proud s předností v jízdě“.

Následný časový odstup (t_f) „je střední hodnota časových odstupů mezi dvěma následujícími vozidly podřazeného dopravního proudu, které se nacházejí ve frontě za sebou a zařazují se do stejné časové mezery (odstupu) v nadřazeném dopravním proudu nebo v této mezeře (odstupu) nadřazené dopravní proudy křižují“.

Návrhová intenzita dopravy „je intenzita dopravy, na kterou je počítána kapacita úseku nebo křižovatky“.

Padesátirázová intenzita dopravy „je 50. nejvyšší hodnota hodinové intenzity dopravy v kalendářním roce“.

Paprsek křižovatky „je úsek pozemní komunikace v oblasti křižovatky od místa průsečíku os křížících se komunikací k hranici křižovatky“.

Podřazený dopravní proud „je dopravní proud dávající přednost v jízdě nadřazenému dopravnímu proudu“.

Pomalé vozidlo „je vozidlo, které svými dynamickými a konstrukčními parametry ovlivňuje pokles kapacity pozemních komunikací. Za pomalá vozidla se považují nákladní vozidla nad 3,5 t, autobusy, traktory a speciální vozidla“.

Průběžný dopravní proud „je dopravní proud vozidel, který projíždí křižovatkou bez odbočení z průběžného jízdního pásu“.

Přepočtená intenzita dopravy „je intenzita dopravy upravená pomocí přepočtových koeficientů skladby dopravního proudu vyjádřená v přepočtených vozidlech (pvoz/h)“.

Přijatelný časový odstup (pro konkrétního řidiče) „je nejmenší časový odstup mezi dvěma vozidly v nadřazených dopravních proudech, který je daný řidič v podřazeném dopravním proudu ochoten přijmout k zařazení do nadřazeného dopravního proudu nebo k průjezdu křižovatkou v daných vnějších podmínkách“.

Přípojný bod „je střetný bod, v němž se dva nebo více jízdnic směru spojuje do jednoho jízdnic směru“.

Připojující dopravní proud „je dopravní proud vozidel, který mění směr jízdy a vykoná přemístění z přípojovacího pruhu do průběžného jízdnic pásu“.

Rezerva kapacity „je rozdíl mezi kapacitou a návrhovou intenzitou dopravy“.

Roční průměr denních intenzit dopravy (RPDI) „je aritmetický průměr denních intenzit dopravy všech dnů v roce“.

Řadící pruh „je jízdnic pruh před stopčárou určený pro jízdu v žádaném směru nebo směrech“.

Saturovaný tok „je nejvyšší počet vozidel, která mohou projet profilem komunikace za jednotku času (zpravidla za jednu hodinu) při ideálních dopravních podmínkách“.

Spojovací větev „je jízdnic pás, který spojuje dva sousední paprsky okružní křižovatky mimo okružní jízdnic pás křižovatky a umožňuje odlehčení křižovatky uskutečněním pravého odbočení po této spojovací větvi bez napojení na okružní jízdnic pás křižovatky“.

Stopčára „je vodorovná dopravní značka č. V 5 (příčná čára souvislá), nebo č. V 6a (příčná čára souvislá se symbolem „Dej přednost v jízdě“), nebo č. V 6b (příčná čára souvislá s nápisem „STOP“)“.

Úrovňová intenzita dopravy „je největší intenzita dopravy, která odpovídá příslušné úrovni kvality dopravy; úrovňová intenzita dopravy pro stupeň UKD E je shodná s kapacitou“.

Vedlejší komunikace „je komunikace, na které vozidla dávají přednost vozidlům jedoucím po hlavní komunikaci“.

Vjezd „je jeden nebo více souběžných jízdnic pruhů, které jsou řízeny jednou signální skupinou. Pokud je v případě použití plných signálů (signály č. S 1a až S 1c) zřízen pro některý směr jízdy samostatný řadící pruh (pruhy) dostatečné délky, považuje se tento odbočovací pruh (pruhy) za samostatný vjezd“.

Výjezdová část větve „je část větve křižovatky sloužící pro výjezd vozidel na příslušné pozemní komunikaci z větve křižovatky“.

Výkonnost pozemní komunikace „je schopnost komunikace přenést v daném časovém období dopravní zatížení (intenzitu motorových vozidel, cyklistů nebo chodců pohybujících se po této komunikaci) v příslušné kvalitě“ [2, s. 10-12], [3, s. 44].

1.2 Křižovatky

Křižovatka je místo v dopravní síti, v kterém se setkávají, spojují, odpojují a křižují proudy automobilové dopravy ze všech potkávajících se dopravních cest.

Z tohoto důvodu musí mít křižovatka dostatečnou schopnost propustit všechny tyto dopravní proudy. V opačném případě by mohlo dojít k situaci, kdyby vozidla zůstala stát v křižovatce nebo před ní [4].

Specifické podmínky dané křižovatky jsou určeny:

- výhledovou intenzitou průběžných a odbočujících dopravních proudů,
- dopravním významem,
- tvarem území a umístění křižovatky v trase,
- vzájemnou vzdáleností křižovatek,
- kategorií křižujících se místních komunikací, cest a dálnic.

1.2.1 Základní typy křižovatek a jejich charakteristika

Křižovatky lze rozdělit z vícero hledisek:

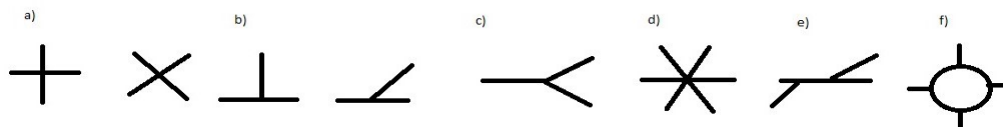
Dle vzájemné úrovně komunikací:

- úrovně (komunikace se protínají nebo stýkají v jedné úrovni),
- mimoúrovňové (komunikace se křižují v různých úrovních),
- částečně mimoúrovňové [4].

Základní druhy křižovatek jsou (viz obr. 1.2):

- a) průsečné
- b) stykové
- c) vidlicové
- d) hvězdicové

- e) odsazené
- f) okružní



Obr. 1.2 Tvary křižovatek dle jejich půdorysného tvaru

Zdroj: vlastní zpracování dle [4].

1.3 Okružní křižovatky

Okružní křižovatka je zvláštním případem úrovně křižovatky, která je uspořádaná tak, že vozidla vjíždějící do křižovatky odbočují vpravo a pohybují se po okružním pásu k požadovanému výjezdu, do kterého odbočují opět vpravo [5].

Dopravu na okružní křižovatce se doporučuje organizovat tak, aby vozidla na vjezdu musela dávat přednost vozidlům na okružním pásu. V opačném případě dochází k rapidnímu poklesu kapacity okružní křižovatky a lze očekávat zvýšení nehodovosti [5].

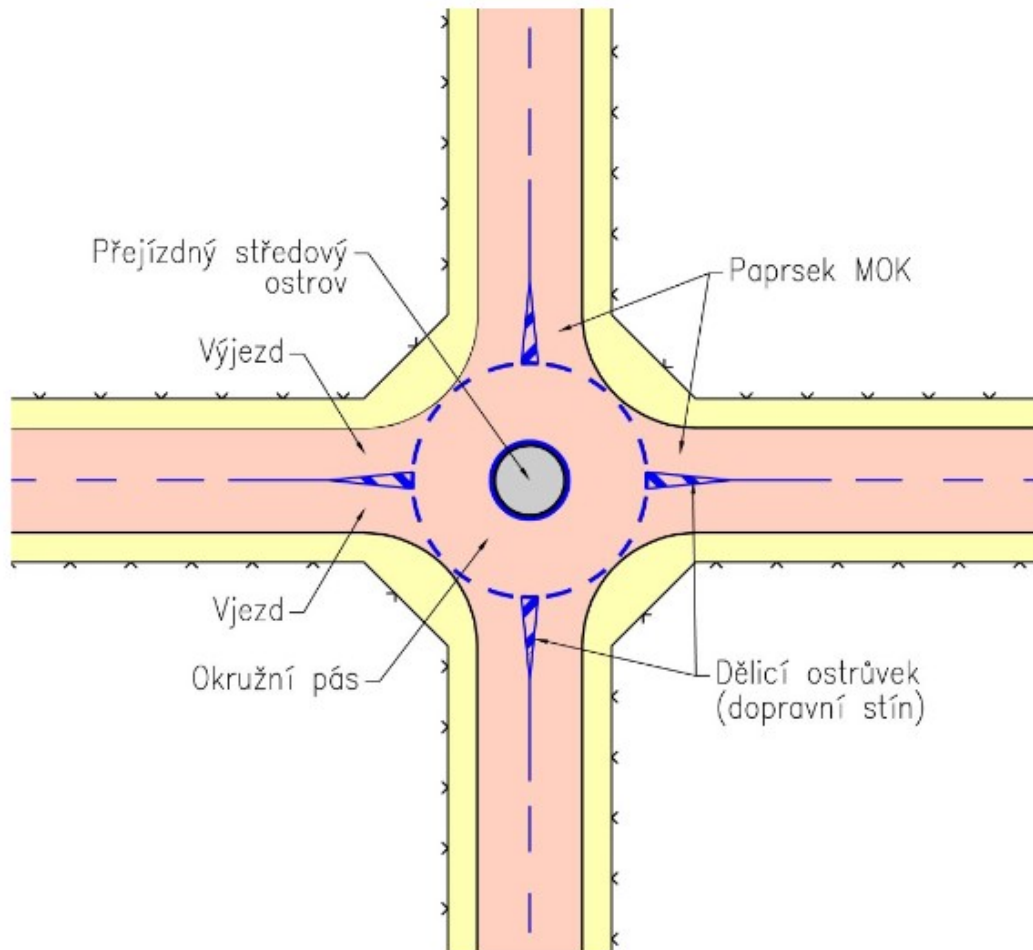
Dle Technických podmínek (TP 135) se okružní křižovatky rozdělují do tří skupin dle stavebního uspořádání na:

- miniokružní křižovatka (MOK),
- jednopruhové (JOK),
- turbo-okružní (TOK).

1.3.1 Miniokružní křižovatka (MOK)

Miniokružní křižovatka je úrovně křižovatka, jejíž vnější průměr $D \leq 23$ m. Navrhuje se vždy se zpevněným středovým ostrovem (výjimečně může být vyznačen pouze opticky). Základním účelem je usměrnit a zpomalit projíždějící vozidla. Má podobnou charakteristiku jako okružní křižovatka, kde však projedou po okružním pásu pouze osobní vozidla, případně dodávky. Průjezd větších vozidel je umožněn stejně jako na průsečné křižovatce, tj. přes středový ostrov. Zpravidla je přejížděný středový ostrov tvořen krytovou vrstvou z jiného materiálu (kámen, beton) než okružní pás.

MOK se umísťujú zejména na komunikáciách malého dopravného významu uvnitř měst a obcí. MOK se tedy navrhuje především jako zklidňující prvek dopravy, nikoliv jako prvek, který by měl řešit kapacitní problémy na silniční síti. MOK zpravidla nahrazují křižovatky s předností zprava v zónách 30 a obytných či pěších zónách [5].



Obr. 1.3 Schéma miniokružní křižovatky

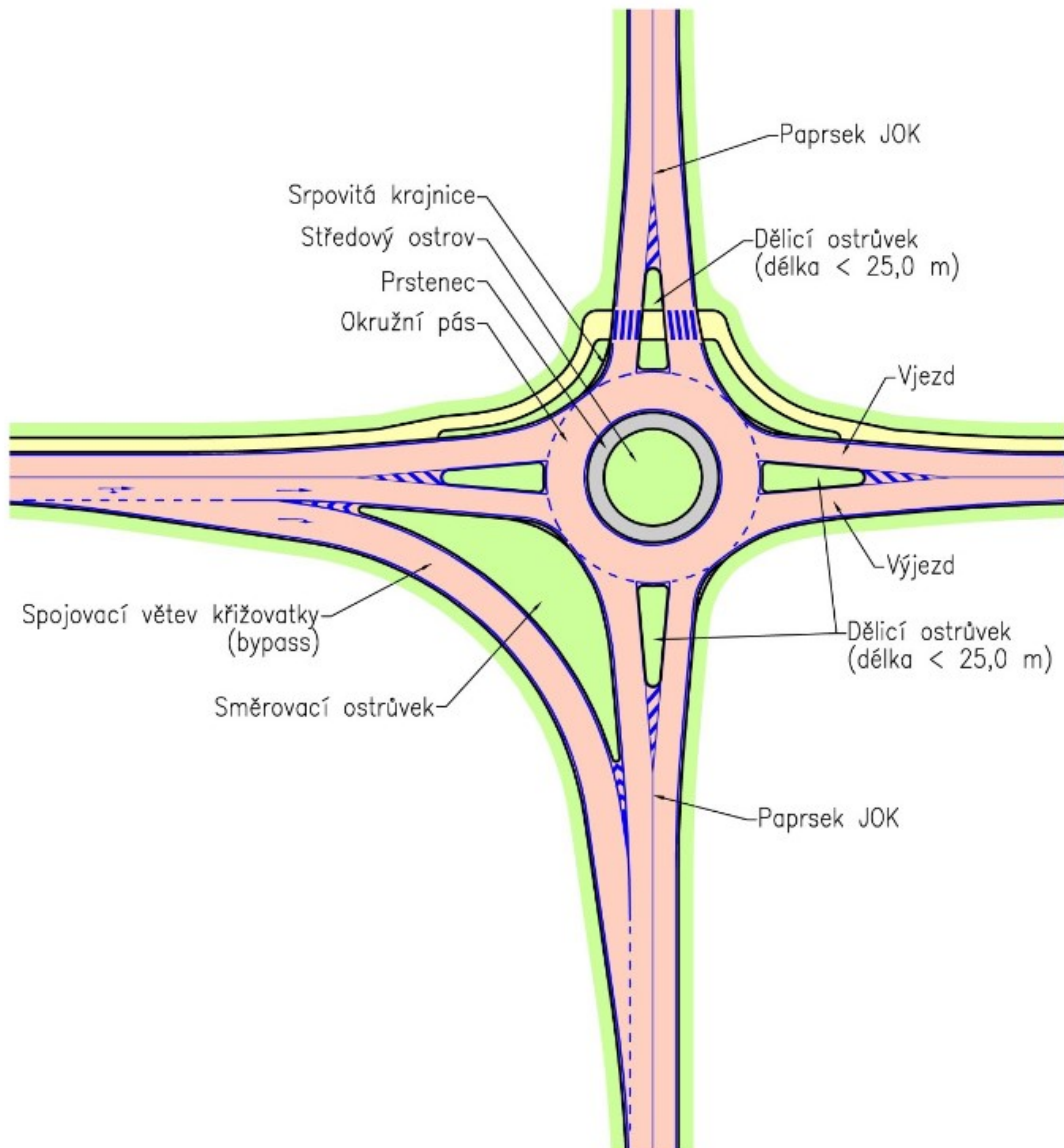
Zdroj: [5].

1.3.2 Jednopruhové okružní křižovatky (JOK)

Jednopruhová okružní křižovatka je úroňová křižovatka s jedním pruhem na vjezdech, okružním pásu a výjezdech, jejíž vnější průměr $D \geq 23$ m. Rozměr JOK závisí na počtu připojených paprsků a na místních možnostech připojení komunikací na okružní pás. Vnější průměr JOK není funkcí její kapacity. Cílem návrhu JOK je umožnit průjezd osobním a nákladním automobilům, vozidlům pro svoz odpadu a autobusům po

okružním pásu. Návěsové a přívěsové soupravy využijí k projetí křižovatky i prstencem se srpovitou krajnicí.

JOK se navrhuje na silnicích a místních komunikacích za účelem snížení jízdní rychlosti, zklidnění dopravy, a především zvýšení bezpečnosti silničního provozu. Současně je možné tyto křižovatky použít pro zvýšení kapacity oproti stávajícím neřízeným úrovnovým křižovatkám [5].

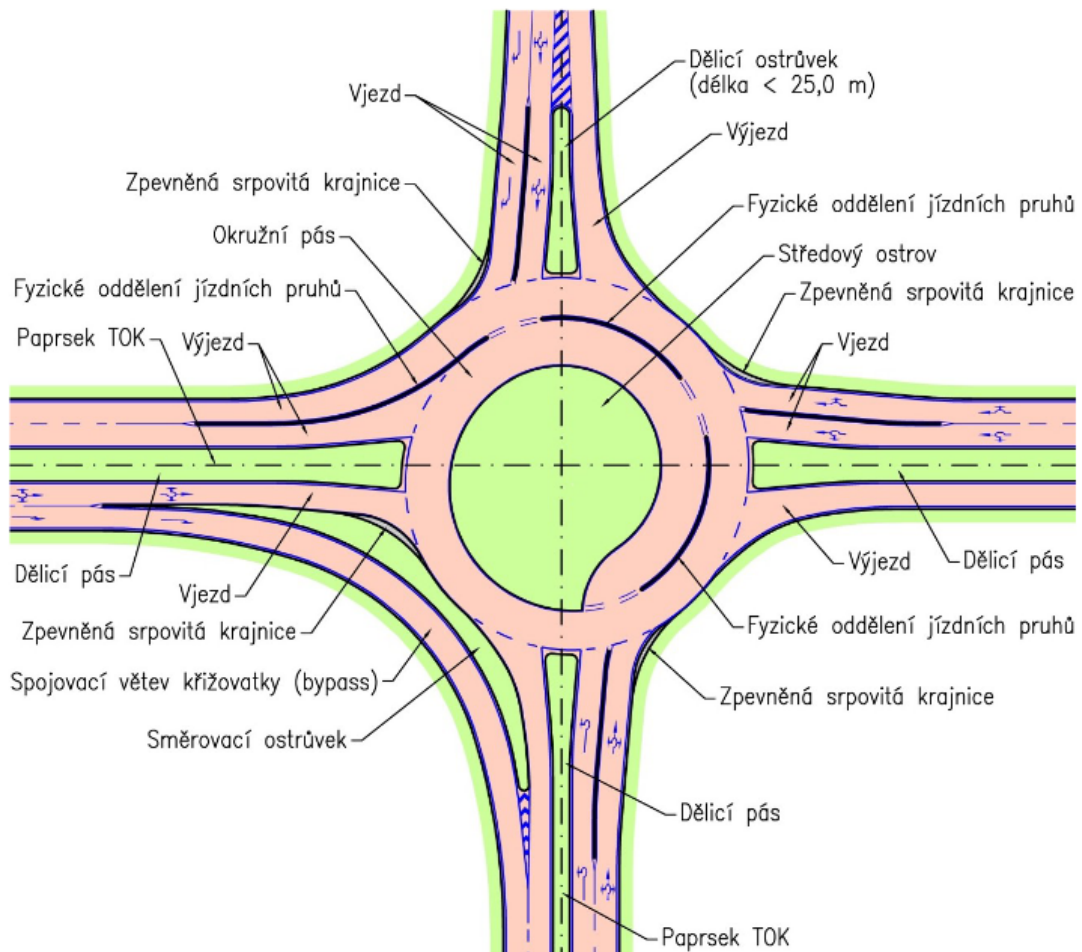


Obr. 1.4 Schéma jednopruhové okružní křižovatky

Zdroj: [5].

1.3.3 Turbo-okružní křižovatky (TOK)

Je specifickým typem okružní křižovatky se dvěma a více jízdními pruhy na okružním jízdním pásu. Principem je rozřazení vozidel do jízdních pruhů pro požadovaný směr odbočení před křižovatkou. Vozidla poté projíždějí 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 stávající nebo nově řešených křižovatkách za účelem zvýšení kvality dopravy. V české literatuře se někdy používá název spirálová okružní křižovatka [6].



Obr. 1.5 Schéma turbo-okružní křižovatky

Zdroj: [5].

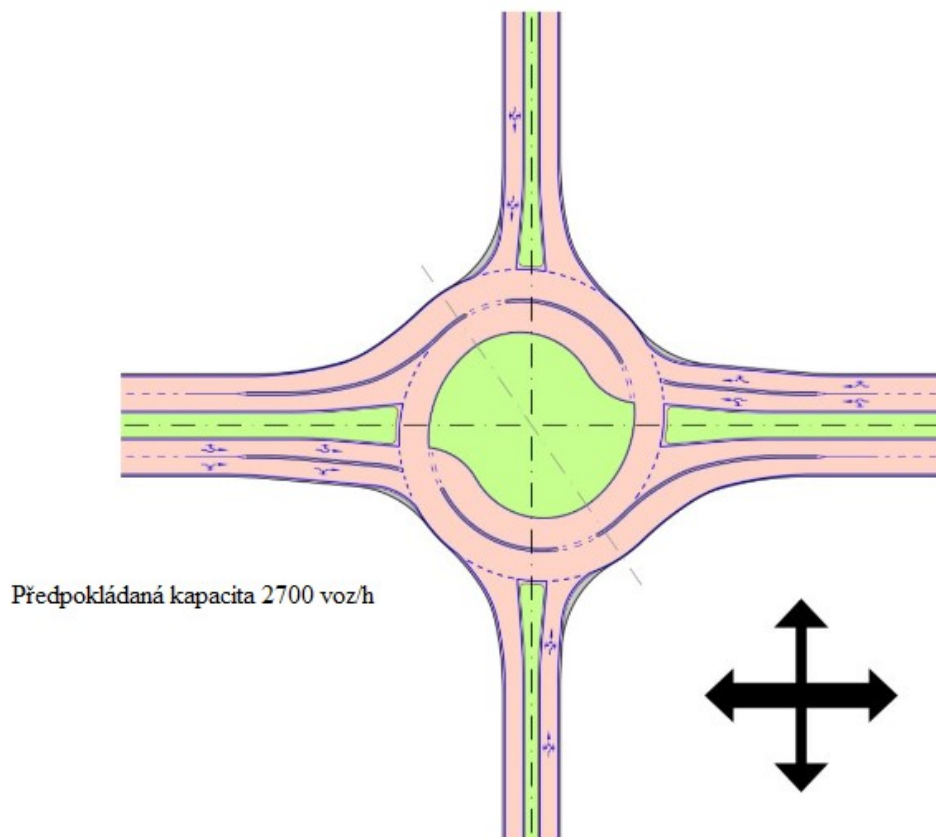
TOK se dále dle počtu paprsků a jízdních pruhů na jednotlivých paprscích a na okružním pásu rozlišují na následující typy:

Dle velikosti:

- malá TOK $D < 56,0$ m,
- malá standardní TOK $D 56-60$ m,
- standardní TOK $D 60-65$ m,
- velká TOK $D > 65$ m.

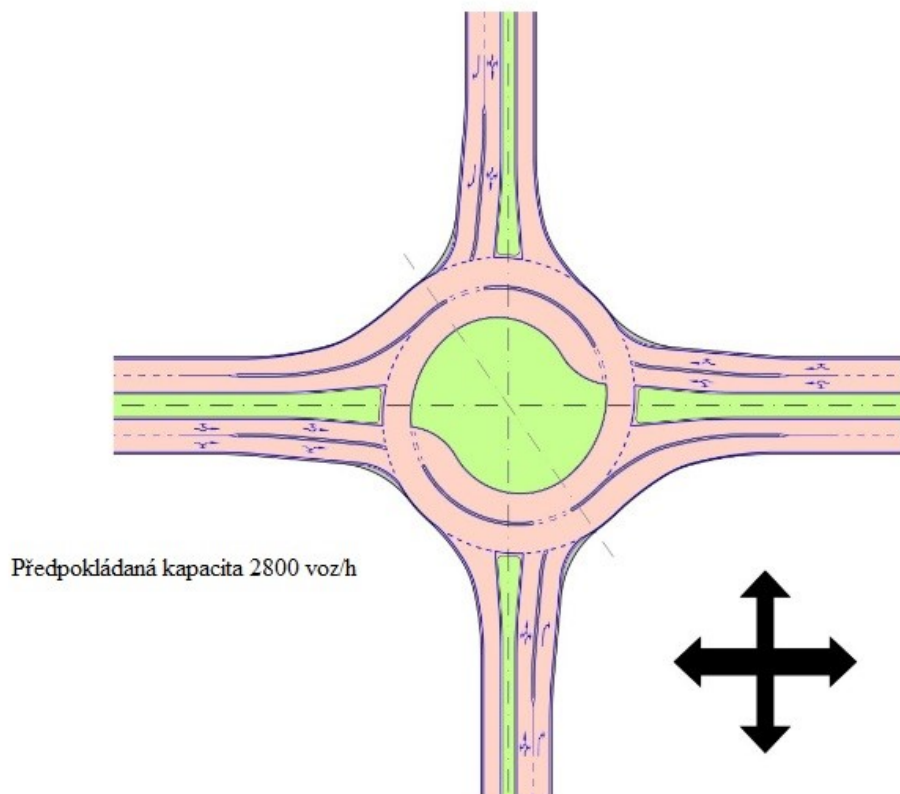
Dle množství paprsků:

- čtyřpaprskové
 - turbo-okružní křižovatka typu vejce (obr. 1.6),
 - základní turbo-okružní křižovatka (obr. 1.7),
 - turbo-okružní křižovatka typu koleno (obr. 1.8),
- třípaprskové
 - turbo-okružní křižovatka typu propnuté koleno (obr. 1.9) [6].



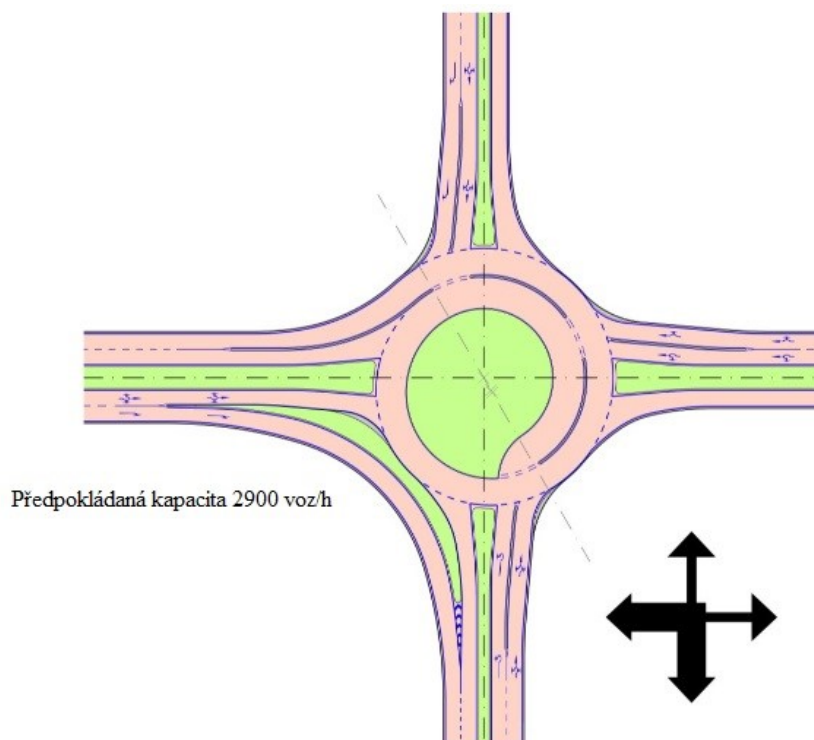
Obr. 1.6 Schéma TOK typu vejce (šipky znázorňují rozložení intenzit dopravy)

Zdroj: [5].



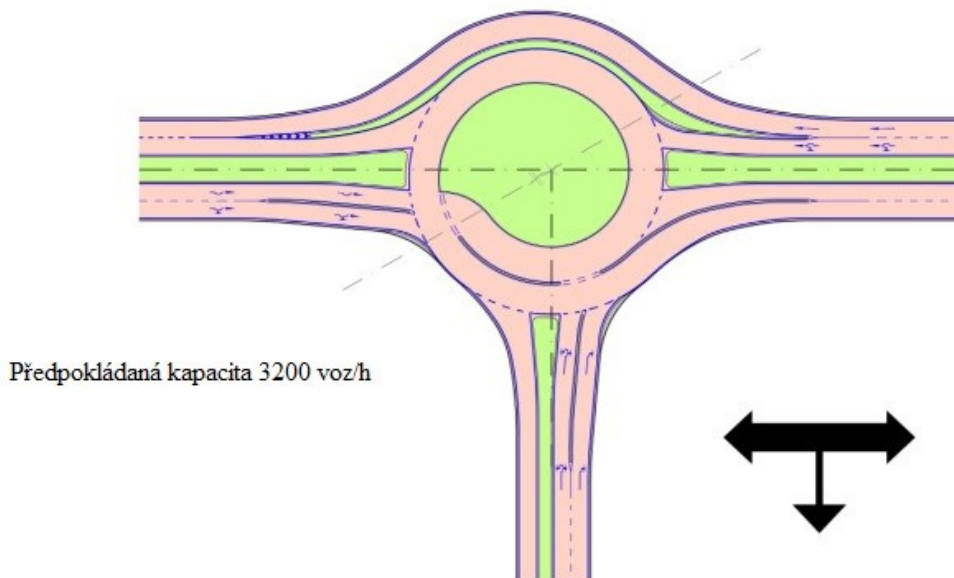
Obr. 1.7 Schéma základní TOK (šipky znázorňují rozložení intenzit dopravy)

Zdroj: [5].



Obr. 1.8 Schéma TOK typu koleno (šipky znázorňují rozložení intenzit dopravy)

Zdroj: [5].



Obr. 1.9 Schéma TOK typu propnuté koleno (šipky znázorňují rozložení intenzit dopravy)

Zdroj: [5].

1.4 Zvláštní typy okružních křižovatek

1.4.1 Světelně řízené okružní křižovatky

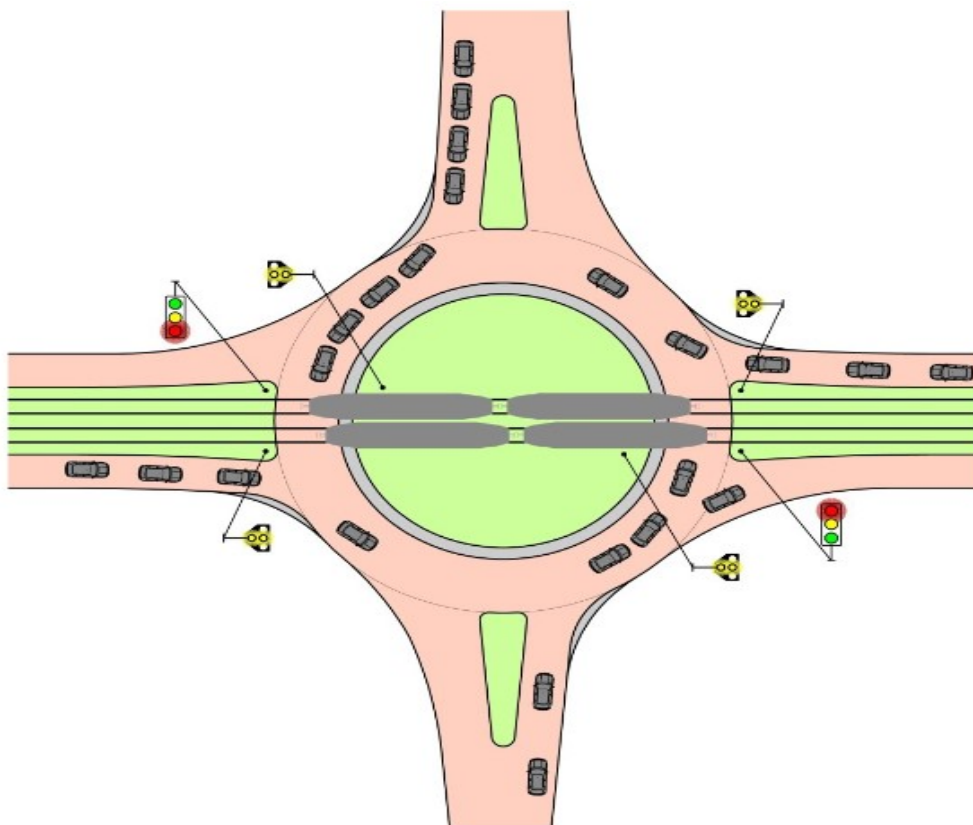
Uplatní se tam, kde je nutné řešit následující problémy:

- nedostatečnou kapacitu stávající okružní křižovatky,
- silné levé odbočení,
- nízkou úroveň kvality dopravy na jednom nebo více paprcích,
- bezpečné přecházení chodců.

Celková světelná signalizace je možná pouze na vícepruhových okružních křižovatkách s velkým průměrem, kde je dostatek místa pro čekající vozidla.

Okružní křižovatky s tramvajovou tratí

Tento typ okružní křižovatky znázorněný na obr. 1.10, kde je tramvajová doprava vedená přes středový ostrov není z hlediska bezpečnosti vhodná. V odůvodněných případech ji však lze připustit.

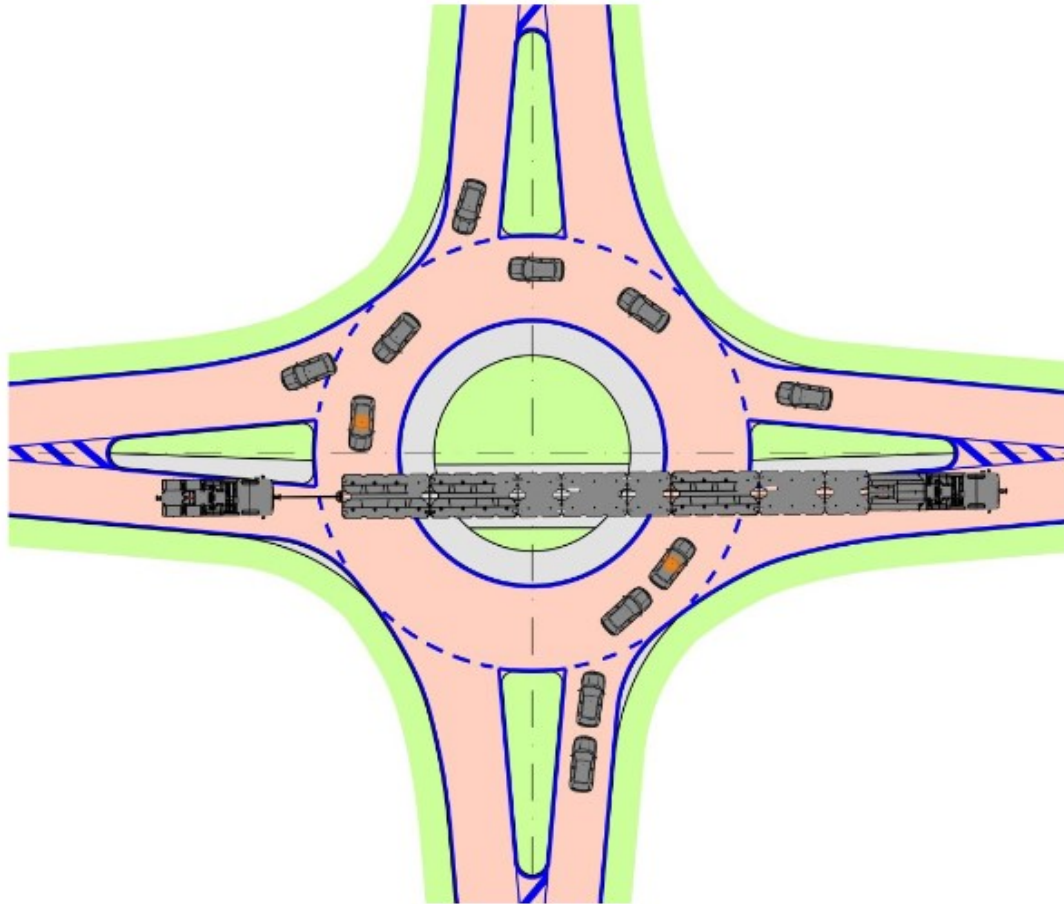


Obr. 1.10 Schéma okružní křižovatky s tramvajovou dopravou

Zdroj: [5].

1.4.2 Okružní křižovatky umožňující průjezd nadrozměrných vozidel

Takováto úprava okružní křižovatky je realizována tam, kde je třeba respektovat síť silničních páteřových tras pro přepravu těžkých a rozměrných nákladů včetně přístupových tras od zdrojů a cílů nadměrných nákladů např. průmyslové zóny. Příklad takové úpravy okružní křižovatky je zobrazen na obr. 1.11.



Obr. 1.11 Schéma úpravy okružní křižovatky pro průjezd rozměrného nákladu
Zdroj: [5].

1.5 Posouzení kapacity pro okružní křižovatky

Metodika výpočtu a posuzování kapacity všech druhů okružních křižovatek s předností v jízdě na okružním pásu vychází z technických podmínek TP 234. Tato metodika se používá pro okružní křižovatky pozemních komunikací i pro připojení účelových komunikací na silnice a místní komunikace. Je platná pro posuzování nových, stávajících i rekonstruovaných okružních křižovatek.

Výchozí teoretický model pro výpočet kapacity vjezdu vychází z metodiky německé směrnice Handbuch für die Bessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS). Tento postup vychází z teorie časových mezer, kdy kapacita vjezdu závisí na počtu pruhů na vjezdu a okruhu a na hodnotách t_g , t_f . Podkladem pro metodiku posuzování kapacity turbo-okružní křižovatek byla publikace prof. Brilona k programu Kreisel [3].

Orientační kapacity u různých typů křižovatek

Pro základní orientaci mezi různými typy křižovatek lze použít tab. 1.1, která prezentuje přibližný rozsah maximálních kapacit pro daný typ křižovatky. Jedná se o maximální hodinovou a celodenní kapacitu. Uvedené údaje v tabulce je nutné posuzovat jako přibližné, jelikož se u každé konkrétně křižovatky musí vycházet ze znalosti intenzit a usměrnění všech dopravních proudů a posouzení schopnosti křižovatky dosáhnout požadovaný stupeň úrovně kvality dopravy [3].

Tab. 1.1 Orientační maximální kapacity různých typů křižovatek.

Typ křižovatky	Maximální hodinová kapacita [voz/hod]	Maximální celodenní kapacita ^{c)} [voz/den]
Neřízená křižovatka ^{a)}	1 500 - 2 000	18 000 - 24 000
Miniokružní křižovatka ^{a)}	1 500 - 2 000	18 000 - 24 000
Okružní křižovatka s jedním pruhem na okružním pásu a jedním pruhem na vjezdu ^{a)}	2 000 - 2 700	24 000 - 32 000
Okružní křižovatka s dvěma pruhy na okružním pásu a dvěma pruhy na vjezdu ^{a)}	2 500 - 3 500	30 000 - 40 000
Turbo-okružní křižovatka ^{a)}	2 500 - 3 500	30 000 - 40 000
Světelně řízená křižovatka ^{b)}	2 000 - 6 400	24 000 - 77 000
^{a)} V závislosti na počtu jízdních nebo řadících pruhů a na intenzitách jednotlivých dopravních proudů.		
^{b)} Kapacita řízené křižovatky závisí - kromě způsobu řízení - především na počtu řadících pruhů.		
^{c)} Odvozeno z hodinových kapacit při běžných denních variacích dopravy.		

Zdroj: vlastní zpracování podle [3].

1.5.1 Úpravy pro zvýšení kapacity okružní křižovatky

Okružní křižovatka omezuje možnost kolize ve střetném bodě pouze pro nadřazený proud jedoucí po okruhu poměrně nízkou rychlostí. Vedle vyšší bezpečnosti nabízí také relativně vyšší kapacitu než křižovatky stykové a průsečné.

Zvýšení kapacity okružních křižovatek lze dosáhnout např. těmito úpravami:

- spojovací větví mezi dvěma sousedními paprsky,
- zvýšením počtu pruhů na okružním pásu,
- spirálovitým uspořádáním pruhů,
- řízením pomocí SSZ, zejména u spirálovitých okružních křižovatek; toto řešení může být i kapacitnější než u běžné světelně řízené křižovatky,
- přestavba na stykovou/průsečnou křižovatku se SSZ.

Pro výpočet kapacity okružní křižovatky je nutné připravit následující podklady:

- návrhové intenzity dopravních proudů,
- geometrické uspořádání,
- posouzení úrovně kvality dopravy.

Návrhové intenzity dopravních proudů

Analýza současného stavu křižovatky se provádí na intenzity dopravy zjištěné dopravním průzkumem. Návrh křižovatky se kapacitně posuzuje na výhledové intenzity dopravy v souladu s ČSN 73 6101¹, ČSN 73 6102², ČSN 73 6110³ a TP 225⁴.

Dle skladby dopravních proudů se provede přenásobením intenzit dopravy přepočtovými koeficienty podle tab. 1.2.

Tab. 1.2 Přepočtové koeficienty skladby dopravního proudu

Typ křižovatky	Jízdní kola	Motocykly	Osobní vozidla ^{a)}	Nákladní vozidla, autobusy ^{b)}	Nákladní soupravy, kloubové autobusy
Okružní křižovatky	0,5	0,8	1,0	2,0	3,0

^{a)} Včetně nákl. vozidel do 3,5 t celkové hmotnosti.
^{b)} Nákl. vozidla nad 3,5 t celkové hmotnosti mimo nákladních souprav a autobusy.

Zdroj: vlastní zpracování podle [3].

Geometrické uspořádání

Dalším předpokladem pro použití metodiky je znalost geometrického uspořádání okružní křižovatky:

- počet jízdních pruhů na vjezdu (n_i) [-],
- počet jízdních pruhů na výjezdu (n_e) [-],
- počet jízdních pruhů na okruhu (n_k) [-],
- vnější průměr okružní křižovatky (D) [m],
- poloměr vjezdu (R_i) [m],
- poloměr výjezdu (R_e) [m],
- vzdálenost mezi kolizními body (b) [m],
- délka přechodu pro chodce na výjezdu z okružního pásu (d_p) [m],

¹ Projektování silnic a dálnic, včetně Změny1, 2009.

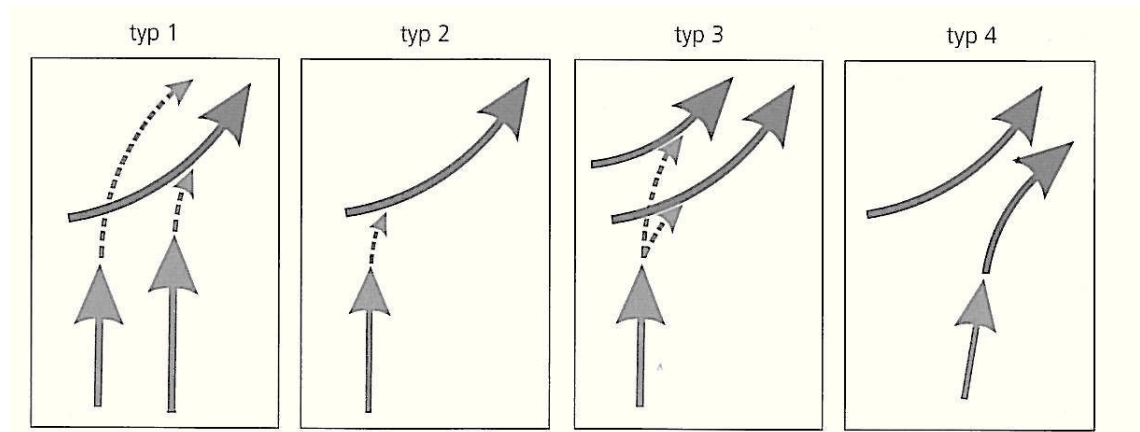
² Projektování křižovatek na pozemních komunikacích, včetně Změny 1, 2011.

³ Projektování místních komunikací, včetně Změny 1, 2010.

⁴ Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích.

- spojovací větev mezi sousedními paprsky.

Pro výpočet turbo-okružní křižovatky jsou uvažovány čtyři typy uspořádání vjezdu dle obr. 1.12.



Obr. 1.12 Typy uspořádání vjezdu do turbo-okružní křižovatky

Zdroj: [3].

Úroveň kvality dopravy

Ke stanovení závěrů kapacitního posouzení okružní křižovatky je nutné ověřit, jestli pro intenzitu dopravy na vjezdu není překročena hodnota střední doby zdržení t_w dle následujících podmínky:

$$t_w^n \leq t_{w,lim}$$

kde t_w^n je střední doba zdržení vozidel v dopravním proudu n [s],

$t_{w,lim}$ je nejvyšší přípustná střední doba zdržení vozidel dle požadovaného stupně úrovně kvality dopravy [s].

Posouzení splnění podmínky nepřekročení nejvyšší přípustné hodnoty střední doby zdržení se provede pro všechny vjezdy do okružní křižovatky. Pro celkové hodnocení křižovatky výsledným stupněm úrovně kvality dopravy je rozhodující nejméně příznivé hodnocení s nejvyšší střední dobou zdržení.

Požadované stupně kvality dopravy pro jednotlivé kategorie komunikací se nachází v tab. 1.3.

Tab. 1.3 Limitní hodnoty střední doby zdržení na vjezdu do okružní křižovatky

Úroveň kvality dopravy		Střední doba zdržení [s]
Označení	Charakteristika doby zdržení	
A	Doba zdržení velmi malá	≤ 10
B	Zdržení ještě bez front	≤ 20
C	Ojediné krátké fronty	≤ 30
D	Stabilní stav s vysokými ztrátami	≤ 45
E	Nestabilní stav	> 45
F	Překročená kapacita	stupeň vytižení $a_v > 1$

Zdroj: vlastní zpracování podle [3].

1.5.2 Metoda pro výpočet kapacity pro okružní křižovatku

Výpočtová metoda podle TP 234 je platná pro tyto okružní křižovatky s předností jízdy na okruhu:

- miniokružní křižovatky,
- okružní křižovatky s jedním pruhem na okruhu,
- okružní křižovatky se dvěma pruhy na okruhu,
- turbo-okružní křižovatky.

Metoda předpokládá rozdělení délek časových odstupů v dopravním proudu podle logaritmicko-normálního rozdělení.

Kapacita vjezdu do okružní křižovatky je dána vztahem dle vzorce (1-1):

$$C_{g,v} = 3600 \cdot \left(1 - \frac{\Delta \cdot I_o}{n_o \cdot 3600} \right)^{n_b} \cdot \frac{k_{v,usp}}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_o}{3600} \left(t_g - \frac{t_f}{2} - \Delta \right)} \quad (1-1)$$

kde je $C_{g,v}$ základní kapacita vjezdu (bez vlivu přecházejících chodců) [pvoz/h],

I_o intenzita dopravy na okruhu v místě vjezdu [pvoz/h],

n_o počet jízdních pruhů na okruhu v místě vjezdu [-],

$k_{v,usp}$ koeficient uspořádání jízdních pruhů na vjezdu a okruhu [-],

$k_{v,usp} = 1,00$ pro jednopruhové vjezdy,

$k_{v,usp} = 1,50$ pro dvoupruhové vjezdy,

t_g kritický časový odstup [s],

- t_f následný časový odstup [s],
- Δ minimální časový odstup vozidel jedoucích na okruhu za sebou [s],
- e Eulerovo číslo [-].

Do vzorce (1-1) se zadávají následující hodnoty kritických, následných a minimálních časových odstupů:

Okružní křižovatky s jedním pruhem na okruhu:

t_g v závislosti na vzdálenosti mezi kolizními body b :

$$\begin{aligned} b < 11,00 \text{ m} & \quad t_g = 4,5 \text{ s} \\ 11,00 \leq b \leq 20,00 & \quad t_g = 5,6 - 0,1 \cdot b \\ b > 20,00 \text{ m} & \quad t_g = 3,6 \text{ s} \end{aligned}$$

b je vzdálenost mezi kolizními body na okruhu [m]

t_f v závislosti na poloměru vjezdu:

$$\begin{aligned} R_i < 8,00 \text{ m} & \quad t_f = 3,1 \text{ s} \\ 8,00 \leq R_i \leq 16,00 & \quad t_f = 3,6 - 0,0625 \cdot R_i \\ R_i > 16,00 \text{ m} & \quad t_f = 2,6 \text{ s} \end{aligned}$$

R_i je poloměr vjezdu [m]

Δ jako konstantní hodnota: $\Delta = 2,1 \text{ s}$

Okružní křižovatky se dvěma pruhy na okruhu:

t_g jako konstantní hodnota: $t_g = 3,7 \text{ s}$

t_f jako konstantní hodnota: $t_f = 2,6 \text{ s}$

Δ jako konstantní hodnota: $\Delta = 2,1 \text{ s}$

Miniokružní křižovatky:

t_g jako konstantní hodnota: $t_g = 4,5 \text{ s}$

t_f jako konstantní hodnota: $t_f = 3,1 \text{ s}$

Δ v závislosti na vnějším průměru okružní křižovatky:

$$\begin{aligned} D < 13,00 \text{ m} & \quad \Delta = 2,8 \text{ s} \\ 13,00 \leq D \leq 23,00 & \quad \Delta = 3,45 - 0,05 \cdot D \\ D > 23,00 \text{ m} & \quad \Delta = 2,3 \text{ s} \end{aligned}$$

D je vnější průměr okružní křižovatky [m].

Turbo-okružní křižovatky:

Typy uspořádání vjezdu 1-4 jsou znázorněny na obr. 1.12.

Typ 1:

t_g jako konstantní hodnota: $t_g = 3,7$ s

t_f jako konstantní hodnota: $t_f = 2,6$ s

Δ jako konstantní hodnota: $\Delta = 2,1$ s

Typ 2:

t_g v závislosti na vzdálenosti mezi kolizními body b :

$$b < 11,00 \text{ m} \quad t_g = 4,5 \text{ s}$$

$$11,00 \leq b \leq 20,00 \quad t_g = 5,6 - 0,1 \cdot b$$

$$b > 20,00 \text{ m} \quad t_g = 3,6 \text{ s}$$

b je vzdálenost mezi kolizními body na okruhu [m]

t_f v závislosti na poloměru vjezdu:

$$R_i < 8,00 \text{ m} \quad t_f = 3,1 \text{ s}$$

$$8,00 \leq R_i \leq 16,00 \quad t_f = 3,6 - 0,0625 \cdot R_i$$

$$R_i > 16,00 \text{ m} \quad t_f = 2,6 \text{ s}$$

R_i je poloměr vjezdu [m]

Typ 3:

t_g jako konstantní hodnota: $t_g = 3,7$ s

t_f jako konstantní hodnota: $t_f = 2,6$ s

Δ jako konstantní hodnota: $\Delta = 2,1$ s

Typ 4:

U tohoto typu se základní vzorec kapacity (1-1) upravuje takto:

$$C_{g,v} = 3600 / t_f$$

za t_f se dosazuje v závislosti na poloměru vjezdu:

$$R_i < 8,00 \text{ m} \quad t_f = 3,1 \text{ s}$$

$$8,00 \leq R_i \leq 16,00 \quad t_f = 3,6 - 0,0625 \cdot R_i$$

$$R_i > 16,00 \text{ m} \quad t_f = 2,6 \text{ s}$$

R_i je poloměr vjezdu [m].

Rezerva kapacity

Před určením hodnoty t_w vyjádřené v sekundách se ze znalostí návrhové intenzity dopravních proudů a vypočtené kapacity pruhu stanoví rezerva dle vztahu (1-2):

$$\text{Rez} = C_i - I_i \quad (1-2)$$

C_i	kapacita vjezdu [pvoz/h],
I_i	intenzita dopravy na vjezdu [pvoz/h].

Stanovení střední doby zdržení

Střední doba zdržení je odvozena z rovnic Kimber/Hollis odvozených z teorie front, vychází ze závislosti na kapacitě jízdního pruhu a její rezervě dle vztahu (1-3):

$$\begin{aligned}
 t_w &= D_1 + E + \frac{1}{\mu} \\
 D_1 &= \frac{1}{2} \left(\sqrt{F^2 + G} - F \right) \\
 F &= \frac{1}{\mu_0 - q_0} \cdot \left[\frac{T}{2} \cdot (\mu - q) \cdot y + \left(y - \frac{\mu - \mu_0 + q_0}{\mu} \right) \right] + E \\
 G &= \frac{2 \cdot T \cdot y}{\mu_0 - q_0} \cdot \left[\frac{q}{\mu} - (\mu - q) \cdot E \right] \\
 E &= \frac{q_0}{\mu_0 \cdot (\mu_0 - q_0)} \\
 y &= 1 - \frac{\mu - \mu_0 + q_0}{q} \tag{1-3}
 \end{aligned}$$

- kde t_w je střední doba zdržení [s],
 T doba trvání požadovaného intervalu [s], $T = 3600$ s,
 μ kapacita pruhu podřazeného dopravního proudu v uvažovaném intervalu [pvoz/s], $\mu = \frac{C_n}{3600}$,
 q intenzita podřazeného dopravního proudu [pvoz/s], $q = \frac{I_n}{3600}$,
 μ_0 kapacita v čase po špičkovém intervalu [pvoz/s], $\mu_0 = n_{i,koef} \cdot \frac{1600}{3600}$,
 q_0 intenzita pořádného dopravního proudu po špičkovém intervalu [pvoz/s].

Stanovení délky fronty

Délka fronty na vjezdech do neřízené křižovatky se dimenzuje na 95 % pravděpodobnost uvažované délky fronty.

Stupeň vytížení je dán následujícím vztahem (1-4):

$$a_v = \frac{I_n}{C_n} \tag{1-4}$$

- kde a_v je stupeň vytížení [-],

I_n návrhová intenzita dopravního proudu n [pvoz/h],

C_n kapacita pruhu dopravního proudu n [pvoz/h],

Délka fronty $N_{95\%}$ je dána vztahem (1-5):

$$N_{95\%} = \frac{3}{2} \cdot C_n \left(a_v - 1 + \sqrt{(1 - a_v)^2 + 3,0 \frac{8 \cdot a_v}{C_n}} \right) \quad (1-5)$$

kde $N_{95\%}$ je délka fronty [m],

a_v stupeň vytížení [-],

C_n kapacita pruhu dopravního proudu n [pvoz/h].

Posouzení kapacity výjezdu

Základní kapacita výjezdu z okružní křižovatky je dána vztahem:

$$C_e = \frac{3600 \cdot n_{e,koef}}{t_f} \quad (1-6)$$

kde C_e je kapacita výjezdu [voz/h],

$n_{e,koef}$ koeficient zohledňující počet pruhů na výjezdu [-],

$n_{e,koef} = 1,00$ pro jednopruhové výjezdy,

$n_{e,koef} = 1,50$ pro dvoupruhové výjezdy,

t_f následný časový odstup vozidel na výjezdu z okružní křižovatky [s].

Hodnota t_f je dána vztahem (1-7):

$$t_f = \begin{cases} 3,0 & \text{pro } R_e < 15 \\ 3,6 - 0,04 R_e & \text{pro } 15 \leq R_e \leq 30 \\ 2,4 & \text{pro } R_e > 30 \end{cases} \quad (1-7)$$

kde R_e je poloměr výjezdu [m].

Posouzení kapacity

Pro každý výjezd okružní křižovatky se vypočte stupeň vytížení a_v dle vzorce (1-8):

$$a_v = \frac{I_e}{C_e} \quad (1-8)$$

kde a_v je stupeň vytížení [-],
 I_e intenzita vozidel na výjezdu [voz/h],
 C_e kapacita výjezdu [voz/h].

Pokud je $a_v < 0,9$ výjezd kapacitně vyhovuje pro $a_v \geq 0,9$ výjezd nevyhovuje. Vliv vzdutí vozidel do okružního pásu se doporučuje v odůvodněných případech prověřit pomocí mikroskopické simulace [3].

V praxi se pro výpočet kapacity často využívá dopravní modelování pomocí simulace dopravních procesů. Více se tímto tématem zabývá následující kapitola.

2 Modelování a simulace

Modelování představuje progresivní a efektivní nástroj výzkumu, použitelný ve všech oblastech lidské činnosti, dopravu nevyjímaje. Nabízí velké možnosti řešení problémů s novou kvalitou, což je umocněno stále se zlepšujícími možnostmi výpočetní techniky. Ačkoli obecně existuje mnoho metod, algoritmů nebo technik, je nutné podotknout, že použití tohoto nástroje vyžaduje tvůrčí, flexibilní přístup, zejména v oblasti aplikace modelu v konkrétních, často velmi různorodých podmínkách [7].

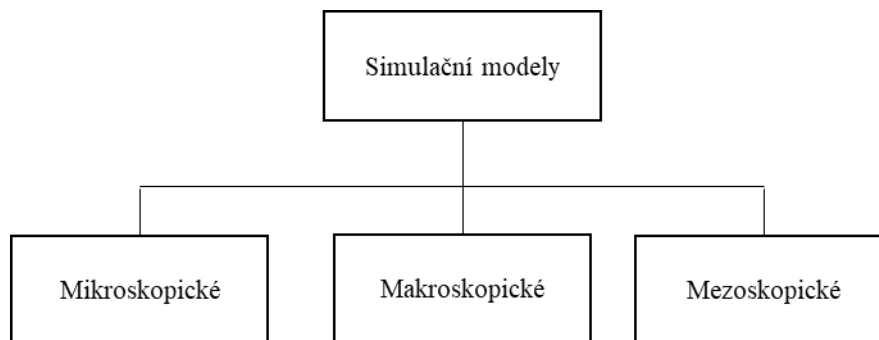
Z pohledu definice je modelování výzkumná technika, která nahrazuje zkoumaný reálný systém jeho modelem. Prostřednictvím modelu jsou získávána informace o zkoumaném systému (originálu). Tím je umožněno navrhovat řešení a tato ověřovat.

Simulace je výzkumná metoda práce se simulačním modelem, reprezentujícím chování zkoumaného systému. Výsledkem je informace o chování systému v konkrétně zadaných podmínkách. Teprve provedením množiny tzv. simulačních experimentů je možné získat obecné informace o modelovaném systému.

Model je přibližná idealizovaná napodobenina části reálného světa (záměrné zjednodušení skutečnosti). Model je selektivní aproximací, zahrnuje jen takové aspekty reálného světa, které jsou podstatné pro řešený problém. Pomocí modelu se získávají informace o zkoumaném systému (originálu), čímž je umožněno navrhovat řešení a tato ověřovat [7].

Z hlediska pojetí dopravních elementů lze modely členit na:

- mikroskopické,
- makroskopické,
- mezoskopické.



Obr. 2.1 Simulační modely

Zdroj: vlastní zpracování.

Mikroskopické modely obvykle pracují s individuálními dopravními elementy (silničními vozidly, resp. jejich druhy). Tento typ modelů se používá především pro simulaci křižovatek nebo vybraných, prostorově omezených částí dopravní sítě. Častokrát jsou zachovány i dynamické jízdní vlastnosti dopravních elementů.

Makroskopické modely pracují agregovanými charakteristikami a ukazateli, např. intenzitami dopravních proudů. Využití nacházejí zejména pro území většího rozsahu (města, kraje, státy), kdy se využívá toho, že proudové pojetí modelu snižuje výpočetní nároky oproti mikroskopickým modelům. Na pozici dopravního elementu se často uvažuje s jednotkovými vozidly (odpovídají osobním vozidlům, ostatní druhy jsou na ně transformovány pomocí koeficientů).

Mezoskopické modely jsou spojovacím článkem mezi mikroskopickými a makroskopickými modely. Vybrané prvky např. kolony silničních vozidel jsou brány jako celek, a naopak ve vybraných situacích je zachován individuální popis jednotlivých dopravních elementů [7].

2.1 Základní terminologie

Pro základní orientaci v dané problematice jsou zde uvedeny základní pojmy, které se vztahují k modelování v dopravě.

Abstrakce „zanedbání nedůležitých aspektů objektu zkoumání, tj. uvažují se jen pro daný účel podstatné vlastnosti“.

Atribut „údaj charakterizující vlastnost prvku systému (např. délka úseku)“.

Cíl/ústí „uzel, ve kterém dopravní elementy vstupují do dopravní sítě do okolí tohoto uzlu; jejich doprava zde končí – elementy zde zanikají“.

Dávka „soubor několika elementů, které se v určité fázi dopravního procesu pohybují společně“.

Dopravní element „objekt přemístění, který se v průběhu dopravního procesu na nejnižší rozlišovací úrovni nedělí na menší části např. silniční vozidlo, cestující, zásilka“.

Kalibrace modelu „nastavení parametrů modelu, provádí se zpravidla na základě dopravních průzkumů nebo jiných srovnání s realitou“.

Komplet „objekt schopný samostatného pohybu v dopravním procesu např. automobil s řidičem“.

Kongesce „označení pro situaci na dopravní síti, zejména pozemních komunikací, kdy vlivem vysoké intenzity dopravního proudu dochází ke zpomalení dopravy a k poklesu její kvality. V krajním případě může dojít až k zastavení dopravy. Kapacita pozemních komunikací je vyčerpána nebo se stavu vyčerpání blíží. Kongesce jsou často doprovázeny negativními efekty z hlediska životního prostředí např. hluk, znečištění ovzduší“.

Objekt zkoumání „objekt, který je modelován např. křižovatka“.

Parametry modelu „charakteristické hodnoty, které lze zpravidla nedají přímo zjistit např. měřením; dosazují se různé hodnoty a sledují se výsledky modelu do toho času, než modelem poskytované výsledky odpovídají realitě. Pro konkrétní model jsou pak kalibrované nebo otestované hodnoty koeficientů neměnné, při přenosu modelu musejí být přizpůsobeny novým podmínkám.

Trasa „posloupnost uzlů a na sebe navazujících úseků mezi těmito uzly“.

Zdroj: [7 s. 12-13].

2.2 Simulační modely

Posouzení kapacity křižovatek, návrh řešení pro zvýšení kapacity, optimalizace spadá do kategorie úloh, které jsou řešeny pomocí výpočetní techniky a specializovaného softwaru. Tento způsob řešení se nazývá dopravní modelování.

Dopravní modelování je zaměřeno k řešení různých typů složitých dopravních problémů. Jeho využívání se datuje od poloviny 20. století jako reakce na stále častěji se objevující

problémy v silničním provozu. Razantní rozvoj nastává především s nástupem výpočetní techniky. S rostoucí kapacitou počítačových pamětí a vyšším výkonem procesorů, je umožněno výrazné zkrácení doby zpracování těchto velmi často složitých a rozsáhlých úloh.

Jako typickou oblastí spojenou s dopravními modely je prognózování silniční dopravy. Modelování se však uplatnilo i v jiných dopravních oborech a za jinými účely. Jeho využití v dopravě je tak velmi široké, využívá se různých metod, ale i přístupů k modelování.

V současné době je na trhu velké množství simulačních softwarů, ze který je možné vybrat ten nejvhodnější pro zamýšlenou tvorbu simulačního modelu. Tab. 2.1 dává přehled o těch nejznámějších, nicméně se nejedná o úplný seznam všech dostupných programů pro dopravní modelování.

Tab. 2.1 Přehled simulačních programů.

Městské	Meziměstské (extravilánové)	Kombinované (městské a meziměstské)	Automatizované silniční systémy	jiné
Artwork	Autobahn	Aimsun	Pharos	Anatoll
Casim	Carsim	Anylogic	Shiva	Mimic
Casimir	Forsim	Corsim	Simdac	Parksim
Dracula	Freevu	Dynasim	Smart-Ahs	Trarr
Hutsim	Fresim	Flexsyt II	Smartpath	Trgmsm
Micstran	Simco	Micro	Speacs	VTI
Mission	Sistm	Microsim		
Mitram	Weavsim	Simtraffic		
Sigsim		Vissim		
Simnet				
Trafficq				

Zdroj: vlastní zpracování podle [7].

Simulace je obvykle vhodnou alternativou k analytickým metodám. Pokud je znám analytický model, lze jeho výstup přesně spočítat. Avšak v případě nelineárních dynamických systémů jako jsou dopravní systémy, je jejich popis analytickými metodami velmi složitý. Simulační model umožní zachytit celou dopravní situaci a usnadní nalezení vhodného řešení pro daný dopravní problém, je však třeba počítat s charakteristickými vlastnostmi simulace.

Základní charakteristika simulace:

- výsledky simulace závisí na kvalitě daného modelu,
- simulace poskytují pouze přibližný výsledek.

Příklad simulačního modelu

Na obr. 2.2 je znázorněna mikroskopická simulace na silnici I/20 Karlovy Vary, Tašovice. Tento typ simulačního modelu se zabývá podrobnou studií pohybu vozidel na malém modelovaném území s respektováním prostorového uspořádání území, dynamiky a skladby dopravního proudu, pravidel provozu a intenzity provozu včetně nahodilého rozdělení příjezdů vozidel a chodců v jednotlivých směrech. Využití takových modelovacích postupů umožňuje ověřovat řešení v řadě variant návrhu a provozních podmínek. Výsledkem celé mikrosimulace není pouze trojrozměrný pohled na sledované území, ale také rozsáhlá statistika měřených údajů (rychlost, zdržení, hustota), na základě, kterých je možné sestavit hodnotící kritéria pro jednotlivé varianty [8].



Obr. 2.2 Mikroskopická dopravní simulace varianta TOK.

Zdroj: [8].

2.3 Mikrosimulační model a jeho možné aplikace

Modelování dopravního jevu zahrnuje obvykle několik úloh, jako je sběr základních dat pro model, vývoj modelu a modelovací techniky, doladování a ověření zvolených modelovacích metod, využití modelu jako takového a využití, hodnocení a rozšíření výsledků modelování [7].

Vytvoření simulačního modelu

Mikrosimulační model se tvoří v těchto krocích:

- identifikace rámce a cílů a výběr vhodného softwaru,
- vytvoření základního modelu,
- kalibrace a validace modelu,
- kontrola výstupů.

2.3.1 Identifikace rámce a cílů a výběr vhodného softwaru

Mikrosimulace se většinou používá na relativně malém území (křižovatka, skupina křižovatek) a v krátkém čase (několik hodin). Může do ní být zahrnuto velké množství vstupních dat, ale vždy je třeba je použít s ohledem na požadované cíle simulace [7].

Před započítím tvorby modelu je třeba odpovědět na následující otázky:

- 1) Je tento projekt potřeba?
- 2) Jaké jsou charakteristiky daného projektu?
- 3) Na jaké otázky má projekt najít odpověď?
- 4) Jaké se budou posuzovat varianty?
- 5) Jaké jsou dostupné podklady?

Výběr vhodného softwaru pro zadaný projekt:

- 1) Je vybraný software vhodný pro daný projekt má schopnost řešit požadovaný problém?
- 2) Má software schopnost obsáhnout potřebný rozměr projektu (územně i časově)?
- 3) Je vybraný software dostupný?
- 4) Je software uživatelsky přívětivý?
- 5) Jaká je podpora výrobce?

2.3.2 Vytvoření základního modelu

Příprava vstupních dat

Vzhledem ke stále zvyšující se komplexitě softwaru na mikrosimulace roste i potřeba většího rozsahu vstupních dat, která jsou potřeba jak pro vytvoření sítě, tak pro kalibraci a validaci modelu.

Vstupní data se dělí na statická a dynamická. Statická data obsahují fyzické a technické vlastnosti dopravní sítě, jako je např. tvar křižovatky, počty pruhů, šířka pruhů, pravidla přednosti. Dynamická data zahrnují především poptávku (OD matice nebo křižovatkové intenzity) a také signální plány řízených křižovatek. Dopravní poptávku lze získat z dat automatických sčítačů v členění podle typu vozidel, z pravidelných průzkumů sčítání dopravy, vlastního směrového dopravního průzkumu, z dat o hromadné dopravě a jejich jízdnicích řádů nebo z jiného již zpracovaného modelu. Je také důležité zadat následující data:

- délky vozidel a jejich podíl v dopravním proudu,
- rozdělení rychlosti vozidel v dopravním proudu,
- zrychlení a zpomalení vozidel,
- informovanost a agresivita řidičů, schopnost řidičů změnit pruh, potřebná délka mezery a odstupy vozidel.

Kontrola chyb a výstupy

Je nutné zajistit geometrickou správnost navrhované sítě, protože v případě chybné geometrie může docházet k chybným výsledkům.

Běžně je simulační software schopen poskytovat řadu statistických výstupů na úrovni linky, koridoru nebo plochy. Je schopen poskytnout charakteristiky dopravního proudu z virtuálních detektorů, simulujících automatické sčítače dopravy. Moderní simulační software navíc dává kvalitní výstup v podobě vizualizace, který je důležitý pro kontrolu modelu a současně pro prezentaci výsledků laikům.

Mezi typické výstupy patří:

- vizualizace dopravního proudu ve 2D nebo 3D;
- statistické výstupy pro zadanou oblast:
 - cesty vozidel,
 - intenzity na lince i odbočení,
 - rychlost a zdržení,
 - délka kolony,
 - hustota dopravy,
 - cestovní čas,
 - a další data.

- parametry vztahující se životnímu prostředí, např. spotřeba pohonných hmot a emise.

Je nezbytné, aby byly výstupy z mikrosimulačních modelů podrobeny následné analýze a optimalizaci, při které budou nalezeny hodnoty technologicko-provozních ukazatelů, nutných pro řešení každodenních problémů správců pozemních komunikací nebo jiných zadavatelů technologických posouzení [7].

2.3.3 Kalibrace mikrosimulačního modelu

Při kalibraci dochází ke změně parametrů modelu tak, aby rozdíl mezi simulovanými daty a daty z průzkumu byl co nejmenší. Cílem kalibrace je zlepšit schopnost modelu popsat chování místního dopravního proudu (např. cestovní doba, zdržení, délka kolony) změnou parametrů zadaných výrobcem softwaru. Jelikož je v mikrosimulace mnoho různých parametrů, je nutné vzít do úvahy tyto kroky:

- přijmout ty výchozí parametry, kterým lze důvěřovat,
- omezit kalibraci na zpracovatelné množství údajů,
- ostatní parametry, které ovlivňují např. jeden úsek, jsou kalibrovány v druhé vlně,
- kratší časový krok simulace dává přesnější výsledky, když je náročnější na výpočet,
- před začátkem kalibrace je třeba vyplnit síť vozidly a začít kalibrovat až poté, co tato vozidla překonala nejdelší vzdálenost po modelované síti [7].

Pro kalibraci mikrosimulačních modelů jsou doporučovány následující čtyři kroky:

1) Kontrola dopravní sítě

Je důležité provést kontrolu fyzického znázornění sítě, včetně kontroly počtu pruhů na úseku, před i za křižovatkou, zadání správných signálních plánů, zadání autobusových zastávek a jízdních řádů, správnosti připojovacích a odbočovacích pruhů atd.

2) Kalibrace kapacity

Kalibrace kapacity probíhá úpravou údajů jak globálních, tak ostatních, linkových. Nejdůležitějších z nich jsou kritická mezera pro změnu jízdního pruhu, reakční doba řidiče, zdržení při rozjezdu na světelně řízených křižovatkách, akceptovatelná mezera pro křížení atd.

3) Kalibrace poptávky

Poptávka je v mikrosimulačních modelech reprezentována dvěma způsoby. Buď intenzitami na úsecích, složením dopravního proudu a křižovatkovými intenzitami nebo maticí zdroj – cíl, kterou model sám přiřadí na síť. Matice dopravní poptávky je vhodnějším vstupem, protože vozidla v modelu mají více možností dopředu plánovat svoji cestu včetně změny jízdního pruhu. Kalibrace dopravní poptávky se obvykle provádí na vybraných úsecích komunikace.

4) Kalibrace dopravního výkonu

Posledním krokem kalibrace je kontrola takových parametrů, jako cestovní čas, zdržení či délka kolony. Může dojít ke změnám rychlosti a kapacity na jednotlivých úsecích, ale změny musí být v souladu s předchozím krokem kalibrace, proto je dobré je provádět šetrně [7].

Mikrosimulace se nejčastěji používají na analýzu dopravní sítě, kde se intenzita blíží kapacitě a dochází ke kongescím. V kongesčním stavu je většina mikrosimulačních softwarů nestabilní a vozidla se ztrácejí uprostřed dopravní sítě, aby mohl model dále pracovat. Z tohoto důvodu je vhodné provést kalibraci na síti, které je zatížená méně než na hranici kapacity.

2.3.4 Validace mikroskopického modelu

Validace může být definována jako srovnání výstupů z modelu s naměřenými daty, které ale nebyla použita na kalibraci. Mohou to být např. spotřeby času na jednotlivých úsecích pro kalibraci a celkové výkony pro validaci, podobným způsobem lze použít více druhů dat, jak plošně, tak i pro jednotlivé prvky.

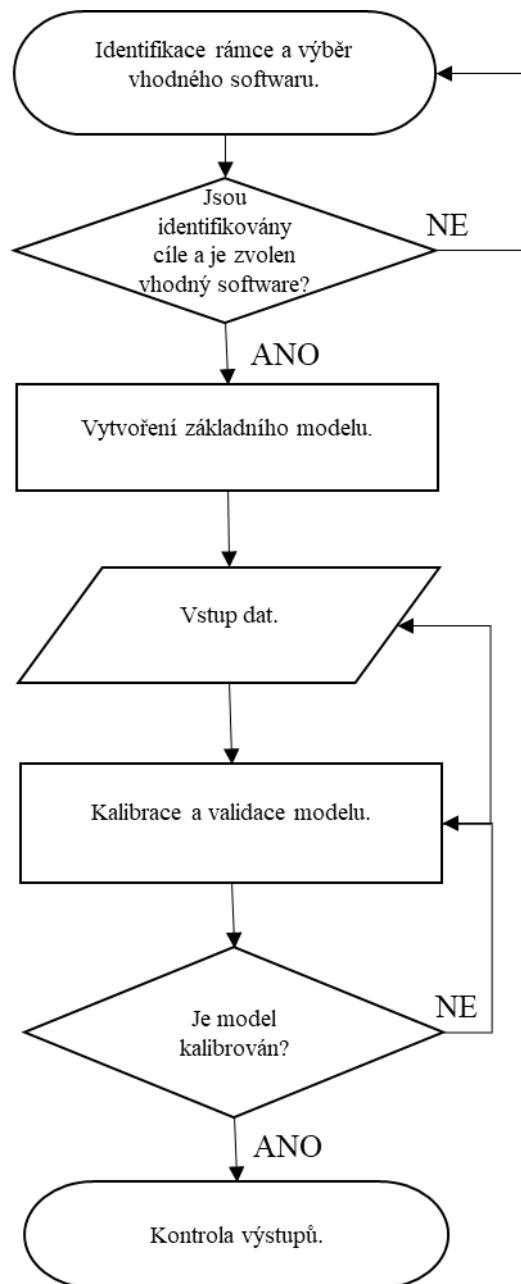
2.3.5 Kontrola výstupů

Měla by být provedena nezávisle na zpracování modelu a má obsahovat:

- všeobecná kontrola chyb nezávislým expertem,
- srovnávací studie, zpracované na jiných modelech,
- další statistické analýzy,
- alternativní analýzy využívající odlišné scénáře.

Další možností kontroly modelu je provést jednoduchý test na jedné křižovatce a na něm sledovat saturaci před řízenou křižovatkou (v koloně) a rozdělení vozidel do jednotlivých

jízdnicích pruhů před křižovatkou. Tento test potvrdí, případně vyvrátí, vstupní parametry, protože obsahuje nejdůležitější prvky mikrosimulace, a to akceptovatelný odstup mezi vozidly, následování vozidla a změnu jízdnicího pruhu [7].



Obr. 2.3 Schéma pro vytvoření simulačního modelu.

Zdroj: vlastní zpracování.

2.4 Výběr a práce se simulačním softwarem

Pro účely této práce byl vybrán simulační software PTV Vissim od firmy PTV Group. Tato firma nabízí celé portfolio úzce zaměřených dopravní softwarů pro řešení

dopravních problémů dle individuálních požadavků. Pro studentské použití je, byť s některými omezenými funkcionalitami bezplatně ke stažení z oficiálních stránek firmy PTV.

Zde je přehled některých jejich modulů:

- PTV Visum (určený pro multimodální dopravní plánování a makroskopickou dopravní simulaci),
- PTV Vissim (pro realistickou a názornou mikroskopickou simulaci dopravy),
- PTV Vistro (pro provádění analýz dopadů dopravy a optimalizaci časování signálů),
- PTV Optima (řízení celé dopravní sítě v reálném čase),
- PTV Viswalk (realistická simulace a zobrazení chování chodců),
- PTV Vistad (sběr, ověřování a analýza dat o dopravních nehodách),
- Bicycle Planner (analýza, vizualizace a realizace konceptů pro plánování pruhů pro cyklisty),
- a další.

V rámci této práce je tento softwarový nástroj vhodný k modelování mikroskopické simulace zaměřené na nalezení řešení pro zvýšení kapacity konkrétní okružní křižovatky.

2.4.1 PTV Vissim

Vissim je založen na desetiletích intenzivního výzkumu v různých akademických institucích. Jádrové algoritmy jsou dobře zdokumentovány. Od svého uvedení na trh v roce 1992 vytvořil Vissim standard pro simulační software. Intenzivní výzkum a velká celosvětová komunita uživatelů zaručují, že se jedná o špičkový software svého druhu.

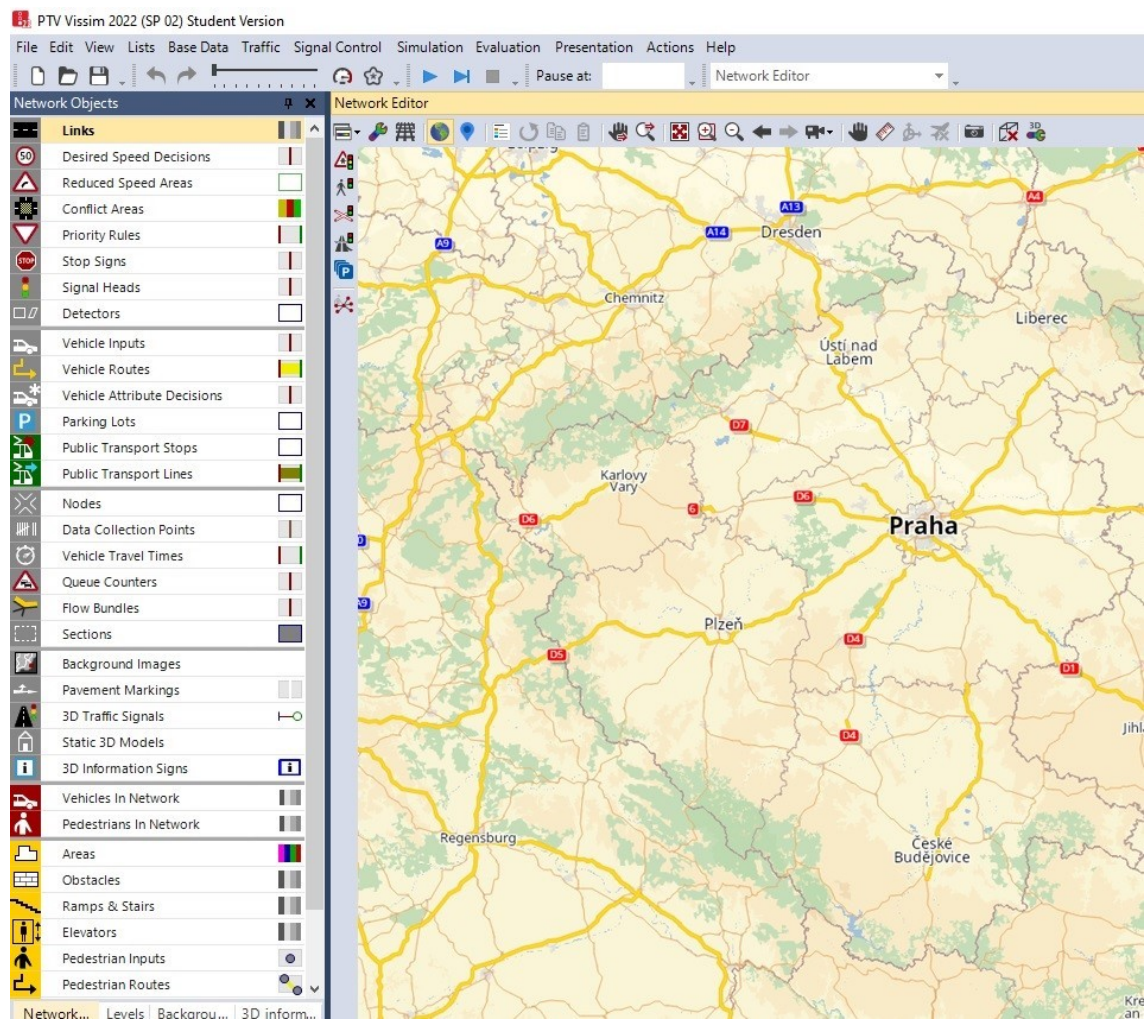
Je používán k analýze sítě všech velikostí, od jednotlivých křižovatek až k rozsáhlým metropolitním oblastem, v těchto dopravních sítích lze modelovat všechny funkční kategorie pozemních komunikací od dálnic až po účelové komunikace.

Obsahuje také jedinečnou schopnost přidělování vozidel na síť užitím jedné nebo kombinací tří metod. Základní metoda předpokládá, že doprava je stochasticky distribuována na pevně dané trasy od uživatelem definovaného počátečního bodu po bod cílový. Definice odbočovacích manévřů umožňuje distribuci dopravy v křižovatce nebo několika křižovatkách. Dynamické trasy dovolují dynamické přidělování dopravy na

uživatelem specifikované trasy. Metoda dynamického zatěžování dává možnost přiřadit dopravu na síť využitím matic zdroj / cíl a stochastických zatěžovacích technik [8].

2.4.2 Pracovní prostředí programu

Simulační software je standardně navržen pro operační systém Windows a Linux. Ovládání je intuitivní a uživatelsky přívětivé, není třeba ovládat některý z programovacích jazyků nebo zadávat textové příkazy. Celý program je k dispozici v anglickém jazyce. Základní uspořádání ovládacích prvků je zobrazeno na obr. 2.4.

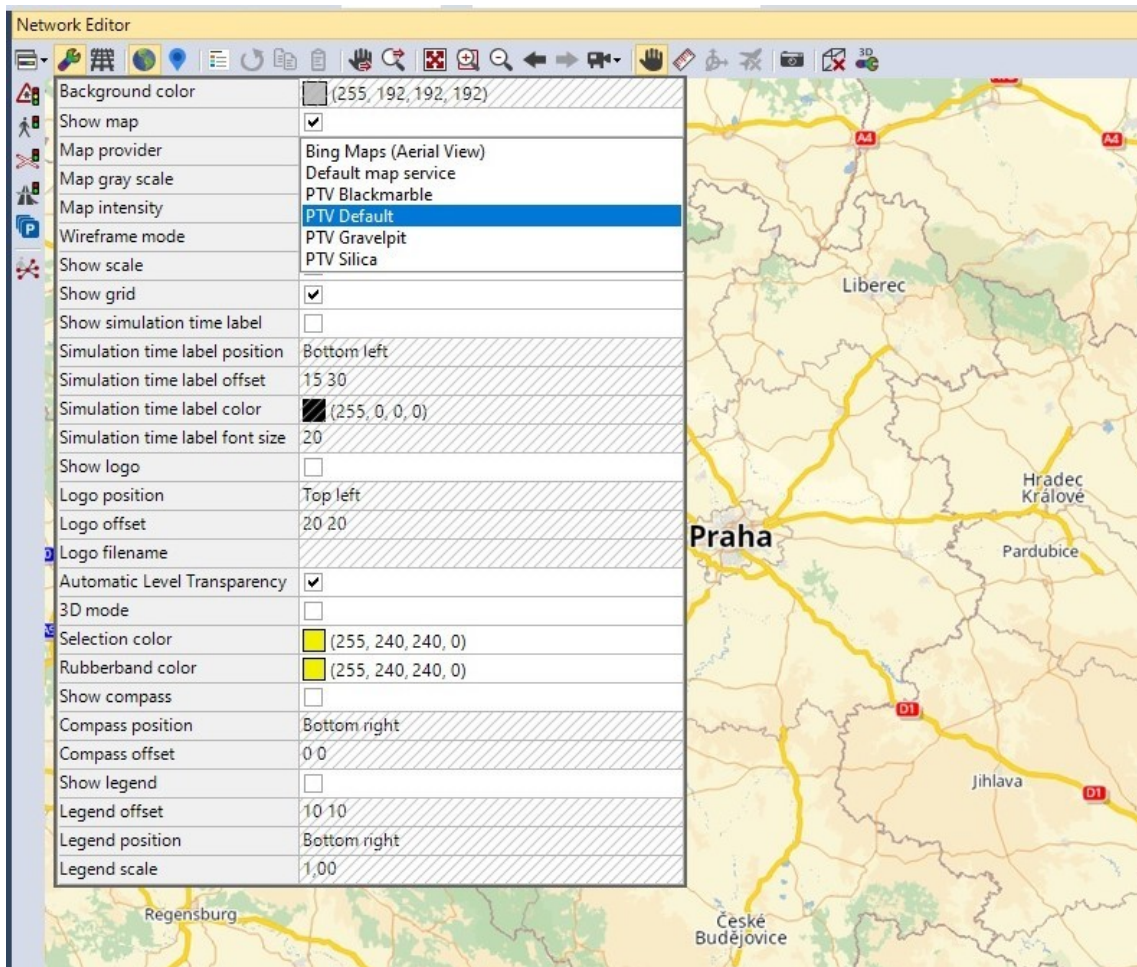


Obr. 2.4 Rozložení ovládacích prvků

Zdroj: vlastní zpracování.

2.4.3 Mapové podklady

Vissim má na výběr z několika typů mapových podkladů viz obr. 2.5. Jejich aktuálnost je zajištěna častými aktualizacemi celého softwaru. V případě individuálních požadavků je možné nahrání řešené lokality z jiných zdrojů.

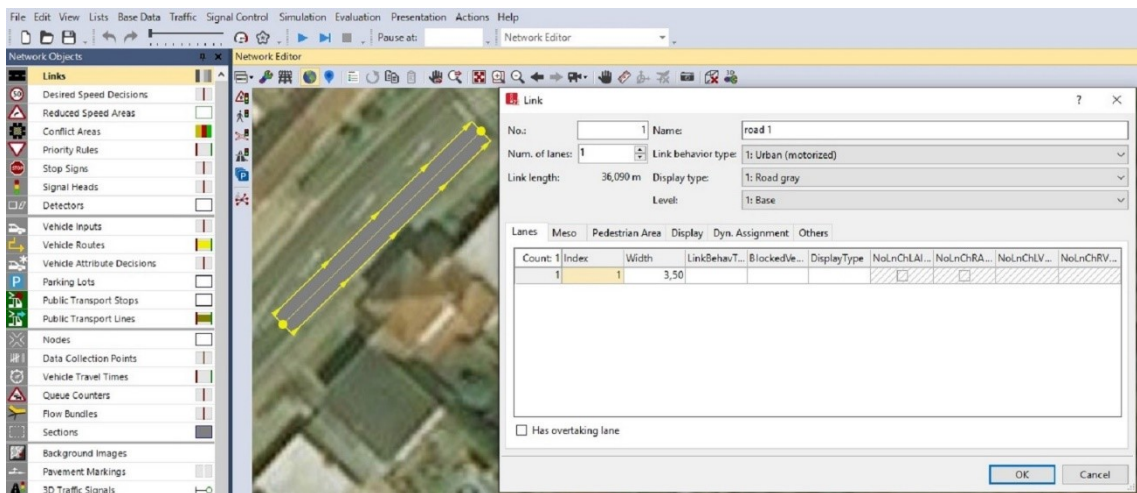


Obr. 2.5 Výběr podkladové mapy

Zdroj: vlastní zpracování

2.4.4 Konstrukce linek a spojnic

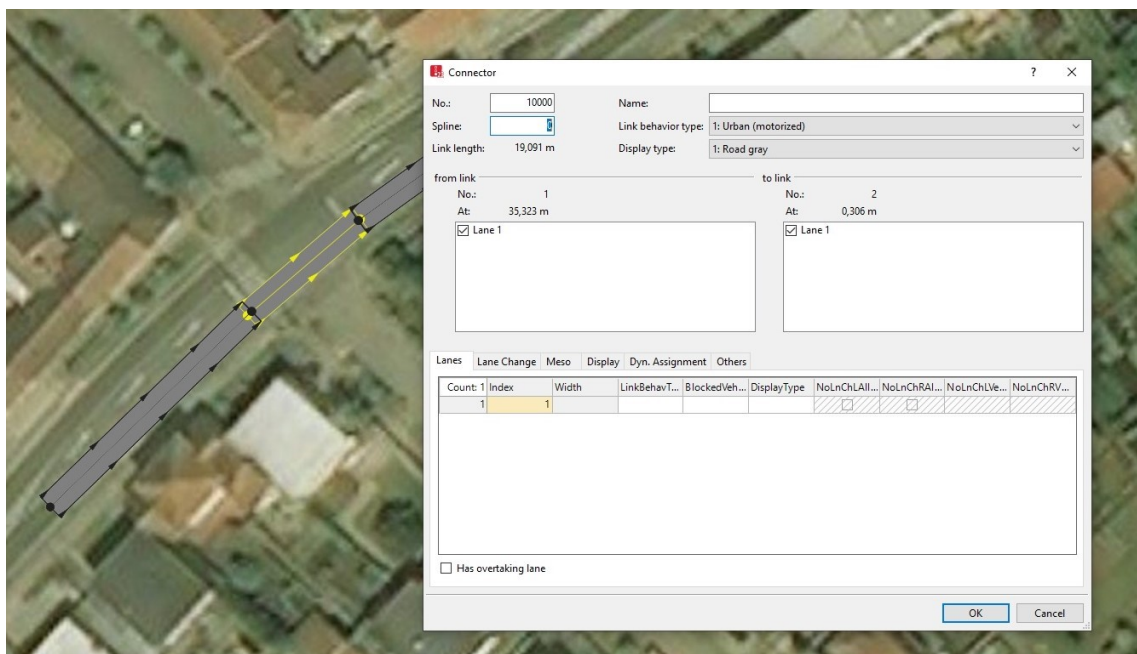
Tvorbou linek a spojnic se na zvoleném mapovém podkladu vytváří simulované prostředí. Linka představující pozemní komunikaci se tvoří zakliknutím ikony „Links“. Poté se v mapě pravým tlačítkem vyvolá nabídka s možností „Add links“, která po potvrzení vytvoří na daném podkladu pozemní komunikaci. Její délku, šířku, název a další parametry lze zadat v okně, které se objeví po kliknutí na linku. Celá situace je zachycena na obr. 2.6.



Obr. 2.6 Tvorba linky

Zdroj: vlastní zpracování.

K propojení dvou linek slouží spojnice, viz obr. 2.7. Tímto způsobem se postupně tvoří křižovatka. V této části tvorby modelu se vkládají základní vstupní data týkající se geometrie oblasti (např. počet jízdních pruhů, směr dopravy, připojovací a odpojovací jízdní pruhy, přechody pro chodce, zastávky hromadné městské dopravy a další). Pro vytvoření okruhu ke konstrukci okružní křižovatky je k dispozici volba „Add circular link“.

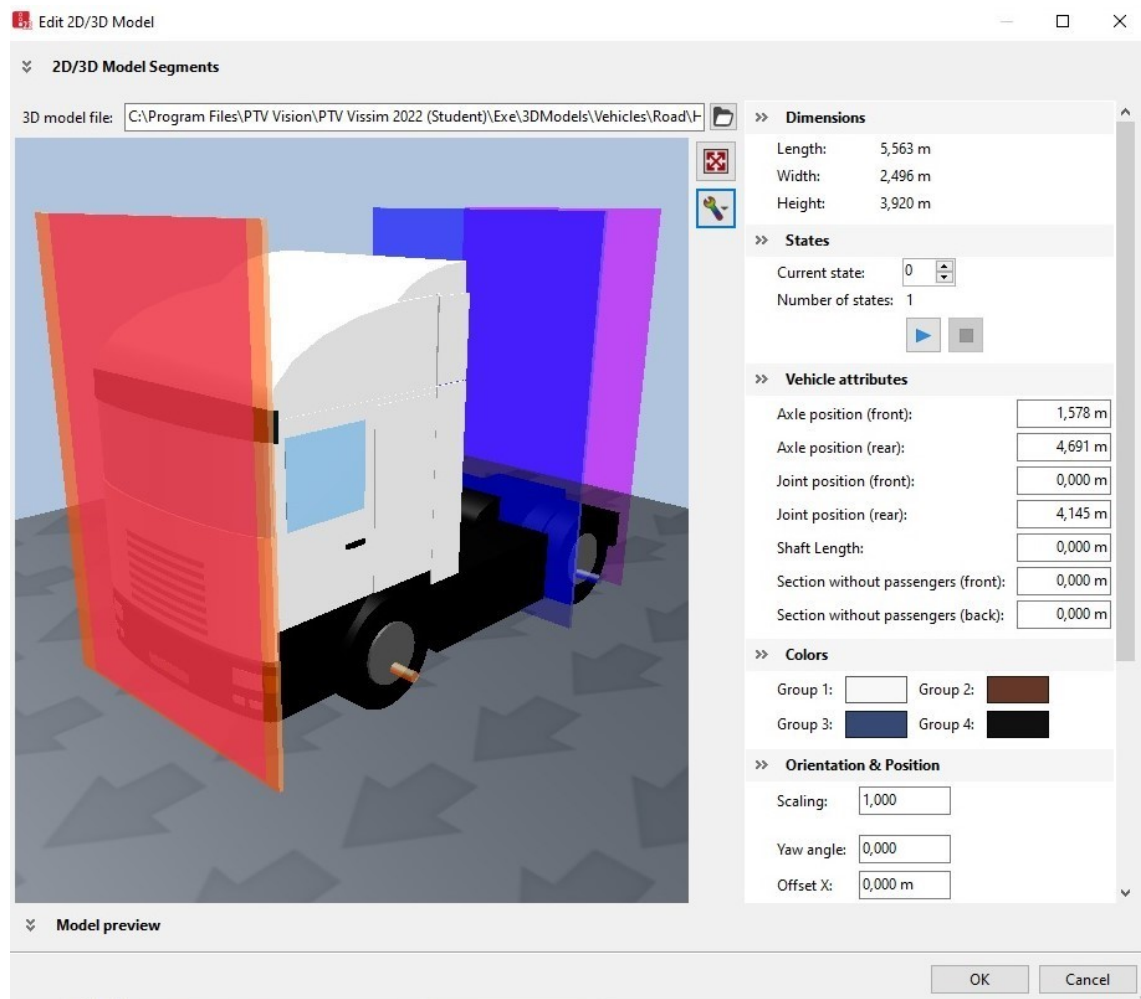


Obr. 2.7 Propojení dvou linek

Zdroj: vlastní zpracování.

2.4.5 Typy dopravních prostředků

Vissim nabízí širokou paletu předdefinovaných vozidel. Členění je tak rozsáhlé, že je možné definovat jednotlivé typy např. nákladních vozidel dle továrního označení, délky, počtu os, jejich rozvor a další. Tyto atributy je možné nastavit u všech dopravních elementů vstupujících do simulačního modelu. Na obr. 2.8 je k dispozici nabídka pro úpravu předdefinovaných hodnot.



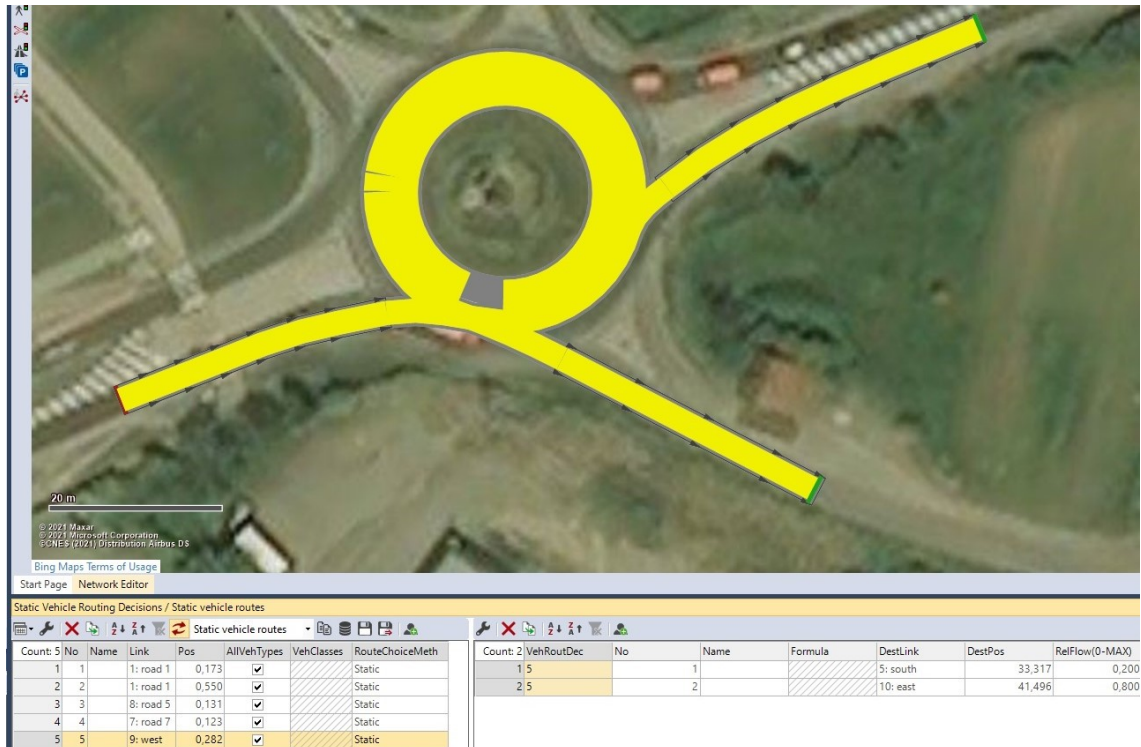
Obr. 2.8 Editace vozidla

Zdroj: vlastní zpracování.

Tímto způsobem se dále vytváří skladba dopravního proudu. Jakmile je dopravní proud nadefinován je přiřazen pro určený směr jízdy. Způsob vložení dopravního proudu je realizován přes ikonu „Vehicle Inputs“.

2.4.6 Konfigurace tras vozidel

Přes ikonu „Vehicle Routes“ jsou označeny trasy vozidel do různých směrů, podrobnější nastavení umožňuje procentní rozdělení dopravního proudu dle preferencí. Na obr. 2.9 je zobrazeno nastavení pro přímý směr v poměru 80 % : 20 % pro odbočení vpravo.

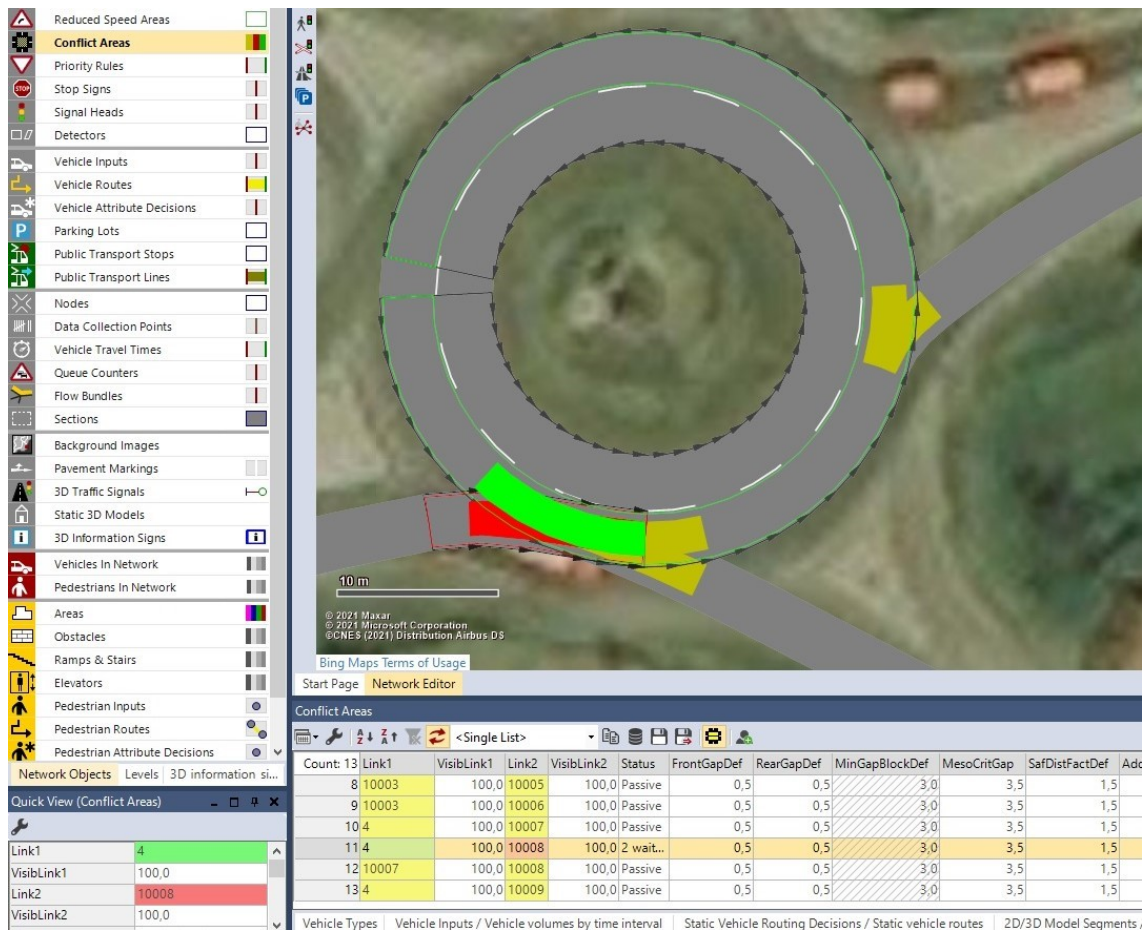


Obr. 2.9 Nastavení směru jízdy včetně procentního rozdělení

Zdroj: vlastní zpracování.

2.4.7 Konfliktní zóny

Pro zjištění konfliktních zón je nutné aktivovat ikonu s názvem „Conflict areas“, po jejich zobrazení je vhodné vybrat a nastavit směr dopravního proudu s předností v jízdě, čímž jsou determinována základní pravidla silničního provozu. Na obr. 2.10 je nastavena přednost v jízdě pro vozidla jedoucí po okruhu.



Obr. 2.10 Nastavení přednosti v jízdě v konfliktní zóně

Zdroj: vlastní zpracování.

2.4.8 Sběr dat

Data jsou důležitá pro kalibraci a validaci simulačního modelu a tvorbu statistických analýz. Ke sběru dat ze simulačního modelu slouží sada nástrojů, které lze aktivovat podobným způsobem, jak bylo uvedeno výše, tedy zakliknutím vybrané statistické ikony a označení volby do zvoleného místa. Způsob řešení sběru dat je znázorněn na obr. 2.11, kde je vyznačen úsek, kterým po projetí vozidla program zaznamenává široké množství dat (např. délku kolon, dobu zdržení, počet vozidel atd.), ze kterých lze filtrovat pouze preferovaná data, aktivací nebo deaktivací polí.



Obr. 2.11 Vyznačení úseku pro sběr dat

Zdroj: vlastní zpracování.

2.4.9 Simulace

Jakmile jsou nastaveny všechny potřebné parametry, je přes ikonu s názvem „Simulation continuous“ spuštěn samotný proces simulace. Vissim nabízí 2D i 3D pohled včetně možnosti naklánění pohledu nad řešenou dopravní situací. Samozřejmostí je export sekvencí, letecký pohled, nahrávání nebo rotace modelu v 3D prostoru včetně detailního přiblížení, viz obr. 2.12.



Obr. 2.12 Spuštěná simulace v režimu 3D pohledu

Zdroj: vlastní zpracování.

2.4.10 Souhrn

Využitím simulačního softwaru při řešení dopravně – inženýrských úloh dává celému úkolu nový rozměr. Mikrosimulace představuje podrobnou digitální podobu reálného děje. Dopravní simulace dovoluje oproti konvenčnímu normovému posouzení zohlednit celou řadu dalších faktorů jako např. dynamické vlastnosti vozidel, vzájemné interakce sousedních křižovatek a další. Pomocí mikrosimulace lze posoudit a najít řešení i pro různé typy specifických dopravních problému jakým je i návrh zvýšení kapacity okružní křižovatky.

3 Návrh úpravy křižovatky

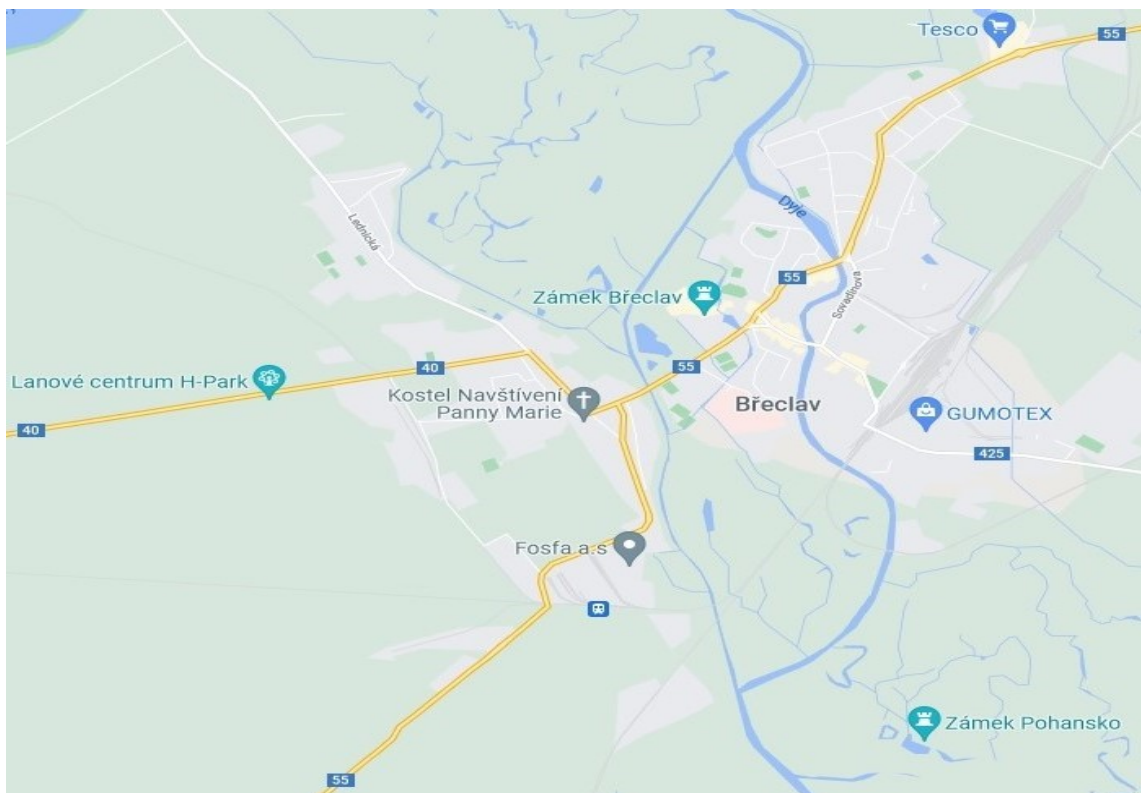
Pro návrh úpravy křižovatky je vybrána okružní křižovatka ve městě Břeclavi.

3.1 Město Břeclav

Okresní město nacházející se v Jihomoravském kraji na hranici s Rakouskem a v blízkosti hranice se Slovenskem. Od největšího moravského města Brna je vzdálené přibližně 50 km. Jedná se tedy o důležitý silniční a železniční uzel mezinárodního významu.

3.1.1 Doprava ve městě

Městem prochází páteřní komunikace I/55 z východu na západ. V jihozápadní části města se komunikace větví na silnici I/40, viz obr. 3.1. Jedná se o hlavní silniční komunikaci ve městě, která z důvodu chybějícího obchvatu nemá z pohledu průjezdnosti města alternativní komunikaci. Z této příčiny je městská doprava ve špičkových hodinách na určitých místech přetížena a tvoří se kongesce.



Obr. 3.1 Zobrazení silniční komunikace I/55

Zdroj: [9].

3.1.2 Řešená oblast

Okružní křižovatka se nachází na severovýchodním okraji města ležící na již zmíněné silniční komunikaci I/55. Z východu se na křižovatku napojuje dopravní proud složený z dopravních prostředků směřujících z Hodonína a z dálnice D2 Brno-Bratislava, dále dopravní proud z opačného směru tedy z města ven. Současně jsou na křižovatku napojeny další tři dopravní proudy. Připojení k nákupnímu centru, připojení z vedlejší komunikace ze směru z Ladné a připojení na areál bývalého zemědělského družstva. Celá řešená lokalita je zachycena na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Řešená oblast

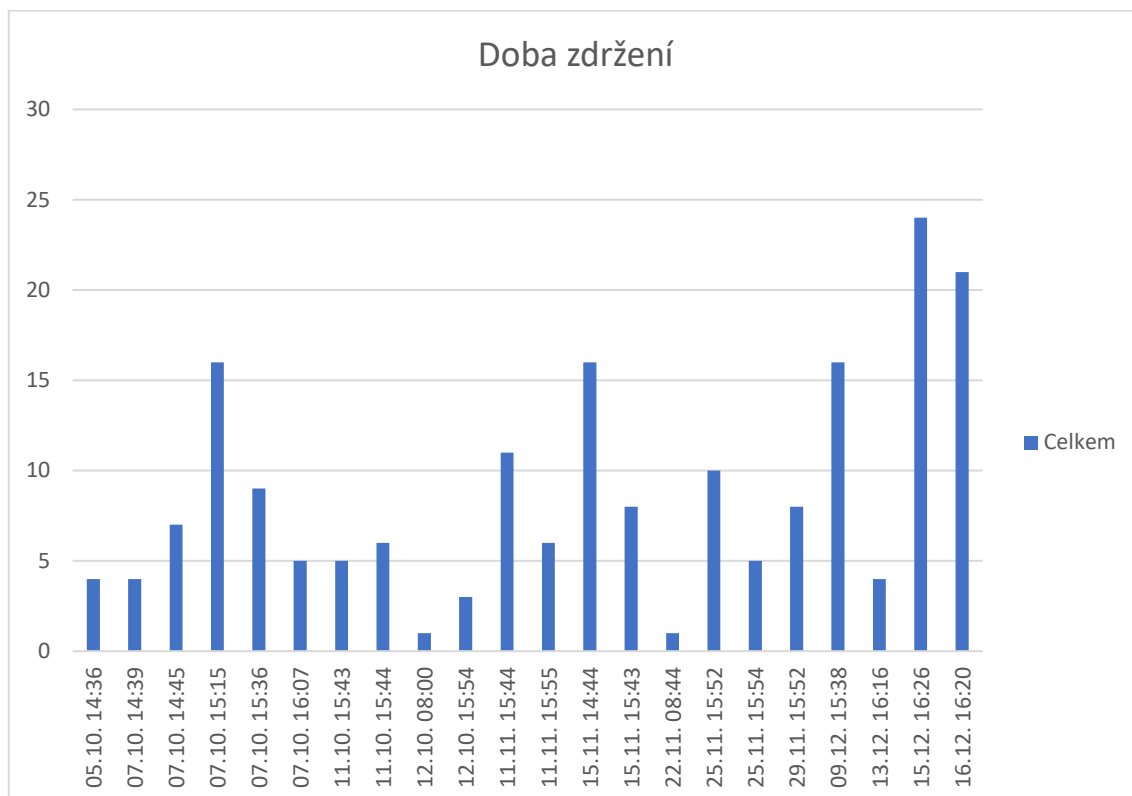
Zdroj: vlastní zpracování podle [9].

3.1.3 Odůvodnění pro výběr této okružní křižovatky

Tato okružní křižovatka dlouhodobě způsobuje problémy při výjezdu a vjezdu do města. Nejčastěji k dopravním kongescím dochází v odpolední špičce, kdy vozidla ze směru

z města ven tvoří souvislou kolonu. Kongesce vzniká již v městské části Stará Břeclav u světelné křižovatky vzdálené asi 3,3 km.

Náhodným výběrem dopravních dat provedeném v období od 5.10.2021 do 16.12.2021 bylo zjištěno, že k této situaci dochází opakovaně v časovém rozmezí od 14:30 do 17:00. Data byla zpracována do grafu 3.1., průměrná doba zdržení činí ± 9 minut.



Graf 3.1 Doba zdržení

Zdroj: vlastní zpracování.

Na obr. 3.3 je zachycena dopravní situace ze dne 7.10.2021 v 15:15. Doprava v dané době směřuje z centra města ven. Na severovýchod ve směru na Hodonín je dopravní proud blokován okružní křižovatkou při výjezdu z města, kdy je její kapacita vyčerpána a začíná se vytvářet kongesce. Nejbližší předchozí křížení se nachází na průsečné světelné křižovatce, která má větší propustnost a která současně využívá dynamického řízení dopravy. Za tohoto stavu vzniká souvislá kolona vozidel, které zasahují až to tohoto bodu. Následně i přes zelenou vlnu, která svítí na návěstidle, vozidla stojí a nemohou pokračovat dále v jízdě. Jízdní pruhy vyznačené červenou barvou značí stupeň dopravy číslo 5 tedy maximální vyřízení. Výše popsané křižovatky jsou označeny šipkami.



Obr. 3.3 Dopravní situace ze dne 7. 10. 2021

Zdroj: vlastní zpracování dle [10].

Tato rekurentní dopravní kongesce je způsobena nedostatečnou kapacitou okružní křižovatky na výjezdu z města. To zároveň znesnadňuje průjezd celou městskou částí bez ohledu na to, zda má řidič v úmyslu průjezd okružní křižovatkou nebo ne. K eliminaci čekání někteří řidiči využívali souběžné postranní ulice, které však postrádali potřebnou kapacitu a vznikaly zde konfliktní situace. To vyústilo ke změně dopravního značení iniciované městským úřadem, čímž vznikla další dopravní komplikace pro místní obyvatele.

Tato práce si klade za cíl nalézt řešení s využitím dopravního modelování.

3.1.4 Dopravní průzkum

Na základně dat o délce zdržení zjištěných náhodným výběrem, byl proveden dopravní průzkum, jehož cílem bylo shromáždění informací o počtu projíždějících vozidel, jejich směřování a jejich skladba. Tyto data byla použita pro vytvoření simulačního modelu, který simuluje výchozí situaci.

3.1.5 Sběr dat

Dopravní šetření probíhalo vždy mezi 15:00 a 17:00, kdy byla intenzita dopravy nejvyšší.

Ke sběru dat byly náhodně zvoleny následující termíny:

- úterý 5.10.2021 (zaměření na skladbu dopravních proudů),
- pátek 15.10.2021 (zaměření na počet dopravních prostředků směřujících do křižovatky),
- úterý 30.11.2021 (zaměření na směřování dopravní prostředků z křižovatky ven).

Výsledek z úterý 5.10.2021

Cílem tohoto šetření bylo zjistit skladbu dopravního proudu směřujícího do okružní křižovatky pro každý jednotlivý směr. Základním požadavkem bylo zaznamenat min. 100 vozidel pro každý směr čehož se podařilo dosáhnout ve čtyřech směrech, směr od zemědělského družstva vykázal menší počty vozidel. Vozidla byla zapisována do skupin dle druhu.

Druhy vozidel:

- osobní vozidla – bez přívěsů i s přívěsy a dodávkové automobily;
- nákladní vozidla – lehké, střední, těžké, traktory a speciální;
- autobusy – vozidla určená pro přepravu osob s více než 9 místy;
- motocykly – jednostopá motorová vozidla.

Celkem bylo zaznamenáno 943 vozidel. Rozdělení jednotlivých druhů vozidel dle směru příjezdu do křižovatky je uvedeno v tab. 3.1, jelikož nebyl zaznamenán žádný motocykl, byl tento druh ze simulačního modelu vyřazen. V tabulce uvedený časový interval je spíše orientační, má informovat o přibližné době potřebné pro zaznamenání vytyčeného počtu vozidel.

Tab. 3.1 Skladba dopravních proudů

směr z Břeclavi		
čas	15:00-15:30	Podíl %
osobní vozidla	360	95,49
nákladní vozidla	14	3,71
autobus	3	0,80
motocykly	0	0,00
celkem	377	100,00
směr z Hodonína		
čas	15:00-15:30	Podíl %
osobní vozidla	206	93,21
nákladní vozidla	14	6,33
autobus	1	0,45
motocykly	0	0,00
celkem	221	100,00
směr ze zemědělského družstva		
čas	15:45-17:00	Podíl %
osobní vozidla	53	98,15
nákladní vozidla	1	1,85
autobus	0	0,00
motocykly	0	0,00
celkem	54	100,00
směr z Tesca		
čas	16:30-17:00	Podíl %
osobní vozidla	189	100,00
nákladní vozidla	0	0,00
autobus	0	0,00
motocykly	0	0,00
celkem	189	100,00
směr z Ladné		
čas	16:30-17:00	Podíl %
osobní vozidla	97	95,10
nákladní vozidla	4	3,92
autobus	1	0,98
motocykly	0	0,00
celkem	102	100,00

Zdroj: vlastní zpracování.

Výsledek z pátku 15.10.2021

Tohoto dne byl proveden dopravní průzkum zaměřený na zjištění počtu dopravních prostředků vstupujících do okružní křižovatky.

Místo pro sčítání se nacházelo v těsné blízkosti křižovatky s dobrým výhledem na všech pět prvků připojených do křižovatky.

Ve dvouhodinovém časovém intervalu bylo zaevidováno celkem 4 113 vozidel. V tab. 3.2 jsou rozdělena vozidla podle příjezdu do křižovatky.

Tab. 3.2 Počty vozidel z jednotlivých směrů

směr / čas	15:00-17:00	
Břeclav-Hodonín	1884	vozidel
Hodonín-Břeclav	1213	vozidel
zemědělské družstvo-Břeclav	104	vozidel
Tesco-Břeclav	581	vozidel
Ladná-Břeclav	331	vozidel
celkem	4113	vozidel

Zdroj: vlastní zpracování.

Výsledek z úterý 30.11.2021

Pro zjištění směřování vozidel byla zvolena stejná varianta sběru dat jako u skladby vozidel, tj. zaevidovat alespoň 100 vozidel z každého směru a zaznamenání jeho směřování do evidenčního listu. Až na menší počet vyjíždějících vozidel ze směru zemědělského družstva byl sběr dat úspěšný.

Zaznamenaná data byla zpracována do tab. 3.3, která je rozdělena dle jednotlivých směrů, odkud vozidla vstupují do křižovatky a následně do kterých směru z ní vystupují. Směr zpět vyjadřuje počet vozidel, která projedou okružní křižovatkou a vrací se zpět do výchozího směru. Tuto možnost využívali převážně řidiči linkových autobusů a také někteří řidiči. Ačkoli se jednalo o jednotky vozidel, pro reálnější podobu simulačního modelu byl tento směr také zařazen.

Tab. 3.3 Směřování vozidel při průjezdu křižovatkou

Břeclav		
směr z / směr do	Počet vozidel	Podíl %
Hodonín	73	59,35
zemědělské družstvo	1	0,81
Ladná	19	15,45
Tesco	28	22,76
zpět	2	1,63
celkem	123	100,00
Hodonín		
směr z / směr do	Počet vozidel	Podíl %
Břeclav	92	79,31
zemědělské družstvo	2	1,72
Ladná	1	0,86
Tesco	19	16,38
zpět	2	1,72
celkem	116	100,00
zemědělské družstvo		
směr z / směr do	Počet vozidel	Podíl %
Hodonín	13	15,29
Břeclav	51	60,00
Ladná	4	4,71
Tesco	17	20,00
zpět	0	0,00
celkem	85	100,00
Tesco		
směr z / směr do	Počet vozidel	Podíl %
Hodonín	50	44,25
zemědělské družstvo	0	0,00
Ladná	0	0,00
Břeclav	63	55,75
zpět	0	0,00
celkem	113	100,00
Ladná		
směr z / směr do	Počet vozidel	Podíl %
Hodonín	14	13,73
zemědělské družstvo	1	0,98
Břeclav	85	83,33
Tesco	2	1,96
zpět	0	0,00
celkem	102	100,00

Zdroj: vlastní zpracování.

Dopravní šetření bylo provedeno autorem práce formou pozorování v místě okružní křižovatky. Veškerá data byla zaznamenána ručně a následně vyhodnocena. Tyto data byla poté použita pro vytvoření dopravního modelu v programu PVT Vissim.

Sběr dat spadá mezi klíčové činnosti pro vytvoření relevantního dopravního modelu. Jak se však ukázalo, jedná se také o velmi náročnou činnost a přesnost zaznamenaných dat je přímo úměrná možnostem jejich sběru.

Data získaná dopravním průzkumem byla podkladem pro sestavení výchozího simulačního modelu. Pro co nejdokladnější podobu modelu s reálným prostředím byla provedena kalibrace a ladění jednotlivých parametrů. Model byl podroben simulačním experimentům.

Výsledek výchozího modelu

Simulace výchozího modelu vykázala podobné vlastnosti jako reálná dopravní situace v okružní křižovatce. Výsledná data byla zpracována do tab. 3.4. V levé části tabulky je uveden časový interval, který odpovídá sledované dopravní špičce. Uprostřed je zaznamenán pohyb vozidel pro jednotlivé směry. Následuje délka kolony, která je měřena od hranice vjezdu do křižovatky. Úroveň kvality dopravy je hodnocena písmeny od A do F dle doby zdržení, které se nachází v pravé části tabulky.

Při bližším pohledu je patrné, že dopravní proud směřující z Břeclavi do křižovatky vykazuje podobné časy zdržení, pro všechny směry stejnou délku kolony se shodným hodnocením E. Paprsek ze směru ze zemědělského družstva je dle očekávání hodnocen pouze s mírným nebo žádným zdržením. Směr z Hodonína je shodně na stupni E, pouze směr do Ladné zaznamenal nulové zdržení, což může je způsobeno velmi malým zastoupením vozidel směřujících to toho směru. Tato situace se objevuje také u dalších směrů. Výjezd z Tesca je hodnocen nejhůře písmenem F, důvodem je silné zatížení okružního pásu vozidly z ostatních směrů.

Tab. 3.4 Hodnocení úrovně kvality dopravy pro jednotlivé směry

Časový interval (s)	Směr pohybu	Max. délka kolony (m)	Úroveň kvality dopravy	Doba zdržení (s)
0-3600	1-2: Břeclav out@101.8-4: zem. družstvo in@24.2	107,92	LOS E	40,74
0-3600	1-2: Břeclav out@101.8-6: Hodonín in@34.4	107,92	LOS E	41,80
0-3600	1-2: Břeclav out@101.8-8: Ladná in@25.5	107,92	LOS E	39,44
0-3600	1-2: Břeclav out@101.8-10: Tesco in@11.7	107,92	LOS E	41,46
0-3600	1-5: zem. družstvo out@16.1-3: Břeclav in@34.9	1,29	LOS B	13,98
0-3600	1-5: zem. družstvo out@16.1-6: Hodonín in@34.4	1,29	LOS A	4,32
0-3600	1-5: zem. družstvo out@16.1-8: Ladná in@25.5	1,29	LOS A	0,00
0-3600	1-5: zem. družstvo out@16.1-10: Tesco in@11.7	1,29	LOS A	0,81
0-3600	1-7: Hodonín out@11.9-3: Břeclav in@34.9	38,6	LOS D	31,06
0-3600	1-7: Hodonín out@11.9-4: zem. družstvo in@24.2	38,6	LOS E	39,53
0-3600	1-7: Hodonín out@11.9-8: Ladná in@25.5	38,6	LOS A	0,00
0-3600	1-7: Hodonín out@11.9-10: Tesco in@11.7	38,6	LOS E	36,20
0-3600	1-9: Ladná out@6.3-3: Břeclav in@34.9	25,08	LOS E	36,84
0-3600	1-9: Ladná out@6.3-4: zem. družstvo in@24.2	25,08	LOS E	45,13
0-3600	1-9: Ladná out@6.3-6: Hodonín in@34.4	25,08	LOS E	49,35
0-3600	1-9: Ladná out@6.3-10: Tesco in@11.7	25,08	LOS A	0,00
0-3600	1-11: Tesco out@21.5-3: Břeclav in@34.9	48,18	LOS F	92,01
0-3600	1-11: Tesco out@21.5-4: zem. družstvo in@24.2	48,18	LOS A	0,00
0-3600	1-11: Tesco out@21.5-6: Hodonín in@34.4	48,18	LOS F	81,23
0-3600	1-11: Tesco out@21.5-8: Ladná in@25.5	48,18	LOS A	0,00

Zdroj: vlastní zpracování.

3.2 Návrh úpravy křižovatky

Na základě výsledků výchozího modelu, byly navrženy celkem 3 varianty úprav stávající okružní křižovatky.

Návrhy úprav okružní křižovatky:

1. jednopruhová křižovatka se dvěma spojovacími paprsky, tzv. bypassem,
2. turbo-okružní křižovatka typu vejce,
3. hybridní křižovatka.

3.2.1 Návrh č. 1

Tento návrh vychází z výsledků měření výchozího modelu, kde na paprscích Břeclav, Hodonín, Ladná a Tesco dochází k tvoření kongescí. Z tohoto důvodu bylo navrženo zdvojení jízdního pruhu ze směru Břeclav a vytvoření jižního spojovacího paprsku s výjezdem ve směru Hodonín. Pro odlehčení severní části křižovatky byl do modelu přidán paprsek tzv. bypass pro výjezd z Tesca směr Břeclav. Celá situace je zachycena na obr. 3.4.



Obr. 3.4 Návrh č. 1

Zdroj: vlastní zpracování.

Výsledkem této úpravy okružní křižovatky bylo zlepšení úrovně kvality dopravy zejména na sledovaných paprscích. Paprsek Břeclav vykázal zlepšení ve dvou směrech, což byl hlavní cíl jižního propojovacího paprsku. K výraznému zlepšení došlo na paprsku Ladná. Díky severnímu propojení (bypassu) na paprsku Tesco došlo také k výraznému zlepšení situace. Naopak ke zhoršení situace došlo na paprsku Hodonín. Důvodem je paradoxně zvýšení propustnosti ze směru Břeclav, kdy vozidla směřující převážně do Tesca blokují vjezd vozidel z Hodonína. Simulace také odhalila, že blízké propojení obou jižních jízdních pruhů umožňujících změnu směru vozidel, znejišťuje řidiče pro vjezd na okružní pás. Toto propojení dvojitého jižního paprsku je však důležité pro vozidla směřující ze zemědělského družstva, kterým musí být umožněno projetí křižovatky do všech směrů.

Hodnocení všech směrů je zpracováno do tab. 3.5. V pravém sloupci je uvedena změna oproti výchozímu modelu. Ta změna je vyjádřena šipkami. U šipek směřujících vzhůru došlo ke zlepšení, směr vpravo znamená stav beze změny a šipka dolů vypovídá o zhoršení úrovně kvality dopravy.

Tab. 3.5 Výsledek návrhu č. 1

Časový interval (s)	Směr pohybu	Max. délka kolony (m)	Úroveň kvality dopravy	Doba zdržení (s)	Změna stavu
0-3600	1-2: Břeclav out@101.8-4: zem. družstvo in@24.2	79,13	LOS A	0,00	↑
0-3600	1-2: Břeclav out@101.8-6: Hodonín in@34.4	79,13	LOS C	24,98	↑
0-3600	1-2: Břeclav out@101.8-8: Ladná in@25.5	79,13	LOS E	43,81	→
0-3600	1-2: Břeclav out@101.8-10: Tesco in@11.7	79,13	LOS E	39,49	→
0-3600	1-5: zem. družstvo out@16.1-3: Břeclav in@34.9	30,55	LOS A	5,07	↑
0-3600	1-5: zem. družstvo out@16.1-6: Hodonín in@34.4	0	LOS A	0,53	→
0-3600	1-5: zem. družstvo out@16.1-8: Ladná in@25.5	30,55	LOS A	0	→
0-3600	1-5: zem. družstvo out@16.1-10: Tesco in@11.7	30,55	LOS A	4,1	→
0-3600	1-7: Hodonín out@11.9-3: Břeclav in@34.9	68,97	LOS F	81,59	↓
0-3600	1-7: Hodonín out@11.9-4: zem. družstvo in@24.2	68,97	LOS F	125,17	↓
0-3600	1-7: Hodonín out@11.9-8: Ladná in@25.5	68,97	LOS E	46,49	↓
0-3600	1-7: Hodonín out@11.9-10: Tesco in@11.7	68,97	LOS F	93,18	↓
0-3600	1-9: Ladná out@6.3-3: Břeclav in@34.9	44,6	LOS A	7,21	↑
0-3600	1-9: Ladná out@6.3-4: zem. družstvo in@24.2	44,6	LOS A	7,57	↑
0-3600	1-9: Ladná out@6.3-6: Hodonín in@34.4	44,6	LOS B	14,68	↑
0-3600	1-9: Ladná out@6.3-10: Tesco in@11.7	44,6	LOS A	0	→
0-3600	1-11: Tesco out@21.5-3: Břeclav in@34.9	12,41	LOS A	0	↑
0-3600	1-11: Tesco out@21.5-4: zem. družstvo in@24.2	12,41	LOS A	0	→
0-3600	1-11: Tesco out@21.5-6: Hodonín in@34.4	12,41	LOS B	11,07	↑
0-3600	1-11: Tesco out@21.5-8: Ladná in@25.5	12,41	LOS A	0	→

Zdroj: vlastní zpracování.

3.2.2 Návrh č. 2

Návrh č. 2 si klade za cíl zlepšit propustnost křižovatky i ze směru Hodonín. Vychází tedy z návrhu č. 1. Úprava spočívá v rozšíření paprsku Hodonín o jeden jízdní pruh a jeho propojení severní částí okružní křižovatky s paprskem Břeclav pro vjezd, který je také rozšířen o jeden jízdní pruh. Tato úprava vytvořila turbo-okružní křižovatku typu vejce. Vizualizace modelu se nachází na obr. 3.5.



Obr. 3.5 Návrh č. 2

Zdroj: vlastní zpracování.

Při simulační experimentu dochází k přetížení vnitřního okruhu a k zastavení dopravy na okružním pásu, současně se plní příjezdové paprsky ze všech směrů a doprava kolabuje, viz obr. 3.6. Důvodem je přivedení velkého počtu vozidel do křižovatky z obou dominantních směrů. Průměr okruhu je pouze cca 47 m a není dále schopen pojmout takové množství vozidel, přijíždějících z pěti směrů. Dalším problémem této křižovatky je její složitost a velké množství kolizních bodů a zvýšení nehodovosti. Dopravní inženýři doporučují fyzické oddělení jednotlivých směrů, kdy např. vozidlo směřující z paprsku Břeclav do paprsku Hodonín nebude moci při zařazení a vjezdu do křižovatky změnit směr a bude muset opustit křižovatku v předem zvoleném směru. Jak ukázal simulační experiment, změna směru vozidla při řazení a na okruhu je komplikací, která vede ke zpomalení průjezdu dalších vozidel, následně se špatně zařazené vozidlo snaží dostat do správného pruhu, čímž vznikají nebezpečné situace. Malý průměr okruhu nedává dostatečný prostor pro manévrování a velké množství připojených paprsků vedou k zablokování celé křižovatky. Tento návrh v tomto provedení se tímto stává nevhodným řešením.



Obr. 3.6 Kolaps dopravy na okružní křižovatce

Zdroj: vlastní zpracování.

3.2.3 Návrh č. 3

Z předchozích návrhů vyplývá, že rozšiřování jízdních pruhů a budování spojovacích paprsků nevede k žádanému výsledku. Naopak se zde projevuje Braessův paradox, který tvrdí, že přidáváním dalších cest do dopravní sítě nemusí nutně zlepšit dopravní situaci, ale naopak v určitých případech situaci zhoršit.

Návrh č. 3 byl vytvořen s úmyslem celou dopravní situaci na okružní křižovatce zpřehlednit a zjednodušit a zároveň dosáhnout zlepšení v propustnosti křižovatky. Po přezkoumání celé dopravní situace a návštěvě okružní křižovatky byl vytvořen odvážný návrh, který celou křižovatku zjednodušuje. Tento hybridní návrh nepočítá s přímým připojením paprsku Tesco s okružním pásem, ale pouze s jeho výjezdem mimo křižovatku ve směru Břeclav, ostatní vozidla by využívala průsečnou křižovatku ústící na paprsek Ladná. Toto řešení je již vybudováno a využíváno řidiči. Návrh hybridní křižovatky je znázorněn na obr. 3.7.



Obr. 3.7 Návrh č. 3

Zdroj: vlastní zpracování.

Tento návrh vychází z geometrie stávající křižovatky, který je vzhledem k malému průměru okruhu odlehčen od pátého paprsku. Simulační experiment potvrdil domněnku o plynulejším pohybu dopravních proudů vstupujících do křižovatky. Celý uzel vyznačený žlutým rámováním byl vyhodnocen stejným způsobem jako předchozí návrhy. Jeho výsledky včetně změny stavu vůči výchozímu modelu byl zaznačen v pravém sloupci tab. 3.6. Z údajů vyplývá zlepšení průjezdnosti téměř na všech paprscích. Zhoršení vykazují pouze dva směry zemědělské družstvo – Hodonín a Hodonín – Ladná. V obou případech se jedná o malé rozestupy mezi vozidly a vysoké hustotě vozidel na okružním páse, který způsobuje dominantní dopravní proud z paprsku Břeclav. Vstup na okružní pás z ostatních směrů je poté individuální volbou jednotlivých řidičů, zda přijmou riziko kolize nebo vyčkají na vhodnější situaci.

Tab. 3.6 Výsledek návrhu č. 3

Časový interval (s)	Směr pohybu	Max. délka kolony (m)	Úroveň kvality dopravy	Doba zdržení (s)	Změna stavu
0-3600	1-2: Břeclav out@101.8-4: zem. družstvo in@24.2	58,33	LOS_A	0,00	↑
0-3600	1-2: Břeclav out@101.8-6: Hodonín in@34.4	58,33	LOS_D	29,32	↑
0-3600	1-2: Břeclav out@101.8-8: Ladrná in@25.5	58,33	LOS_D	30,75	↑
0-3600	1-5: zem. družstvo out@16.1-3: Břeclav in@34.9	11,49	LOS_B	11,18	→
0-3600	1-5: zem. družstvo out@16.1-6: Hodonín in@34.4	11,49	LOS_C	20,65	↓
0-3600	1-5: zem. družstvo out@16.1-8: Ladrná in@25.5	11,49	LOS_A	2,72	→
0-3600	1-7: Hodonín out@11.9-3: Břeclav in@34.9	59,65	LOS_E	39,02	↑
0-3600	1-7: Hodonín out@11.9-4: zem. družstvo in@24.2	59,65	LOS_C	24,56	↑
0-3600	1-7: Hodonín out@11.9-8: Ladrná in@25.5	59,65	LOS_E	47,55	↓
0-3600	1-9: Ladrná out@6.3-3: Břeclav in@34.9	42,73	LOS_A	0,00	↑
0-3600	1-9: Ladrná out@6.3-4: zem. družstvo in@24.2	42,73	LOS_A	7,43	↑
0-3600	1-9: Ladrná out@6.3-6: Hodonín in@34.4	42,73	LOS_B	14,95	↑
0-3600	1-11: Tesco out@21.5-3: Břeclav in@34.9	33,54	LOS_A	5,37	↑

Zdroj: vlastní zpracování.

4 Zhodnocení

V této diplomové práci byly představeny tři návrhy na úpravu okružní křižovatky. Každý jednotlivý návrh byl vytvořen na základě výchozího modelu. Podkladem pro výchozí model byla data, která byla získána přímo v místě křižovatky. Mimo hlavní termíny sběru dat, bylo provedeno také doplňkové pozorování chování řidičů v křižovatce a také samostatné projetí křižovatky s měřením průměrné rychlosti na okruhu. Všechny tyto údaje byly zpracovány do modelu. Je také nutné dodat, že chování řidičů je velmi individuální včetně způsobu rozhodování pro vjezd do křižovatky včetně rychlosti průjezdu.

Technické podmínky TP 234 uvedené v této práci vycházejí z přesných údajů a matematického vyhodnocení, které se blíží více k deterministickému pojetí křižovatky. Jelikož se v jednotlivých dopravních proudech nacházejí vozidla, která jsou řízena řidiči celá situace je řešena s určitou stochasticitou, která se zde přirozeně nachází. Z tohoto důvodu byly návrhy modelovány pomocí simulačního softwaru určeného pro dopravní procesy. V těchto modelech lze lépe vystihnout dopravní situaci, která se více přibližuje reálnému stavu.

Návrh č. 1 reaguje na vysoké intenzity z dominantních směrů Břeclav a Hodonín. Pro odvedení vozidel v přímém směru byla jižní část křižovatky doplněna o jeden jízdní pruh. V severní části křižovatky bylo odlehčení provedeno bypassem pro vozidla ve směru Tesco – Břeclav.

Tento návrh byl také předmětem břeclavské iniciativy, která v roce 2016 identifikovala tento dopravní problém a iniciovala dopravní změnu na křižovatce u rady města. Návrh úpravy na podkladě z katastrální mapy se nachází na obr. 4.1.

Jak však prokázaly simulační experimenty, tento typ řešení nepřináší požadované výsledky a investice do takového návrhu by tím byla zmařena.

Závěr

Obsahem této diplomové práce bylo navrhnout úpravu okružní křižovatky a zvýšit její kapacitu. Tohoto cíle bylo dosaženo. K vytvoření návrhu byl použit simulační software PVT Vissim, specializovaný na mikrosimulace v dopravních procesech. Na základě dopravní analýzy, která zahrnovala pozorování dopravních proudů a chování řidičů při průjezdu křižovatky a také sběr dat o směřování, skladbě a počtu vozidel vyskytujících se v této části městské okružní křižovatky. Tyto data byla zpracována pro výchozí simulační model. Návrhy byly poté porovnávány s tímto modelem a vyhodnocovány. Jako nejvhodnější pro řešení dané křižovatky byl vyhodnocen návrh č. 3.

Tento návrh zjednodušuje celkovou koncepci celé křižovatky při zajištění vysoké míry bezpečnosti při průjezdu a zároveň je schopen pojmout nárazové intenzity, které se objevují v odpolední špičce.

Z pohledu celkové situace je okružní křižovatka situována na výjezdu z města směr Hodonín / sjezd z dálnice Brno-Bratislava. Na tomto mezi úseku má v budoucnu vzniknout napojení na městský obchvat, o který město usiluje již dlouhá léta. Z pozorování však vyplynulo, že i přes vybudování obchvatu bude i nadále okružní křižovatku při vjezdu z tohoto směru vystavena nárazovým intenzitám. Vozidla vstupující do křižovatky nemají charakter tranzitu přes město, nýbrž cíleně touto oblastí projíždí, neboť jde o atraktivní nákupní lokalitu, která v sousedství navazuje na menší průmyslovou zónu. V případě expanze těchto míst bude nutné tuto dopravní situaci výhledově řešit. Návrh č. 3 pouze ukazuje směr úvah, kterým je možné se vydat.

Celá diplomová práce byla zpracována autorem za pomoci omezených technických prostředků a studijní verze simulačního programu. Pro hlubší analýzu celé dopravní situace je třeba profesionálního vybavení a odborného týmu dopravních inženýrů. Tato práce však nabízí nezaujatý vhled a kreativní přístup při řešení tohoto dopravní problému.

Seznam zdrojů

- [1] ČAPKA, Alexander. *Dopravní systémy*. Přerov: Vysoká škola logistiky, 2022. ISBN 978-80-87179-60-4.
- [2] *Technické podmínky – TP 188: POSUZOVÁNÍ KAPACITY KŘÍŽOVATEK A ÚSEKŮ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ*. Plzeň: EDIP, 2018.
- [3] *Technické podmínky – TP 234: POSUZOVÁNÍ KAPACITY OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATEK*. Liberec: EDIP, 2011.
- [4] KALAŠOVÁ, Alica, Ján ONDRUŠ a Jozef PAĽO. *Dopravné inžinierstvo: Križovatky*. Žilina: Žilinská univerzita, 2011. ISBN 978-80-554-0332-8.
- [5] *Technické podmínky – TP 135: PROJEKTOVÁNÍ OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATEK NA SILNICÍCH A MÍSTNÍCH KOMUNIKACÍCH*. 3. vydání. Brno: Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2017.
- [6] SMĚLÝ, Martin, Miroslav PATOČKA, Michal RADIMSKÝ a Jiří APELTAUER. *Metodika pro navrhování turbo-okružních křižovatek* [online]. 2015. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2015. ISBN 978-80-214-5202-2. Vysoké učení technické v Brně.
- [7] BULÍČEK, Josef. *Modelování technologických procesů v dopravě*. Pardubice. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011. ISBN 978-80-7395-442-0.
- [8] Software PTV Vissim. *AFRY CZ* [online]. Praha: AFRY CZ, c2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.afrycz.cz/homepage/co-delame/doprava/koncepce-a-planovani/sw-pt-vision/vissim/>
- [9] Komunikace I/55. *Google Maps* [online]. Google, 2022 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@48.7569235,16.8853787,13z?hl=cs>
- [10] Dopravní situace Břeclav. *Dopravní portál ČR – JSDI* [online]. Ostrava: Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2022 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://dopravniinfo.cz/>
- [11] Návrh řešení na podkladu katastrální mapy. *Naše Břeclav* [online]. Břeclav: SDRUŽENÍ NEZÁVISLÝCH KANDIDÁTŮ, 2016 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://www.nasebreclav.cz/spunt-jmenem-kruhac-u-tesca/#&gid=1&pid=2>

Seznam grafických objektů

Seznam grafů

Graf 3.1 Doba zdržení.....	56
----------------------------	----

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Dekompozice dopravního systému.....	12
Obr. 1.2 Tvary křižovatek dle jejich půdorysného tvaru	17
Obr. 1.3 Schéma miniokružní křižovatky	18
Obr. 1.4 Schéma jednopruhové okružní křižovatky	19
Obr. 1.5 Schéma turbo-okružní křižovatky	20
Obr. 1.6 Schéma TOK typu vejce (šipky znázorňují rozložení intenzit dopravy).....	21
Obr. 1.7 Schéma základní TOK (šipky znázorňují rozložení intenzit dopravy).....	22
Obr. 1.8 Schéma TOK typu koleno (šipky znázorňují rozložení intenzit dopravy)	22
Obr. 1.9 Schéma TOK typu propnuté koleno (šipky znázorňují rozložení intenzit dopravy).....	23
Obr. 1.10 Schéma okružní křižovatky s tramvajovou dopravou	24
Obr. 1.11 Schéma úpravy okružní křižovatky pro průjezd rozměrného nákladu	25
Obr. 1.12 Typy uspořádání vjezdu do turbo-okružní křižovatky	28
Obr. 2.1 Simulační modely	36
Obr. 2.2 Mikroskopická dopravní simulace varianta TOK.	39
Obr. 2.3 Schéma pro vytvoření simulačního modelu.	44
Obr. 2.4 Rozložení ovládacích prvků	46
Obr. 2.5 Výběr podkladové mapy.....	47
Obr. 2.6 Tvorba linky	48
Obr. 2.7 Propojení dvou linek.....	48
Obr. 2.8 Editace vozidla	49
Obr. 2.9 Nastavení směru jízdy včetně procentního rozdělení	50
Obr. 2.10 Nastavení přednosti v jízdě v konfliktní zóně	51
Obr. 2.11 Vyznačení úseku pro sběr dat	52
Obr. 2.12 Spuštěná simulace v režimu 3D pohledu.....	53
Obr. 3.1 Zobrazení silniční komunikace I/55	54

Obr. 3.2 Řešená oblast	55
Obr. 3.3 Dopravní situace ze dne 7. 10. 2021	57
Obr. 3.4 Návrh č. 1	64
Obr. 3.5 Návrh č. 2	66
Obr. 3.6 Kolaps dopravy na okružní křižovatce	67
Obr. 3.7 Návrh č. 3	68
Obr. 4.1 Návrh řešení na podkladu katastrální mapy	71

Seznam tabulek

Tab. 1.1 Orientační maximální kapacity různých typů křižovatek	26
Tab. 1.2 Přepočtové koeficienty skladby dopravního proudu	27
Tab. 1.3 Limitní hodnoty střední doby zdržení na vjezdu do okružní křižovatky	29
Tab. 2.1 Přehled simulačních programů	38
Tab. 3.1 Skladba dopravních proudů	59
Tab. 3.2 Počty vozidel z jednotlivých směrů	60
Tab. 3.3 Směrování vozidel při průjezdu křižovatkou	61
Tab. 3.4 Hodnocení úrovně kvality dopravy pro jednotlivé směry	63
Tab. 3.5 Výsledek návrhu č. 1	65
Tab. 3.6 Výsledek návrhu č. 3	69

Seznam zkratek a značek

a_v	stupeň vytížení [-]
C_e	kapacita výjezdu [pvoz/h]
C_i	kapacita vjezdu [pvoz/h]
C_n	základní kapacita jízdního pruhu n [pvoz/h]
I_e	intenzita dopravy na výjezdu [pvoz/h]
I_i	intenzita dopravy na vjezdu [pvoz/h]
I_n	intenzita dopravního proudu n [pvoz/h]
n_e	počet jízdních pruhů na výjezdu [-]
$n_{e,koef}$	koeficient zohledňující počet pruhů na výjezdu [-]
n_i	počet jízdních pruhů na vjezdu [-]
n_k	počet jízdních pruhů na okruhu [-]
$N_{95\%}$	délka fronty na vjezdu neřízené křižovatky [m]
Rez	rezerva kapacity [pvoz/h]
R_i	poloměr vjezdu [m]
R_e	poloměr výjezdu [m]
t_g	kritický časový odstup [s]
t_f	následný časový odstup [s]
Δ	minimální časový odstup mezi vozidly jedoucími na okruhu za sebou [m]
t_w	střední doba zdržení [s]

Autor	Bc. David Průdek
Název DP	Návrh úpravy okružní křižovatky
Studijní obor	Logistika
Rok obhajoby DP	2022
Počet stran	64
Počet příloh	---
Vedoucí DP	Dr. Alexander Čapka
Anotace	Diplomová práce je zaměřena na vytvoření návrhu na úpravu okružní křižovatky s cílem zvýšení její kapacity. V teoretické části je popsán dopravní systém se zaměřením na okružní křižovatky a dále pak modelování dopravních procesů pomocí simulačního softwaru. V praktické části je analyzována dopravní situace na konkrétní okružní křižovatce, kde pro vytvoření návrhu pro zvýšení kapacity je využita mikrosimulace. V závěru jsou zhodnoceny přínosy výsledného návrhu.
Klíčová slova	okružní křižovatka, kapacita křižovatky, dopravní inženýrství, simulace, dopravní modelování
Místo uložení	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
Signatura	