

# Aplikace multikriteriálního hodnocení při výběru typu úrovněvé křiřovatky

## Odborná metodika

Číslo projektu: TA02030860



České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta stavební  
Thákurova 7  
166 29 Praha 6 – Dejvice



HaskoningDHV Czech Republic  
spol. s r.o., Praha  
Sokolovská 100/94  
186 00 Praha 8



## Obsah:

<b>1. Identifikační údaje projektu</b>	<b>3</b>
<b>2. Úvod</b>	<b>4</b>
<b>3. Seznam zkratk</b>	<b>5</b>
<b>4. Stávající postupy při návrhu křižovatky a jejich srovnání s Metodikou</b>	<b>6</b>
<b>5. Metodika multikriteriálního hodnocení při výběru úrovně křižovatky</b>	<b>7</b>
5.1. Základní principy a kroky rozhodovacího procesu	7
<b>6. Vstupní data do multikriteriálního hodnocení</b>	<b>10</b>
<b>7. Posuzované typy křižovatek</b>	<b>15</b>
7.1. Průměrné neřízené / osazené DZ	17
7.2. Průměrné řízené SSZ	17
7.3. Stykové neřízené / osazené DZ	19
7.4. Stykové řízené SSZ	20
7.5. Okružní křižovatky jednopruhé	21
7.6. Okružní křižovatky vícepruové	22
<b>8. Kritéria multikriteriálního hodnocení</b>	<b>23</b>
8.1. Eliminační úroveň	24
8.1.1. Šířkové uspořádání větví křižovatky	24
8.1.2. Kapacita křižovatky	24
8.1.3. Dispozice plochy	24
8.1.4. Lokalizace křižovatky - Intravilán/Extravilán	25
8.2. Hodnotící úroveň	25
8.2.1. Střední doba zdržení	25
Vliv pěší dopravy v metodice	27
8.2.2. Bezpečnost	28
8.2.3. Emise škodlivin	32
8.2.3.1. Emise z automobilové dopravy	32
8.2.3.2. Stanovení bodového ohodnocení emisí z automobilové dopravy	33
8.2.4. Hluk	34
8.2.4.1. Hluk z automobilové dopravy	34
8.2.4.2. Stanovení bodového ohodnocení dopadů hluku z automobilové dopravy	35
8.2.5. Stavební náklady	37
8.2.6. Provozní náklady	37
8.2.6.1. Uvažované položky pro vyčíslení kritéria provozních nákladů	38
8.2.6.2. Uvažované položky pro vyčíslení kritéria provozních nákladů	40
<b>9. Výstupy z metodiky</b>	<b>41</b>
9.1. Výsledky multikriteriálního hodnocení	41
9.2. Výsledky ekonomicko-provozního hodnocení	41
9.2.1. Náklady za čas cestujících, čas při přepravě zboží	42
9.2.2. Ekonomické ztráty z dopravních nehod	42
9.2.3. Metodika výpočtu provozně-ekonomického hodnocení	43
<b>10. Závěr</b>	<b>46</b>
<b>11. Literatura</b>	<b>47</b>



## 1. Identifikační údaje projektu

Název projektu:	Aplikace multikriteriálního hodnocení při výběru typu úrovně křižovatky
Poskytovatel dotace:	Technická agentura České Republiky (TAČR) Evropská 1692/37 160 00 Praha 6  Metodika je výstupem projektu výzkumného úkolu TA02030860 – „Aplikace multikriteriálního hodnocení při výběru typu úrovně křižovatky“, který byl řešen v letech 2012 – 2014.
Zpracovatelé metodiky:	<b>České vysoké učení technické v Praze</b> Fakulta stavební Thákurova 7 166 29 Praha 6 – Dejvice  <b>HaskoningDHV Czech Republic</b> spol. s r.o., Praha Sokolovská 100/94 186 00 Praha 8
Autoři:	Petr Mondschein, Tomáš Havlíček, Jan Hradil, Jan Kovařík, Petr Slabý, Michal Uhlík.
Počet stran:	48



## 2. Úvod

Rozhodovací procesy tvoří nedílnou součást lidské kultury. Jako takové se pochopitelně promítají i do veškerých technických věd, včetně návrhu a posuzování prvků komunikační sítě. Popisovaná metodika byla vytvořena s primárním cílem stanovení jednoznačného postupu při výběru úrovně křižovatky se zohledněním možných aspektů, které mohou návrh ovlivňovat. Na jejím základě je možné jednoznačně matematicky definovat vliv jednotlivých parametrů v celkovém stanovení vhodnosti konkrétního řešení a tím i určit nejvhodnější typ křižovatky. Metodika posuzuje jednotlivá řešení z pohledu bezpečnosti účastníků silničního provozu, kapacity, finanční náročnosti návrhu (jak z hlediska přímých, tak nepřímých nákladů) a v neposlední řadě z pohledu dopadů na životní prostředí a bezprostřední okolí. Obecně lze tedy konstatovat, že vybraný typ křižovatky dle této metodiky bude splňovat veškeré požadavky na bezpečný a plynulý provoz nejenom vozidel, ale všech dotčených účastníků silničního provozu, což se odrazí v pozitivním přínosu z hlediska bezpečnosti dopravní infrastruktury.

Potřeba vytvoření jasně definované metodiky plyne zejména ze stávajícího nevyhovujícího stavu při výběru a hodnocení křižovatek jako takových. Pro výběr typu a uspořádání konkrétní křižovatky je standardně využíváno projektové dokumentace ve stupni variantní studie. Zejména v intravilánu bývá ale návrh poměrně často ovlivněn subjektivním názorem ať už investora, nebo nedostatečně fundovaných osob, které z pozice účastníků stavebního řízení mohou poměrně značně ovlivnit rozhodovací proces. Jasně definovatelná metodika, resp. údaje z této metodiky, by měly být primárně prospěšné jak pro projektanty, tak pro zaměstnance DOSS, kteří se podílejí na rozhodovacím procesu.

Vzhledem k výše uvedeným faktům je metodika navržena na principu multikriteriálního hodnocení. Je to jediný postup, který objektivně umožňuje vyhodnocení konkrétních variantních řešení z hlediska více kritérií a jejich srovnání. Přestože je zde určitý subjektivní prvek vnášen zejména z hlediska určování dopadů jednotlivých kritérií do celkového hodnocení, bylo snahou tento prvek co nejvíce objektivizovat pomocí dostatečně velkého statistického souboru hodnotitelů, na základě jejichž odborného názoru byly stanoveny výsledné váhy jednotlivých kritérií.

Většina kritérií byla vyčíslena pomocí dopravních modelů v SW AIMSUN. V tomto SW byly provedeny stovky simulací pro různé intenzity dopravních proudů a poměry zatížení jednotlivých vjezdů. Je samozřejmé, že tímto způsobem se nedá zachytit přesné zatížení pro všechna možná řešení, a proto je potřeba zdůraznit, že Metodika nenahrazuje kapacitní výpočet dle příslušných TP. Nicméně zjednodušení, ke kterým bylo přistoupeno, byla koncipována tak, aby výsledky byly co nejvíce reprezentativní. Z výše uvedeného vyplývá, že navrhovaná metodika není všespásná a je zaměřená především na situace s vyšším dopravním zatížením, kde je nutné posuzovat jednotlivé alternativy i z hlediska kapacitního. U intravilánových málo zatížených křižovatek hrají poměrně značnou roli faktory, které nelze (nebo lze velmi obtížně) kvantifikačně zhodnotit tak, aby bylo možné provést relevantní posouzení. Vliv zde má např. architektonické zasazení křižovatky do prostoru, případně požadavky zájmových organizací či obyvatelů dotčených oblastí.

Součástí, resp. nástrojem Metodiky, je stejnojmenný software „Aplikace multikriteriálního hodnocení při výběru typu úrovně křižovatky“. Tento SW je vytvořen v prostředí MS Office v programu ACCESS. Na základě vyplnění vstupních dat SW vyhodnotí, které varianty křižovatek připadají pro zadané hodnoty v úvahu a seřadí je dle bodového ohodnocení do žebříčku. Na uživateli je potom zhodnocení, která z variant, jež získaly nejvíce bodů, se do dané lokality hodí nejvíce. Vzhledem k často malým rozdílům ve výsledcích nemusí být nejlépe hodnocená varianta vždy tou vítěznou, jelikož SW nedokáže postihnout všechny potřebné vstupy. SW se především snaží eliminovat ty varianty, které se do dané lokality a pro příslušné zatížení nehodí. Uživatel může rovněž na základě znalosti specifického zadání měnit váhy kritérií, jelikož SW funguje jako otevřený. Nicméně je nutné konstatovat, že dané výstupy nebudou odpovídat principům navržené Metodiky.



### 3. Seznam zkratk

AHP – Analyticko hierarchické postupy / Analytic Hierarchy Process

CBA – cost benefit analysis / analýzy nákladů a přínosů

CEA – cost effectiveness analysis / analýza efektivity nákladů

ČR – Česká Republika

ČSN – Česká státní norma

DOSS – dotčené orgány státní správy

DN – dopravní nehoda

DZ – dopravní značení

HCM – Highway Capacity Manual (USA)

IS – inženýrské sítě

MAUT – Multikriteriální utilitární teorie / Multi-attribute utility theory

MCA – multi-criteria analysis / multikriteriální hodnocení

MCDA – multi-criteria decision analysis / multikriteriální rozhodovací analýza

Metodika – metodika multikriteriálního hodnocení při výběru typu úrovně křižovatky

MODM – vícekriteriální rozhodovací problémy / multiple decision making problem

OK – okružní křižovatka

PD – projektová dokumentace

RN – relativní nehodovost

RPDI – roční průměrné denní intenzity

ŘSD ČR – Ředitelství silnic a dálnic České republiky

TNV – těžká nákladní vozidla

TOK – turbo okružní křižovatka

TP – Technické podmínky

SDZ – svislé dopravní značení

SEU – subjektivní očekávané užitečnosti / subjective expected utility

SSZ – Světelně signalizační zařízení

SW – software

ÚKD – úroveň kvality dopravy

VDZ – vodorovné dopravní značení



#### 4. Stávající postupy při návrhu křižovatky a jejich srovnání s Metodikou

V současné době neexistuje z hlediska technického v ČR, ani v zahraničí jednoznačný postup pro výběr, či posouzení návrhu křižovatky za jasně definovatelných vstupních podmínek. Určité náznaky podobného přístupu jsou zřejmé zejména v zahraničních výzkumných pracích [17], [18], [20]. Jedná se nicméně o posouzení z pohledu tří kritérií: doba zdržení, bezpečnost a stavební náklady. Postupy jsou ale striktně teoretické a jsou víceméně použitelné pouze dopravními inženýry, kteří jsou schopni potřebné hodnoty zjistit pomocí mikrosimulačních modelů. Prosté a jednoduché využití je z tohoto úhlu pohledu vyloučeno.

Výběr vhodné křižovatky probíhá většinou na základě stávajícího stavu (zejména při rekonstrukcích, kdy investor nechce zasahovat do stávajících IS, resp. způsobu odvodnění), nebo je použito jednoparametrické posouzení, většinou na základě kapacitního posouzení, v některých případech je potom do posouzení zahrnuta i bezpečnost navrhovaného řešení. V případě návrhu, kdy se nepředpokládají vysoké špičkové intenzity, je situace ještě problematičtější. V takovýchto situacích lze totiž konstatovat, že daným podmínkám odpovídá více potencionálních variant a zhodnocení vhodnosti jednotlivých variant by mělo být provedeno i na základě jiných kritérií, než pouze kapacity. Stávající postupy nedefinují ani příslušná kritéria, nemluvě o jejich dopadu do výsledného hodnocení jednotlivých variant.

Tato metodika umožňuje potencionální hodnocení variantních řešení na základě jasně definovaných kritérií a tím i jednoznačnou kvantifikaci vlivů konkrétního návrhu na všechny účastníky dopravního provozu a své okolí. Využitelnost Metodiky je poměrně všestranná. Jednak se předpokládá její využití na straně projektanta, který za stávající situace prakticky nemá bez podrobného dopravně inženýrského modelu možnost zjistit základní charakteristiky jednotlivých variantních řešení a jejich dopady na okolí. Na druhé straně je daná metodika použitelná i ze strany investora, resp. příslušných DOSS, které mohou na základě poměrně jednoduchých vstupních parametrů ověřit použitelnost jednotlivých variant a kvalifikovaně rozhodnout o tom, která varianta je nejvhodnější na základě stanovených kritérií. V neposlední řadě je metodika díky poměrně širokému rozsahu výsledků z podrobných dopravně inženýrských modelů použitelná i odbornou veřejností, např. v oblasti výzkumu a srovnání jednotlivých typů křižovatek (včetně v ČR relativně nových typů turbo-okružních křižovatek, které již metodika zahrnuje, ačkoli zatím pouze pro průsečné uspořádání křižovatek).



## 5. Metodika multikriteriálního hodnocení při výběru úrovně křižovatky

Vytvoření platné validní metodiky multikriteriálního hodnocení je fakticky vzato logickým krokem při posuzování infrastrukturních staveb, z nichž pozemní komunikace patří z hlediska rozsahu i důležitosti k těm nejvýznamnějším. Momentálně je běžnou praxí zejména u rozsáhlejších staveb pozemních komunikací provedení multikriteriální analýzy příslušné stavby. Tento postup je ale pro možnost aplikace na úrovně křižovatky příliš obecný, protože posuzuje liniovou stavbu jako celek, přičemž křižovatky uvažuje pouze jako jeden z faktorů, které ovlivňují hodnocení jednotlivých variant. Tento přístup je z hlediska funkčního jistě správný, protože poskytuje hodnotitelům dostatečné informace pro výběr správné varianty. Při postoupení projektu do dalšího stupně, tj. na úroveň podrobné dokumentace, kde je již potřeba řešit konkrétní technické charakteristiky jednotlivých prvků silniční sítě, je ale zřejmé, že dané metody jsou již prakticky nepoužitelné, protože nejsou schopné komparativně analyzovat jednotlivé varianty zejména z důvodu nenastavení základních přístupů a definování jednotlivých kritérií.

Navrhovaná metodika se zaměřuje na klíčové prvky silniční sítě – křižovatky. Záměrně byla metodika směřována ke křižovatkám úrovně, protože mimoúrovňové křižovatky jsou svým konceptem i charakteristikami stavby, jež lze dost problematicky jednotně definovat. Každá mimoúrovňová křižovatka je do značné míry unikát, který je definován příliš mnoha proměnnými charakteristikami – počet permutací je tak v tomto případě extrémní. Kromě toho se posuzování mimoúrovňových křižovatek velmi často provádí jako součást komplexního posouzení dané komunikace, tj. až do podrobnosti mikrosimulačních modelů. Naproti tomu úrovně křižovatky lze poměrně jednoznačně tvarově i kapacitně charakterizovat a kategorizovat. I zde může být počet permutací značný (zejména s ohledem na směrové vedení a šířkové uspořádání jednotlivých větví), nicméně z hlediska pravděpodobnosti lze naprostou většinu křižovatek jednoznačně specifikovat a zatřídit. Důležitost správného výběru je kritická zejména v intravilánu, kde vzhledem k jejich relativně malé vzdálenosti a vysokým intenzitám tvoří tyto křižovatky kritické prvky silniční sítě z hlediska prakticky všech relevantních kritérií, které lze v souvislosti s posuzováním silničních staveb uvažovat.

Metodika operuje s využitím multikriteriálního hodnocení pro posouzení jednotlivých alternativ řešení pro konkrétní vstupní podmínky a následný výběr nejvhodnějšího řešení na základě jednoznačné kvantifikace z pohledu jednotlivých kritérií. Obecně lze konstatovat, že multikriteriální hodnocení simuluje základní rozhodovací proces člověka při výběru optimálního výsledku (čistě z jeho úhlu pohledu) z více možných alternativ, či variant. Přestože je základní postup poměrně jednoduše popsateľný, v průběhu času bylo matematicky definováno poměrně velké množství metod multikriteriálního hodnocení, které je možné v rámci posouzení použít. Ve státní správě se poměrně často používá „analýza efektivnosti nákladů“, tj. CEA (cost effectiveness analysis). V oblasti dopravy je potom běžnější využití „analýzy nákladů a přínosů“, tj. CBA (cost benefit analysis). Navrhovaná metodika nicméně ani jednu z těchto metod přímo nevyužívá, protože zejména v oblasti křižovatek je poměrně problematické převést veškeré dopady na finanční ohodnocení.

### 5.1. Základní principy a kroky rozhodovacího procesu

Jak již bylo řečeno výše, základní princip multikriteriálního hodnocení je snaha dosáhnout určitého rozhodnutí. Přestože multikriteriální hodnocení kopíruje postup lidského rozhodování (ať už vědomého, či podvědomého), jedná se o exaktní proces, který má jasně nastavené kroky:

#### 1) Identifikace problému

Cíl byl definován jako vytvoření metodiky, jež umožní komparativní analýzu jednotlivých technicky a návrhově akceptovatelných variant řešení úrovně křižovatek s ohledem na podstatné charakteristiky, jimiž lze křižovátku definovat. Primární zaměření metodiky se týká



křižovatek v intravilánu, kde úrovněvé křižovatky tvoří klíčové prvky silniční sítě, nicméně metodika je použitelná i v extravilánu.

## 2) Identifikace potencionálních variant/alternativ řešení problému

Při stanovení potencionálních variant řešení problému je nutné zohlednit platné legislativní a technické předpisy. V tomto případě je klíčovým předpisem ČSN 73 6102 – Projektování křižovatek na pozemních komunikacích (2007) + Z1 (2011) [6]. Tato norma definuje, že pro nové či rekonstruované křižovatky jsou vhodné následující typy úrovněvých křižovatek:

- křižovatky průsečné,
- křižovatky stykové,
- křižovatky okružní - jednopruhové,  
- vícepruhové.

Přestože se jedná pouze o tři základní typy křižovatek, vzhledem k rozdílným permutacím šířkového uspořádání vstupních větví a podmínkám okolí křižovatky bylo stanoveno na základě konzultací s expertním panelem a odborníky ze státní správy (např. TSK hl. m. Prahy, ŘSD ČR) celkem 44 různých tvarů křižovatek, jež byly stanoveny jako potencionální varianty, které vstupují do procesu multikriteriálního hodnocení. Jednotlivé varianty jsou popsány v kapitole 7.

## 3) Identifikace kritérií, ve kterých se budou vybrané varianty srovnávat

Při identifikaci a stanovení jednotlivých kritérií bylo vycházeno ze tří základních otázek:

- a) Čím jsou křižovatky limitovány?
- b) Jaké jsou charakteristiky, jimiž je každá křižovatka definována?
- c) Jaké jsou dopady jednotlivých křižovatek na své okolí?

Na základě této analýzy byly stanoveny dvě úrovně, ve kterých je multikriteriální hodnocení prováděno:

- **úroveň eliminační** – zde jsou uvedena kritéria, jež mají eliminační charakter – tato kritéria jsou stanovena určitým rozsahem hraničních hodnot a při jejich překročení je příslušná varianta vyřazena a dále již není posuzována. Jsou zde následující kritéria:
  - Šířkové uspořádání větví křižovatky
  - Kapacita křižovatky
  - Dispozice plochy
  - Intravilán/Extravilán
- **úroveň hodnotící** – zde se již varianty, jež postoupily přes eliminační úroveň, posuzují dle klasických metod multikriteriálního hodnocení. Vychází se ze tří oblastí kritérií, v nichž byla následně jednotlivá kritéria stanovena. Jednotlivé oblasti a kritéria jsou uvedena v Tab. 1.

Tab. 1 Vybraná kritéria multikriteriálního hodnocení

Dopravně inženýrské charakteristiky		Ekologické dopady		Náklady	
Střední doba zdržení	Koeficient bezpečnosti	Zplodiny	Hluk	Stavební náklady	Provozní náklady

Hodnoty jednotlivých kritérií byly počítány jak z dopravně inženýrských mikrosimulací, tak ze statistik (bezpečnost). V případě vyčíslení dopadů hluku a stanovení stavebních a provozních nákladů byly použity aktuálně platné metodiky ČR [39], **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Jednotlivá kritéria jsou popsána v kapitole 8.





#### 4) Identifikace metody MCA, která bude využita pro vyhodnocení

Výběr metody probíhal zejména na základě následujících požadavků:

- validita a ověřitelnost vstupních dat
- relativně jednoduché na použití
- možnost vyjádření vzájemných závislostí mezi jednotlivými kritérii
- kvantitativní vyjádření jednotlivých kritérií a jejich vah
- vhodné využití pro počítačové zpracování

Na základě těchto požadavků a konzultace s expertním panelem byl jako výsledný zvolen **lineární přírůstkový model (tj. určení vah dle Metfesselovy alokace – rozdělení 100 bodů mezi kritéria).**

#### 5) Stanovení bodového ohodnocení jednotlivých variant

Stanovení bodového hodnocení vychází ze zvolené metody multikriteriálního hodnocení. Jako základní stupnice bylo zvoleno rozmezí 0-10 s „rastrem“ o velikosti 1,0. Mezi jednotlivými body je pro upřesnění výpočtu aplikována lineární regrese.

Pro všechna kritéria s výjimkou bezpečnosti je uvažován reverzní přístup, tj. čím vyšší je konkrétní hodnota (např. doba zdržení či emise), tím nižší je bodové ohodnocení v daném kritériu. U bezpečnosti je stanoven koeficient, resp. index bezpečnosti – zde je reverzní přístup aplikován již v přepočtu nehodovosti na koeficient bezpečnosti, tj. následně je ve stanovení bodového hodnocení aplikován přímý přístup (čím vyšší koeficient bezpečnosti, tím vyšší bodové ohodnocení). Podrobnosti k bodovému ohodnocení jsou součástí popisu jednotlivých kritérií v kapitole 8.

#### 6) Stanovení vah jednotlivých kritérií

Váhy byly stanoveny na základě dvoustupňové Metfesselovy alokace (v jednotlivých oblastech kritérií a následně v jednotlivých kritériích dané oblasti) za přispění expertního panelu, jenž byl tvořen experty na problematiku silničního stavitelství a dopravního inženýrství z ČR. Následně bylo provedeno statistické vyhodnocení získaných hodnot a určeny příslušné hodnoty vah pro jednotlivá kritéria. Podrobný popis metodiky stanovení vah a jejich jednotlivých vyhodnocení je uveden v kapitole 9.

#### 7) Provedení multikriteriálního hodnocení

Multikriteriální hodnocení je prováděno ve formě dvoustupňové analýzy, stanovené v hodnotovém stromu (value tree). Výsledkem je jednak souhrnná užitná hodnota, která vyjadřuje hodnocení jednotlivých variant v multikriteriálním hodnocení, ale rovněž ekonomicko-provozní hodnocení, ze kterého je možné určit v průběhu času ekonomickou bilanci jednotlivých variant. Oba dva výsledky potom tvoří podklad pro uživatele, který na jejich základě bude vybírat ideální variantu řešení.

#### 8) Rozhodnutí

Na základě bodu 6 je vybrána nejvhodnější varianta, resp. je kvantifikována vhodnost/nehodnost posuzovaných variant.

#### 9) Zpětná vazba na základě rozhodnutí (feedback)

Metodika byla vzhledem ke značnému rozsahu výsledků upravována na základě provedených in-situ simulací a provedených analýz citlivosti.



## 6. Vstupní data do multikriteriálního hodnocení

Aby bylo možné získat validní výsledky, je nutné definovat základní vstupní data do multikriteriálního hodnocení, na jejichž základě bude provedena datová analýza. V rámci vstupních dat je tedy nutné definovat následující údaje:

- a) **Dostupná plocha křižovatky** – dostupná plocha se zadává v ortogonálních rozměrech  $a \times b$  [m], přičemž na základě těchto vstupních údajů dochází k posouzení dostupné dispozice plochy vůči minimální velikosti křižovatky a případnému vyřazení varianty v eliminační úrovni (Kapitola 8.1.3).
- b) **Oblast lokalizace křižovatky** – zde je potřeba definovat prostředí, ve kterém se křižovatka nachází. Aby byla dostatečně pokryta variabilita prostředí, byly stanoveny čtyři typy území, pro něž platí odlišné charakteristiky:

1. **Intravilán – území souvislé obytné zástavby a centrální/jádrové oblasti města** (kompaktní městské bloky, sídlištní zástavba, soustředěná nízkopodlažní i vícepodlažní městská zástavba, historické centrum města),

2. **Intravilán – území s rozptýlenou zástavbou převážně obytného charakteru nebo území občanské vybavenosti** (obytné oblasti mimo centrum města a periferní obytné oblasti, území občanské vybavenosti, rozptýlená zástavba s funkcemi kulturní zařízení, školství a vzdělávání či využití volného času),

3. **Intravilán – území průmyslu, výroby a obchodu** (výrobní a průmyslové oblasti, výrobní zóny, území, kde převládá skladování, logistika, nebo administrativně obchodní funkce),

4. **Extravilán – nezastavěné území**

Tento vstupní údaj je podstatný pro vyhodnocení jak v eliminační úrovni (Kapitola 8.1.4), tak pro stanovení vah, které ovlivňují výsledek z hodnotící úrovně (Kapitola 9.1).

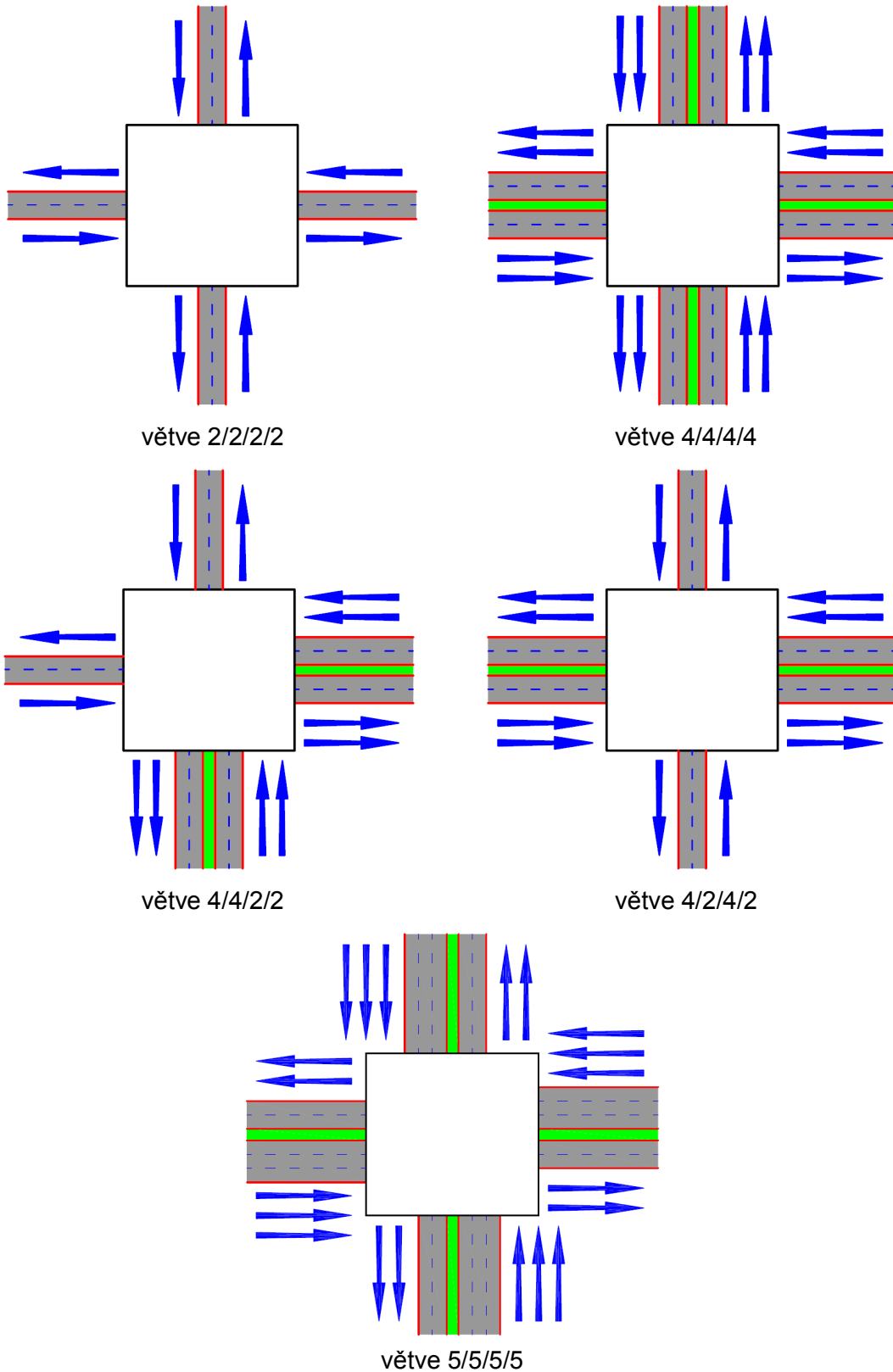
- c) **Konfigurace vstupních větví** - Konfigurace jednotlivých větví byla specifikována pro průsečnou konfiguraci větví (tj. dvě komunikace, jež se navzájem kříží a vytváří tak čtyři větve křižovatky) a pro stykovou konfiguraci větví (tj. jedna komunikace je stykem na druhou komunikaci ukončena a obě komunikace tak vytváří tři větve křižovatky).

Základní uspořádání větví pro průsečnou konfiguraci (0) jsou:

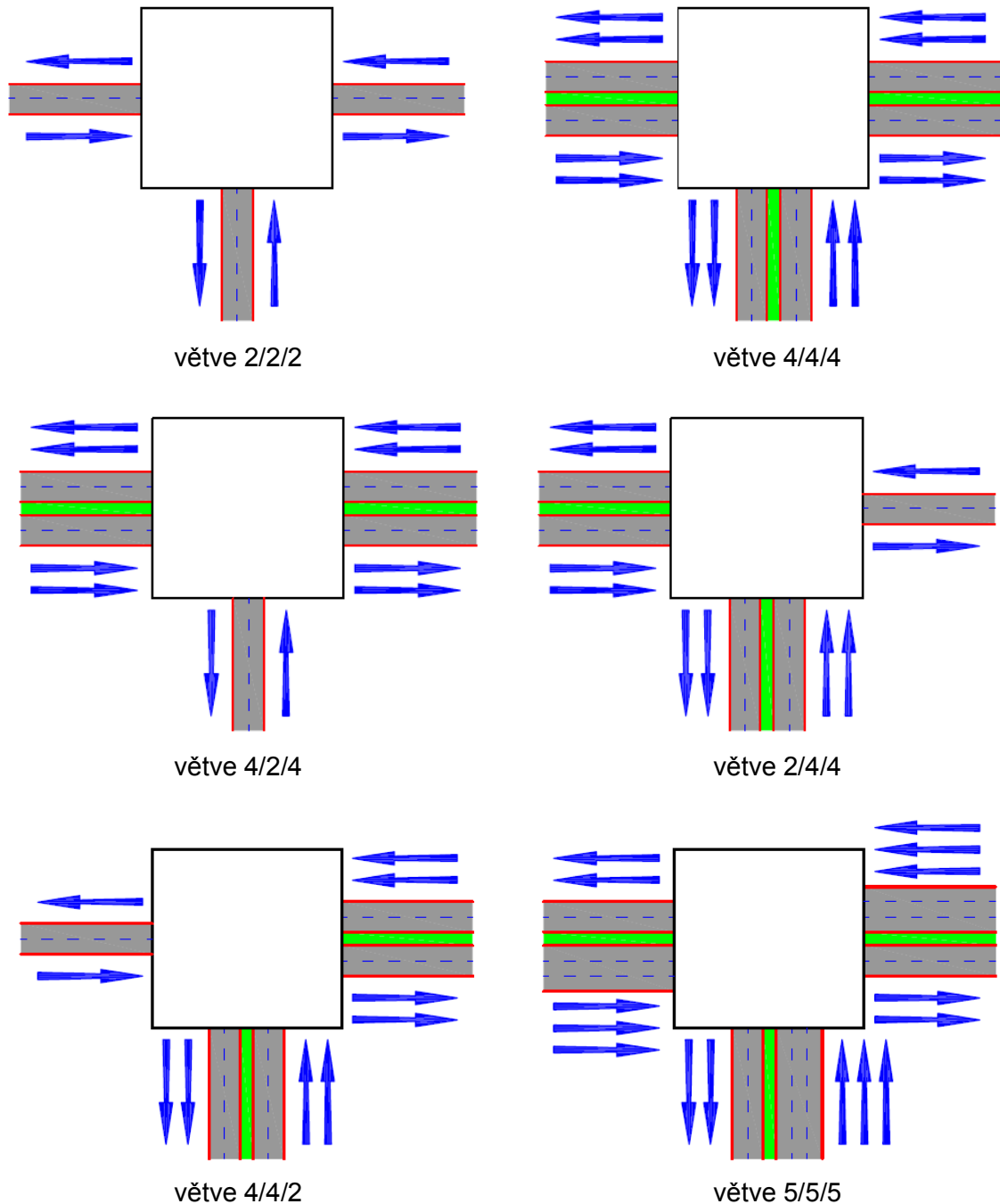
- 2 pruhy / 2 pruhy / 2 pruhy / 2 pruhy (2/2/2/2)
- 4 pruhy / 4 pruhy / 4 pruhy / 4 pruhy (4/4/4/4)
- 4 pruhy / 4 pruhy / 2 pruhy / 2 pruhy (4/4/2/2)
- 4 pruhy / 2 pruhy / 4 pruhy / 2 pruhy (4/2/4/2)
- 5 pruhů / 5 pruhů / 5 pruhů / 5 pruhů (5/5/5/5)

Základní uspořádání větví pro stykovou konfiguraci (Obr. 2) jsou:

- 2 pruhy / 2 pruhy / 2 pruhy (2/2/2)
- 4 pruhy / 4 pruhy / 4 pruhy (4/4/4)
- 4 pruhy / 2 pruhy / 4 pruhy (4/2/4)
- 2 pruhy / 4 pruhy / 4 pruhy (2/4/4)
- 4 pruhy / 4 pruhy / 2 pruhy (4/4/2)
- 5 pruhů / 5 pruhů / 5 pruhů (5/5/5)



Obr. 1 Základní uspořádání větví pro průsečnou konfiguraci  
(Pozn.: značení větví je ve směru hodinových ručiček v pořadí východ/jih/západ/sever)



Obr. 2 Základní uspořádání větví pro stykovou konfiguraci  
(Pozn.: značení větví je ve směru hodinových ručiček v pořadí východ/jih/západ)

- d) **Celkové dopravní zatížení** – je definováno jako součet všech vozidel na vjezdech do křižovatky [voz/hod], přičemž tato hodnota vstupuje do posouzení jako jeden z klíčových prvků – v eliminační úrovni dochází k případné eliminaci variant, u nichž vychází doba zdržení vyšší, než 150 s (Kapitola 8.1.2), v hodnotící úrovni potom dochází ke srovnání na základě reálné doby zdržení (Kapitola 8.2.1) [12], [14], [15].



e) **Podíl TNV v dopravním proudu** – vzhledem k omezenému množství permutací bylo nutné zvolit předpokládané zatížení křižovatky těžkou nákladní dopravou (TNV). Pro výpočty a simulace byla uvažována dvě různá procentuální zastoupení nákladní dopravy v dopravním proudu v rozdělení hlavní / vedlejší komunikace:

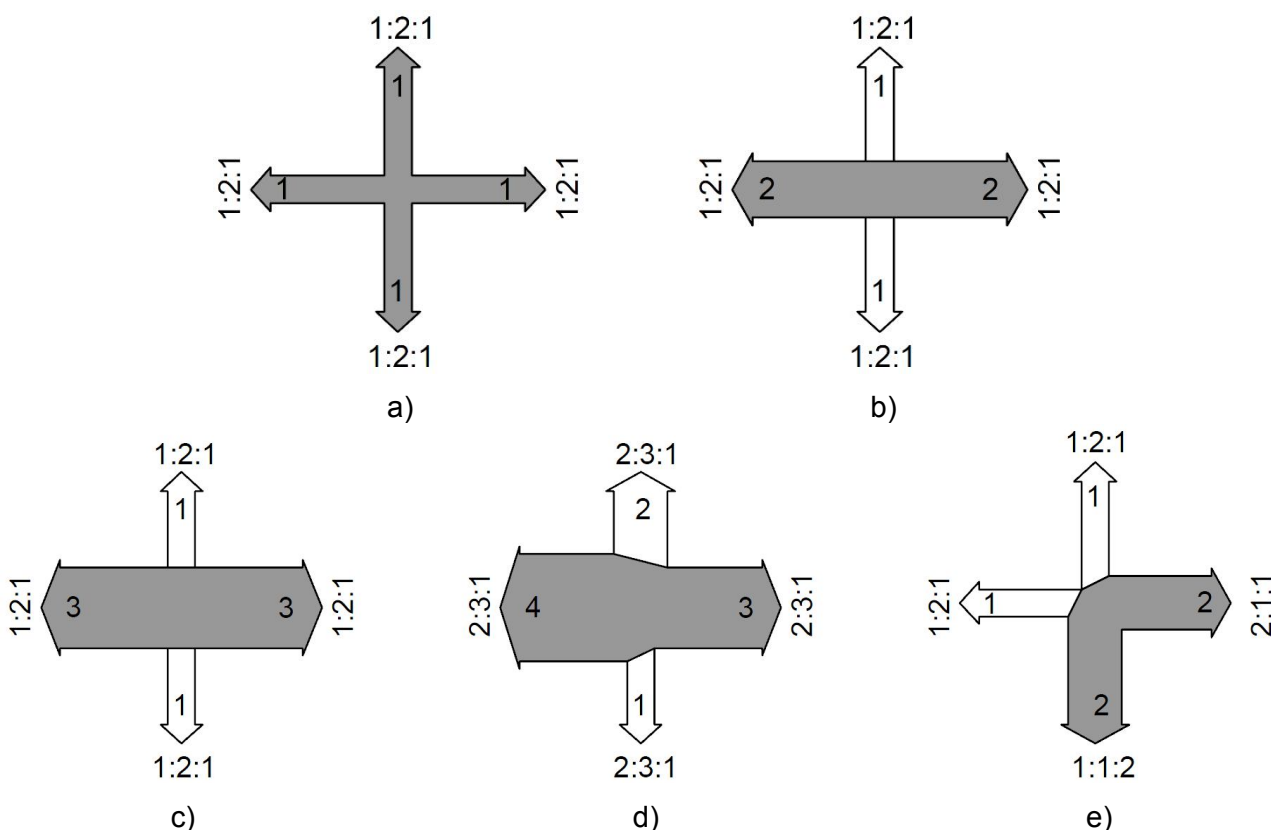
- 4% / 4%;
- 15% / 8%.

Tento parametr vstupuje prakticky do posouzení všech kritérií.

f) **Distribuce zatížení křižovatky** – dopravní zatížení na křižovatce je definováno dvěma údaji – celkovým zatížením křižovatky a rozložením tohoto zatížení na jednotlivé větve. Toto rozdělení je odlišné pro průsečné a stykové křižovatky a rovněž uvažuje rozdělení jednotlivých dopravních proudů v rámci příslušné větve.

Distribuce zatížení pro průsečné křižovatky (Obr. 3):

- a) intenzity 1/1/1/1 (křižovatkové pohyby 1:2:1 – levý : přímý : pravý)
- b) intenzity 2/1/2/1 (křižovatkové pohyby 1:2:1 – levý : přímý : pravý)
- c) intenzity 3/1/3/1 (křižovatkové pohyby 1:2:1 – levý : přímý : pravý)
- d) intenzity 3/1/4/2 (křižovatkové pohyby 2:3:1 – levý : přímý : pravý)
- e) intenzity 2/2/1/1 (křižovatkové pohyby 2:1:1/1:1:2/1:2:1/1:2:1 – levý : přímý : pravý)

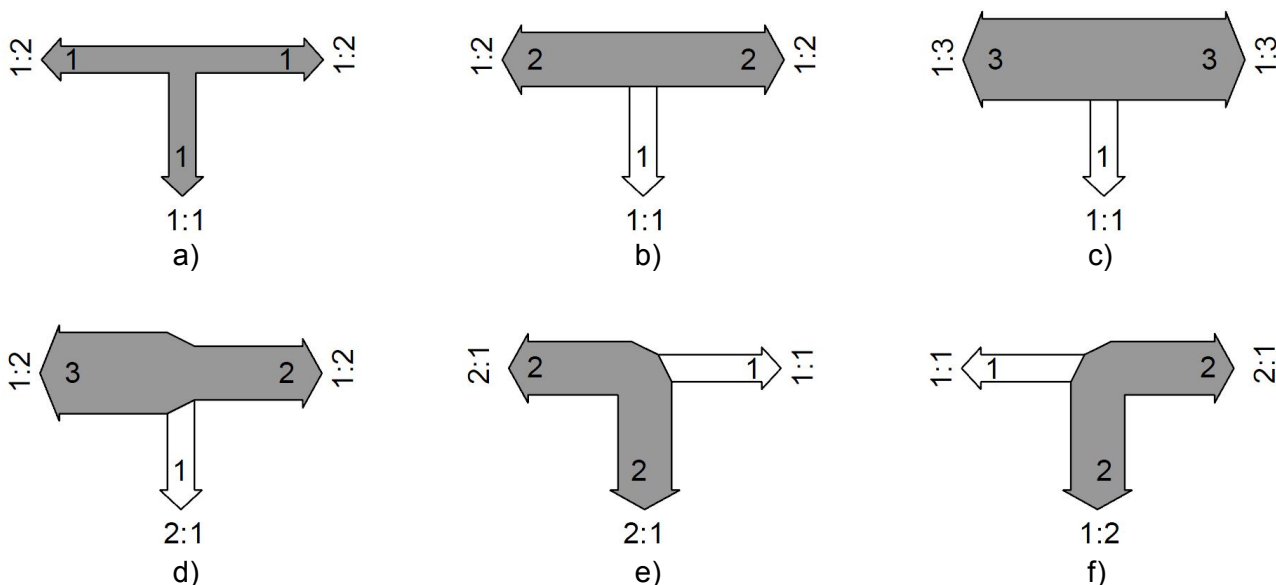


Obr. 3 Distribuce zatížení pro průsečné křižovatky



Distribuce zatížení pro stykové křižovatky (Obr. 4):

- a) intenzity 1/1/1 (křižovatkové pohyby 1:2/1:1/1:2)
- b) intenzity 2/1/2 (křižovatkové pohyby 1:2/1:1/1:2)
- c) intenzity 3/1/3 (křižovatkové pohyby 1:3/1:1/1:3)
- d) intenzity 2/1/3 (křižovatkové pohyby 1:2/2:1/1:2)
- e) intenzity 1/2/2 (křižovatkové pohyby 1:1/2:1/2:1)
- f) intenzity 2/2/1 (křižovatkové pohyby 2:1/1:2/1:1)



Obr. 4 Distribuce zatížení pro stykové křižovatky

g) **Vliv pěších proudů** – tento parametr se zadává ve čtyřech stupních dle intenzity chodců na nejzatíženějším rameni:

- 0 – 50 chodců / hodinu;
- 50 – 100 chodců / hodinu;
- 100 – 200 chodců / hodinu;
- > 200 chodců / hodinu.

Vliv se nadále projevuje v kritériu střední doba zdržení, kde na základě vstupních intenzit chodců dochází k její úpravě (Kapitola 8.2.1).

h) **Vstupní data pro stanovení stavebních nákladů** – zde se zadávají základní parametry, ovlivňující cenu stavebních nákladů pro jednotlivá řešení. Je možné definovat:

- konstrukci vozovky dle TP 170 (D1-N-6 / D0-N-3);
- místo založení křižovatky (nezastavěná plocha / asfaltový povrch / dlažba);
- výměra plochy v % (tj. kolik % z celkové plochy křižovatky bude umístěno na výše uvedeném založení křižovatky);
- přítomnost chodníků na jednotlivých ramenech.

Podrobnosti ke stanovení stavebních nákladů jsou uvedeny v Kapitole 8.2.5.



## 7. Posuzované typy křižovatek

Stanovení základních variant řešení problému je klíčový krok, jímž se definuje množina možných řešení a tím se stanovuje i rozsah řešení jako takový. V tomto případě bylo stanovení této množiny variant provedeno ve dvou úrovních. V první, rámcové úrovni, byly stanoveny základní tvary křižovatek, které jsou akceptovatelné z pohledu technických a legislativních předpisů. V tomto případě je klíčovým předpisem ČSN 73 6102 – Projektování křižovatek na pozemních komunikacích (2007) + Z1 (2011) [6]. Tato norma definuje, že pro nové či rekonstruované křižovatky jsou vhodné následující typy úrovnových křižovatek (Obr. 5):

- křižovatky průsečné,
- křižovatky stykové,
- křižovatky okružní jednopruhové,
- křižovatky okružní vícepruhové.



Obr. 5 Základní tvary křižovatek dle ČSN 73 6102

Je ovšem nutné konstatovat, že toto rozdělení je velmi rámcové a prakticky neuvažuje s rozdílnými charakteristikami křížících se komunikací, dopravním zatížením či dostupným prostorem. Rovněž je nutné zohlednit i fakt, že jak stykové tak průsečné křižovatky mohou být osazeny SSZ (poměrně výjimečně v našich poměrech je možné osadit SSZ i okružní křižovatky), z čehož vyplývá poměrně značné množství potencionálních možných uspořádání, které by bylo nutné posoudit. Vzhledem k faktu, že metodika je primárně nastavená pro návrhy nových uspořádání křižovatek a nikoliv pro posuzování starých, leckdy technicky i kapacitně nevyhovujících uspořádání křižovatek, bylo řešitelským týmem na základě konzultací s expertním panelem sestaveno celkem 44 základních tvarů křižovatek, jež vstupují do procesu multikriteriálního hodnocení jako potencionální varianty řešení. Tvary těchto křižovatek byly určeny pro předpokládané šířkové uspořádání křížících se komunikací, což je jeden ze základních vstupních faktorů na eliminační úrovni hodnocení, který umožňuje prvotní selekci vhodných tvarů křižovatek. Na základě těchto vstupních údajů metodika umožňuje vyhodnotit vhodnost konkrétních tvarů křižovatek. Jednotlivé tvary křižovatek lze rozřadit do následujících kategorií:

- 7.1 průsečné neřízené / osazené DZ
- 7.2 průsečné řízené SSZ
- 7.3 stykové neřízené / osazené DZ
- 7.4 stykové řízené SSZ
- 7.5 okružní křižovatky jednopruhové
- 7.6 okružní křižovatky vícepruhové

**Průsečné a stykové křižovatky** jsou řešené buď formou přednosti zprava, nebo osazené značkami P 2 (Hlavní pozemní komunikace) a P 4 (Dej přednost v jízdě), resp. P 6 (Stůj, dej přednost v jízdě) [8], případně ještě světelným signalizačním zařízením (SSZ). Vzhledem k zaměření metodiky na křižovatky s vyšším dopravním zatížením, a tedy i vyšší důležitostí z hlediska dopravního, se dá opodstatněně předpokládat, že návrhů řešených formou přednosti



zprava bude minimum, proto bylo pro přednost zprava posouzeno pouze základní uspořádání stykové i průsečné křižovatky a zbytek byl posuzován s osazeným DZ, případně i SSZ. Signální plány křižovatek se SSZ byly navrženy jako pevné, odlišně pro jednotlivá uspořádání [9]. Daná schémata křižovatek byla použita jako podklad pro dopravní modelování, ze kterého byly vyčísleny všechny důležité charakteristiky. Základní parametry jednotlivých schémat průsečných a stykových křižovatek jsou následující [5], [7]:

- šířka jízdního pruhu  $\check{s} = 3,50\text{m}$ ,
- poloměr v hraně křižovatky  $R = 10,0\text{m}$ ,
- šířka chodníku (pokud je přítomen)  $\check{s}_{\text{CH}} = 2,0\text{m}$ ,
- šířka přechodu pro chodce (pokud je přítomen)  $\check{s}_{\text{P}} = 4,0\text{m}$ .
- STOP čára (u SSZ) je umístěna v místě přechodu zakružovacího oblouku v přímý úsek.

**Okružní křižovatky** se dle TP 135 [10] dělí na miniokružní a okružní, přičemž okružní se dále dělí na jednopruhé a vícepruhové. Vzhledem k faktu, že miniokružní křižovatky jsou typické zejména pro vnitroblokové intravilánové komunikace obslužného charakteru s relativně zanedbatelným dopravním zatížením, lze je jako adekvátní variantu pominout a v Metodice nejsou uvažovány.

V rámci jednopruhových okružních křižovatek je v Metodice uvažováno jak s průsečným, tak stykovým uspořádáním větví. Variabilita jednotlivých uspořádání je umocněna možností volby okružní křižovatky s bypassem. Pro základní představu o rozdílu mezi křižovatkou s bypassem a bez něj byl modelován pouze případ s jedním bypassem. V reálné situaci je samozřejmě možné zbudovat bypassů více, nicméně tato metodika nemůže zachytit všechny možné varianty situací. Jako průměr pro jednopruhé OK byl zvolen  $D=40\text{m}$ , který zohledňuje plynulost a komfort jízdy. Základní parametry jednotlivých schémat OK jsou následující:

- šířka jízdního pruhu  $\check{s} = 3,50\text{m}$ ,
- šířka okružního jízdního pásu  $\check{s} = 4,50\text{m}$ ,
- šířka prstence  $\check{s} = 1,50\text{m}$ ,
- vnější průměr okružní křižovatky  $D = 40\text{m}$ ,
- poloměr v hraně křižovatky  $R = 10,0\text{m}$ ,
- šířka chodníku (pokud je přítomen)  $\check{s}_{\text{CH}} = 2,0\text{m}$ ,
- šířka přechodu pro chodce (pokud je přítomen)  $\check{s}_{\text{P}} = 4,0\text{m}$ .

Okružní křižovatky vícepruhové jsou v Metodice uvažovány pouze se spirálovitým uspořádáním, tzv. turbo okružní křižovatky (TOK). Toto nastavení je dáno tím, že připojení komunikace na okružní jízdní pás pomocí připojovacího pruhu není při rozumných rozměrech OK možné a jiný druh vícepruhové OK stávající TP 135 neumožňují. TOK mají několik základních tvarů, které jsou v metodice použity. Celkem je uvažováno se 6 tvary TOK pro průsečné křižovatky. Řešení stykových uspořádání je z hlediska TOK problematictější, protože nejsou definovány přesné základní tvary a uspořádání TOK a jako takové by korektní posouzení nebylo možné. Základní rozměry jednotlivých schémat TOK byly nastaveny podobně jako u jednopruhových OK a liší se pouze v parametrech vnější průměr okružní křižovatky ( $D=50-60\text{m}$  dle uspořádání větví) a poloměr v hraně křižovatky ( $R = 15,0\text{m}$ ). S chodci se počítá jen v podobě míst pro přecházení, jelikož přechod přes dva stejnosměrné pruhy, které jsou u TOK běžné, není dle ČSN 73 6110 [7] vhodný. Z tohoto důvodu neprojdou varianty TOK v případě přítomnosti přechodů pro chodce eliminační úrovní.

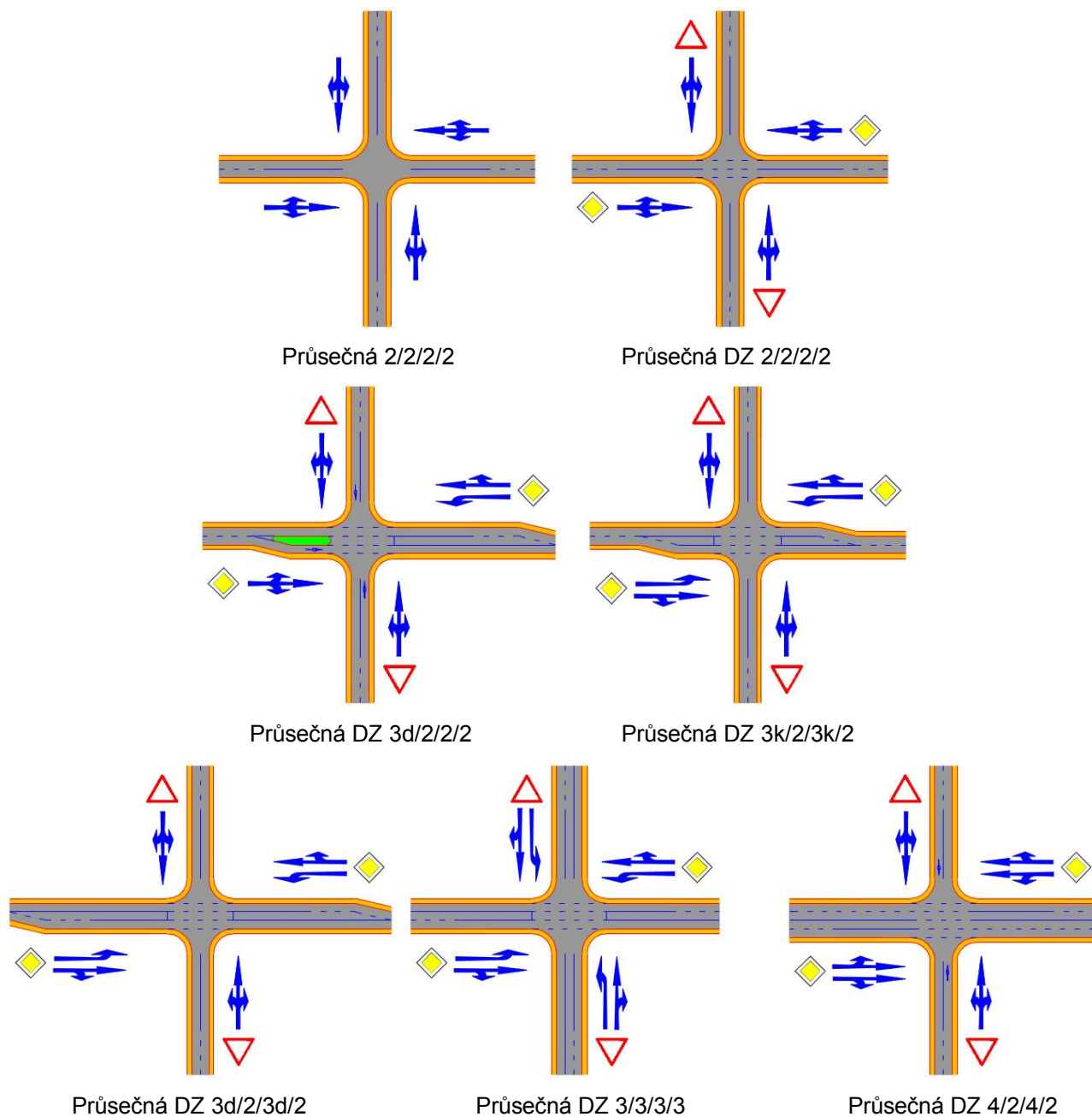
V rámci ověření správnosti návrhu všech typů křižovatek byly provedeny rovněž simulace se změněnými parametry křižovatek. Bylo takto ověřeno, že vliv výše uvedených parametrů na dopravně inženýrské charakteristiky je relativně zanedbatelný a pohybuje se v jednotkách procent. Vzhledem k předpokládanému využití metodiky v prvotních stupních rozhodovacího procesu, resp. projektové dokumentace, lze konstatovat, že vliv změny výše uvedených parametrů může být zanedbán.





### 7.1. Průsečné neřízené / osazené DZ

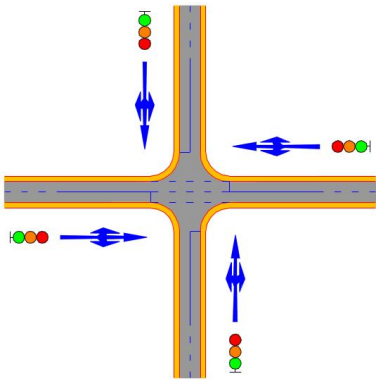
V dané kategorii křižovatek byly jako vstupní alternativy zvoleny následující tvary křižovatek (Obr. 6).



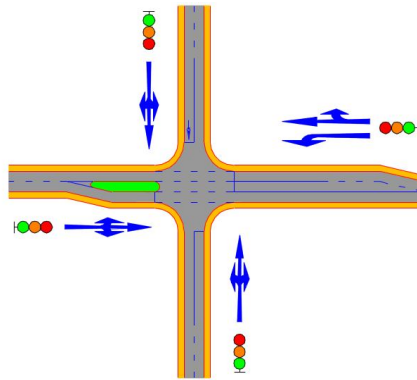
Obr. 6 Křižovatky průsečné neřízené / osazené DZ

### 7.2. Průsečné řízené SSZ

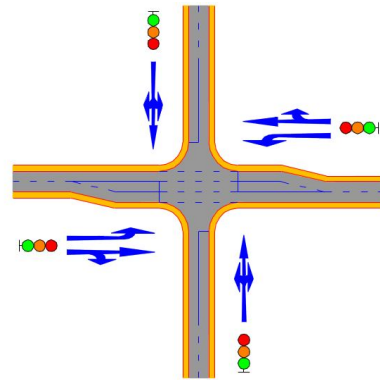
V dané kategorii křižovatek byly jako vstupní alternativy zvoleny následující tvary křižovatek (Obr. 7).



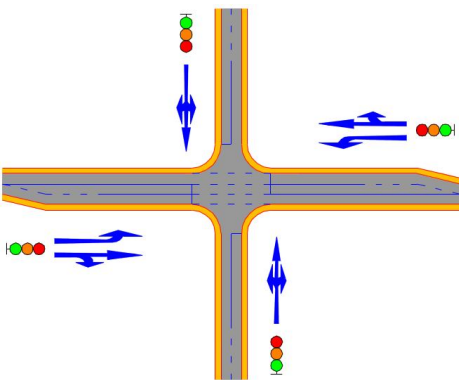
Průsečná + SSZ 2/2/2/2



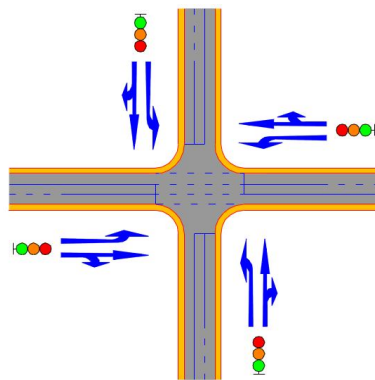
Průsečná + SSZ 3d/2/2/2



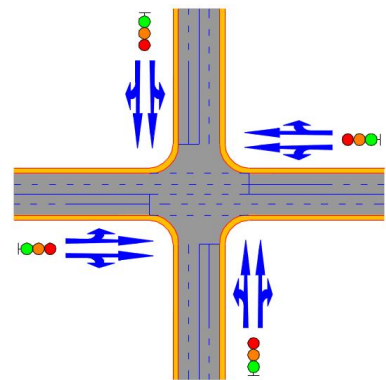
Průsečná + SSZ 3k/2/3k/2



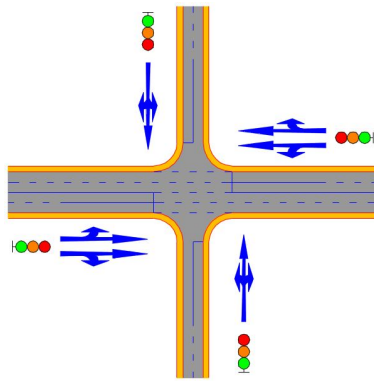
Průsečná + SSZ 3d/2/3d/2



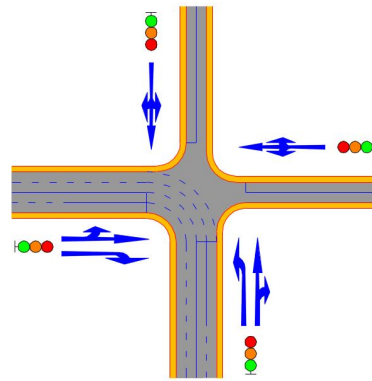
Průsečná + SSZ 3/3/3/3



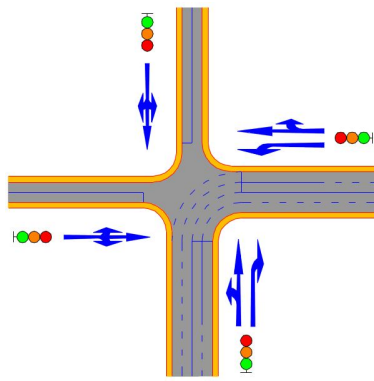
Průsečná + SSZ 4/4/4/4



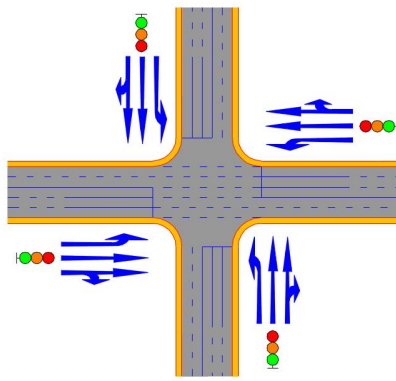
Průsečná + SSZ 4/2/4/2



Průsečná + SSZ 2/4/4/2



Průsečná + SSZ 4/4/2/2



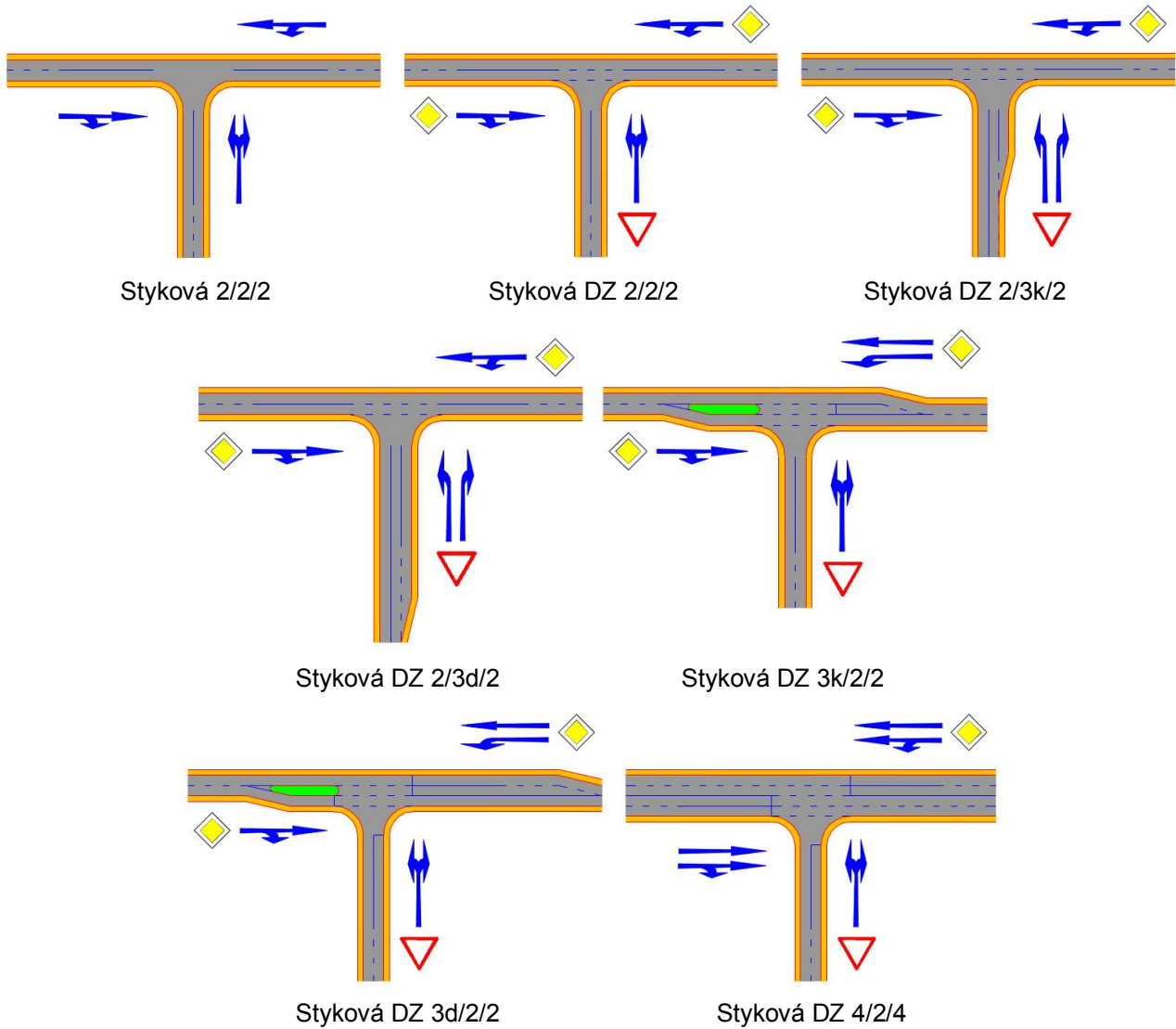
Průsečná + SSZ 5/5/5/5

Obr. 7 Křižovatky průsečné řízené SSZ



### 7.3. Stykové neřízené / osazené DZ

V dané kategorii křižovatek byly jako vstupní alternativy zvoleny následující tvary křižovatek (Obr. 8).

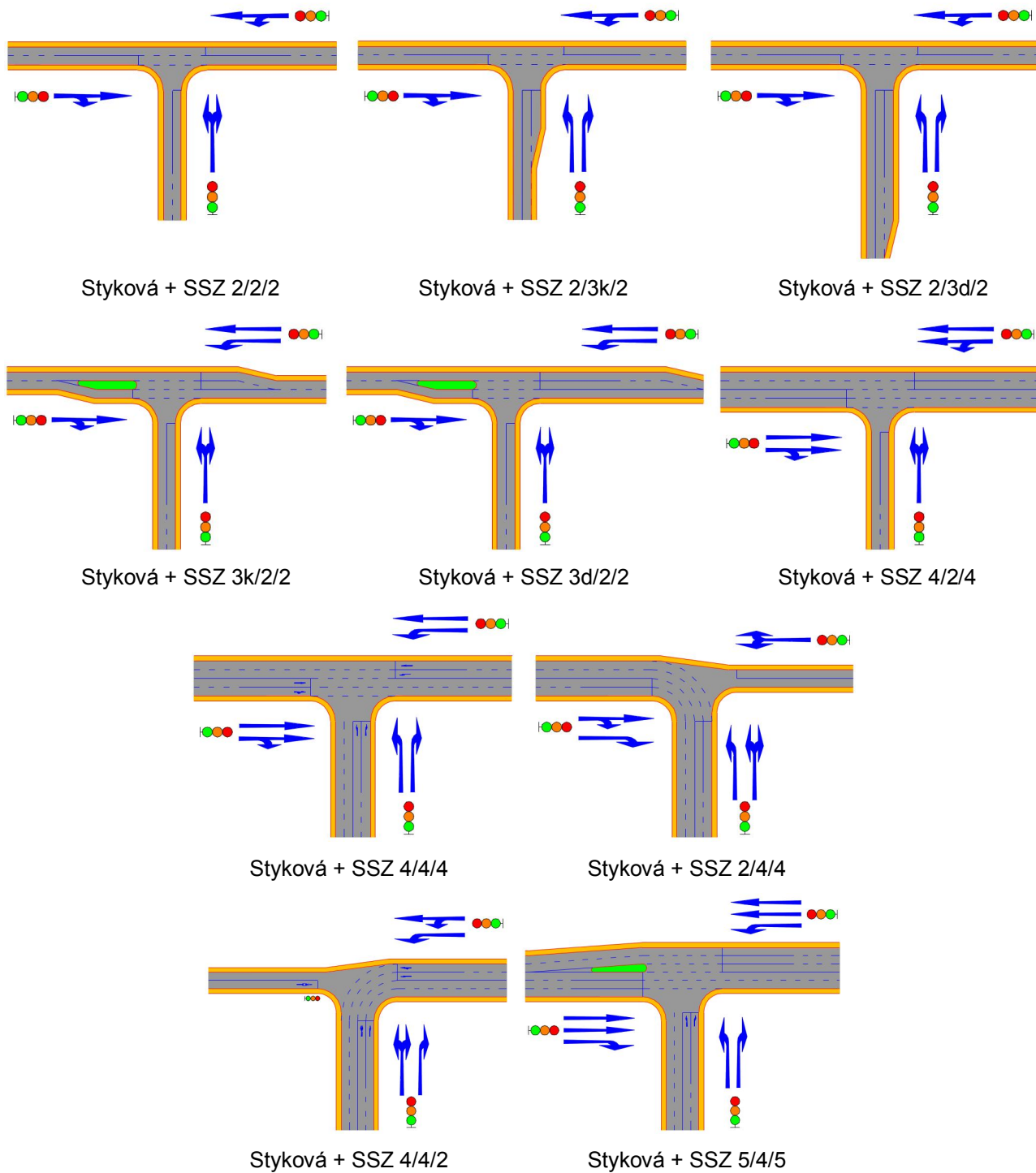


Obr. 8 Křižovatky stykové neřízené / osazené DZ



#### 7.4. Stykové řízené SSZ

V dané kategorii křižovatek byly jako vstupní alternativy zvoleny následující tvary křižovatek (Obr. 9).

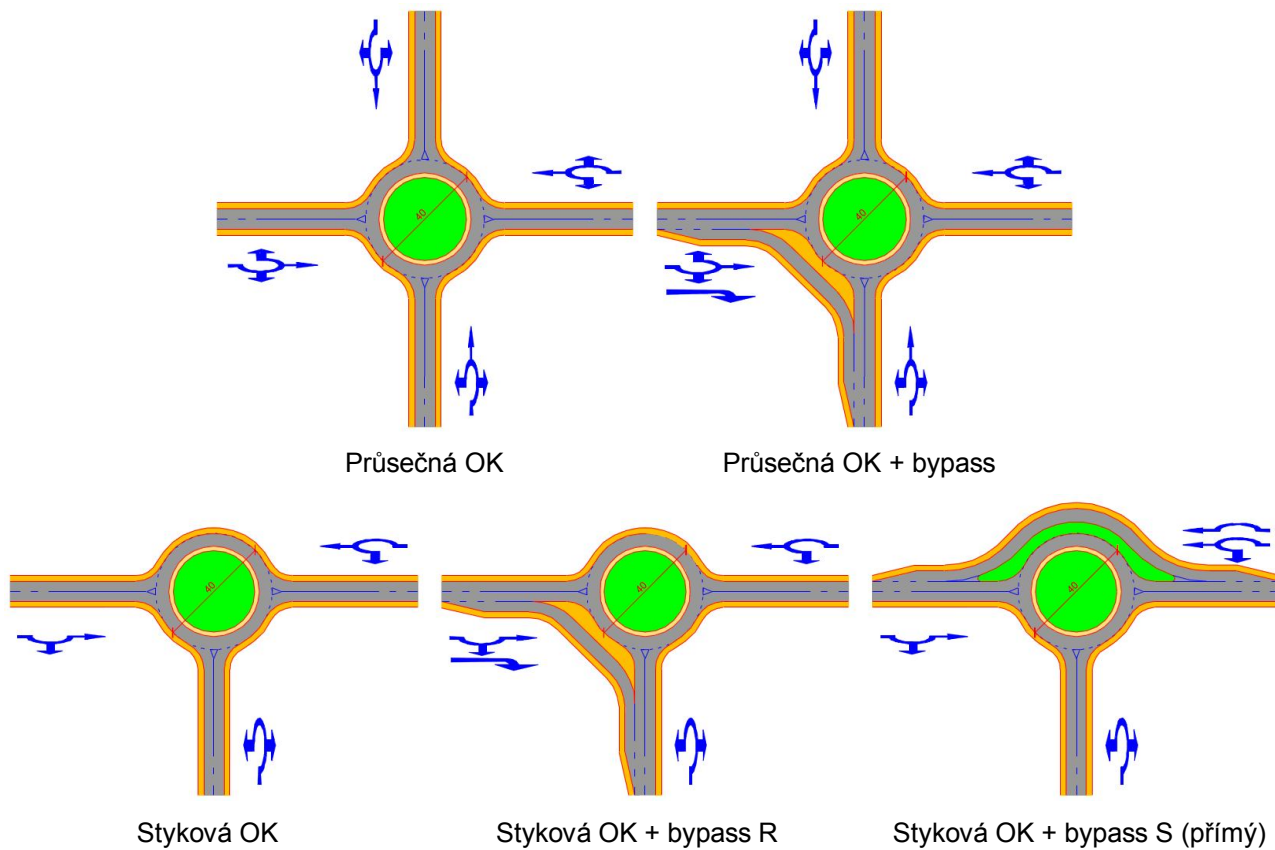


Obr. 9 Křižovatky stykové řízené SSZ



### 7.5. Okružní křižovatky jednopruhové

V dané kategorii křižovatek byly jako vstupní alternativy zvoleny následující tvary křižovatek (Obr. 10 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).

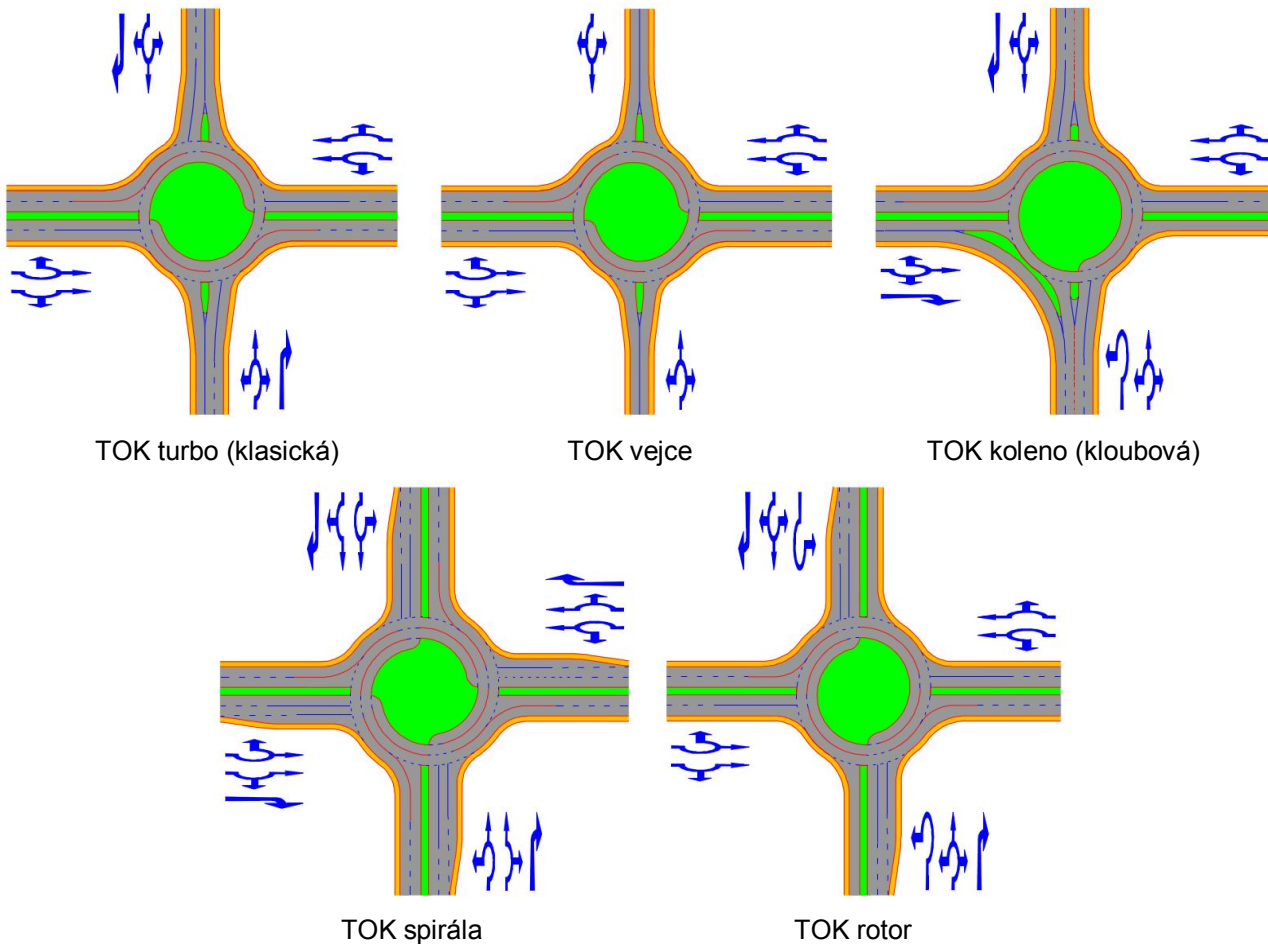


Obr. 10 Okružní křižovatky jednopruhové



## 7.6. Okružní křižovatky vícepruhové

V dané kategorii křižovatek byly jako vstupní alternativy zvoleny následující tvary křižovatek (Obr. 11 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).

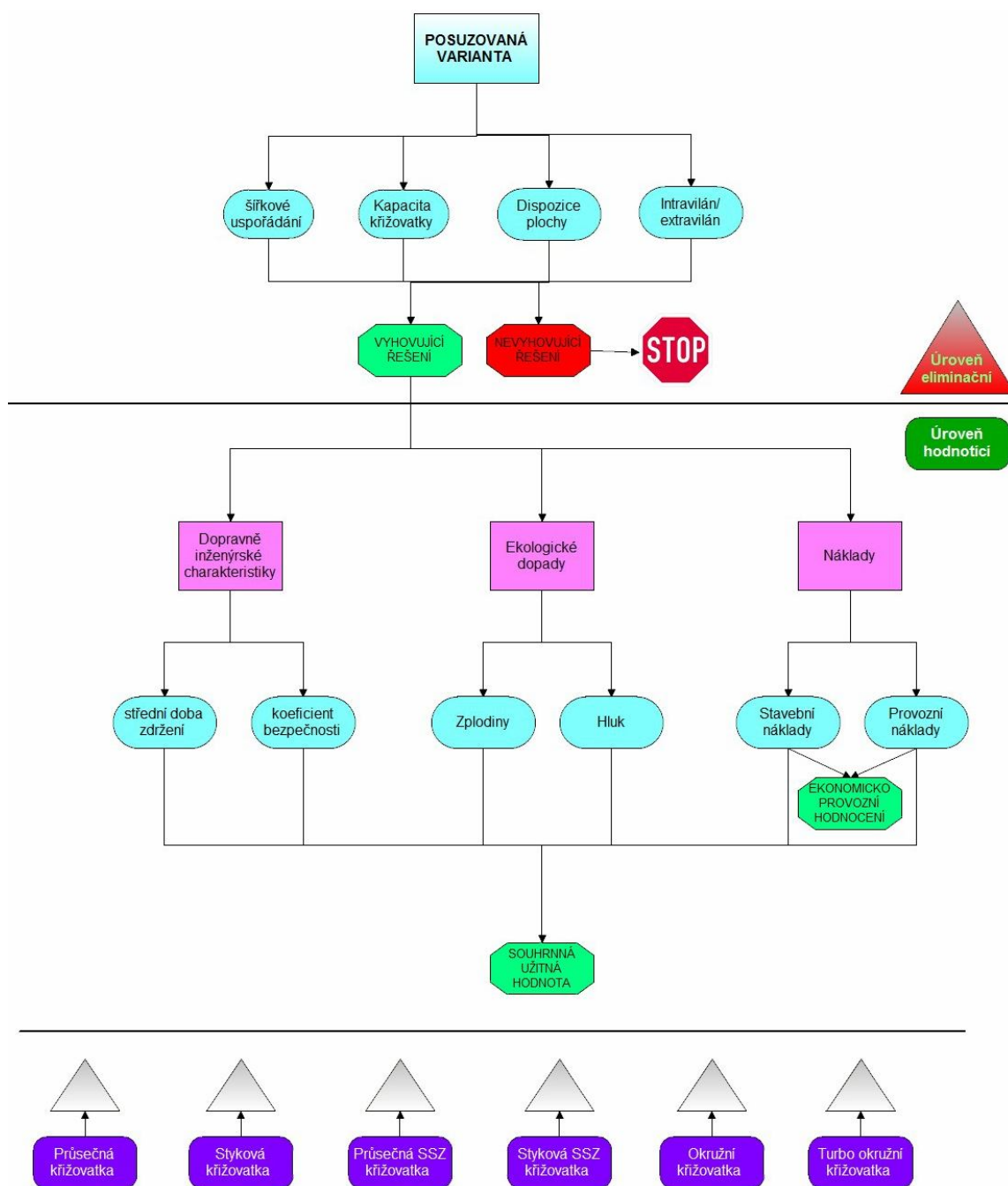


Obr. 11 Okružní křižovatky vícepruhové



## 8. Kritéria multikriteriálního hodnocení

Jednotlivá kritéria této metodiky byla volena tak, aby pokryla všechny případné dopady či aspekty úroňových křížovatek. Jak již bylo uvedeno v kapitole 5.1, kritéria byla rozdělena do dvou úrovní, v závislosti na povaze daného kritéria. V 1. úrovni jsou **kritéria eliminační**, která dle vstupních podmínek stanoví, jestli příslušná křížovatka může být pro dané uspořádání a intenzity vůbec uvažována. Ve 2. úrovni jsou poté **hodnotící kritéria**, která všechny křížovatky, které prošly eliminační úrovní, srovnají dle příslušných bodů a vah jednotlivých kritérií na základě výsledné užité hodnoty. Základní schéma a uspořádání jednotlivých kritérií je zřejmé z hodnotového diagramu z Obr. 12.



Obr. 12 Hodnotový diagram multikriteriálního hodnocení



## 8.1. Eliminační úroveň

### 8.1.1. Šířkové uspořádání větví křižovatky

Toto kritérium nám definuje skladebné šířkové uspořádání jednotlivých větví křižovatky. Na jeho základě lze poté vyřadit varianty, které pro tato skladebná šířková uspořádání nejsou vhodné. V rámci tohoto kritéria je definován počet pruhů a jejich uspořádání. Kritérium je podstatné u všech posuzovaných variant, zřejmý je jeho dopad zejména v oblasti rozhodnutí využití SSZ, či různých typů okružních a turbo-okružních křižovatek. Jednotlivá uspořádání jsou rozkreslena na Obr. 2 (Kapitola 7). Odbočovací pruhy jsou uvažovány jako pruhy, které vzniknou před křižovatkou a za křižovatkou jsou opět ukončeny. Z tohoto důvodu může být uvažována např. TOK typu vejce nebo SSZ se samostatnými pruhy pro odbočení vlevo i ve variantě vstupního uspořádání dvoupruhových obousměrných větví na všech ramenech křižovatky.

### 8.1.2. Kapacita křižovatky

Kapacita křižovatky závisí na řadě faktorů. Patří mezi ně např. tvar křižovatky, skladba dopravního proudu, počet pruhů a paprsků křižovatky, poměry intenzit na jednotlivých vjezdech a převažujících manévrech vozidel v křižovatce. ČSN 73 6102 [6] uvádí orientační kapacity jednotlivých typů křižovatek, ze kterých může vycházet i laik, aby si udělal základní představu, jestli má křižovatka pro dané intenzity šanci kapacitně vyhovět nebo ne. Tyto hodnoty jsou však přibližné a při konkrétním návrhu křižovatky je při větších intenzitách potřeba provést samostatné kapacitní posouzení. Tato metodika je podstatně přesnější, nicméně i tak nenahrazuje samotné kapacitní posouzení, jelikož uvažuje několik přednastavených zatěžovacích schémat a nemůže definovat přesné poměry intenzit pro všechny křižovatky.

Při kapacitním posouzení křižovatky se každý vjezd posuzuje na střední dobu zdržení vozidel a následně se této době zdržení přiřadí příslušný stupeň úrovně kvality dopravy (ÚKD) A - F (viz Tab. 2, Tab. 3 v kapitole 8.2) [6], [12], [14], [15]. ÚKD celé křižovatky je dána nejnižším stupněm ze všech vjezdů, tzn., že o úrovni kvality rozhoduje nejpodřadnější dopravní proud. Z tabulek je vidět, že kapacita křižovatky (ÚKD F) není definována žádnou limitní hodnotou střední doby zdržení, podle které bychom poznali, kdy už je křižovatka nevyhovující. Tato mez kapacity se musí určit výpočtem.

Jelikož Metodika využívá pro určení kapacity mikroskopický simulátor AIMSUN, který nepočítá samotnou kapacitu, ale určuje hodnoty střední doby zdržení na vjezdech, bylo potřeba nastavit nějakou mezní hodnotu. Tato hodnota byla na základě odborného odhadu nastavena na 150 s. Při každé simulaci byla sledována střední doba zdržení na všech vjezdech. V momentu, kdy střední doba zdržení překročila na některém vjezdu definovanou hodnotu 150 s, byla intenzita vozidel v této simulaci prohlášena jako mezní a dál se už s danou variantou nepočítalo. Tímto krokem se zjistily meze kapacity pro každou variantu křižovatky, jež jsou popsány v Kap. 7. Pro každou křižovatku se SSZ bylo do simulátoru AIMSUN nutné zadat signální plán řízení, který se pro každou kombinaci významně liší. Signální plány byly tvořeny Websterovou metodou s ověřováním maximální kapacity křižovatky v programu KAPRIKR. Princip řešení spočíval v nalezení optimálního signálního plánu pro dané (zpravidla limitní) zatížení.

Při samotném posouzení pomocí této metodiky jsou v eliminační úrovni vyřazeny na základě kritéria kapacity právě ty tvary a uspořádání křižovatek, které přesáhnou kapacitní meze, stanovené dopravními simulacemi. Do další fáze tedy pokračují pouze vyhovující varianty a zbylé se již nezobrazují.

### 8.1.3. Dispozice plochy

Je pochopitelné, že pro rozdílné typy křižovatek jsou rozdílné plošné požadavky. Toto kritérium umožní hodnotiteli definovat plošný rozměr plochy, který má k dispozici ( $a \times b$ ).





Podstatné je toto hledisko zejména pro okružní a turbo okružní křižovatky v intravilánu, neboť jejich plošné požadavky bývají zejména u větších poloměrů větší, než u průsečných typů křižovatek. Je ovšem nutné zdůraznit, že toto hledisko je pouze orientační – posouzení počítá s pravidelnou kolmou dispozicí plochy ve tvaru čtverce ( $a \times a$ ) či obdélníku ( $a \times b$ ), zejména v intravilánu je ale disponibilní plocha poměrně často nepravidelného tvaru. Reálné posouzení je poté otázka především konkrétního projekčního návrhu dispozice dané křižovatky. Hodnoty byly určovány jako minimální možné bez zakružovacích oblouků křižovatek, jelikož tyto jsou příliš poplatné geometrii křižovatky a směrovému vedení jednotlivých větví.

#### 8.1.4. Lokalizace křižovatky - Intravilán/Extravilán

Toto kritérium definuje prostředí, ve kterém se křižovatka nachází. Vliv bude mít hlavně na křižovatky se SSZ, které jsou pro extravilán nevhodné. Kritérium má ale podstatný dopad rovněž do vah jednotlivých hodnotících kritérií. Váhy hodnotících kritérií v extravilánu a intravilánu jsou totiž nastaveny odlišně. Aby byla dostatečně pokryta variabilita prostředí, byly stanoveny čtyři typy území (Kap. 6), pro něž platí odlišné charakteristiky.

Pro jednotlivá území byly stanoveny odlišné váhy pomocí expertního panelu, ale rovněž byla určena základní eliminační kritéria, která stanoví, do kterého území je který typ křižovatky nevhodný. Vycházelo se přitom z těchto základních kritérií:

- křižovatky vybavené SSZ jsou krajně nevhodné pro využití v extravilánu
- vícepruhové okružní křižovatky s max. dvěma pruhy na okružním jízdním pásu jsou nevhodné do území 1 (Intravilán - území souvislé obytné zástavby a centrální/jádrové oblasti města)
- vícepruhové okružní křižovatky s max. třemi pruhy na okružním pásu jsou nevhodné do území 1 (Intravilán - území souvislé obytné zástavby a centrální/jádrové oblasti města) a do území 2 (Intravilán – území s rozptýlenou zástavbou převážně obytného charakteru nebo území občanské vybavenosti)

## 8.2. Hodnotící úroveň

### 8.2.1. Střední doba zdržení

Střední doba zdržení je průměrné zdržení vozidel na příslušném vjezdu za sledovanou jednotku času (většinou hodinu). Při kapacitním posouzení se sleduje střední doba zdržení na všech vjezdech a podle nejvyšší hodnoty zdržení je křižovatce přiřazen stupeň ÚKD dle Tab. 2 a Tab. 3.

Tab. 2 Limitní hodnoty střední doby zdržení na vjezdu do úroňové neřízené křižovatky [6], [12]

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



Tab. 3 Limitní hodnoty střední doby zdržení na vjezdu do světelně řízené křižovatky [15]

Úroveň kvality dopravy		Střední doba zdržení [s]
Označení	Charakteristika kvality dopravy	
A	Velmi dobrá	≤ 20
B	Dobrá	≤ 35
C	Uspokojivá	≤ 50
D	Dostatečná	≤ 70
E	Nestabilní stav	> 70
F	Překročená kapacita	-

Z tabulek je zřejmé, že pro řízené křižovatky jsou definovány vyšší limitní meze doby zdržení pro jednotlivé stupně ÚKD. Z tohoto důvodu se při nastavení vztahu střední doby zdržení vs. bodové ohodnocení liší křivka pro řízené a neřízené křižovatky (Obr. 13). Jak již bylo uvedeno v Kap. 8.1.2., mezní hodnota střední doby zdržení, která zaručovala, aby křižovatka prošla i do hodnotící fáze, byla stanovena na 150 s. Vzhledem k tomu, že tato hodnota je už poměrně vysoká, bylo nejnižší ohodnocení 1 bod přiřazeno už hodnotě 120 s (2 minuty). V rozmezí 120 – 150 s je tedy nastavena už jednotná hodnota 1 bod. Bodové ohodnocení pro neřízené křižovatky a křižovatky řízené SSZ je zřejmé z Tab. 4.

Tab. 4 Bodové ohodnocení střední doby zdržení pro řízené a neřízené křižovatky

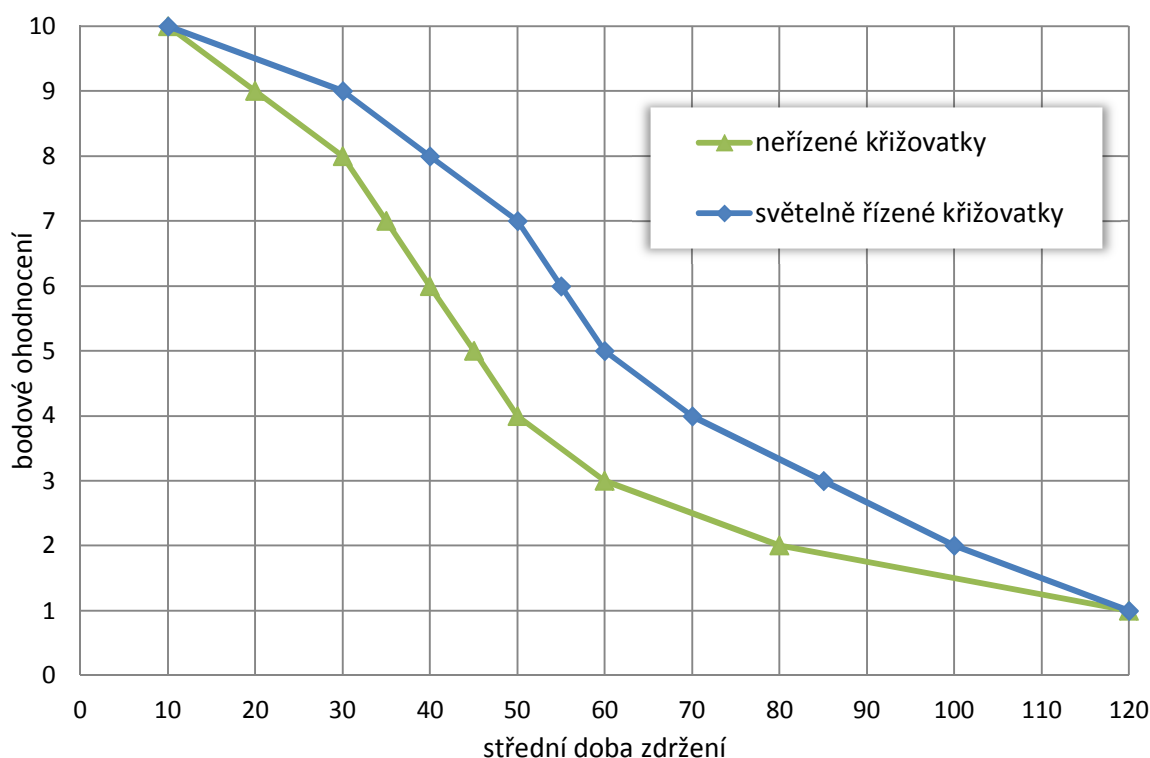
Bodové ohodnocení	Střední doba zdržení [s]	
	Neřízené křižovatky	Světelně řízené křižovatky
1	120	120
2	80	100
3	60	85
4	50	70
5	45	60
6	40	55
7	35	50
8	30	40
9	20	30
10	10	10

Zvolený tvar křivek (Obr. 13) vycházel z předpokladu, že stav úrovně kvality dopravy je poměrně komfortní až do stupně C. Z tohoto důvodu je sklon obou křivek právě až do stupně C mírnější a pak se lomí a počet bodů ubývá rychleji. Zatímco hodnotě doby zdržení 10 s byl přiřazen plný počet 10 bodů u řízených i neřízených křižovatek, dále už mají křivky odlišný charakter právě z důvodu jiných mezních hodnot pro jednotlivé stupně ÚKD. Nicméně křivka pro řízené křižovatky neodpovídá rovnoměrně ÚKD dle neřízených křižovatek (nejsou nastavena



stejná bodová ohodnocení pro jednotlivé meze ÚKD). Je to z toho důvodu, že ačkoli doba zdržení 50 s u řízených křižovatek odpovídá ještě stupni ÚKD C, neznamená to, že řidič bude na takovéto křižovatce stejně spokojený jako u doby zdržení 30 s u neřízených křižovatek, což odpovídá také stupni ÚKD C. Z tohoto důvodu má tato mezní hodnota stupně ÚKD C u neřízených křižovatek ohodnocení 8 bodů a u řízených jen 7 bodů. Obdobně mez ÚKD E u neřízených křižovatek se střední dobou zdržení 45 s má ohodnocení 5 bodů, u řízených křižovatek při střední době zdržení 70 s má ohodnocení 4 body.

Na základě tohoto nastavení jsou tedy jednotlivým variantám křižovatek přiřazena příslušná bodová ohodnocení za kritérium střední doby zdržení. Z výše uvedeného vyplývá, že nejsou v bodových ohodnoceních příliš velké rozdíly při menších dobách zdržení. Toto nastavení je logické, jelikož není cílem, aby na křižovatce bylo za každou cenu zdržení nulové, ale aby křižovatky byly stavěny efektivně a splňovaly požadavky příslušných ČSN.



Obr. 13 Bodové ohodnocení střední doby zdržení pro řízené a neřízené křižovatky

### Vliv pěší dopravy v metodice

Metodika umožňuje zahrnutí vlivu pěší dopravy ve čtyřech stupních dle kapitoly 6 g). **V eliminační fázi** byla vždy snížena maximální kapacita daného typu křižovatky, která byla dosažena simulací, o definovaný počet kroků (krok = 200 voz/h) podle stupně chodeckého zatížení (viz dále) tak, aby křižovatka, zatížená chodci, byla méně kapacitní, než křižovatka chodci nezatížená. **Ve fázi hodnotící** bylo skutečné zatížení zadané uživatelem naopak o stejný počet kroků zvýšeno, aby se dosáhlo hodnot charakteristik po ovlivnění chodci.

### Pro neřízené křižovatky:

Uplatňuje se upravená metodika dle HCM, která v originálním podání přičítá přecházející chodce do nadřazené intenzity vozidel. Jelikož software pracuje na bázi celkového zatížení křižovatky, byla metodika upravena tak, že se uvažuje se stejnou intenzitou chodců na všech ramenech a tito se přičítají v poměru zatížení do všech pohybů na křižovatce. Bylo experimentálně



ověřeno v simulačním prostředí AIMSUN, že lze na neřízených křižovatkách pro jednotlivé stupně chodeckého zatížení přijmout následující navýšení intenzit vozidel:

- pro chodecké zatížení 0-50 ch/h se chodecké přetížení neuvažuje;
- pro chodecké zatížení 50-100 ch/h – ½ kroku (100 vozidel - určeno lineární interpolací mezi dvěma kroky);
- pro chodecké zatížení 100-200 ch/h – 1 krok (200 vozidel);
- pro chodecké zatížení >200 ch/h – 2 kroky (400 vozidel).

#### **Pro jednopruhé okružní křižovatky:**

Uplatňuje se metodika firmy EDIP, která bude obsažena v aktualizované verzi TP 234 (2015). Jelikož software pracuje na bázi celkového zatížení křižovatky, byla metodika upravena tak, že se uvažuje se stejnou intenzitou chodců na všech ramenech. Bylo provedeno významné procento kombinací zatížení jednotlivých typů OK a dle metodiky firmy EDIP lze na okružních křižovatkách pro jednotlivé stupně chodeckého zatížení přijmout následující navýšení intenzit vozidel:

- pro chodecké zatížení 0-50 ch/h se chodecké přetížení neuvažuje;
- pro chodecké zatížení 50-100 ch/h se chodecké přetížení neuvažuje;
- pro chodecké zatížení 100-200 ch/h – ½ kroku (100 vozidel - určeno lineární interpolací mezi dvěma kroky);
- pro chodecké zatížení >200 ch/h – 1 krok (200 vozidel).

#### **Pro vícepruhové okružní křižovatky:**

U TOK se s přechody pro chodce v Metodice nepočítá. V případě, že bude v zadávacím listu vyplněna přítomnost chodců, neprojde žádný typ TOK přes eliminační úroveň.

#### **Pro světelně řízené křižovatky:**

U světelně řízených křižovatek musíme rozlišovat mezi samostatnými pruhy pro odbočování a společnými pruhy s přímým směrem. Exaktním měřením na konkrétních křižovatkách [22] byla zjišťována redukce kapacity a ta vychází pro samostatný pruh vpravo:

- pro chodecké zatížení 0 – 50 ch/h se chodecké přetížení neuvažuje;
- pro chodecké zatížení 50 – 100 ch/h – 7 s volna, tj. cca 150 voz/h při cyklu 80 s;
- pro chodecké zatížení 100 – 200 ch/h – 9 s volna, tj. cca 200 voz/h při cyklu 80 s;
- pro chodecké zatížení >200 ch/h – 14 s volna, tj. cca 300 voz/h při cyklu 80 s.

Redukce kapacity pro společný pruh s přímým směrem je závislá na podílu odbočujících vozidel z celkové intenzity daného pruhu. S ohledem na zatěžovací stavy bylo prověřováno několik kombinací, jejichž průměrem byly získány následující hodnoty redukce:

- pro chodecké zatížení 0 – 50 ch/h se chodecké přetížení neuvažuje;
- pro chodecké zatížení 50 – 100 ch/h se chodecké přetížení neuvažuje;
- pro chodecké zatížení 100 – 200 ch/h – cca 50 voz/h při cyklu 80 s;
- pro chodecké zatížení >200 ch/h – cca 100 voz/h při cyklu 80 s.

### **8.2.2. Bezpečnost**

Při posuzování nehodovosti křižovatek je možné vycházet z několika přístupů, na základě kterých je možné určit relativní nehodovost pro jednotlivé typy křižovatek. Vzhledem k zaměření softwaru a velké dostupnosti statistických dat jak z ČR, tak ze zahraničí, byl pro stanovení bezpečnosti vybrán postup pomocí **statistické analýzy** – tj. na základě nehodovosti na již postavených a sledovaných křižovatkách je možné odvodit bezpečnost – křižovatka se v tomto



případě posuzuje jako „celek“, je ale možné zohlednit její geometrii, rozložení intenzit, či počet a konfiguraci dopravních proudů.

Jako základní parametr bezpečnosti na křižovatce byl stanoven faktor rizika nehody na dané křižovatce – **koeficient bezpečnosti ( $I_S$  – safety index)**. Koeficient bezpečnosti jako takový zohledňuje dva základní faktory:

- statistická nehodovost daného typu křižovatek ( $I_A$  – accident rate index)
- počet a typ kolizních bodů posuzované křižovatky ( $I_C$  – conflict points index)

Rozvržení obou složek koeficientu nehodovosti bylo zvoleno dle významnosti v poměru 65:35. Na základě kalibrací a provedených analýz je tento poměr nejvhodnější. Výpočet indexu bezpečnosti je tedy následující:

$$I_S = 0,65 * I_A + 0,35 * I_C$$

- $I_A$  – koeficient statistické nehodovosti
- $I_C$  – koeficient kolizních bodů

Při stanovení koeficientu statistické nehodovosti bylo vycházeno z již provedených analýz a vědeckých prací, které na poměrně rozsáhlých statistických vzorcích křižovatek stanovovaly relativní nehodovost jednotlivých typů křižovatek jako takovou [23], [24], [29]. Poněkud problematické se ukázalo stanovení relativní nehodovosti u nových typů okružních křižovatek, kterých je v ČR minimum a stavěny začaly být až v posledních letech. Zde bylo využito výsledků ze zahraničí, zejména z Holandska a Německa [25]. Přepočtení relativní nehodovosti na koeficient statistické nehodovosti je uveden v Tab. 5 a Tab. 6

Aby bylo možné zhodnotit vliv geometrického uspořádání větví, bylo nutné do koeficientu bezpečnosti započítat i dispozice jednotlivých kolizních dopravních proudů. Jednotlivé typy kolizí lze definovat kolizními body, přičemž u každého typu je definována poněkud jiná nehodovost. Při stanovení koeficientu kolizních bodů byly brány v úvahu následující typy kolizních bodů:

- křížné kolizní body
- odbočné kolizní body
- přípojné kolizní body

Zejména na základě zahraničních studií, jež se zabývají matematicko-deterministickými modely, byla stanovena „rizikovitost“ těchto typů kolizních bodů. Z těchto modelů vyplývá, že rizikovitost nehody na těchto bodech je v poměru 3,5 : 1 : 1,5 (křížné : odbočné : přípojné) [34]. Je tak možné pro jednotlivé křižovatky stanovit modifikovaný počet kolizních bodů, které jsou poté zohledněny ve výpočtu a následně jimi modifikovat hodnoty koeficientu statistické nehodovosti. Počty kolizních bodů pro jednotlivé varianty a základní koeficienty kolizních bodů jsou uvedeny v Tab. 5 a Tab. 6.

Stanovení bodového ohodnocení bylo vzhledem k předchozím provedeným krokům poměrně jednoduchým úkolem. Přepočtení na konkrétní hodnoty proběhl již v rámci určení koeficientu bezpečnosti. Při převodu na bodové hodnocení si je nutné uvědomit dva základní předpoklady:

- ideální (ač technicky nedosažitelná) je relativní nehodovost nulová, tj. koeficient bezpečnosti je roven 10. Této hodnoty nelze dosáhnout na žádné průměrované křižovatce.
- přestože je rámcově možné stanovit, že maximální relativní nehodovost pro námi použité typy křižovatek je 1,4 (koeficient bezpečnosti 2,80), v praxi se běžně vyskytují i křižovatky s relativní nehodovostí vyšší. Na základě tohoto faktu byla maximální relativní nehodovost stanovena jako 2,0, tj. koeficient bezpečnosti roven nule.

Na základě těchto faktů vyplývá, že bodové ohodnocení indexu bezpečnosti se pro námi uvažované křižovatky pohybuje pouze v rozmezí 2,6 – 7,2 a nikoli od 0 do 10.



Technická agentura  
České republiky



Tab. 5 Koefficient bezpečnosti pro jednotlivé varianty

Název křižovatky	Relativní nehodovost	I <sub>A</sub>	Počet kolizních bodů křižných	Počet kolizních bodů odpojných	Počet kolizních bodů přípojných	Modifikovaný počet KB	I <sub>c</sub>	I <sub>s</sub>
Styková 2/2/2	0,80	6,0	3	3	3	18	6,8	6,3
Průsečná 2/2/2/2	1,40	3,0	16	8	8	76	2,5	2,8
Styková DZ 2/2/2	0,70	6,5	3	3	3	18	6,8	6,6
Styková DZ 2/3K/2	0,70	6,5	3	3	2	16,5	6,9	6,6
Styková DZ 2/3D/2	0,70	6,5	3	3	2	16,5	6,9	6,6
Styková DZ 3K/2/2	0,70	6,5	3	3	2	16,5	6,9	6,6
Styková DZ 3D/2/2	0,70	6,5	3	3	2	16,5	6,9	6,6
Styková DZ 4/2/4	0,70	6,5	6	4	4	31	5,8	6,3
Průsečná DZ 2/2/2/2	1,25	3,8	16	8	8	76	2,5	3,3
Průsečná DZ 3D/2/2/2	1,25	3,8	16	8	7	74,5	2,6	3,4
Průsečná DZ 3K/2/3K/2	1,25	3,8	16	8	6	73	2,7	3,4
Průsečná DZ 3D/2/3D/2	1,25	3,8	16	8	6	73	2,7	3,4
Průsečná DZ 3/3/3/3	1,25	3,8	16	8	4	70	2,9	3,5
Průsečná DZ 4/2/4/2	1,25	3,8	24	8	8	104	0,4	2,6
Styková+SSZ 2/2/2	0,70	6,5	1	1	3	9	7,5	6,8
Styková+SSZ 2/3K/2	0,70	6,5	1	1	2	7,5	7,6	6,9
Styková+SSZ 2/3D/2	0,70	6,5	1	1	2	7,5	7,6	6,9
Styková+SSZ 3K/2/2	0,70	6,5	1	1	2	7,5	7,6	6,9
Styková+SSZ 3D/2/2	0,70	6,5	1	1	2	7,5	7,6	6,9
Styková+SSZ 4/2/4	0,70	6,5	2	1	3	12,5	7,2	6,7
Styková+SSZ 4/4/4	0,70	6,5	2	0	3	11,5	7,3	6,8
Styková+SSZ 2/4/4	0,70	6,5	2	0	3	11,5	7,3	6,8
Styková+SSZ 4/4/2	0,70	6,5	2	0	3	11,5	7,3	6,8
Styková+SSZ 5/4/5	0,70	6,5	2	0	1	8,5	7,5	6,9



Technická agentura  
České republiky



Tab. 6 Koeficient bezpečnosti pro jednotlivé varianty

Název křižovatky	Relativní nehodovost	I <sub>A</sub>	Počet kolizních bodů křížných	Počet kolizních bodů odpojných	Počet kolizních bodů přípojných	Modifikovaný počet KB	I <sub>c</sub>	I <sub>s</sub>
Průsečná+SSZ 2/2/2/2	1,20	4,0	4	4	8	30	5,9	4,7
Průsečná+SSZ 3D/2/2/2	1,20	4,0	4	4	7	28,5	6,0	4,7
Průsečná+SSZ 3K/2/3K/2	1,20	4,0	4	4	6	27	6,1	4,7
Průsečná+SSZ 3D/2/3D/2	1,20	4,0	4	4	6	27	6,1	4,7
Průsečná+SSZ 3/3/3/3	1,20	4,0	4	4	4	24	6,4	4,8
Průsečná+SSZ 4/4/4/4	1,20	4,0	8	0	8	40	5,2	4,4
Průsečná+SSZ 4/2/4/2	1,20	4,0	6	4	8	37	5,4	4,5
Průsečná+SSZ 2/4/4/2	1,20	4,0	4	2	6	25	6,3	4,8
Průsečná+SSZ 4/4/2/2	1,20	4,0	4	2	6	25	6,3	4,8
Průsečná+SSZ 5/5/5/5	1,20	4,0	8	0	4	34	5,6	4,6
Průsečná+SSZ 5/4/5/4	1,20	4,0	8	0	6	37	5,4	4,5
Styková OK	0,60	7,0	0	3	3	7,5	7,6	7,2
Styková OK+bypass R	0,60	7,0	0	4	4	10	7,4	7,1
Styková OK+bypass S	0,60	7,0	0	4	4	10	7,4	7,1
Průsečná OK	0,70	6,5	0	4	4	10	7,4	6,8
Průsečná OK+bypass	0,70	6,5	0	5	5	12,5	7,2	6,7
OK 2/2	1,30	3,5	8	8	8	48	4,6	3,9
TOK koleno	1,00	5,0	3	6	4	22,5	6,5	5,5
TOK vejce	1,00	5,0	4	6	6	29	6,0	5,3
TOK turbo	1,00	5,0	4	6	4	26	6,2	5,4
TOK rotor	1,00	5,0	12	8	4	56	4,0	4,6
TOK spirála	1,00	5,0	8	8	4	42	5,0	5,0



### 8.2.3. Emise škodlivin

Mezi důležité projevy automobilové dopravy patří emise škodlivých látek do ovzduší, mající vliv na zdraví osob a také na stav životního prostředí. Emise výfukových plynů a otěry vozidlových mechanismů (včetně otěrů z odvalování pneumatik po vozovce) u jednotlivých variant křižovatek byly stanoveny v závislosti na měnící se dopravní situaci pomocí specializovaného mikroskopického SW AIMSUN. Reálné dopady emisí zdraví škodlivých látek z provozu motorových vozidel byly poté přepočteny na úroveň finančních prostředků na základě aktualizované metodiky HDM-4.

#### 8.2.3.1 Emise z automobilové dopravy

Emise z automobilové dopravy byly stanoveny jako externí náklady z emisí znečišťujících látek, včetně nákladů z vlivu dopravy na klimatický systém:

- 1) Každá řešená křižovatka základního souboru byla vymezena ve čtverci, který respektuje na každou stranu délku každého vjezdového ramene 500 m (vnější hranice definované plochy).
- 2) Délky ramen a trajektorie vozidel v prostoru křižovatky umožnily stanovení délky cest jednotlivých vozidel v mikroskopickém dopravním modelu.
- 3) Hodinové (špičkové) emise exhalací ( $\text{NO}_x$  a  $\text{CO}_2$ ) a suspendovaných částic ( $\text{PM}_{10}$ ) byly vyčísleny na základě výpočetních vztahů pracujících se vstupními údaji ze SW AIMSUN.
- 4) Negativní projevy dopravy, zjištěné na základě mikroskopických dopravních modelů pro konkrétní řešení křižovatek a konkrétní dopravní poměry ve špičkové hodině, byly přepočteny na roční emisní objemy pomocí běžných denních variací dopravy.
- 5) Členění území bylo rozděleno na:
  - a) **Intravilán – území souvislé obytné zástavby a centrální/jádrové oblasti města** - kompaktní městské bloky, sídlištní zástavba, soustředěná nízkopodlažní i vícepodlažní městská zástavba, historické centrum města
  - b) **Intravilán – území s rozptýlenou zástavbou převážně obytného charakteru nebo území občanské vybavenosti** - obytné oblasti mimo centrum města a periferní obytné oblasti, území občanské vybavenosti, rozptýlená zástavba s funkcemi kulturní zařízení, školství a vzdělávání nebo využití volného času
  - c) **Intravilán – území průmyslu, výroby a obchodu** - výrobní a průmyslové oblasti, výrobní zóny, území, kde převládá skladování, logistika, nebo administrativně obchodní funkce
  - d) **Extravilán – nezastavěné území**
- 6) Na základě Aktualizace systému hodnocení ekonomické efektivity silničních staveb HDM-4 [32] se množství emisí a suspendovaných částic převedlo na finanční úroveň dle Tab. 7 a Tab. 8.

Tab. 7 Stanovení nákladů na 1 tunu emitované látky v cenách roku 2010 (Kč/t)

Látka	Soustředěná městská zástavba	Rozvolněná městská zástavba	Venkovské osídlení
částice $\text{PM}_{2,5}$	20207253	9092175	3459788
$\text{NO}_x$	56802	56802	56802





Speciální pozornost je v dnešní době věnována jemné frakci polétavého prachu, kterou označujeme jako  $PM_{2,5}$  (částice s největším rozměrem nepřesahujícím  $2,5 \mu m$ ), přičemž mnoho vědeckých prací prokazuje její závažný vliv na zdraví člověka (růst úmrtnosti a nárůst akutních hospitalizací pacientů pro srdečně cévní a dýchací potíže). U „hrubé“ frakce polétavého prachu, za kterou jsou obvykle považovány částičky s největším rozměrem  $2,5$  až  $10 \mu m$  ( $PM_{2,5-10}$ ), je prokázán vliv na množství akutních hospitalizací pro respirační potíže, ale jejich vliv na úmrtnost zatím není zcela zřejmý.

Do navazujících výpočtů (finanční ohodnocení množství škodlivých látek) nevstupuje dle metodiky HDM-4 frakce  $PM_{10}$ , ale frakce  $PM_{2,5}$ . Množství částic frakce  $PM_{2,5}$  však není v současné době schopen vyjádřit ani specializovaný program MEFA, ani používaný SW AIMSUN. Vzhledem k ne zcela vyjasněným vztahům mezi jednotlivými emisními frakcemi polétavého prachu a suspendovaných částí vzniklých provozem spalovacích motorů (emise) bylo pro potřeby projektu dále uvažováno, že frakce  $PM_{2,5}$  tvoří až 60 % frakce  $PM_{10}$  pro všechny prověřované dopravní situace v celém cílovém souboru křižovatek.

Pro hodnocení vlivu exhalací  $CO_2$  na klimatický systém se obecně používají mezinárodně platné nákladové ukazatele. V tomto případě se jedná o globální vlivy bez možnosti přímé identifikace jejich působení v závislosti na místě vzniku emisí. Vstupní hodnoty pro působení emisí  $CO_2$  byly stanoveny jednotně na základě databáze požívané v západoevropských zemích.

Tab. 8 Stanovení nákladů na 1 tunu emisí  $CO_2$  v cenách roku 2010 (Kč/t)

Rok působení zdroje	Náklady na 1 t emisí $CO_2$ [Kč]
2000 – 2009	521
2009 – 2019	594
2019 – 2029	743
2030 – 2039	966
2040 – 2049	1337
2050	1895

Po součinu všech výše uvedených parametrů lze poté vyčíslit finanční dopad konkrétního uspořádání křižovatky a konkrétních dopravních poměrů z pohledu vlivu emisí škodlivých látek na zdraví obyvatelstva a také z pohledu vlivu dopravy na klimatický systém.

### 8.2.3.2 Stanovení bodového ohodnocení emisí z automobilové dopravy

Při stanovení bodového ohodnocení emisí škodlivých látek z automobilové dopravy lze vycházet z úvahy, že vzhledem k již provedenému přepočtu vlivu emisí na finanční ukazatel bude nárůst bodového ohodnocení vlivu emisí v nepřímé lineární úměře vůči finančnímu ohodnocení dopadů emisí jako takových. Bylo rovněž určeno, že bodové ohodnocení dopadů emisí na okolí bude stanoveno odlišně pro každé území (Tab. 9). Hodnoty stanovené pro rozptýlenou zástavbu a extravilán jsou vzhledem k charakteru území a příslušné přepočtové metodice identické.



Tab. 9 Bodové ohodnocení dopadů emisí z automobilové dopravy

Bodové ohodnocení	Dopady emisí [Kč]			
	Souvislá zástavba	Rozptýlená zástavba	Průmysl	Extravilán
1	1 000 000	600 000	350 000	350 000
2	907 778	544 444	317 778	317 778
3	815 556	488 889	285 556	285 556
4	723 333	433 333	253 333	253 333
5	631 111	377 778	221 111	221 111
6	538 889	322 222	188 889	188 889
7	446 667	266 667	156 667	156 667
8	354 444	211 111	124 444	124 444
9	262 222	155 556	92 222	92 222
10	170 000	100 000	60 000	60 000

#### 8.2.4. Hluk

Dalším negativním projevem z automobilové dopravy je hluk způsobovaný provozem vozidel. Emise hluku u jednotlivých variant křižovatek byly stanoveny v závislosti na měnící se dopravní situaci pomocí specializovaného mikroskopického SW AIMSUN. Reálné dopady hluku z provozu motorových vozidel byly poté na základě aktualizované metodiky HDM-4 přepočteny na finanční úroveň [31], [32].

##### 8.2.4.1 Hluk z automobilové dopravy

Při kalkulaci externích nákladů vlivem hlukové zátěže bylo postupováno následujícím způsobem:

- 1) Každá řešená křižovatka cílového souboru byla vymezena ve čtverci, který respektuje na každou stranu délku každého vjezdového ramene 100 m (vnější hranice definované plochy).
- 2) Pro každou řešenou křižovatku byla stanovena vnitřní hraniční linie ve vzdálenosti 7,5 metru od osy všech krajních jízdních pruhů.
- 3) Tím byla stanovena vnější a vnitřní hranice definované plochy daného obsahu, ve které se zjišťoval hluk z provozu motorových vozidel.
- 4) Hodinové (špičkové) hladiny hluku byly vyčísleny na základě běžných výpočetních vztahů, přizpůsobených projektu a pracujících se vstupními údaji ze SW AIMSUN.
- 5) Hodinové hladiny hluku byly přepočteny na hladinu akustického tlaku pro průměrnou hodinu denní, večerní a noční. Z těchto hodnot byla výpočtem stanovena průměrná ekvivalentní hladina hluku  $L_{dvn}$ .
- 6) Pomocí softwaru (SQL Server) byla zjištěna plocha rozložení hlukových hladin  $L_{dvn}$  v definovaném zájmovém území (viz výše) a jejich plošná výměra (např. hluk 65 dB byl zjištěn v ploše XX metrů čtverečních, hluk 64 dB byl zjištěn v ploše YY metrů čtverečních, atd.).



7) V celé zájmové ploše bylo uvažováno rovnoměrné rozložení bydlících osob dle dříve stanovených prostředí následovně:

a) **Intravilán – území souvislé obytné zástavby a centrální/jádrové oblasti města** (kompaktní městské bloky, sídlištní zástavba, soustředěná nízkopodlažní i vícepodlažní městská zástavba, historické centrum města)

Počet obyvatel na km<sup>2</sup> = 5000 (přibližná hodnota hustoty osídlení v Praze 1)

Počet obyvatel na m<sup>2</sup> = 0,005

b) **Intravilán – území s rozptýlenou zástavbou převážně obytného charakteru nebo území občanské vybavenosti** (obytné oblasti mimo centrum města a periferní obytné oblasti, území občanské vybavenosti, rozptýlená zástavba s funkcemi kulturní zařízení, školství a vzdělávání nebo využití volného času)

Počet obyvatel na km<sup>2</sup> = 2500 (přibližná průměrná hustota osídlení v Praze)

Počet obyvatel na m<sup>2</sup> = 0,0025

c) **Intravilán – území průmyslu, výroby a obchodu** (výrobní a průmyslové oblasti, výrobní zóny, území, kde převládá skladování, logistika, nebo administrativně obchodní funkce)

Počet obyvatel na km<sup>2</sup> = 500 (v 5 pražských správních obvodech je hustota osídlení nižší než 1000 obyvatel na km<sup>2</sup>)

Počet obyvatel na m<sup>2</sup> = 0,0005

d) **Extravilán – nezastavěné území**

Počet obyvatel na km<sup>2</sup> = 133 (celorepublikový průměr)

Počet obyvatel na m<sup>2</sup> = 0,000133

Jako zdroj informací o počtu obyvatel na km<sup>2</sup> byly použity aktuální platné demografické údaje za vybrané oblasti hl. m. Prahy a webové stránky [41]

8) Poměrově mezi celkovou definovanou zájmovou plochou, hustotou bydlících osob v konkrétním území a plošnými výměrami hlukových hladin  $L_{dvn}$  v zájmové ploše byly stanoveny počty bydlících osob zasažených průměrnou ekvivalentní hladinou hluku.

9) Na základě Aktualizace systému hodnocení ekonomické efektivity silničních staveb HDM-4 [32] se převedl počet osob zasažených průměrnou hlukovou hladinou na konkrétní ekonomickou ztrátu.

Po součinu všech parametrů (počet bydlících osob nacházejících se v ploše průměrných hladin akustického tlaku  $L_{dvn}$ ) lze vyčíslit vliv uspořádání křižovatky a konkrétních dopravních poměrů z pohledu dopadů hlukových emisí na zdraví obyvatelstva vyjádřený finanční hodnotou (Tab. 10).

#### 8.2.4.2 Stanovení bodového ohodnocení dopadů hluku z automobilové dopravy

Při stanovení bodového ohodnocení dopadů hluku z automobilové dopravy lze stejně jako u emisí vycházet úvahy, že vzhledem k již provedenému přepočtu vlivu hlukového zatížení na finanční ukazatel bude nárůst bodového ohodnocení vlivu hluku v nepřímé lineární úměře vůči finančnímu ohodnocení dopadů hluku jako takového. Bylo rovněž určeno, že bodové ohodnocení dopadů hluku na okolí bude stanoveno odlišně pro každé území (Tab. 11).



Tab. 10 Stanovení externích nákladů z hlukové zátěže (v cenách 2010 na osobu a rok)

Ldvn (dB)	Náklady na osobu [Kč]	Ldvn (dB)	Náklady na osobu [Kč]
51	258	67	4803
52	568	68	5061
53	826	69	5371
54	1136	70	5629
55	1394	71	7488
56	1704	72	7953
57	1962	73	8469
58	2272	74	8934
59	2530	75	9399
60	2840	76	9863
61	3098	77	10328
62	3408	78	10793
63	3667	79	11258
64	3976	80	11774
65	4235	81	12239
66	4544		

Tab. 11 Bodové ohodnocení dopadů hluku z automobilové dopravy

Bodové ohodnocení	Dopady hluku [Kč]			
	Souvislá zástavba	Rozptýlená zástavba	Průmysl	Extravilán
1	1 200 000	600 000	120 000	32 000
2	1 122 222	561 111	112 222	29 889
3	1 044 444	522 222	104 444	27 778
4	966 667	483 333	96 667	25 667
5	888 889	444 444	88 889	23 556
6	811 111	405 556	81 111	21 444
7	733 333	366 667	73 333	19 333
8	655 556	327 778	65 556	17 222
9	577 778	288 889	57 778	15 111
10	500 000	250 000	50 000	13 000



### 8.2.5. Stavební náklady

Stavební náklady jednotlivých variant byly kalkulovány na základě definovaných vstupních dat dle ceníků platných v ČR. Pro oceňování byla použita cenová soustava ÚRS. Tato cenová soustava, na rozdíl od ASPE, je vhodnější pro oceňování i menších staveb s větší komplexitou. Zatímco ASPE využívá kumulovaných položek, v ÚRS lze definovat jednotlivé položky stavby, či stavebních prací. Jedná se rovněž o nepoužívanější a nejvíce aktualizované podklady pro oceňování stavební produkce v České republice. Přestože při pohledu na váhy toto kritérium nemá příliš vysokou důležitost, jedná se o primární informaci zejména pro investora, který se často musí potýkat s omezenými zdroji a tedy navrhnout levnější, ale přesto technicky vyhovující řešení.

Při stanovení bodového ohodnocení stavebních nákladů lze vycházet z jednoduché úvahy, že objem vynaložených finančních prostředků vůči vhodnosti či nevhodnosti posuzovaného řešení je v lineárním vztahu. Rozsah stavebních nákladů byl definován v rozmezí 3,5 mil Kč – 12,5 mil Kč, což je rozmezí, obsahující cenový soubor všech 44 křižovatek s jednotlivými permutacemi vstupních dat. Bodové ohodnocení stavebních nákladů je zřejmé z Tab. 12.

Tab. 12 Bodové ohodnocení stavebních nákladů

Bodové ohodnocení	Stavební náklady [Kč]
1	12 500 000
2	11 500 000
3	10 500 000
4	9 500 000
5	8 500 000
6	7 500 000
7	6 500 000
8	5 500 000
9	4 500 000
10	3 500 000

### 8.2.6. Provozní náklady

Provozní náklady byly kalkulovány dle prováděcích pokynů pro hodnocení ekonomické efektivity projektů (12/2012) [39], jež uvádí Ředitelství silnic a dálnic ČR a jsou děleny následovně:

A) Náklady na dopravní cestu:

- náklady na údržbu a opravy dopravní cesty.

B) Náklady uživatelů:

- pohonné hmoty;
- mazadla;
- opotřebení pneumatik;
- opravy a údržba vozidel;
- ostatní náklady nákladních vozidel (mzdy posádek, pojištění, odpisy, režie atd.).



C) Ostatní náklady:

- ocenění času cestujících;
- hodnota času při přepravě zboží;
- ztráty z dopravních nehod.

D) Další externí náklady:

- ztráty z dopravního hluku;
- ztráty z exhalací motorových vozidel.

Vzhledem k tomu, že ostatní náklady (C), vlivem vysokého ocenění času, ve výpočtech cenově výrazně dominují a další externí náklady (D) jsou řešeny jako samostatné kritérium, byly ve výpočtu zohledněny pouze první dvě skupiny provozních nákladů, a to náklady na dopravní cestu (A) a náklady uživatelů (B). K tomuto kroku bylo přistoupeno z toho důvodu, že ostatní náklady (C) jsou jednak extrémně dominantní, kromě toho ocenění času cestujících je už do jisté míry započteno v kritériu „střední doba zdržení“ (riziko double countingu). V případě externích nákladů (D) je potom nutné zohlednit fakt, že dopady hluku a emisí jsou v rámci multikritériálního hodnocení hodnoceny jako samostatná kritéria. Jedním ze sekundárních výstupů metodiky je nicméně rovněž ekonomicko-provozní hodnocení, kde jsou tyto hodnoty započteny (Kapitola 9.2).

K určení základních vstupů do výpočtu provozních nákladů sloužil mikroskopický simulátor AIMSUN, který vyhodnotil sledovanou hodinu každé simulace. Mezi hodnotami, které se dají získat přímo z tohoto softwaru, jsou celková ujetá vzdálenost, celkové spotřebované pohonné hmoty, čas cestujících a další externí náklady (hluk, exhalace).

Veškeré zahrnuté náklady jsou počítány dle přílohy C výše zmíněných prováděcích pokynů pro hodnocení ekonomické efektivity projektů (ŘSD ČR) – „Základní data pro výpočty ekonomické efektivity silničních a dálničních staveb s použitím programu HDM-4 s kalibrovanými daty (CSHS) a programu EXNAD“ [39]. Uvažovány jsou ekonomické ceny. Vzhledem k tomu, že do výpočtu vstupují kromě nákladů pro běžné osobní automobily i náklady spojené s nákladními vozidly a mzdami posádek, je zřejmé, že v reálné situaci bude výpočet pro každou křižovatku trochu odlišný, v závislosti na skladbě dopravy. Pro naše výpočty byly uvažovány dvě různá procentuální zastoupení nákladní dopravy v dopravním proudu v rozdělení hlavní / vedlejší komunikace:

- 4% / 4%,
- 15% / 8%.

Ve výpočtu byly veškeré hodnoty přepočítány na hodinový interval simulace pro všechna vozidla a poté byly výsledné náklady přepočítány na jedno vozidlo [Kč/voz]

#### 8.2.6.1 Uvažované položky pro vyčíslení kritéria provozních nákladů

##### a) Údržba vozovky a náklady spojené se SSZ

Náklady, spojené s běžnou údržbou vozovky se uvažují pouze jako rutinní – včetně drobných oprav. Tato údržba je uvažována jako cyklická jednou ročně a počítá se na plochu dotčené oblasti, tedy celé křižovatky. Cena je uvažována v hodnotě **40 Kč/m<sup>2</sup>**. Tato částka je přenásobena plochou křižovatky a podělena počtem hodin za rok, jelikož vstupuje do výpočtu spolu s náklady, které se vyčísľují za hodinu dopravní simulace.

U variant se světelnou signalizací vstupují do výpočtu ještě náklady na běžnou údržbu SSZ a energii, potřebnou na chod SSZ. Hodnota, která odpovídá jedné řízené křižovatce, se samozřejmě různí v závislosti na tom, v jakém městě se nacházíme a jak velký počet křižovatek má správce SSZ na starosti. Do výpočtu byla uvažována hodnota **20 Kč/h**.



## b) Náklady za pohonné hmoty a mazadla

Ceny pohonných hmot a mazadel jsou uvažovány jako ekonomické a jsou stanoveny dle Tab. 13. Vzhledem k tomu, že ve výše zmíněných prováděcích pokynech je pro výpočet v programu HDM-4 uvažován jako osobní vozidlo pouze automobil Škoda Octavia 1,6 MPI 75 kW Ambiente s benzinovým motorem, bylo potřeba stanovit ještě průměrné vozidlo s dieselovým motorem. Jako charakteristické vozidlo byl vybrán automobil Škoda Octavia 1,9 TDI 66 kW. Dle dostupných internetových zdrojů je současné zastoupení benzinových motorů na trhu v ČR cca 75 - 80%, z tohoto důvodu bylo v dopravních modelech uvažováno s poměrem 80:20 ve prospěch benzinových motorů. Jako typický nákladní automobil (TN) je uvažován MAN TGS (nástupce TGA), návěsová souprava (NS) DAF FTx + návěš Schwarzmüller a autobusy (standardní i kloubové - A+KA) SOR C12. Spotřeba pohonných hmot byla určena z dopravních simulací.

Tab. 13 Ekonomické ceny pohonných hmot a mazadel

položka	jednotka	cena
Natural 95	Kč/l	16,10
Motorová nafta	Kč/l	18,70
Mazací oleje	Kč/l	222,60

## c) Opotřebení pneumatik

Ceny pneumatik jsou uvedené v Tab. 14. V této tabulce jsou shrnuty nejběžnější typy vozidel. Ve výpočtu se nakonec pro zjednodušení uvažovalo pouze se dvěma typy vozidel – osobní (cena sady pneumatik **5 680 Kč**) a nákladní (cena sady pneumatik **104 500 Kč**). Životnost pneumatik byla uvažována dle dostupných zdrojů a běžných standardů 35 000 km pro osobní automobily a 60 000 km pro nákladní automobily.

Tab. 14 Ekonomická cena pneumatik a počet kol dle kategorie vozidel

Kategorie CSHS	Cena jedné pneumatiky [Kč]	Počet kol	Celková cena [Kč]	Cena na 1 km [Kč]
1 - LN	2 230	4	8 920	0,26
3 – TN a TNP	10 450	10	104 500	2,99
4 – NSN	11 110	12	133 320	3,81
5 – A a AK	9 000	6	54 000	1,55
7 – O	1420	4	5 680	0,17

## d) Údržba a opravy vozidel – mzdy + režie

Náklady, spojené se mzdami a režii za údržbu a opravu vozidel jsou uvažovány v hodnotě **141 Kč/h**. Tyto náklady se berou souhrnně pro všechna vozidla v dopravním proudu.

## e) Mzdy posádek nákladních vozidel

Pro nákladní vozidla se ve standardním výpočtu uvažuje jednak s cenou času při přepravě zboží a dále se mzdou posádky. Cena času při přepravě zboží nebyla z dříve uvedeného



důvodu dominance této částky započítána, mzda posádky a ostatní osobní náklady jsou uvažovány **189 Kč/h**.

#### 8.2.6.2 Uvažované položky pro vyčíslení kritéria provozních nákladů

Při stanovení bodového ohodnocení provozních nákladů lze vycházet z jednoduché úvahy, že finanční náročnost provozu vůči vhodnosti či nevhodnosti posuzovaného řešení je v lineárním vztahu. Rozsah stavebních nákladů byl definován v rozmezí 4,0 Kč/voz/km – 9,0 Kč/voz/km, což je rozmezí, obsahující cenový soubor všech 44 křížovatek s jednotlivými permutacemi vstupních dat. Bodové ohodnocení provozních nákladů je zřejmé z Tab. 15.

Tab. 15 Bodové ohodnocení provozních nákladů

Bodové ohodnocení	Provozní náklady [Kč / voz / km]
1	9,00
2	8,44
3	7,89
4	7,33
5	6,78
6	6,22
7	5,67
8	5,11
9	4,56
10	4,00





## 9. Výstupy z metodiky

### 9.1. Výsledky multikriteriálního hodnocení

Základní výstupy z procesu multikriteriálního hodnocení určují prakticky vhodnost posuzovaných variant z hlediska jednotlivých kritérií a na základě stanovených vah potom celkovou užitnou hodnotu jednotlivých kritérií. V rámci multikriteriálního hodnocení byla použita metoda lineárních přírůstkových modelů, pro stanovení vah potom Metfesselova alokace.

Princip lineárního přírůstkového modelu je velmi jednoduchý - přenásobením bodového ohodnocení příslušnými vahami (pro jednotlivá kritéria) dostaneme bodové ohodnocení jednotlivých variant vůči příslušným kritériím. Následně se provádí jejich sumace a na základě zvolené metodiky jsou vybrány nevhodnější varianty ve formě maximalizace/minimalizace výsledného bodového ohodnocení.

$$S_i = w_1 s_{i1} + w_2 s_{i2} + \dots + w_n s_{in}$$

Metfesselova alokace je principiálně nejjednodušší metoda stanovení vah. Předpokládá rozdělení 100 bodů (100%) mezi jednotlivá kritéria na základě důležitosti. Pro metodiku byla použita dvoustupňová alokace (v jednotlivých oblastech kritérií a následně v jednotlivých kritériích dané oblasti) za přispění expertního panelu, jenž byl tvořen z téměř 50 expertů na problematiku silničního stavitelství a dopravního inženýrství z ČR.

Při zachování bodového ohodnocení u jednotlivých kritérií v rozmezí 0 – 10 a při použití Metfesselovy alokace je zřejmé, že teoretická množina řešení výsledné užitné hodnoty se nachází v rozmezí hodnot 0 – 10. Pochopitelně je potencionálně možné omezit či upravit váhu jednotlivých kritérií s ohledem na potřeby uživatele, jelikož metodika funguje jako otevřená. Nicméně je nutné konstatovat, že dané výstupy nebudou odpovídat principům navržené Metodiky.

Poměrně složitým a komplexním problémem je relativita výsledků. Výstupy v jednotlivých kritériích jsou totiž přímo poplatné platným vstupům, proto je nutné si uvědomit, že rozdíly mezi jednotlivými variantami budou z relativního pohledu poměrně malé. Přepočtení na procentuální hodnoty by ale v tomto případě nebyl zcela na místě, protože není možné zcela jednoznačně určit vztahnou oblast, ve které procentuální hodnocení kalkulovat. V Tab. 16 jsou zobrazeny výsledné váhy pro jednotlivá prostředí.

Tab. 16 Nastavení vah kritérií pro jednotlivá prostředí

Prostředí	Bezpečnost	Střední doba zdržení	Provozní náklady	Stavební náklady	Zplodiny	Hluk	SUMA
Souvislá zástavba	30	17	11	11	14	17	100
Rozptýlená zástavba	28	19	12	12	13	15	100
Průmysl	29	23	16	15	10	7	100
Extravilán	31	21	15	16	9	7	100

### 9.2. Výsledky ekonomicko-provozního hodnocení

Provádíme-li výběr nevhodnější varianty z hlediska nákladů, je potřeba zohlednit především celkové náklady, které se skládají ze stavebních (jednorázových) nákladů, provozních (udržovacích) a dalších celospolečenských nákladů. Kromě stavebních nákladů všechny ostatní



náklady narůstají v čase. Ačkoli metodika zohledňuje provozní náklady v samostatném kritériu, výsledný software rovněž umožňuje porovnat jednotlivé varianty v čase návrhového období právě ekonomicko-provozním hodnocením. Pro toto posouzení byla použita metodika ŘSD dle prováděcích pokynů pro hodnocení ekonomické efektivity projektů, jak již bylo uvedeno výše. (Kapitola 8.2.6) Tyto pokyny definují, jak lze vyčíslit a převést na finance všechna podstatná kritéria. Postupy uvedené v těchto prováděcích pokynech jsou v naší metodice pouze jako doplňkové, jelikož byly vytvořeny pro rozsáhlé stavby v řádech stovek milionů až několika miliard korun. V našem případě se jedná o úrovně křížovatky, které se pohybují v řádech jednotek až desítek milionů korun.

V Kapitole 8.2.6 byly popsány provozní náklady, které definuje metodika ŘSD ČR [39]. V samotném kritériu Provozní náklady však nebyly zohledněny všechny položky těchto prováděcích pokynů, vzhledem k naprosté dominanci času. V ekonomicko-provozním hodnocení jsou již základně započítány všechny položky (A – náklady na dopravní cestu, B – náklady uživatelů, C – ostatní náklady, D – další externí náklady), nicméně vzhledem k tomu, že ocenění času dosahuje výrazně větších hodnot než náklady uživatelů či dopady na životní prostředí, je v softwaru možnost zaškrtnout pouze ty položky, které chceme srovnávat. Např. pokud by investora zajímaly pouze skutečné provozní (udržovací náklady), má možnost porovnat v čase spolu se stavebními náklady pouze tuto položku.

Do provozních nákladů, kromě již dříve definovaných položek, musíme ještě zohlednit ostatní náklady (C), které se skládají z nákladů za čas cestujících, času při přepravě zboží a ztrát z dopravních nehod.

### 9.2.1. Náklady za čas cestujících, čas při přepravě zboží

Čas cestujících je oceněn 272 Kč/h jako průměr cest za různým účelem (obchodní, do zaměstnání, rekreační, ostatní soukromé). Tato hodnota je uvažována pro osobní automobily a autobusy. Průměrná obsazenost u osobních automobilů se uvažuje 1,9 osob/voz., u autobusů 36 osob/voz. Pro nákladní vozidla se uvažuje s cenou času při přepravě zboží v závislosti na druhu nákladního vozidla dle Tab. 17 (uvažuje se TN – 660 Kč/h).

Tab. 17 Hodnoty času při přepravě zboží u typických nákladních vozidel

Kategorie CSHS	Průměrná užitečná hmotnost [t / voz]	Průměrné využití vozidla [%]	Průměrná hodnota času při přepravě zboží [Kč / t / h]	Výsledná hodnota času [Kč / voz / h]
1 - LN	0,89	0,61	95,8	52
2 – SN a SNP	4,85			283
3 – TN a TNP	11,3			660
4 – NSN	17,6			1029

### 9.2.2. Ekonomické ztráty z dopravních nehod

Náklady, spojené s vyčíslením dopravních nehod, byly převzaty z nejaktuálnějších podkladů [30]. Podle těchto podkladů jsou nehody, v závislosti na jejich vážnosti, vyčísleny následovně:

- Usmrcení 18 669 000,- Kč
- Těžké zranění 5 062 000,- Kč
- Lehké zranění 413 000,- Kč
- Hmotná škoda 226 000,- Kč



Abychom však mohli porovnat jednotlivé varianty křižovatek, je potřeba provést přepočítání dle relativní nehodovosti jednotlivých typů křižovatek a dle závažnosti nehod na různých typech křižovatek. Tento přepočítání byl proveden na základě policejních statistik. Zatímco relativní nehodovost se dá dohledat včetně kompletního rozdělení jednotlivých typů křižovatek, u vyčíslení ceny za nehodu jsou křižovatky v těchto statistikách definovány pouze ve čtyřech kategoriích (průměrná, styková, okružní a hvězdicová) s tím, že není uvedeno, jestli se jedná o křižovatku neřízenou či se SSZ. Z tohoto důvodu jsou ceny za dopravní nehodu (DN) stejné pro průměrnou a stykovou křižovatku řízenou i neřízenou. Rozdíl mezi těmito typy křižovatek se projeví v relativní nehodovosti, kterou se cena za DN přenásobí.

Okružní křižovatky mají ve statistice také jednu souhrnnou hodnotu. Jelikož většina z těchto křižovatek je jednopruhová OK, dá se tato hodnota přiřadit přímo OK 1/1. Cena za DN u vícepruhových OK byla odhadnuta tak, že u OK 2/2 se uvažovalo o 30% vyšší než souhrnná hodnota za okružní křižovatky. U TOK se uvažovalo 20% navýšení. Jednotlivé relativní nehodovosti a ceny za dopravní nehodu pro každý typ úrovně křižovatek jsou uvedeny v Tab. 18.

Tab. 18 Relativní nehodovost a průměrná cena za dopravní nehodu

křižovatka	relativní nehodovost	cena/DN
průměrná	1,4	841 300 Kč
styková	0,8	815 900 Kč
okružní 1/1	0,7	505 000 Kč
hvězdicová	1,5	486 300 Kč
průměrná se SSZ	1,2	841 300 Kč
styková se SSZ	0,7	815 900 Kč
okružní 2/2	1,3	656 500 Kč
turbo okružní	1,0	606 000 Kč

### 9.2.3. Metodika výpočtu provozně-ekonomického hodnocení

Nyní jsou již definovány veškeré potřebné vstupní podklady pro to, aby bylo možné provést ekonomicko-provozní vyhodnocení. Stavební náklady jsou dány jako fixní počáteční hodnota, provozní náklady se pak vypočítají pro každou křižovatku a druh zatížení dle následujícího postupu.

Ve výpočtu je nutné nejprve převést špičkové hodinové intenzity, které jsou definovány zadáním, na roční průměrné denní intenzity (RPDI), jelikož je potřeba stanovit roční náklady. Tento převod je proveden pomocí TP 189 – Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích (II. vydání) [13]. Pro místní komunikace, kterých se především tato metodika týká, je převodní koeficient 0,100. Tímto koeficientem se špičková hodinová intenzita podělí (resp. přenásobí deseti), čímž se stanoví hodnota RPDI. Aby bylo možné určit počet vozidel za celý rok, přenásobí se hodnota RPDI počtem dní v roce (365). Např. pro špičkovou intenzitu 2000 voz/hod je pak:

- celkový počet vozidel za rok =  $2000/0,1 * 365 = 7\ 300\ 000$  voz/365 dní.

Ve výpočtu se rovněž projeví podíl nákladních vozidel, tento podíl se do vzorce dosazuje v intervalu 0 – 1, tzn., že např. 4% podíl nákladních vozidel se ve vzorci uvažuje jako 0,04.



Pro pořádek jsou všechny konstanty a předpoklady, které vstupují do výpočtu, zobrazeny v Tab. 19.

Tab. 19 Vstupní parametry výpočtu provozně ekonomického hodnocení

<b>pohonné hmoty</b> – Natural 95 (ekonomická cena) - 80% vozidel – Nafta (ekonomická cena) – 20% vozidel	<b>16,1 Kč/l</b> <b>18,7 Kč/l</b>
<b>mazadla</b> – uvažováno jako by byla všechna vozidla osobní (spotřeba 4 litry oleje na 15000 km)	<b>222,6 Kč/l</b>
<b>cena pneumatik</b> - osobní (mimo dodávky, výměna 1x za 35 000 km) - nákladní (NS a BUS zanedbány, výměna 1x za 60000 km)	<b>5680 Kč/4 pneu</b> <b>104500 Kč/4 pneu</b>
<b>údržba a opravy vozidel</b> – mzdy + režie	<b>141 Kč/hod</b>
<b>náklady za čas cestujících</b> (pouze osobní – 1,9 os/voz)	<b>272 Kč/hod</b>
<b>čas při přepravě zboží</b> – mzda posádky nákladních vozidel	<b>189 Kč/hod</b>
<b>cena času při přepravě zboží</b> – uvažováno TN	<b>660 Kč/hod</b>
<b>údržba vozovky</b> – běžné rutinní opravy	<b>40 Kč/m<sup>2</sup></b>
<b>údržba SSZ a elektrická energie na SSZ</b>	<b>20 Kč/hod</b>

**Provozní náklady za 1 rok provozu křižovatky se dle metodiky ŘSD skládají z těchto částí:**

- A) **Údržba a opravy vozovky** = plocha křižovatky \* cena/m<sup>2</sup> = **plocha křižovatky \* 40**
- B) **Údržba SSZ a el. energie na SSZ** = **165 000 Kč/rok**  
(průměrný náklad na 1 SSZ v Ostravě za rok 2012 – energie dělá cca 1/3 nákladů)
- C) **Pohonné hmoty** = spotřeba \* cena pohon. hmot \* 10 \* 365 = **spotřeba \* (0,8 \* 16,1 + 0,2 \* 18,7) \* 10 \* 365**
- D) **Mazadla** = ujetá vzdálenost \* 10 \* 365 \* cena mazadla \* spotřeba mazadla/15 000 =  
**= ujetá vzdálenost \* 10 \* 365 \* 222,6 \* 4/15000**
- E) **Opotřebení pneumatik** = ujetá vzdálenost \* 10 \* 365 \* (cena pneumatik os. voz. \* podíl os. voz. / výdrž pneumatik os. voz. + cena pneumatik nákl. voz. \* podíl nákl. voz. / výdrž pneumatik nákl. voz.) = **ujetá vzdálenost \* 10 \* 365 \* (5680 \* podíl os. voz. / 40000 + 104500 \* podíl nákl. voz. / 60000)**
- F) **Údržba a opravy vozidel** = cestovní doba / 3600 \* mzdy a režie \* 10 \* 365 =  
**= cestovní doba / 3600 \* 141 \* 10 \* 365**
- G) **Ocenění času cestujících** = cestovní doba / 3600 \* náklady za čas cestujících \* obsazenost \* podíl os. voz. \* 10 \* 365 = **cestovní doba / 3600 \* 272 \* 1,9 \* podíl os. voz. \* 10 \* 365**
- H) **Náklady nákladních vozidel** = cestovní doba/3600 \* mzda posádky \* podíl nákl. voz. \* 10 \* 365 = **cestovní doba / 3600 \* 189 \* podíl nákl. voz. \* 10 \* 365**
- I) **Cena času při přepravě zboží** = cestovní doba / 3600 \* cena času \* podíl nákl. voz. \* 10 \* 365 = **cestovní doba / 3600 \* 660 \* podíl nákl. voz. \* 10 \* 365**



**J) Ztráty z dopravních nehod** = intenzita /1000000 \* relativní nehodovost křižovatky \* cena za nehodu \* 10 \* 365

**K) Ztráty z dopravního hluku** – výpočet dle Kapitoly 8.5

**L) Ztráty z exhalací motorových vozidel** - výpočet dle Kap. 8.4

Pojmy **spotřeba**, **ujetá vzdálenost** a **cestovní doba** jsou hodnoty, které jsou určeny pomocí hodinové simulace ve špičkovou hodinu v SW AIMSUN.

**Celkové provozní náklady za 1 rok potom jsou:**

$$PN = A + B + C + D + E + F + G + H + I + J + K + L$$

Vzhledem k tomu, že se zejména v intravilánu nedá odhadnout výhledová intenzita dopravy, je uvažována v celém návrhovém období stále stejná intenzita, která vstupuje do výpočtu.



## 10. Závěr

Nutnost komplexního hodnocení staveb se zejména v poslední době ukazuje jako jedna ze zásadních priorit moderního návrhu infrastrukturních staveb. Tato metodika se snaží o zavedení těchto postupů do oblasti výběru a návrhu klíčových prvků pozemních komunikací, konkrétně úrovnových křižovatek. Při komplexním výběru vhodného typu křižovatky je potřeba projít několika kroky, které tato metodika definuje:

- analýza stávajícího stavu problematiky;
- návrh konkrétní metodiky multikriteriálního hodnocení;
- stanovení jednotlivých kritérií, jež ovlivňují výběr křižovatky a její dopady na okolí;
- stanovení vah jednotlivých kritérií pomocí zvolené metodiky za pomoci expertního panelu;
- stanovení příslušných alternativ, tj. konkrétních uspořádání křižovatek, jež se nejčastěji vyskytují na komunikační síti, a které vstupují do procesu multikriteriálního hodnocení;
- stanovení přepočtových parametrů v rámci jednotlivých kritérií tak, aby bylo možné provést multikriteriální hodnocení a stanovit vhodnost jednotlivých řešení;
- provedení komplexních mikrosimulačních modelů pro jednotlivé variace vstupních hodnot;
- určení souhrnné užité hodnoty a ekonomicko-provozního hodnocení jednotlivých alternativ;
- zpracování celé metodiky do interaktivní počítačové formy ve formě počítačového SW, jež uživateli nenásilnou formou umožní velmi rychle provést komplexní hodnocení pro dané vstupní parametry.

Zejména počítačové zpracování je přitom naprosto zásadní. Vzhledem k obrovskému množství permutací jednotlivých vstupů by manuálně prováděná analýza byla oproti vyvinutému softwaru naprosto neefektivní. Výhledově se navíc jedná o oblast, kde lze předpokládat možnosti dalšího rozvoje, ať už formou zlepšování řešené metodiky kvantitativně (tj. přidávání dalších vstupních alternativ) nebo kvalitativně (upřesňování metodiky a přepočtových ukazatelů na základě vývoje jednotlivých sledovaných oblastí, např. v oblasti turbo-okružních křižovatek, které jsou v našem prostředí stále ve velmi omezených počtech). Jak metodika, tak softwarový nástroj, byly záměrně vytvořené takovým způsobem, aby byly jednak otevřené, tj. veškerá data a postupy byly dostupné uživatelům, ale rovněž variabilní, aby bylo možné implementovat na základě dalšího rozvoje dodatečné moduly, či upravovat a upřesňovat ty stávající. V tomto ohledu lze rovněž zmínit možnosti aplikace dané metodiky i mimo území ČR, neboť s ohledem na charakter postupů a příslušných dat je daná metodika, včetně softwaru, obecně aplikovatelná (po lokálních úpravách) na území EU.



## 11. Literatura

- [1] Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.
- [2] Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
- [3] Vyhláška ministerstva dopravy a spojů č. 30/2001 Sb., kterou se provádějí pravidla provozu na pozemních komunikacích a řízení provozu na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.
- [4] Vyhláška ministerstva dopravy a spojů č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.
- [5] ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic, včetně Změny 1, 2009.
- [6] ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích, včetně Změny 1, 2011
- [7] ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací, včetně Změny 1, 2010.
- [8] TP 65 Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích (2.vydání), CDV Brno, 2002.
- [9] TP 81 Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení silničního provozu, CDV Brno, 2006.
- [10] TP 135 Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích, V-projekt, s.r.o., Ostrava, 2005
- [11] TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací, VUT v Brně, ČVUT v Praze, APT Servis, Eurovia a.s., 2010.
- [12] TP 188 Posuzování kapacity neřízených úroňových křižovatek, EDIP s.r.o., Liberec, 2007.
- [13] TP 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích, EDIP s.r.o., 2007.
- [14] TP 234 Posuzování kapacity okružních křižovatek, EDIP s.r.o., Liberec, 2011.
- [15] TP 235 Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek, EDIP s.r.o., Liberec, 2011.
- [16] Department for Communities and Local Government, *Multi-criteria analysis: a manual*, Communities and Local Government Publications, 165 stran, ISBN 978-1-4098-1023-0, 2009.
- [17] Lj. Šimunović, I. Grgurević, J. Pašagić Škrinjar, *Selecting optimal pedestrian crossing using multi-criteria decision-making*, 12 stran, sborník Traffic Management / Preliminary Communication, 2009.
- [18] John T. Taber and team, MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF INTERSECTION AND ROADWAY ACCESS DESIGN, 78 stran, studie, Utah Transportation Center, Utah State University, 1998.
- [19] Houška M., Vícekriteriální hodnocení, vzdělávací materiál projektu ZIP, 2007.
- [20] R. Sarrazin, Y. De Smet, A Preliminary Study about the Application of Multicriteria Decision Aid to the Evaluation of the Road Projects' Performance on Sustainable Safety, The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, ISBN: 978-1-4577-0739-1, 2011.
- [21] Maier R. „Untersuchung zur Wirkung von unterschiedlichen Betriebszeiten der Lichtsignalanlagen in Städten, Schlussbericht, SV-Projekt 4505-04, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List, Dresden, 2012.
- [22] Havlíček T., Analýza vlivu pěší dopravy na kapacitu křižovatky, FSv ČVUT v Praze, disertační práce, 2013.
- [23] Tittelbach M., Analýza nehodovosti na úroňových křižovatkách, FSv ČVUT v Praze, bakalářská práce, 2013.
- [24] Nováček J., Bezpečnost provozu na silniční síti, FSv ČVUT v Praze, Diplomová práce 2012.
- [25] Geppert R., Verkehrskvalität und Verkehrssicherheit an zweistreifigen Kreisverkehren und an Turbokreisverkehren, RU Bochum, Heft 37, 2013.
- [26] Meredith Jackson, Hesham A. Rakha (Corresponding author), Are Roundabouts Environmentally Friendly? An Evaluation for Uniform Approach Demands, 90th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C, USA, 2011.
- [27] Claudio Guarnaccia, Acoustical Noise Analysis in Road Intersections, a Case Study, RECENT ADVANCES in ACOUSTICS & MUSIC, 2010.



- [28] Decký M., Noise Pollution from Roundabout Traffic in the Outer Environment of Built-up Areas of Towns, Perner's contacts, elektronický časopis University of Pardubice, IV. Volume, ISSN 1801-674X, s. 53-68, 2009.
- [29] Slabý P., Problematika objektivnosti hodnocení bezpečnosti silničního provozu, projekt GA ČR 103/02/0065, FSv, ČVUT v Praze, 2005.
- [30] Vyskočilová A., Valach O., Tecl J., Výše ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích za rok 2012, CDV Brno, 2013.
- [31] Charles University – Center for environmental issues, Methodology of traffic noise evaluation, project MD ČR CG712-11-520, CDV, Prague, 2012.
- [32] Čihák, M., Aktualizace systému hodnocení ekonomické efektivity silničních staveb – HDM-4, Silniční obzor 2013, roč. 74, č. 5, str. 120-124. ISSN 0322-7154, 2013.
- [33] Jahandar N., Hosseinpour A., Sahraei M.A., Traffic Noise under Stop and Go Conditions in Intersection – A Case Study, World Academy of Science, Engineering and Technology vol. 62, pp. 465-468, ISSN 2010-376X, 2012.
- [34] Federal Highway Administration, Surrogate Safety Assessment Model and Validation, Final Report, 2008.
- [35] Kučerová, J. a kol., Data for Strategic Planning in Building Industry, nakladatelství ČVUT, 2013.
- [36] Kučerová, J. a kol., Data Processing in Strategic Planning, nakladatelství ČVUT, 2012.
- [37] Vetschera, R., Sarabando, P., Dias, L., Levels of Incomplete Information in Group Decision Models, Computers & Operations Research, 2014.
- [38] Sung, H.K., Sang, H.C., Jae, K.K., An Interactive Procedure for Multiple Attribute Group Decision Making with Incomplete Information, European Journal of Operational Research, 1999.
- [39] ŘSD, Prováděcí pokyny pro hodnocení ekonomické efektivity projektů silničních a dálničních staveb, 2012 (aktualizace příloh A a C v roce 2014).
- [40] Příručka pro navrhování okružních křižovatek, Cityplan spol. s r.o., 2009
- [41] <http://www.regionalnirozvoj.cz/index.php/tabulky.74.html>