

KOLIZNÍ BOD PREFEROVANÝCH ZPŮSOBŮ DOPRAVY A JEHO MODEL – PŘEJEZD PRO CYKLISTY PARDUBICE PALACKÉHO

INTERSECTION NODE OF PREFERRED TRANSPORT MODES AND ITS MODEL – CROSSING FOR CYCLISTS PARDUBICE PALACKÉHO

Josef Bulíček¹

Anotace: Článek je zaměřen na specifický kolizní bod dvou obecně preferovaných druhů dopravy – veřejné hromadné osobní dopravy a cyklistické dopravy. Řešen je světelně řízený přejezd pro cyklisty na Palackého třídě v Pardubicích, kde tím dochází ke zpomalování a zastavování části vozidel MHD a veřejné linkové dopravy. Provozní situace je vyhodnocena na základě realizovaných dopravních průzkumů. Dále je proveden výpočet propustnosti kolizního bodu. S cílem zlepšení kvality provozu je navrženo zřízení preference veřejné hromadné dopravy při činnosti světelného signalizačního zařízení. Tento návrh je vyhodnocen za tímto účelem vytvořeným simulačním modelem. V článku jsou uvedeny jak aspekty realizace preference v tomto praktickém případě, tak teoretické aspekty metod využitých při jejím posuzování.

Klíčová slova: cyklistická doprava, kolizní bod, model, Pardubice, preference, propustnost, přejezd pro cyklisty, signální plán, simulace, světelné signalizační zařízení, veřejná hromadná osobní doprava.

Summary: The paper is focused on specific intersection node of two types of transport – public mass passenger transport and cyclist transport. Both of these transport kinds are preferred in general way. Crossing for cyclists equipped with traffic lights located on Palackého Street in Pardubice is solved. Decelerations and stopping of a part of (urban, suburban as well as long-distance) public transport vehicles (connections) are occurred there. Operational situation is evaluated on the base of realized transport surveys. Capacity calculation of this intersection node is done next to it. Application of preference for public passenger transport in operation of traffic lights is proposed with an aim to improve the quality of operation. This proposal is evaluated by utilizing of simulation model, designed for this purpose. There are mentioned aspects for practical realisation of preference at this place as well as theoretical aspects for methods utilized for this evaluation.

Key words: cycling, intersection node, model, Pardubice, preference, capacity, crossing for cyclists, signalling plan, simulation, traffic lights, public mass passenger transport.

¹ Ing. Josef Bulíček, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra technologie a řízení dopravy, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: +420 466 036 202, E-mail: josef.bulicek@upce.cz

ÚVOD

Článek je zaměřen na přejezd pro cyklisty na Palackého třídě v Pardubicích (obr. 1). Cyklistická stezka zde na světelně řízeném přejezdu kříží ulici, která je pátevní komunikací pro městskou hromadnou dopravu (MHD) i veřejnou linkovou dopravu. Jedná se tak o průsečík dvou obecně preferovaných druhů dopravy. Cílem článku je tento specifický kolizní bod analyzovat z hlediska kvality provozu, stanovit jeho propustnost a dále s využitím simulace ověřit možnosti pro organizaci dopravy a eliminaci zdržení veřejné hromadné dopravy (VHD), včetně vyhodnocení dopadů na cyklisty. Záměrem je upozornit na tento konflikt preferovaných druhů dopravy, stejně jako ilustrovat metody a možnosti pro posouzení tohoto a případně i dalších konfliktních míst.

Úvodem je potřebné vyslovit poznámky k terminologii. Vzhledem k tomu, že se v článku má vyskytovat pojem „interval“ v často odlišných významech, je přijato následující označování:

- „úsek“ označuje „interval hodnot (funkce)“.
- „délka zelené (pro cyklisty)“ interval volného vstupu pro cyklisty na přejezd, který je v rámci zjednodušení navýšený o oba mezičasy na uvolnění kolizního bodu,
- „interval“ pak úseky mezi jednotlivými významnými událostmi (příjezdy cyklistů a vstupy vozidel VHD do příslušné části Palackého třídy).

1. MOTIVACE

Uvedený světelně řízený přejezd pro cyklisty je umístěn na komunikaci, která tvoří spojnicí historického jádra města s oblastí u vlakového a autobusového nádraží v západní části širšího městského centra Pardubic.

Je tudy vedeno 18 z 28 denních linek MHD (1), z toho 5 linek je trolejbusových. Další linky noční, historické a výpomocné spoje nejsou pro zjednodušení uváděny. Kromě toho je tudy vedena i řada linek veřejné linkové dopravy z autobusového nádraží směrem na jih a sever od Pardubic. Provoz VHD je tak zde intenzivní.

Často zde tak dochází k poměrně specifickým konfliktům, kdy světelná signalizace, umožňující přejezd cyklistů, zastaví i více vozidel VHD najednou. Tento princip určité preference cyklistické dopravy je vhodný při uvažování individuální automobilové dopravy, která Palackého třídu rovněž využívá. Ovšem vůči vozidlům VHD, obsazených někdy i desítkami cestujících, je velmi diskutabilní. Zvláště v případech, kdy na zelenou přejíždí třeba jen jediný cyklista.

2. KONFIGURACE DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY

Charakterizovaný přejezd pro cyklisty leží na 220 m dlouhém úseku (uličním bloku) Palackého třídy mezi světelně řízenými křižovatkami s ulicí K Polabinám na západě s Masarykovým náměstím, ulicí 17. listopadu a třídou Míru na východě (dále jen Masarykovo náměstí). Přejezd je zobrazen na obr. 1, záběr je pořízen ve směru od východu k západu Palackého třídy.



Zdroj: foto autor

Obr. 1 – Řešený přejezd pro cyklisty, Palackého třída, Pardubice

Přejezd úsek rozděluje na 2 dílčí úseky o délkách přibližně 140 m (směrem na západ k nádražím) a 80 m (směrem na východ k historickému jádru města). Komunikace tvořící Palackého třídu je v tomto úseku tvořena 3 jízdními pruhy – dvěma směrem na východ, jedním na západ. Západním směrem na zmiňovaný přejezd navazuje zastávka MHD Palackého, umístěná v zastávkovém zálivu. Směrem na východ jízdní pruhy přecházejí v pruhy řadičí před světelnou křižovatkou (Masarykovo náměstí).

Jak již bylo zmíněno, přejezd pro cyklisty je také vybaven světelnou signalizací. Plných signálů je užito pro komunikaci Palackého v obou směrech. Zvláštní signalizace pro veřejnou dopravu (původně známé jako signály pro tramvaje) využito není, nejsou zde vyhrazené jízdní pruhy pro VHD. Dále je užito signálů pro cyklisty se znameními Stůj!, Pozor! a Volno. Cyklisté musí pro rozsvícení zelené stisknout tlačítko, podobně jako u některých přechodů pro chodce na jiných křižovatkách. Rozdílem je, že tato tlačítka jsou umístěna na samostatných sloupcích před přejezdem.

Překonání Palackého třídy pro chodce je v těchto místech možné pomocí nadchodu. Pro cyklisty je nadchod nepřístupný, neboť na severní straně je zakončen buď venkovním schodištěm, nebo přímým vstupem do přílehlého obchodního centra. Bezbariérový přístup je možný jen při průchodu obchodním centrem a při využití výtahu v něm. Pro cyklisty je tato cesta tedy prakticky nepřístupná. I přes existenci nadchodu se na přejezdu pro cyklisty vyskytují případy přechodu chodců. Problém s přítomností chodců pak narůstá tehdy, pokud chodci tlačítkem „aktivují“ zelenou na přejezdu pro cyklisty i ve chvíli, kdy žádný cyklista nepřejíždí a zelená by tudíž aktivována být neměla. Přechod chodců přes tento cyklistický přejezd je zakázán zákazovými dopravními značkami B30.

Na jižní straně Palackého třídy na přejezd navazuje v obou směrech (na východ i na západ) stezka pro cyklisty, souběžná s Palackého třídou. Cyklisté občas pokračují i na jih průchodem do Štefánikovy ulice, který je zaústěn do Palackého třídy v prostoru řešeného přejezdu. Na severní straně Palackého třídy je cyklostezka zřízena pouze směrem na východ – ke křižovatce s Masarykovým náměstím. Cyklisté ale využívají i chodník západním směrem k ulici K Polabinám. Severní strana Palackého třídy je jinak kromě chodníku lemována stěnou obchodního centra a obchodního domu. Zde je nutno zmínit historickou poznámku, že přejezd pro cyklisty zde vznikl před stavbou zmíněného obchodního centra, kdy cyklostezka pokračovala severním směrem. Nyní stezka obchází obchodní centrum přes Masarykovo náměstí.

Tato přeložka cyklostezky je podstatným faktem pro případnou úvahu nad další existencí tohoto přejezdu, neboť na severní straně cyklista stejně musí nyní dosáhnout jedné z okrajových křižovatek úseku (uličního bloku). Problémem ale je, že obě křižovatky jsou vybaveny pouze přechody pro chodce, tj. cyklisté zde mají povinnost kola přes přechody vést. Překonání Palackého třídy navíc na obou křižovatkách představuje 3 přechody. Na T-křižovatce s ulicí K Polabinám je totiž přechod umístěn až v dalším bloku západním směrem k nádražím. Kromě Palackého je tak nutno překonat i ulici K Polabinám (dva přechody oddělené ostrůvkem). Na křižovatce Masarykovo nám. lze Palackého třídu překonat téměř přímou trasou, která je ale vedena přes dva ostrůvky, oddělující přechody. Pro cyklisty jsou tedy tyto alternativní trasy nepohodlné, zejména díky nutnosti sesednout a kolo převést. Navíc obě trasy jsou poměrně intenzivně využívány chodci. To vysvětluje a opodstatňuje další existenci řešeného přejezdu pro cyklisty.

Možnosti vzájemné koordinace světelné signalizace s ohledem na VHD, jsou zde poměrně omezené. Jako nejefektivnější se jeví koordinace signalizace na křižovatce s ul. K Polabinám a na cyklistickém přejezdu pro směr od nádraží do centra. Zde je vedena většina linek tímto směrem a mezi světelnými signalizacemi není žádná zastávka. Provoz MHD ve směru z ul. K Polabinám do centra je relativně slabý, v odpolední špičce pracovních dnů školního roku se maximálně jedná o 3 spoje za hodinu (1).

V opačném směru je situace komplikovanější, neboť zde existuje zastávka Palackého v tomto úseku. Tuto zastávku navíc obsluhují jen některé tudy projíždějící linky MHD. Jen obtížně tak lze pro VHD najít reprezentativní dobu projetí tohoto úseku, ke které by měla být koordinace v tomto úhlu pohledu vztažena.

V případě koordinace signalizace na přejezdu a na křižovatce Masarykovo náměstí situace také není snadná tím, že linky MHD jsou na této křižovatce vedeny z Palackého třídy do všech směrů (Masarykovo nám., 17. listopadu i na třídu Míru) a obráceně ze všech směrů do Palackého. Převažuje přitom směr Masarykovo náměstí.

Z tohoto důvodu autor článku v jeho návrhové části nebude možnost vzájemné koordinace světelných signalizačních zařízení sledovat a soustředí se na možnost striktní preference vozidel VHD tak, aby v případě jízdy vozidla VHD byla možnost přechodu na fázi umožňující jízdu cyklistů po přejezdu vyloučena.

3. DOPRAVNÍ PRŮZKUMY

Pro zjištění situace na řešeném přejezdu byly realizovány dva dopravní průzkumy. Údaje o nich podává tab. 1.

Tab. 1 – Přehled dopravních průzkumů – přejezd pro cyklisty Pardubice-Palackého třída

Termín	Období	Délka trvání [min]	Poznámka
27.06.2016	15:15 – 16:45	2·45 min	odpolední špička, běžný pracovní den
07.07.2016	7:05 – 7:50	1·45 min	ranní špička, prázdninový provoz

Zdroj: Autor

Při průzkumech byly zaznamenávány tyto události a to ve struktuře – okamžik nastání události a její typ:

- příjezd cyklisty nebo cyklistky s rozlišením směru jízdy (na jih, na sever),
- stisknutí tlačítka pro „aktivaci“ zelené na přejezdu pro cyklisty,
- rozsvícení zelené na přejezdu pro cyklisty,
- rozsvícení červené na přejezdu pro cyklisty,
- počet cyklistů přejíždějících přejezd v rámci jedné zelené,
- počet vozidel VHD dotčených nutností zastavit nebo výrazně zpomalit z důvodů jízdy cyklistů po přejezdu,
- vjezd vozidla VHD do sledovaného úseku Palackého třídy od křižovatky Masarykovo náměstí,
- vjezd vozidla VHD do sledovaného úseku Palackého třídy od křižovatky K Polabinám,
- průjezd vozidla VHD přes přejezd (ne vždy – doplňkový údaj),
- poznámky k případným zpomalením nebo zastavením vozidel VHD,
- poznámky k pohybu chodců, pokud ovlivnily provoz na přejezdu (doplňkový údaj).

Za časovou periodu pro provádění průzkumu bylo zvoleno období o délce 45 min. Toto období svoji délkou vyhovuje místním podmínkám. V odpolední špičce byl průzkum navíc realizován po dvě období o délce 45 min za sebou pro možnost vzájemného porovnání a lepší ilustraci dopravní situace.

Nebyly zaznamenávány informace o silničních motorových vozidlech individuální dopravy jedoucích po Palackého třídě, ani informace o cyklistech a chodcích, kteří řešený přejezd pro cyklisty nevyužili (a pokračovali rovnoběžně s Palackého třídou).

Z hlediska etiky průzkumu nebyly zaznamenávány žádné údaje, které by mohly sloužit k přesné osobní identifikaci jednotlivých účastníků provozu. Nebyla zaznamenávána (ani zjišťována) jména, konkrétní popisy osob, registrační značky vozidel, údaje o obsazenosti spojů VHD a dokonce ani čísla linek. Vyjma směru pohybu přes přejezd (v podstatě podle světových stran) nebyly sledovány ani zaznamenávány směry a trasy pohybu v přilehlém prostoru. V době průzkumů nebyly pořizovány obrazové záznamy (obr. 1 byl pořízen v den, jehož datum není v článku uvedeno). Díky těmto podmínkám lze uložená data označit za anonymní.

4. PROVOZNÍ SITUACE

Z provedených průzkumů vyplývá následující hodnocení provozní situace na řešeném přejezdu pro cyklisty.

4.1 Odpolední špička pracovního dne

Situace v době odpolední dopravní špičky pracovního dne byla zjišťována 27. června 2016 v období 15:15 – 16:45 h. K situaci v oblasti VHD je nutno dodat, že v té době platil jízdní řád pro pracovní dny školního roku a provoz byl dotčen odklony díky dlouhodobé rekonstrukci v prostoru křižovatky U Trojice. Ve sledovaném úhlu pohledu toto ale nelze považovat za změnu, která by výsledky zásadně negativně ovlivnila. Přehled výsledků je v tab. 2. Celkově za 90 min průzkumu prostorem projelo 183 vozidel VHD a 89 cyklistů, kteří využili přejezd.

Tab. 2 – Dopravní průzkum 27.06.2016

Časový úsek	Počet cyklistů		Počet vozidel VHD západ > východ		Počet vozidel VHD východ > západ		Počet přerušení provozu na Palackého tř. („zelených“ pro cyklisty)
	sever > jih	jih > sever	celkem	z toho zastavilo nebo zpomalilo	celkem	z toho zastavilo nebo zpomalilo	
15:15 – 16:00	22	21	50	13	50	5	20
16:00 – 16:45	25	21	42	15	41	11	23
Celkem	47	42	92	28	91	16	43

Zdroj: Autor

Dopravní průzkum ukázal, že ve sledovaném období bylo nutností zastavit nebo výrazně zpomalit dotčeno 24,04 % vozidel VHD. V absolutních číslech to bylo 44 ze 183 tedy projíždějících autobusů nebo trolejbusů. Zjednodušeně vyjádřeno, na každého druhého cyklistu využívajícího přejezd připadá jedno zastavené nebo zpomalené vozidlo VHD. Zjištěné hodnoty navíc dobře ilustrují i relevanci řešeného problému – aritmetickým průměrem vzato, vozidla VHD tedy projíždění ve špičce každých 0,5 min a cyklisté pak průměrně přijíždějí k přejezdu každou minutu. Z porovnání obou sledovaných 45 min dlouhých období vyplývá, že situace má v dopravní špičce přibližně podobný průběh v čase bez extrémních výkyvů.

4.2 Ranní špička prázdninového dne

Provádění dopravních průzkumů o prázdninách není příliš standardní a v mnoha případech dokonce ani vhodné díky poklesu intenzit dopravních proudů. V tomto případě bylo toto období vybráno zcela záměrně. Cílem je zjistit, k jakým situacím na přejezdu dochází v případě, že intenzita dopravních proudů – tvořených jak vozidly VHD, tak cyklisty, je znatelně menší. Tento průzkum byl proveden dne 7. července 2016. Jednalo se navíc o čtvrtek, který navazoval na dvojici státních svátků (5. a 6. 7.). To také podporuje fakt, že (cyklistická) doprava ve městě bude mít relativně nižší intenzitu. Provoz VHD je slabší díky prázdninovým jízdním řádům. Prázdninová omezení existují u MHD i u veřejné linkové

dopravy. I v tomto období probíhaly již zmíněné odklony VHD díky rekonstrukci křižovatky U Trojice, data jsou tak porovnatelná. V tomto případě byl průzkum prováděn pouze po základní dobu 45 min. Přehled výsledků je tab. 3.

Tab. 3 – Dopravní průzkum 07.07.2016

Časový úsek (7:05 – 7:50)	Počet cyklistů		Počet vozidel VHD západ > východ		Počet vozidel VHD východ > západ		Počet přerušení provozu na Palackého tř. („zelených“ pro cyklisty)
	sever > jih	jih > sever	celkem	z toho zastavilo nebo zpomalilo	celkem	z toho zastavilo nebo zpomalilo	
Celkem	8	12	29	2	39	4	9

Zdroj: Autor

Ranní prázdninový provoz představuje pokles rozsahu provozu VHD o 42 % v relaci od nádraží do centra města (ze západu na východ) a o 22 % ve směru k nádraží ve srovnání se silnější třičtvrtěhodinou odpolední dopravní špičky pracovního dne školního roku. Průměrný interval mezi průjezdy vozidel VHD byl 1,51 min v tomto období.

Počet cyklistů využívajících přejezd ve směru ze severu na jih s prázdninami poklesl o 68 %, počet cyklistů ve směru z jihu na sever pak poklesl o 42,9 %. Cyklisté přijížděli k přejezdu v (aritmetickém) průměru každých 2,25 min.

Nicméně, i tak v období 45 min zůstalo 6 konfliktů, kdy vozidlo VHD muselo díky přejezdu pro cyklisty zpomalit nebo dokonce zastavit. V procentuálním vyjádření se jedná o 8,82 % tedy projíždějících vozidel VHD (jejich absolutní počet byl 68). Počet cyklistů připadajících na jedno ovlivněné vozidlo VHD stoupl na hodnotu 3,33.

Aritmetickým průměrem (při zahrnutí údajů ze všech sledovaných period) byla zjištěna průměrná doba čekání cyklistů od příjezdu do vjezdu na přejezd ve výši $t_{ček}^{cykl} = 22,77$ s. Minimální hodnota čekání pak byla nulová (využití zelené pro cyklistu, který přijel dříve), maximální pak 89 s.

5. PROPUSTNOSTI KOLIZNÍHO BODU ANALYTICKOU METODOU

Jednou z důležitých charakteristik kolizního bodu je jeho propustnost. K jejímu určení byla zvolena teorie propustnosti kolizního bodu vyučovaná a využívána v rámci propustnosti železniční dopravy (2). Přestože je přes sledovaný kolizní bod – přejezd pro cyklisty na Palackého třídě v Pardubicích realizován i provoz individuální automobilové dopravy, tato vozidla nebudou v souladu s pojetím celého článku do výpočtu zahrnuta. Předmětem článku je vztah „preferovaných“ druhů dopravy, tj. VHD a cyklistické. U individuální automobilové dopravy je použit předpoklad, že tato projede přes přejezd pro cyklisty na Palackého třídě ve zbývajícím čase volného vstupu pro Palackého třídu. Autor článku na druhou stranu uznává, že je to velké zjednodušení, nicméně ve zvoleném studijním úhlu pohledu akceptovatelné.

5.1 Vstupy

Vstupy do výpočtu striktně podle metody (2) jsou:

- uvažovaný počet jízd cyklistů přes kolizní bod N_{cykl} ,
- uvažovaný počet vozidel VHD přes kolizní bod směrem do centra města N_{vVHD}^{cm} ,
- uvažovaný počet vozidel VHD přes kolizní bod směrem k nádražím N_{vVHD}^{nadr} ,
- doba obsazení jízdou cyklisty t_{cykl} [min],
- doba obsazení kolizního bodu jízdou vozidla VHD směrem do centra města t_{vVHD}^{cm} [min],
- doba obsazení kolizního bodu jízdou vozidla VHD směrem k nádražím t_{vVHD}^{nadr} [min],
- délka výpočetního období T [min].

Uvedená množina vstupů byla jako základ stanovena pro aplikaci „železniční“ metody na sledovanou situaci. Nicméně obě situace nemají totožné principy obsazování kolizního bodu, proto je potřebné při aplikaci některé z těchto vstupů dále upravit podle kapitoly 5.2.

5.2 Korekce vstupů pro případ přejezdu pro cyklisty

Potřebu změn vytváří nutnost překlenout rozdíl mezi zákonitostmi provozu železniční (kolejové) dopravy a sledovanou situací na přejezdu pro cyklisty.

Předně, na kolizní bod v železniční dopravě může v jeden okamžik z podstaty železniční dopravy vstoupit maximálně jeden vlak. V tomto případě může na cyklistický přejezd vjet více cyklistů současně (a to i v obou směrech). Z těchto důvodů není v rámci výpočtu uvažován směr jízdy cyklistů. Dále je potřebné na cyklistickou dopravu hledět nikoli podle jednotlivých cyklistů, ale podle počtu „zelených“ pro cyklisty N_{cykl}^{zel} . Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tab. 2 a 3. Navíc toto obsazení udává délka zelené pro cyklisty (navýšená o oba mezičasy), bez ohledu na počet cyklistů, kteří daný volný vstup využili a konkrétní doby trvání přejezdu Palackého třídy. Tato doba byla změřena jako $t_{cykl}^{zel} = 20$ s.

Stejně tak může přejezdem projíždět současně i více vozidel VHD, zpravidla v jednotlivých směrech. Z toho důvodu je výpočet propustnosti kolizního bodu realizován pro každý směr VHD samostatně (provázanost představují stejné použité hodnoty na straně cyklistické dopravy). Jedná se tak vlastně o 2 kolizní body existující paralelně vedle sebe.

Případná možnost jízdy dvou vozidel VHD současně ve směru do centra ve dvou různých jízdních pružích je zanedbávána, stejně jako průnik dob obsazení kolizního bodu, pokud vozidla VHD jedou za sebou v těsném odstupu.

V případě vozidel VHD je zároveň potřebné se přidržit „obsazení kolizního bodu“ vlastní jízdou vozidla. Je to z důvodu toho, že délka volného vstupu („zelené“) v případě Palackého třídy převyšuje dobu „přímého“ obsazení.

Za účelem stanovení dob obsazení kolizního bodu bylo v rámci průzkumu provedeno měření této doby u náhodně vybraných spojů VHD. Přehled o těchto měřeních podává tab. 4. Začátek doby obsazení je určen okamžikem, kdy vozidlo vstoupilo do uličního bloku Palackého třídy na křižovatce s ulicí K Polabinám při jízdě do centra města (na východ) a za křižovatkou s Masarykovým náměstím při jízdě k nádražím (na západ). Od této chvíle má řidič světelné signalizační zařízení u přejezdu pro cyklisty v zorném poli a přizpůsobuje mu jízdu. Konec doby obsazení je stanoven okamžikem vjezdu vozidla na přejezd pro cyklisty.

V případě, že vozidlo zastavilo nebo významně zpomalilo vlivem červené, nebylo do měření zahrnuto.

Tab. 4 – Měření dob obsazení kolizního bodu vozidly veřejné linkové dopravy

Termín	Směr do centra (východ)	Směr k nádražím (západ)
Rozsah statistického souboru	21 spojů	49 spojů
Průměrná doba obsazení	12,00 s	9,59 s
Směrodatná odchylka	2,41 s	2,65 s
Maximální doba obsazení	17 s	19 s
Minimální doba obsazení	8 s	4 s

Zdroj: Autor

S přihlédnutím k datům v tab. 4 je jako doba obsazení kolizního bodu jízdou vozidla VHD ve východním směru do centra města uvažována hodnota $t_{VHD}^{cm} = 12$ s a v západním směru k nádražím hodnota $t_{VHD}^{nádr} = 10$ s. Tyto hodnoty odpovídají aritmetickým průměrům naměřených hodnot po zaokrouhlení na celé sekundy.

5.3 Výpočetní vzorce a sledované výstupy

K popisu propustnostních charakteristik kolizního bodu je v souladu s metodou (2) využito veličin, jejichž hodnoty jsou stanoveny podle vztahů (1) – (7). Všechny výpočty jsou pak realizovány dvakrát – pro 2 kolizní body:

- cyklistů a VHD v západním směru a
- cyklistů a VHD ve východním směru.

Vzorce (2) – (5) a (7) jsou definovány obecně pro směry u a v , kde na jedné pozici bude cyklistická doprava a na pozici druhé pak řešený směr VHD. Tohoto obecného zápisu je užito proto, že pro komplexní výpočet vzájemného ovlivnění je potřeba vypočítat obě kombinace, tj. cyklistická doprava – VHD i VHD – cyklistická doprava.

- celková doba obsazení T

$$T_{obs} = N_u \cdot t_{obsu} + N_v \cdot t_{obsv} \quad (1)$$

- relativní doba rušení směru v směrem u , označená $T_{ruš}(u_v)$

$$T_{ruš}(u_v) = \frac{N_u \cdot N_v \cdot t_{obsu}^2}{2T} \quad (2)$$

- celková relativní doba rušení $T_{ruš}$

$$T_{ruš} = T_{ruš}(u_v) + T_{ruš}(v_u) \quad (3)$$

- střední četnost případů rušení směru v směrem u , označená $h(u_v)$

$$h(u_v) = \frac{N_u \cdot t_{obsu}}{T} \cdot N_v \quad (4)$$

- celkový střední počet případů vzájemného rušení H ,

$$H = h(u_v) + h(v_u) \quad (5)$$

- propustnost kolizního bodu n – vyjádřená součtem počtu zelených pro cyklisty a počtu vozidel VHD, tj. počtem úkonů,

$$n = \frac{T}{\frac{T_{obs}}{(N_u + N_v)} + \frac{T_{ruš}}{(N_u + N_v)}} \quad (6)$$

- koeficient využití praktické propustnosti k_{vp}

$$k_{vp} = \frac{N_u + N_v}{n} \quad (7)$$

Vysvětlení symbolů ve vztazích (1) – (7)

T_{obs}	celková doba obsazení kolizního bodu [min],
u, v	obecné označení kolizních směrů, v tomto případě stran účastníků konfliktu (cyklisté, VHD).
$T_{ruš}(u_v)$	relativní doba rušení směru v směrem u [min],
$T_{ruš}$	celková relativní doba rušení [min],
N_u, N_v	počty případů obsazení (u cyklistů intervalů volného vstupu, u VHD počet vozidel) [počet],
t_{obsu}	doba obsazení kolizního bodu ve směru u [min],
t_{obsv}	doba obsazení kolizního bodu ve směru v [min],
T	délka výpočetního období [min] (v řešeném příkladu $T = 45$ min),
$h(u_v)$	střední četnost případů rušení směru v směrem u [počet případů],
H	celkový střední počet případů vzájemného rušení [počet případů],
n	propustnost kolizního bodu za období T [počet úkonů],
k_{vp}	koeficient využití propustnosti [-].

5.4 Výsledky – propustnost kolizního bodu

Výsledky výpočtu propustnosti kolizního bodu, popsaného v kapitolách 5.1 – 5.3, jsou v tab. 5. Poslední řádek o počtech reálně dotčených vozidel (data z průzkumů) je doplněn pro možnost posouzení výsledků v kontextu kvality provozu.

Tab. 5 – Výsledky výpočtu propustnosti kolizního bodu

	Cyklisté X VHD směr do centra (východ)			Cyklisté X VHD směr k nádražím (západ)		
	27.06.2016 15:15 – 16:00	27.06.2016 16:00 – 16:45	07.07.2016 7:05 – 7:50	27.06.2016 15:15 – 16:00	27.06.2016 16:00 – 16:45	07.07.2016 7:05 – 7:50
Celková doba obsazení T_{obs} [min]	16,67	16,07	8,80	15,00	14,50	9,50
Celková doba rušení $T_{ruš}$ [min]	1,68	1,62	0,44	1,54	1,46	0,54
Střední četnost případů rušení $h(U_v)$ [případů]						
VHD ze strany cyklistů	7,41	7,16	1,93	7,41	6,99	2,60
cyklistů ze strany VHD	4,44	4,29	1,16	3,70	3,49	1,30
celkem (H)	11,85	11,45	3,09	11,11	10,48	3,90
Propustnost n [počet úkonů]	171	165	185	190	180	215
Koeficient využití propustnosti k_{vp} [-]	0,41	0,39	0,21	0,37	0,35	0,22
Počet dotčených vozidel VHD (zastavených nebo zpomalených)	13 26,00 %	15 35,71 %	2 6,90 %	5 10,00 %	11 26,83 %	4 10,26 %

Zdroj: Autor

K výsledkům v tab. 5 je potřebné podotknout, že předpokládaný počet konfliktů je stanoven na základě počtu pravděpodobnosti. Je zde pouze jistý náznak korelace mezi celkovým počtem dotčených vozidel VHD a celkovou střední četností konfliktů. Bohužel, není shromážděn dostatek dat, aby tato vlastnost mohla být statisticky ověřena. Na druhou stranu je zde ovšem problém v interpretaci. Hodnoty H udávají celkový počet konfliktů – jak ovlivnění vozidel VHD ze strany cyklistů, tak naopak – nutnost zastavení cyklistů z důvodů jízdy vozidla VHD. Uvažované konflikty jsou ale jen prvně jmenovaným případem, kdy jsou dotčena jen vozidla VHD.

Hodnoty koeficientů využití propustnosti k_{vp} ukazují, že přejezd je VHD a cyklisty využíván na zhruba 40 % v odpolední špičce pracovních dnů školního roku a na více než 20 % v období prázdnin. Tyto hodnoty potvrzují popsanou situaci, že provoz cyklistické dopravy i VHD je zde velmi intenzivní. Je nutno připomenout, že individuální automobilová doprava zahrnutá není a de facto využívá rezervu takto zjištěné propustnosti. Rozdílné hodnoty propustnosti téhož kolizního bodu je nutné vysvětlit tím, že výsledek této metody závisí i na konkrétní provozní situaci, podle které je na „obecnou“ propustnost uvažováno. Matematicky je tyto závislosti možno najít ve vztazích (1) – (6).

Z těchto důvodů je patrné, že pro posouzení dané situace je tato metoda příliš hrubá. Neposkytuje potřebný detail pro ověření změn organizace dopravy (zavedení preference VHD). Z toho důvodu není využito ani rozšíření této metody pro případy částečné nebo úplné přednosti v jízdě jednoho ze směrů. Podrobnosti k těmto modifikacím metody je možné najít v (2). Je tak vhodné přejít k podrobnějšímu posouzení s využitím simulace (kap. 7).

6. NÁVRH PREFERENCE VEŘEJNÉ HROMADNÉ DOPRAVY

V rámci návrhu preference VHD jsou pro možnost porovnání uvažovány (modelovány) dva stavy situace. Jako výchozí je uvažován stav bez této preference VHD, kdy se ale zároveň jedná o preferenci pro cyklisty, a stav úplné preference VHD. Nejprve je nutné charakterizovat stav bez preference VHD. Stav s preferencí VHD je založen na stejných principech, pokud zrovna není do systému přejezdu přihlášeno žádné vozidlo VHD.

6.1 Stav bez preference VHD (preferenci cyklistů)

Okamžik rozsvícení zelené pro cyklisty na přejezdu v tomto případě nastane po stisknutí ovládacího tlačítka (s prodlevou 2 s). Jediným uvažovaným omezením je, že mezi dvěma po sobě následujícími „zelenými“ pro cyklisty musí uplynout minimálně zadaná doba. V tomto případě je uvažováno $t_{min}^{cycl} = 30$ s.

Lze předpokládat, že výsledkem bude vyšší počet dotčených vozidel VHD zpomalením nebo zastavením a pokles času čekání cyklistů oproti realitě. Důvodem je, že světelné signalizační zařízení v praxi často nereaguje na stisk tlačítka neprodleně, resp. s uvedenou minimální prodlevou. Díky tomu, lze tuto variantu považovat za téměř absolutní preferenci cyklistické dopravy. Vyjma zmíněné podmínky pro t_{min}^{cycl} , není ve variantě jiný důvod, aby cyklista nemohl pokračovat prakticky okamžitě po stisku tlačítka s minimální prodlevou. Pokud přijede cyklista v době zelené pro cyklisty, může ihned přejet. Toto je tak uvažováno i v modelu a není v tom případě započteno žádné zdržení.

6.2 Stav s preferencí VHD

Preference VHD obecně může i v těchto případech mít různé formy realizace. Jedná se jak o hledisko technického řešení (např. způsobu přihlašování vozidel), tak o hledisko nastavení pravidel v signálním plánu.

Pro zvolený případ je uvažována hypotetická situace, kdy se vozidla VHD přihlásí v okamžik, kdy vstoupí do příslušného úseku Palackého třídy (na křižovatce s ulicí K Polabinám, popř. na křižovatce s Masarykovým nám. pro opačný směr jízdy). Přihlášení

vozidla bude mít za následek, že pokud je na Palackého třídě pro vozidla signál Volno, bude tento prodloužen do doby průjezdu vozidla VHD přes přejezd pro cyklisty.

Určení průjezdu není v modelu předpokládáno infrastrukturně (technickou identifikací průjezdu), ale matematicky výpočtem podle vztahu (8):

$$t_{blok} = t_{vstup} + t_{vVHD}^i \quad (8)$$

kde je:

t_{blok} okamžik, do kdy je (minimálně) prodloužen signál Volno pro vozidla [s],

t_{vstup} okamžik, kdy vozidlo vstoupilo do sledovaného úseku [s],

t_{vVHD}^i průměrná doba obsazení kolizního bodu jízdou vozidla VHD od vstupu do úseku do okamžiku průjezdu přejezdu pro cyklisty [s].

Preference bude uplatněna i ve chvíli, kdy již je uplatněn požadavek cyklisty tlačítkem a případně vyčkává na zelenou (např. na splnění podmínky pro minimální dobu mezi zelenými t_{min}^{cycl}). Naopak, pokud vozidlo vstoupí do řešeného úseku ve chvíli, kdy již cyklisté mají zelenou (a vozidla signál Stůj!), preference uplatněna není.

Tato varianta preference byla zvolena jako hypotetická. Možnosti hardware a software světelného signalizačního zařízení, stejně jako vybavení vozidel VHD, nejsou předmětem řešení tohoto článku. Technická realizovatelnost je samostatným problémem, navíc souvisejícím s mnoha dalšími faktory (technickými, organizačními i ekonomickými).

Snahou bylo vytvořit a posoudit takovou variantu, která je pro VHD velmi vstřícná (v podstatě maximálně) s cílem ověřit, zdali je možné provoz v řešeném kolizním bodě tímto způsobem zkvalitnit.

Zvolená varianta tak nereflektuje individuální automobilovou dopravu (a to ani v podobě možností koordinace se signalizací na okolních křižovatkách) a zároveň může způsobit cyklistům poměrně dlouhá zdržení.

V případě skutečné aplikace preference v praxi by skutečnost byla zřejmě odlišná, v závislosti na skutečném nastavení. Důvodem je např. situace, pokud by nebyla všechna vozidla VHD vybavena pro možnost se do preference přihlásit. Dalším faktorem může být limit pro maximální dobu čekání cyklistů na zelenou od stisku tlačítka (byl-li by uplatněn). Důležitým vlivem je pak i liniová koordinace světelných signalizačních zařízení.

Posuzované stavy ale vytvářejí vhodnou základnu pro teoretické zkoumání, neboť jsou vlastně oběma „extrémními“ situacemi. Posouzení se zahrnutím např. liniové koordinace by si navíc vyžádalo podstatné rozšíření modelu. Do modelu by musely být zahrnuty všechny křižovatky náležející do dané koordinace. To je nad rámec rozsahu řešení uplatněném v tomto článku. Nicméně v praxi je doporučeno přijmout pak řešení komplexní, ideálně spadající do oblasti inteligentních dopravních systémů. Zřejmě není vhodné řešit jednu optimalizaci na úkor jiné. Záměrem článku je ale poskytnout odpověď na otázku, jaký potenciál preference na přejezdu pro cyklisty vůbec má. Toho je dosaženo, byť výsledek by byl jistým kompromisem.

7. POSOUZENÍ SIMULAČNÍ METODOU

Simulační model je deskriptivní model chování systému. Úkolem takového modelu je poskytnout informaci, jakou odezvu bude mít modelovaný systém v zadaných situacích. (3)

Popisovaný jednoduchý simulační model je vytvořen autorem v programu Microsoft Excel. Stěžejní část modelu je přitom založena na makrech – podprogramech vytvořených v programovacím jazyku VBA – Visual Basic for Applications. Zdrojový kód má více než 1600 řádků.

Využití deskriptivního simulačního modelu je pro řešenou situaci dostatečné.

Jak již bylo uvedeno v kap. 6, posuzovány budou dva stavy v oblasti preference. Absence preference VHD (preference cyklistů) a zavedení téměř absolutní preference VHD.

7.1 Stochastické vstupy

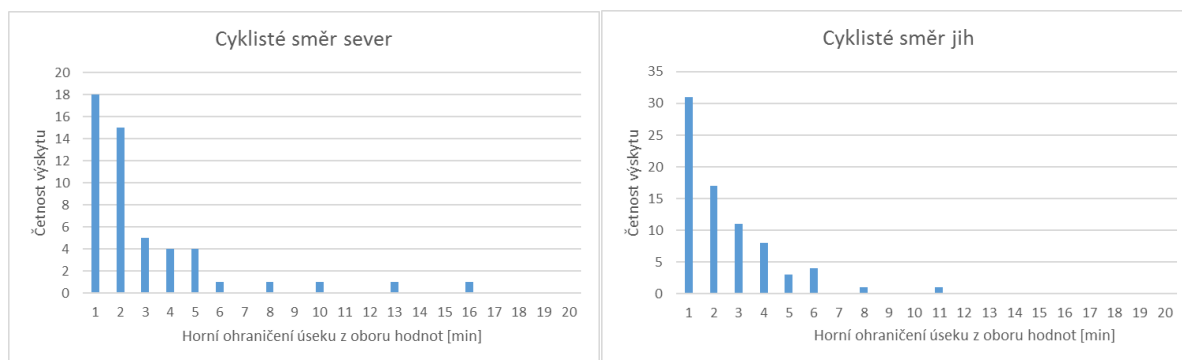
Simulační model využitý pro toto posouzení je založen na čtyřech stěžejních vstupech, které jsou pojímány stochasticky. Jedná se o:

- okamžiky příjezdů cyklistů k přejezdu ve směru na sever,
- okamžiky příjezdů cyklistů k přejezdu ve směru na jih,
- okamžiky vstupu vozidel VHD jedoucích východním směrem (do centra města) do příslušného úseku Palackého třídy a
- okamžiky vstupu vozidel VHD jedoucích západním směrem (k nádražím) do příslušného úseku Palackého třídy.

Všechny tyto čtyři vstupy budou modelovány pomocí generování pseudonáhodných hodnot veličin odpovídajících intervalům (rozestupům) mezi příslušnými významnými událostmi. Na základě intervalů je pak stanovena množina těchto událostí, přesněji okamžiků jejich nastání.

Obr. 2 představuje histogramy četností hodnot intervalů mezi příjezdy cyklistů podle jednotlivých směrů a minutových úseků, do kterých je obor hodnot veličin pro tyto intervaly rozdělen.

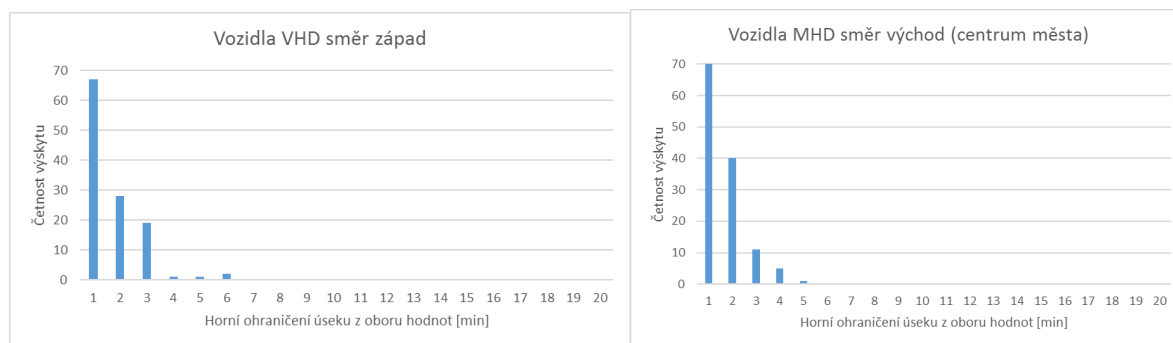
Na osách x jsou vyneseny horní hranice úseků o délce 1 min, do kterých jsou obory hodnot rozděleny. Osy y pak představují četnosti, tj. kolikrát byla hodnota intervalu mezi příjezdy cyklistů právě v daném minutovém úseku. Jako ilustrační příklad k obr. 2 je možné zmínit, že např. mezi příjezdy 31 dvojic cyklistů směr jih neuběhl interval ani 1 minuta. Interval v rozmezí 1 – 2 min pak byl zaznamenán u 17 dvojic cyklistů atd.



Zdroj: Autor v Microsoft Excel

Obr. 2 – Rozložení intervalů mezi příjezdy cyklistů k přejezdu podle jejich délky

Podobným způsobem je na obr. 3 znázorněno rozložení intervalů mezi příjezdy vozidel VHD. Přirozeně, provoz VHD je podřízen jízdnímu řádu. Nicméně na zvolené mikroskopické úrovni je možné i na tyto veličiny hledět jako na náhodné.



Zdroj: Autor v Microsoft Excel

Obr. 3 – Rozložení intervalů mezi vstupy vozidel VHD do Palackého třídy podle jejich délky

Podobný princip, jako na obr. 2 a 3, je využit i při stochastickém generování intervalů mezi významnými událostmi v modelu. Všechny čtyři spojité veličiny (reprezentující jednotlivé intervaly) jsou v modelu ještě podrobněji diskretizovány do úseků o délce 15 s. Ke všem 4 veličinám je pak přístupováno jako k diskrétním náhodným veličinám. Jako výsledná hodnota nastání vygenerovaných událostí jsou využívány středy těchto úseků. Přirozeně, do určité míry je toto zjednodušení, nicméně v řešeném případě bylo shledáno jako přijatelné.

Vstupem do výpočetního souboru je množina průzkumem zjištěných délek intervalů mezi danými významnými událostmi. Transformace na zmiňované náhodné veličiny (v diskrétním pojetí) a následná simulace je pak přímo podporována vytvořeným souborem a programem v něm obsaženým.

Ke zpracování těchto čtyř náhodných vstupů je ještě nutné manuálně zadat okamžik první významné události daného typu v řešeném období. Vzhledem ke stanovené délce výpočetního období pro model ($T_{výp} = 45 \text{ min}$) je toto zanedbatelné zjednodušení. Využito bylo navíc reálných hodnot, pocházejících z jednotlivých dopravních průzkumů.

7.2 Deterministické vstupy

Přirozeně, kromě stochastických je do modelu nutné zadat ještě i vstupy deterministické. Model pracuje s těmito deterministickými vstupy:

- průměrná doba čekání cyklisty před přejezdem (v tomto případě $t_{ček}^{cycl} = 1$ s),
- průměrná doba obsazení úseku jízdou vozidla VHD západním směrem ($t_{vVHD}^{nádr} = 10$ s),
- průměrná doba obsazení úseku jízdou vozidla VHD východním směrem ($t_{vVHD}^{cm} = 12$ s),
- minimální doba mezi intervaly volného vstupu pro cyklisty na přejezdu ($t_{min}^{cycl} = 30$ s),
poznámka: hodnoty vycházejí z provedených dopravních průzkumů.

Hodnoty jsou označeny jako průměrné, vychází to z pohledu, že v praxi tyto hodnoty nabývají různé konkrétní výše. Model pak pracuje s těmito hodnotami deterministicky pro všechny případy, ve kterých má být hodnota zahrnuta, stejně. Stanovená hodnota $t_{ček}^{cycl} = 1$ s vychází z předpokladu, že pokud je cyklista jako první v pořadí, musí stisknout tlačítko. Druhou sekundu ve výsledné době čekání pak tvoří „prodleva systému“ do rozsvícení zelené pro cyklistu. Tato „prodleva“ je zahrnuta přímo ve výpočtu.

7.3 Otázka pojetí jízdního řádu

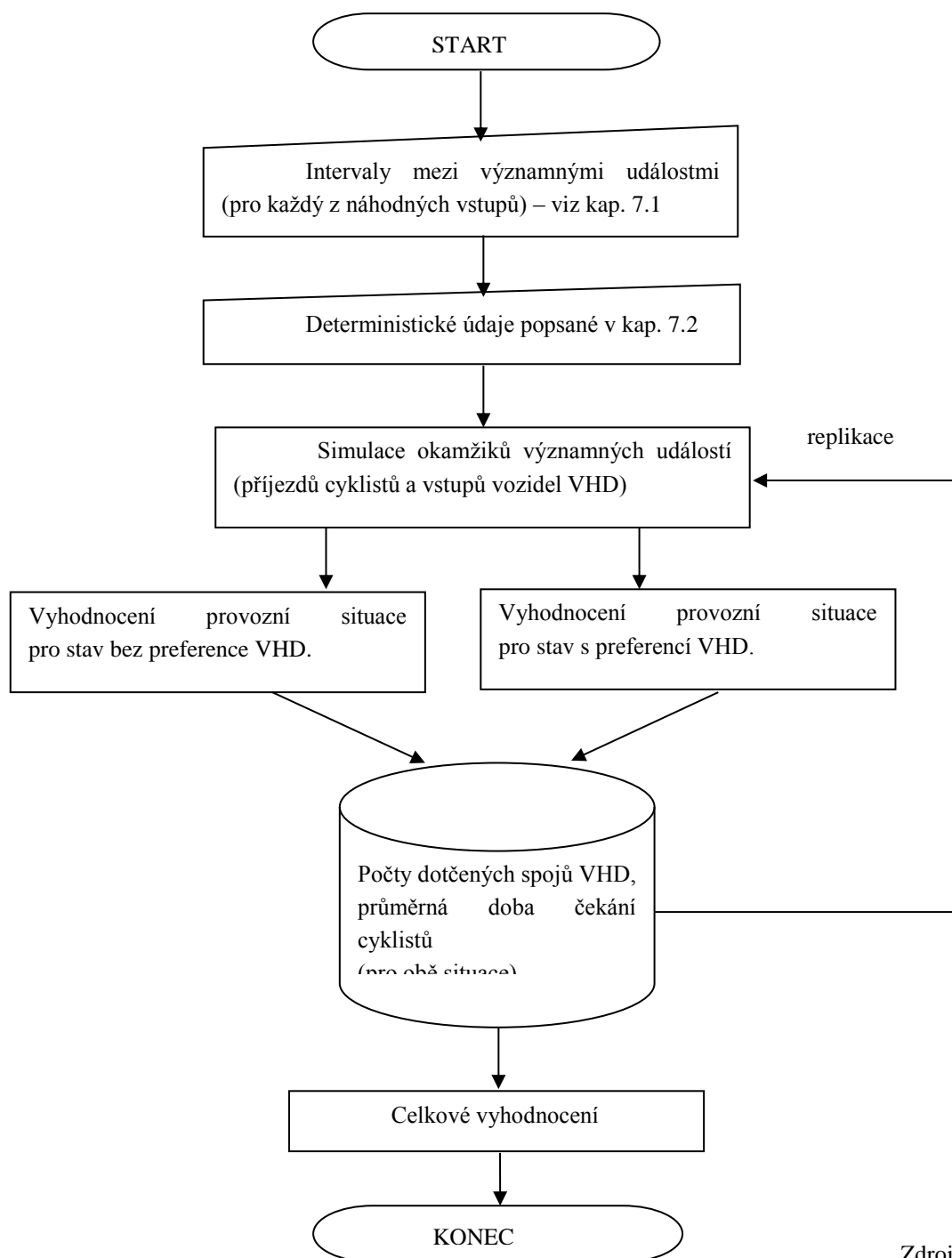
Jak vyplývá z kapitol 7.1 a případně i 7.2, od jízdního řádu je v navrženém modelu abstrahováno. Okamžiky vstupů vozidel VHD do sledovaného úseku Palackého třídy jsou modelovány jako náhodná veličina podle vzájemných rozestupů, bez ohledu na časové polohy spojů určené jízdním řádem. Základem je předpoklad, že při takto intenzivním provozu VHD, je tento přístup možný.

Nabízí se ale i otázka aplikace druhého přístupu – zadání jednotlivých spojů podle jízdního řádu a generování náhodného zpoždění (případně i náskoku). Tento přístup je také možný, je ale náročnější na rozsah vstupních dat. Charakteristiky zpoždění (pro možnost jeho náhodného generování) musejí být zjištěny ideálně pro každý konkrétní spoj, minimálně pak pro každou linku nebo skupinu linek, které mají podobné provozní charakteristiky (mají např. větší část trasy před sledovaným místem společnou a vytvářejí proklad na společném úseku). Tyto charakteristiky se navíc mohou lišit i v jednotlivých částech dne, týdne nebo roku.

Přístup založený na jízdním řádu je vhodné doporučit pro modelování situace na úsecích s méně intenzivním provozem VHD, popř. v dopravních sedlech a nočních hodinách apod. V těchto případech je pak vhodné upřednostnit jízdní řád s vygenerovaným zpožděním (náskokem) před globálně pojatými následnými intervaly. Hranice určující použití jednotlivých přístupů je nejednoznačná. Jako případný indikátor lze doporučit posouzení, zdali přístup založený na náhodném generování intervalů mezi po sobě jedoucimi spoji příliš „nedeformuje“ provoz podle jízdního řádu. Jestli nevznikají nereálně velká zpoždění nebo náskoky. Další situací, která by vedla na nutnost přechodu k přístupu založením na jízdním řádu, je případné velké narůstání počtu významných událostí ve výpočetním období oproti jejich skutečným počtům. Bližší informace k tomuto efektu jsou popsány v kapitole 7.7 v rámci diskuse výsledků.

7.4 Struktura modelu

Struktura simulačního modelu a princip jeho výpočtu je patrný ze zjednodušeného vývojového diagramu na obr. 4.



Zdroj: Autor

Obr. 4 – Zjednodušený vývojový diagram simulačního modelu

V každé replikaci jsou (pseudo)náhodně pomocí generování intervalů vytvořeny zmiňované čtyři množiny významných událostí (okamžiků vstupů požadavků do systému). Takto vzniklá provozní situace je následně vyhodnocena v obou variantách konfigurace v oblasti preference VHD.

7.5 Výstupy modelu – kritéria posouzení

Jelikož je simulační model deskriptivní, není zavedena účelová funkce. Cílem modelu je vyhodnocení provozu při různých variantách vstupů a infrastruktury (preference). Hlavním ukazatelem, zvoleným k vyhodnocení, je počet vozidel VHD dotčený výrazným zpomalením nebo zastavením vlivem zelené pro cyklisty. Snahou je, aby tento počet dotčených spojů byl co nejmenší. Důvody tohoto cíle jsou popsány v úvodních partiích článku (jedná se především o větší počty cestujících ve zpomalených nebo zastavených vozidlech VHD oproti jednotkám cyklistů přejíždějících v rámci jedné zelené přes přejezd).

Doba zdržení vozidel VHD nebyla zvolena za primárně sledovaný ukazatel, neboť za důležitější závadu v kvalitě dopravy je považováno už samotné zastavení nebo výrazné zpomalení vozidla, než konkrétní doba zdržení. Na druhou stranu, ale i dobu zdržení je možné z modelu v případě potřeby vyčíst. Takto nastavené kritérium (počet dotčených vozidel VHD) navíc koresponduje i s 15vteřinovým rozlišením vstupních náhodných veličin.

Nejen pro objektivitu, ale i z důvodu, že i cyklistická doprava patří k obecně preferovaným druhům dopravy, je nutné posoudit i dopad přijatého řešení na provoz na přejezdu. Za tímto účelem je sledováno kritérium – průměrná doba čekání (zdržení) cyklistů před přejezdem a jeho maximální a minimální hodnoty. Registrovány jsou i počty zelených pro cyklisty za výpočetní období.

7.6 Modelované provozní situace

Dělení modelovaných (posuzovaných) provozních situací podle uvažované preference bylo popsáno v kapitole 6 a je zachyceno i na zjednodušeném vývojovém diagramu na obr. 4.

Ještě je ale nutné doplnit komentář k posuzovaným situacím i z hlediska rozsahu provozu. Výchozím bodem jsou realizované dopravní průzkumy – odpolední dopravní špička v období školního roku (27. 6. 2016) a ranní špička v období letních prázdnin (7. 7. 2016).

Posouzení dopravním modelem jsou tak analogicky podrobeny také tři situace – dvě období (o délce 45 min) pro odpolední špičku pracovního dne školního roku a jedno období pro ráno pracovního dne školních prázdnin.

Intervaly mezi významnými událostmi sledovaných 4 náhodných vstupů, sloužící jako podklad pro stochastickou simulaci, odpovídají intervalům zjištěným při jednotlivých průzkumech. Deterministické vstupy jsou použity pro všechny tři situace stejně, ale i tato data se zakládají na zmiňovaných dopravních průzkumech (jejich souhrnném vyhodnocení).

Pro každou z uvedených provozních situací byl proveden celý postup podle vývojového diagramu na obr. 4. Všechny tři provozní situace byly vyhodnoceny pro stav bez preference VHD i s ní. Pro každou situaci bylo provedeno 365 replikací (365 realizací provozu). Při výběru tohoto čísla bylo přihlédnuto i k možnému vztažení výsledků k 1 roku.

Z technického úhlu pohledu výpočet těchto celkem 1095 replikací byl notebookem v konfiguraci pro kancelářskou práci proveden za celkem 138 minut. Z pohledu informatiky by zřejmě bylo možné tuto dobu ještě více zkrátit jak použitím výkonnějšího počítače, tak zřejmě i efektivnějším způsobem programování. Nicméně, vzhledem k povaze daného posouzení, je tento výpočetní čas akceptovatelný. Naopak výhodou je, že výpočet lze (za přijatelný čas) realizovat na rozšířeném a dostupném vybavení.

7.7 Výsledky simulace, diskuse výsledků

Technicky jsou výsledky uspořádány v tabulce na listu tabulkového procesoru. Na ukázkou je na obr. 6 výřez (pro prvních 10 iterací z 365) ze souhrnné výsledkové sestavy simulačního modelu. Jedná se o data ze simulace odpoledního provozu 16:00 – 16:45 h bez uvažování preference VHD. Souhrnný přehled, jakožto závěry, pak podává tab. 6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
		Průměr	Max	Min	Sm.odch.	Iterace č.									
1						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	STAV BEZ PREFERENCE VHD														
4	Počet zelených pro cykl.	29,54	42	18	4,90	31	28	39	35	30	36	33	38	31	27
5	Cyklisté - na SEVER														
6	Průměr. čekání [s]	5,79	9,97	1,11	1,58	3,68	6,67	5,69	5,30	5,81	5,21	4,65	4,83	5,20	9,04
7	Max. čekání [s]	24,16	26	6	2,88	26	26	26	21	26	26	21	26	26	26
8	Min. čekání [s]	0,04	1	0	0,20	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
9	Bez čekání [cyklistů]	3,35	9	0	1,87	3	4	8	1	4	0	7	3	1	0
10															
11	Cyklisté - na JIH														
12	Průměr. čekání [s]	5,92	10,74	1,58	1,64	4,77	4,50	8,92	3,77	8,03	5,42	5,45	9,13	4,42	2,26
13	Max. čekání [s]	24,59	26	6	2,54	26	26	26	26	26	26	26	26	21	11
14	Min. čekání [s]	0,01	1	0	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Bez čekání [cyklistů]	5,71	15	0	2,67	3	7	6	8	4	6	3	6	4	6
16															
17	VHD - na ZÁPAD														
18	Zastavilo spojů	7,41	18	1	3,35	8	2	2	9	10	6	10	11	3	9
19	%					14,04	5,56	4,88	15,79	22,22	13,95	21,28	26,83	7,14	15,25
20	Zpomalilo spojů	6,04	16	0	3,14	6	6	6	1	4	5	5	4	5	4
21	%					10,53	16,67	14,63	1,75	8,89	11,63	10,64	9,76	11,90	6,78
22	Dotčeno spojů	13,45	28	2	4,08	14	8	8	10	14	11	15	15	8	13
23	%					24,56	22,22	19,51	17,54	31,11	25,58	31,91	36,59	19,05	22,03
24															
25	VHD - na VÝCHOD														
26	Zastavilo spojů	8,47	24	1	3,64	13	7	10	9	8	9	14	6	3	16
27	%					26,53	15,91	22,22	24,32	15,09	21,95	30,43	16,22	6,38	28,57
28	Zpomalilo spojů	6,30	19	0	3,08	5	8	7	6	3	7	6	6	11	6
29	%					10,20	18,18	15,56	16,22	5,66	17,07	13,04	16,22	23,40	10,71
30	Dotčeno spojů	14,78	31	4	4,74	18	15	17	15	11	16	20	12	14	22
31	%					36,73	34,09	37,78	40,54	20,75	39,02	43,48	32,43	29,79	39,29
32															
33	UDÁLOSTI														
34	Cyklisté na sever	24,05	35	14	3,47	25	24	26	23	21	19	20	24	20	23
35	Cyklisté na jih	29,54	42	18	4,90	31	28	39	35	30	36	33	38	31	27
36	VHD na západ	49,04	70	30	6,64	57	36	41	57	45	43	47	41	42	59
37	VHD na východ	46,95	74	28	7,15	49	44	45	37	53	41	46	37	47	56

Zdroj: Autor v Microsoft Excel

Obr. 5 – Výřez listu s výsledky modelu (pracovní den 16:00 – 16:45) bez preference VHD

Ukázka výsledků za stejné období v případě zavedení preference VHD pak je na obr. 6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
		Průměr	Max	Min	Sm.odch.	Iterace č.									
1						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
41	STAV S PREFERENCÍ VHD														
42	Počet zelených pro cykl. při prefer. VHD	27,54	36	18	3,03	26	27	32	29	24	30	27	30	30	25
43	Cyklisté - na SEVER														
44	Průměr. čekání [s]	20,10	68,65	2,22	9,20	27,38	32,22	13,44	18,33	19,55	18,39	12,11	16,65	11,63	31,77
45	Max. čekání [s]	139,23	437	12	68,45	167	182	122	182	107	122	47	122	122	137
46	Min. čekání [s]	0,20	2	0	0,60	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
47	Bez čekání [cyklistů]	2,31	7	0	1,55	3	5	7	1	2	0	4	4	1	0
48															
49	Cyklisté - na JIH														
50	Průměr. čekání [s]	19,93	70,80	5,21	9,78	38,30	18,67	20,55	19,06	38,28	13,97	22,66	12,49	10,57	34,69
51	Max. čekání [s]	142,34	437	22	70,46	167	137	107	167	212	107	212	47	92	212
52	Min. čekání [s]	0,05	2	0	0,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	Bez čekání [cyklistů]					3	5	5	6	4	4	2	6	4	5
54															
55	VHD - na ZÁPAD														
56	Dotčeno spojů	7,04	19	0	3,56	4	7	7	6	6	5	6	5	7	10
57	%					7,02	19,44	17,07	10,53	13,33	11,63	12,77	12,20	16,67	16,95
58															
59	VHD - na VÝCHOD														
60	Dotčeno spojů	2,09	11	0	1,93	4	0	6	1	2	6	0	2	1	0
61	%					8,16	0,00	13,33	2,70	3,77	14,63	0,00	5,41	2,13	0,00

Zdroj: Autor v Microsoft Excel

Obr. 6 – Výřez listu s výsledky modelu (pracovní den 16:00 – 16:45) s preferencí VHD

Celkové počty cyklistů a vozidel VHD v jednotlivých směrech

Jak již bylo uvedeno v předcházejícím textu, celkové počty významných událostí za modelované výpočetní období nejsou v tomto přístupu zadány, ale jsou výsledkem simulace náhodné veličiny – intervalu mezi významnými událostmi. Ve srovnání s hodnotami nasčítanými při dopravních průzkumech v odpovídajících obdobích, jsou simulované hodnoty vyšší. Vysvětlení plyne z histogramů četností na obr. 2 a 3. Četnost kratších intervalů je větší než četnost intervalů delších. Délka každého intervalu mezi významnými událostmi je modelována nezávisle na ostatních intervalech. Tudíž díky malé pravděpodobnosti větších hodnot a větší pravděpodobnosti volby hodnot menších, počet významných událostí má tendenci narůstat. Z tohoto plyne závěr pro modelování podobných situací, že tento postup je možné aplikovat pouze na situace, kde skutečné intervaly mezi významnými událostmi jsou rozloženy v podstatě rovnoměrně na nějakém úseku hodnot délek intervalu mezi významnými událostmi, bez extrémních výkyvů.

V rámci kalibrace modelu je alternativně možné přistoupit k vložení dodatečné podmínky pro extrémní hodnoty s tím, že tato hodnota bude ve výsledné množině intervalů zastoupena (tj. budou stochasticky modelovány pouze hodnoty ostatních intervalů). Vzhledem k tomu, že se jedná o studijní aplikaci modelu, autor k této kalibraci nepřistoupil s tím, aby byla v maximální míře patrná „samostatná funkce“ modelu. Každý takový manuální zásah výsledek svým způsobem ovlivňuje. Je pak na validaci modelu, tj. jeho vyhodnocení, aby bylo prokázáno, že daný zásah je nutný a že kvalita výsledků je i přesto odpovídající. Nicméně, kdyby tento model měl být konstruován vyloženě pro potřeby praxe, bylo by nutné o této kalibraci (korekci) uvažovat. Výsledek je v tomto smyslu hraniční. Byl ale akceptován z těchto třech důvodů:

- převažující studijní důvod modelování,
- situace intenzivního provozu VHD i cyklistické dopravy, která nasazení tohoto přístupu v rámci zjednodušení aspoň částečně umožňuje,
- cíl modelu je takové povahy, že celkový počet událostí není úplně stěžejním parametrem (není de facto nutné přesně kopírovat realitu provozu, primárním záměrem je k daným počtům událostí hledat odezvu – možno zpřesnit zvýšením počtu variant modelované provozní situace, vč. variant „uměle“ vytvořených přímým zadáním).

V případě provozu VHD o nižší intenzitě (s ojedinělými spoji) se doporučme přejít k simulaci podle jízdního řádu se stochastickým modelováním zpoždění, jak je popsáno v kap. 7.3.

Počet dotčených vozidel VHD

Ve srovnání s daty z dopravních průzkumů (s realitou) je ve variantě bez preference VHD počet vozidel VHD dotčených zpomalením nebo zastavením větší. Je to způsobeno tím, že ve srovnání s realitou, varianta bez preference vlastně vytváří téměř absolutní preferenci cyklistů. Jak již bylo popsáno, zelená pro cyklisty je ve výpočtu zařazena hned 2 s po stisku tlačítka, přičemž v praxi světelné signalizační zařízení reaguje s různými prodlevami. Průměrná doba čekání tak ve skutečném provozu činí $t_{ček}^{cycl} = 22,77$ s, zatímco v simulaci (tab. 6) se jedná o průměrné čekání v řádu jednotek sekund.

Nicméně při porovnání obou simulovaných variant navzájem je vidět, že preference VHD dokáže počet dotčených vozidel snížit výrazně, ve většině případů o více než polovinu. Počty dotčených vozidel VHD po zavedení tohoto typu preference nepřevyšují 15 % (v průměrném vyjádření za všechny replikace), což je z kvalitativního úhlu pohledu velmi příznivé. Požadovaný pozitivní efekt se tak v tomto ohledu podařilo prokázat.

Je ale nutné upozornit na otázku případné skutečné konfigurace preference VHD v praxi. Vzhledem k dalším okolnostem, které jsou popsány na konci kap. 6.2 (např. liniová koordinace) a které je doporučeno z hlediska praxe reflektovat, lze očekávat přínos menší. Lze ale konstatovat, že i tak je zde dostatečný prostor současnou situaci více či méně zlepšit.

Průměrná a maximální doba čekání cyklistů před přejezdem

U průměrných dob čekání cyklistů došlo zavedením preference VHD přirozeně k jejich prodloužení. Nicméně, v žádném simulovaném případě průměr těchto dob nepřevyšuje 30 s. Jedná se o hodnoty, které se pohybují okolo současné průměrné hodnoty $t_{ček}^{cycl} = 22,77$ s.

Při uvažování tohoto procentuálního vyjádření tak ke kvalitativnímu zhoršení prakticky nedochází. Nicméně, je to do jisté míry iluzorní závěr. Problém je, že u cyklistů v navrhovaném stavu dochází v podstatě ke dvěma situacím. Pokud není v řešeném úseku vozidlo VHD, cyklista má téměř absolutní preferenci, jako je tomu při uvažování varianty bez preference VHD (resp. s preferencí cyklistů). Platí i podmínka uplynutí zadané doby od minulého intervalu volného vstupu ($t_{min}^{cycl} = 30$ s). V tomto případě u cyklistů dochází oproti realitě ke kvalitativnímu zlepšení (odjíždějí prakticky vzápětí po stisknutí tlačítka). Problém je ale druhá situace, kdy se k přechodu blíží skupina vozidel VHD za sebou. Doba čekání před přejezdem pak může rapidně narůst (viz průměry maximálních hodnot v tab. 6). Čekání po takovou dobu je velmi nepříjemné a navíc může cyklistu motivovat ke snaze si čekání zkrátit a přejet na červenou, což je nežádoucí i z hlediska bezpečnosti provozu. Z toho důvodu by bylo nutné do aplikovaného systému preference VHD vložit podmínku pro maximální možnou dobu čekání cyklisty od stisku tlačítka, kdyby pak byla realizována jízda cyklisty i bez ohledu na přítomnost vozidel VHD. Přirozeně toto by vedlo k nárůstu počtu dotčených vozidel VHD oproti zde simulované situaci.

Počet intervalů volného vstupu (zelených) pro cyklisty

Počet zelených pro cyklisty lze charakterizovat jako přibližně stejný, popř. mírně snížený, oproti stavu bez preference VHD. Jedná se o distribuci těchto intervalů v čase, nikoli o jejich absolutní počet.

Částečně to koresponduje i s provozním hlediskem, kdy jeden interval (zelenou) obecně využívá malý počet přejíždějících cyklistů. Ve většině případů sledovaných v rámci uvedených průzkumů se jednalo skutečně zpravidla o jednotlivé cyklisty.

V případě simulace prázdninového provozu pak zavedení preference VHD dokonce přineslo nárůst počtu intervalů volného vstupu (zelených), neboť cyklisté, kteří původně „přejeli spolu“, v simulaci přejíždějí samostatně.

Všechny hodnoty v tab. 6 jsou aritmetickým průměrem výsledků za všech 365 replikací (simulací dané provozní situace). Model samotný pak poskytuje i další vyhodnocení (maximum, minimum, směrodatnou odchylku).

Tab. 6 – Výsledky simulace kolizního bodu, průměrné hodnoty za 365 replikací

Modelovaná provozní situace	Pracovní den odpoledne I 15:15 – 16:00		Pracovní den odpoledne II 16:00 – 16:45		Prázdniny pracovní den ráno 7:05 – 7:50	
	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
Počet vozidel VHD ve směru západ	60,34		49,04		45,07	
Počet vozidel VHD ve směru východ	56,86		46,95		33,76	
Počet cyklistů ve směru sever	24,61		24,05		13,73	
Počet cyklistů ve směru jih	25,29		29,54		11,62	
Počet dotčených vozidel VHD na západ	16,35	7,85	13,45	7,04	9,58	3,92
Počet dotčených vozidel VHD na východ	18,09	2,09	14,78	2,09	7,42	0,44
Počet dotčených vozidel VHD [%] na západ	27,10 %	13,01 %	27,43 %	14,36 %	21,26 %	8,70 %
Počet dotčených vozidel VHD [%] na východ	31,81 %	3,68 %	31,48 %	4,45 %	21,98 %	1,30 %
Průměrná doba čekání cyklistů [s] na sever	5,44	22,63	5,79	20,10	4,26	19,30
Průměrná doba čekání cyklistů [s] na jih	5,33	24,78	5,92	19,93	2,15	28,34
Maximální doba čekání cyklistů [s] na sever	23,64	151,53	24,16	139,23	20,08	125,60
Maximální doba čekání cyklistů [s] na jih	24,21	180,03	24,59	142,34	11,30	183,75
Počet intervalů volného vstupu (zelených) pro cyklisty	25,29	24,73	29,54	27,54	11,62	16,41

Zdroj: Autor

8. KOMENTÁŘ K PRAXI

Výsledky realizovaného modelového posouzení, byť je jen ve studijní rovině, vedou k následujícím závěrům.

Bylo prokázáno a kvantifikováno, že k negativnímu ovlivňování (zpomalování nebo zastavování) vozidel VHD vlivem jízdy cyklistů přes přejezd pro cyklisty na Palackého třídě v Pardubicích skutečně dochází. Ve špičce je ve skutečnosti dotčeno až 24 % vozidel VHD.

Pomocí simulačního modelu téměř absolutní preference vozidel VHD (s jedinou výjimkou, kdy vozidlo vstupuje do příslušného úseku Palackého třídy a cyklisté již mají zelenou) bylo prokázáno, že počet negativně dotčených vozidel lze takto snížit na průměrně 8,02 % ze všech tudy projíždějících vozidel VHD (průměrné hodnoty jsou přitom pod hranicí 15 %). Kvalitativní přínos lze popsat jako snížení počtu dotčených spojů o 50 a více procent.

Uvedené řešení ale vykazuje dva problémy:

- doba čekání cyklistů může být neúměrně prodloužena, největší průměr z maximálních hodnot dosahuje až 183,75 s (vůbec maximální hodnota doby čekání byla dokonce 827 s), což je z kvalitativního úhlu pohledu nepřijatelné,
- řešení nerespektuje individuální automobilovou dopravu (liniovou koordinaci křižovatek).

K tomu je z provozního úhlu pohledu ještě nutno zmínit, i případnou míru rozsahu preference u VHD. Je otázkou, zdali by příslušným technickým zařízením pro přihlášení do preference byla vybavena úplně všechna tudy projíždějící vozidla.

Otázkou je to např. u vozidel dálkových linek, která tudy projíždějí ve velmi omezeném rozsahu. Instalace hardwaru do vozidel může být v těchto případech neefektivní, ale i nepraktická z hlediska případných různých systémů v různých městech, kterými by dálková linka potenciálně byla vedena. Možná je to zároveň námětem k myšlence jisté „interoperability“ systémů preference. Nicméně toto je nad rámec zaměření tohoto článku.

Vzhledem k tomu, že výsledné řešení musí na výše uvedené problémy reagovat, bylo od dalšího rozšiřování modelu v tomto směru upuštěno. Finální řešení by bylo vhodné implementovat do tzv. inteligentního dopravního systému, který by řešil řízení dopravy v komplexním úhlu pohledu, vč. např. liniové koordinace křižovatek apod.

Předložené řešení je ale důležité v tom, že ukazuje potenciál, který případná aplikace preference VHD má a ukazuje možnost, jak tuto specifickou kolizní situaci dále řešit a provoz dále zkvalitňovat, byť se popsaný efekt zpomalení nebo zastavení vozidel VHD odstranit zcela nedá.

Sekundárně byl ověřen i stav, kdyby byla cyklistům poskytnuta téměř absolutní preference. Negativní vliv na provoz VHD by byl posílen, přičemž lze očekávat zpomalení nebo zastavení v rozmezí 20 – 30 % spojů VHD.

Poskytnuté řešení je velmi citlivé na nastavení vstupních podmínek simulace. Podmínky, za kterých bylo uvedených výsledků dosaženo, jsou popsány. Nicméně autor tímto prosí případné zájemce o citování a použití uvedených hodnot, o konzultaci této citace. Jde o to, aby byla skutečně zajištěna kompatibilita použitých hodnot se všemi souvislostmi situace, kterou by tyto hodnoty měly ilustrovat. I jen zdánlivě nevýznamná okrajová podmínka výsledné řešení může podstatným způsobem ovlivnit.

ZÁVĚR

Závěrem je možné konstatovat, že cíl článku byl naplněn. V článku je upozorněno na specifický problém kolizního bodu dvou obecně preferovaných druhů dopravy, který na přejezdu pro cyklisty na Palackého třídě v Pardubicích vzniká. Problém je ilustrován a kvantifikován pomocí provedených dopravních průzkumů. Jsou představeny metody,

považované za vhodné pro vyhodnocování tohoto a podobných kolizních bodů. Jedna metoda pro výpočet propustnosti a druhá – simulace pro ověřování navrhovaných změn. Věcné řešení zde vznikajících konfliktů a tím i zvýšení kvality provozu je spatřováno v realizaci preferenčních opatření pro VHD (v činnosti světelného signalizačního zařízení). Potenciál tohoto opatření ke zvýšení kvality zejména pro cestující v MHD, stejně jako dopady na cyklisty, jsou doloženy pomocí výsledků ze za tímto účelem vytvořeného simulačního modelu.

Z hlediska současného poznání v oboru technologie a řízení dopravy je zde přínos v podobě aplikace metody stanovování propustnosti kolizního bodu primárně určené pro železniční dopravu do prostředí městské dopravy (silniční, cyklistické a veřejné hromadné), vč. potřebných úprav této metody. Dalším přínosem je vytvořený simulační model pro tuto specifickou situaci. Přestože byl model vytvořen pro toto konkrétní místo, po drobných úpravách je možné jej aplikovat i na jiných podobných kolizních bodech. Z hlediska modelování byla aplikována možnost pseudonáhodných intervalů mezi významnými událostmi (příjezdy cyklistů a vstupy vozidel VHD do modelovaného systému) s předem neurčeným počtem událostí v rámci výpočetního období. Stručně jsou vyjmenovány aspekty a úskalí tohoto postupu.

Článek je součástí výzkumného záměru „Člověk v dopravním provozu“, kterému se Katedra technologie a řízení dopravy Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice věnuje v rámci Partnerské sítě Katedry psychologie Filozofické fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) *Dopravní podnik města Pardubic* [online]. c2016 [cit. 2016-07-01]. Dostupné z: <<http://www.dpmp.cz>>.
- (2) MOLKOVÁ, T. et al. *Kapacita železničních tratí*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2010. 150 s. ISBN 978-80-7395-317-1.
- (3) BULÍČEK, J. et al. *Modelování technologických procesů v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2011, 223 s. ISBN 978-80-7395-442-0.