



**Metodika hodnocení bezpečnosti na základě
časoprostorových trajektorií**

Metodika hodnocení bezpečnosti na základě časoprostorových trajektorií

Zpracovali:

Ing. Jiří Apeltauer, Ph.D., doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

Ing. David Herman

RCE systems, s.r.o.

Brno, 2019

Výsledek vznikl v rámci řešení projektu Systém preemptivní bezpečnostní analýzy silničních uzlů a dopravního proudu, reg. č. TH02010882, podpořeného Technologickou agenturou ČR v rámci programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje EPSILON.

OBSAH

1	Úvod.....	5
2	Teoretická bezpečnost v křižovatkách.....	5
2.1	Strukturální vlivy.....	5
2.2	Behaviorální vlivy.....	7
2.3	Výsledná bezpečnost.....	9
3	Reálná bezpečnost v křižovatkách.....	9
3.1	Regresivní hodnocení bezpečnosti.....	9
3.2	Preemptivní hodnocení bezpečnosti.....	10
4	Časoprostorové trajektorie.....	10
4.1	Pořizování.....	11
4.2	Doporučené postupy při pořizování videozáznamů.....	12
4.2.1	Pohled na scénu.....	12
4.2.2	Videozáznam složený z více zdrojů.....	12
4.2.3	Povětrnostní a světelné podmínky.....	13
4.2.4	Nastavení kamery.....	13
4.2.5	Georegistrace.....	13
4.3	Přesnost časové souřadnice.....	13
4.4	Přesnost prostorových souřadnic.....	15
4.4.1	Analytické určení přesnosti.....	15
4.4.2	Citlivostní analýza.....	16
4.4.3	Statistický model přesnosti.....	18
5	Indikátory konfliktních situací.....	21
5.1	Čas do kolize (TTC – Time To Collision).....	21
5.2	Čas po průjezdu (PET – Post-Encroachment Time).....	22
5.3	Čas do nehody (TA – Time to Accident).....	23
5.4	Prahové hodnoty.....	24
6	Preemptivní hodnocení bezpečnosti BA metodou (before and after).....	24
6.1	Princip metody.....	24
6.2	Postup měření.....	25
6.3	Statistická metoda Odds ratio (podíl pravděpodobností).....	25
7	Preemptivní hodnocení bezpečnosti srovnávací metodou.....	25
7.1	Princip metody.....	26
7.2	Postup měření.....	26
8	Zdroje.....	26

9	Seznam publikací, které předcházely metodice.....	27
10	Příloha - Ukázka detekce konfliktních situací v nástroji DataFromSky.....	28
10.1	Volba detekčního modelu.....	28
10.2	Volba indikátoru dopravního konfliktu.....	28
10.3	Výsledek detekce	29
10.4	Podrobná analýza dopravních konfliktů.....	30

PŘEDMĚT METODIKY, JEJÍ URČENÍ A PŘÍNOS PRO PRAXI

Cílem metodiky je podpořit zavedení inovativních metod založených na analýze obrazu v bezpečnostním posouzení pozemních komunikací a zejména křižovatek.

Metodika se ve své první části zaměřuje na problematiku bezpečnosti jako takové, přičemž se věnuje teoretickým a strukturálním vlivům na bezpečnost a systémům regresivního a preemptivního hodnocení bezpečnosti.

V další části se metodika věnuje metodám analýzy časoprostorových trajektorií z videozáznamu, doporučeným postupům při pořizování těchto videozáznamů a přesnosti určení prostorových a časových souřadnic vozidel.

V poslední části metodika popisuje indikátory konfliktních situací a preemptivní hodnocení bezpečnosti metodou before-after a srovnávací metodou.

Metodika je určena zejména pro pracovníky z řad státní správy a samosprávy, kteří odpovídají za návrh a provoz systémů spojených se sběrem dopravních dat a jejich vyhodnocením, a současně pro pracovníky z řad projektantů pozemních komunikací, kteří se věnují bezpečnostnímu posuzování pozemních komunikací obecně a bezpečnostním auditům pozemních komunikací.

Novost metodiky spočívá v zavedení systému hodnocení bezpečnosti provozu na vybraných typech pozemních komunikací s využitím metod analýzy obrazu videozáznamu, pořízeného s velké výšky, typicky prostřednictvím UAV (bezpilotních letadel).

1 ÚVOD

Parametry ovlivňující bezpečnost dopravního provozu v křižovatkách je možné rozdělit do dvou skupin, a sice na strukturální (prostorová dispozice křižovatky, přilnavost povrchu atd.) a behaviorální (rychlost reakce, zorné pole, kognitivní schopnosti, agresivita atd.). Tyto dvě skupiny jsou provázané a strukturální parametry jsou primárně navrženy na základě empirických zkušeností s chováním řidičů. Protože jsou strukturální parametry vesměs statické a jejich vliv na bezpečnost je zásadní, slouží v současnosti jako hlavní ukazatel bezpečnosti křižovatek. Behaviorální parametry jsou oproti tomu dynamické a to jak v rámci populace, tak v rámci jedince, a jejich přímé měření je velice obtížné po technické a finanční stránce. Jednou z možností je tak nepřímé sledování chování řidičů na základě časoprostorové analýzy trajektorie vozidla a hodnocení bezpečnosti na základě sledování konfliktních situací.

Dopravní konflikt definoval ve své práci například Tiwari [1] jako (v původním znění): “an observable situation in which two or more road users approach each other in space and time to such an extent that a collision is imminent if their movements remain unchanged”, což lze volně přeložit: pozorovatelnou situaci, ve které se dva, nebo více účastníků silničního provozu, vzájemně přibližuje v čase a prostoru takovým způsobem, že při extrapolaci jejich pohybu, a za předpokladu že jejich směr a rychlost zůstane neměnná, dojde ke kolizi. Přesto, že se zatím nepodařilo prokázat přímou závislost mezi počtem dopravních nehod a množstvím konfliktních situací, podařilo se prokázat, že pro hodnocení bezpečnosti nebo vhodnosti úprav je tato metrika reálně použitelná a vypovídající [3].

2 TEORETICKÁ BEZPEČNOST V KŘÍŽOVATKÁCH

Teorie bezpečnosti silničního provozu se uplatní zejména při návrhu nových křižovatek, nebo při rekonstrukci křižovatek stávajících. Vychází zejména z praktických zkušeností, fyzikálních dějů a fyziologie člověka.

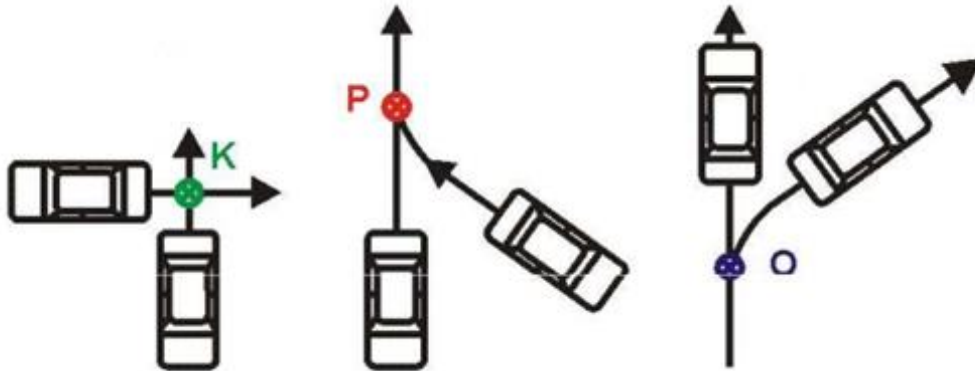
2.1 STRUKTURÁLNÍ VLIVY

Tyto vlivy bezprostředně souvisí s konkrétní křižovatkou a jejím projekčním návrhem. Z hlediska bezpečnosti provozu je nutné zajistit zejména:

- včasnou postřehnutelnost křižovatky,
- přehlednost jednotlivých ploch,
- přehlednost zařízení křižovatky,
- srozumitelnost organizace dopravy,
- potřebné rozhledové poměry,
- možnost průjezdu pro všechna uvažovaná vozidla bez zásahu do ostatních jízdních pruhů,
- minimální množství konfliktních ploch,
- psychologickou jednoznačnost,
- preferenci silnějších dopravních proudů.

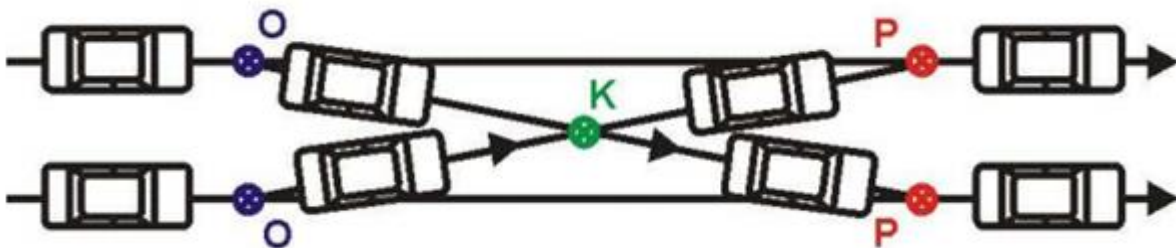
Pokud jsou všechny tyto požadavky splněny, je značná část rizika eliminována a řidič se může plně soustředit na zbývající nebezpečí, což jsou ostatní vozidla, se kterými se kříží v tzv. střetných bodech. Ty můžeme rozdělit následovně (obr. 1):

- Křížný (K) – střetný bod, v němž se jízdní směry vzájemně kříží.
- Přípojný (P) – střetný bod, v němž se dva nebo více jízdních směrů spojují do jednoho jízdního směru.
- Odbočný (O) – střetný bod, v němž se jeden jízdní směr rozvětňuje do dvou nebo více jízdních směrů.



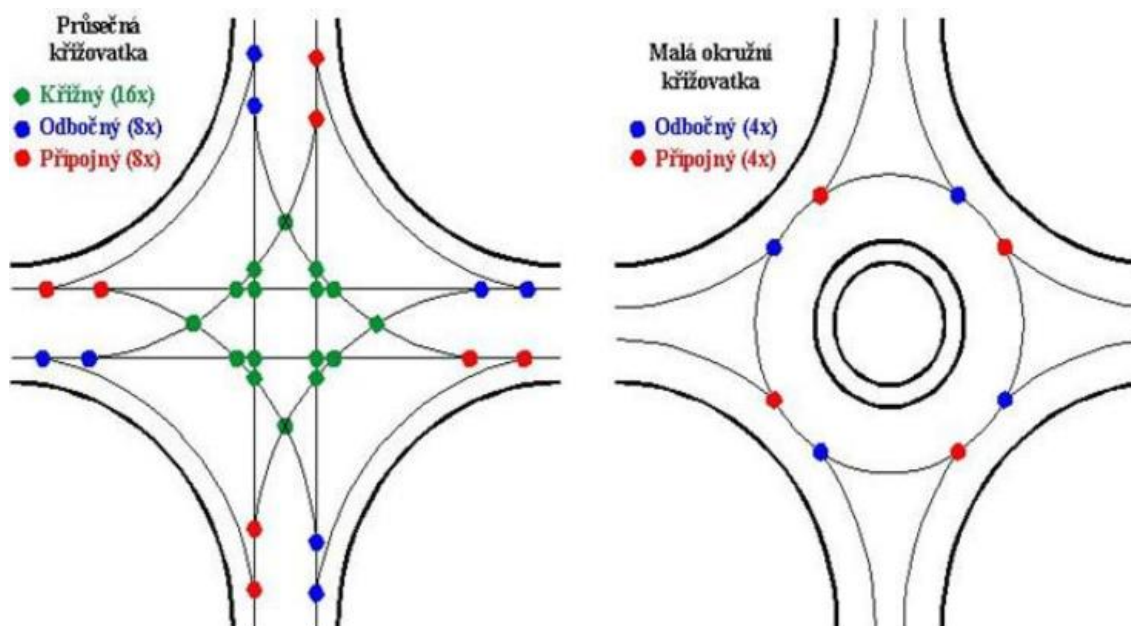
Obrázek 1: Typy střetných bodů.

Dále definujeme ještě průletový úsek (obr. 2), který vzniká kombinací všech zmíněných střetných bodů.



Obrázek 2: Průletový úsek.

Množství střetných bodů je závislé na typu křižovatky a konkrétním řešení a je snahou jejich množství eliminovat na minimum (obr. 3).

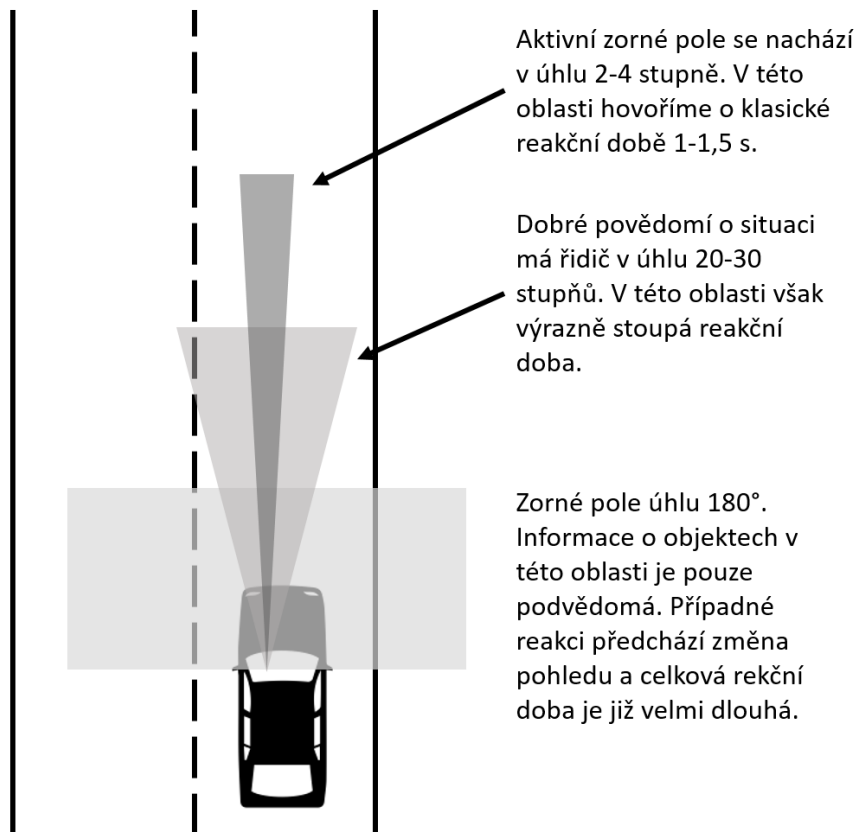


Obrázek 3: Příklad počtu střetných bodů podle typu křižovatky.

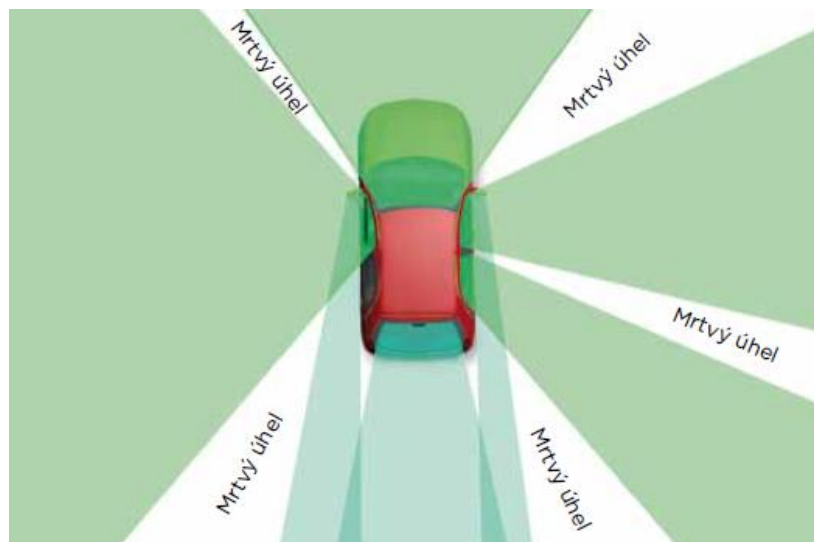
Na typu a geometrickém uspořádání křižovatky je závislá i míra rizika v jednotlivých střetných bodech. Nelze tedy klást úměru přímo mezi množstvím střetných bodů a bezpečnost ale je nutné jednotlivě posoudit každý střetný bod. Výsledná bezpečnost (respektive nebezpečnost) křižovatky je pak dána součtem rizika ve všech střetných bodech křižovatky.

2.2 BEHAVIORÁLNÍ VLIVY

Z pohledu této metodiky a časoprostorových trajektorií pod tímto pojmem nebereme v potaz čistě jen chování řidiče ale kombinaci řidič-auto, protože výsledné chování vozidla je nedílně výsledkem této interakce. Na straně řidiče bude do hry vstupovat především reakční čas, zkušenost, pozornost, únava, agresivita, věk, atd... Tyto charakteristiky jsou ale zároveň do značné míry ovlivněny parametry vozidla jako možnosti a výška rozhledu (obr. 4,5), reakční doba brzd, asistenční systémy, výkon motoru atd...



Obrázek 4: Vliv pozice objektu v zorném poli na povědomí.



Obrázek 5: Příklad mrtvých úhlů osobního vozidla (zdroj: BESIP).

2.3 VÝSLEDNÁ BEZPEČNOST

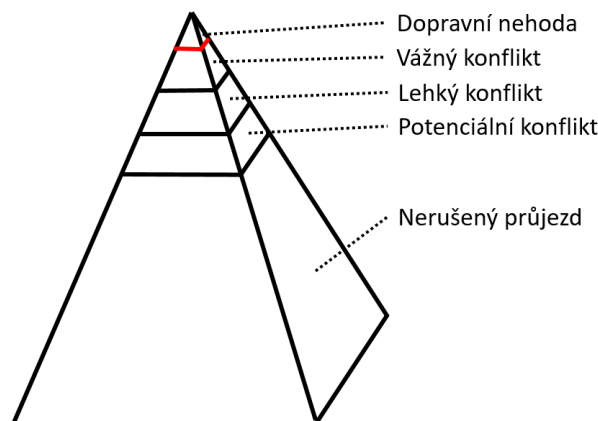
Výsledná bezpečnost v křižovatce je tedy kombinací všech výše uvedených (a neuvedených) veličin, které se navíc neustále mění v čase. Při návrhu křižovatky (nebo její úpravy) je možné vzít v potaz očekávané kombinace zorných polí, chování řidičů, geometrie křižovatky atd... Chování řidičů je však často neočekávané a parametry a provedení vozidel se diametrálně liší. Nelze tedy přesně měřit nebo určit, kterým směrem se konkrétní řidič při průjezdu křižovatkou dívá a jaká jsou jeho zorná pole. Rovněž průjezdy jednotlivých vozidel křižovatkou nejsou vždy stejné.

3 REÁLNÁ BEZPEČNOST V KŘIŽOVATKÁCH

I přes veškerou snahu v přípravné fázi se skutečné chování křižovatky, respektive řidičů jí projíždějící, ukáže až při uvedení křižovatky do provozu. Následně můžeme sledovat její reálnou bezpečnost.

3.1 REGRESIVNÍ HODNOCENÍ BEZPEČNOSTI

Tradičním hodnotícím kritériem bezpečnosti je nehodovost. Úroveň bezpečnosti určité dopravní lokace bývá měřena počtem a frekvencí dopravních nehod a zejména také stupněm závažnosti následků, které mohou být klasifikovány na základě újmy na zdraví, úmrtnosti nebo velikosti škody na majetku. Tento přístup vyžaduje dostupnost dostatečného množství informací o dopravních nehodách v dané lokaci shromážděných za dostatečně velký časový úsek potřebný k odlišení náhodných a opakovaných událostí o nehodách (obr. 6). Dopravní nehody jsou často ojedinělými událostmi i v dopravních uzlech náchylných k jejich výskytu. Dále je nutno podotknout, že ne všechny dopravní nehody jsou hlášeny a stupeň množství ohlášených nehod se liší dle daného regionu. Pro přesnou analýzu bezpečnosti uzlu na základě statistických metod jsou zapotřebí věrohodná a kvalitní data. Analýza dopravní bezpečnosti založená na vzniklých dopravních nehodách je tzv. reaktivní přístup, při kterém je nutný předpoklad výskytu dopravní nehody, než jsou provedena potřebná měření a kroky vedoucí k zavedení potřebných opatření. Tento přístup je také často zmiňován v otázkách etických. Situace se navíc opakuje i po provedení případných opatření a úprav a celý proces je tak zdlouhavý.



Obrázek 6: Kvantitativní rozdíl mezi dopravními nehodami a konflikty.

3.2 PREEMPTIVNÍ HODNOCENÍ BEZPEČNOSTI

Hodnocení bezpečnosti na základě konfliktních situací má zásadní výhodu v tom, že dopravních konfliktů se vyskytuje řádově více než dopravních nehod, takže je možné provést jejich věrohodné statistické vyhodnocení po relativně krátké době. Díky násobně vyššímu počtu můžeme rovněž konflikty věrohodně rozlišit na náhodné (založené pouze na behaviorálních prvcích) a konflikty systematické, kde je na vině i strukturální, tedy řešitelná složka.

Vzhledem k tomu, že není stanovena žádná přijatelná hladina dopravních konfliktů, je možné tuto metriku používat zatím ve dvou případech. Prvním je tzv. BA studie (before-and-after study), kdy je srovnáván stav před a po provedení úpravy křižovatky. Funkčnost tohoto přístupu je prokázána v několika studiích, např. [2,3]. Alternativním přístupem je srovnání několika podobných křižovatek (srovnávací metoda), kdy je však nutné zohlednit případné rozdíly v dopravním proudu a geometrii. Tento přístup je teoreticky méně probádaný a je potřeba k němu přistupovat obezřetně.

4 ČASOPROSTOROVÉ TRAJEKTORIE

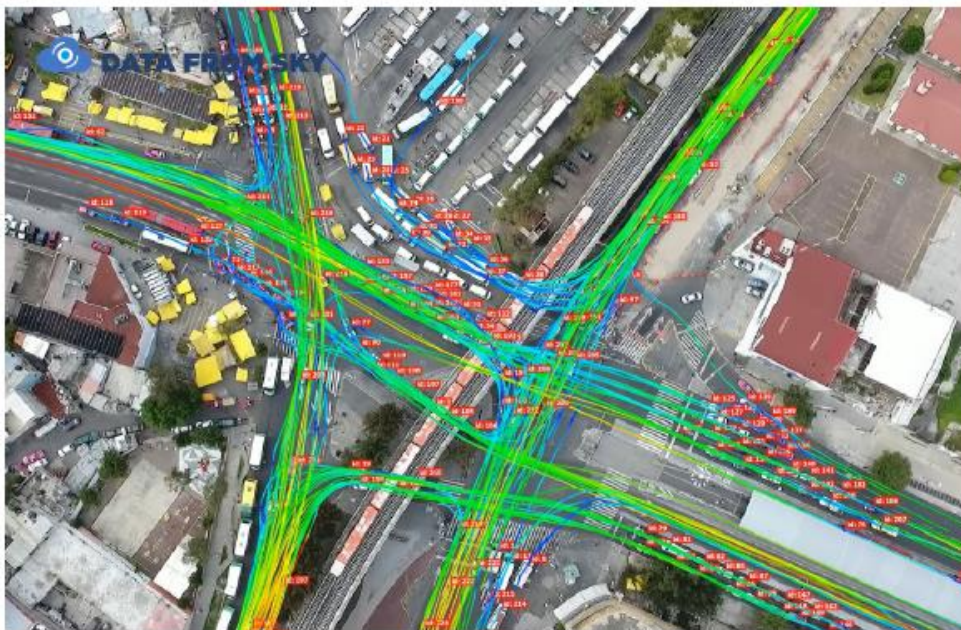
Chceme-li provádět hlubší analýzu chování vozidel a jejich vzájemné interakce, musíme znát ve značné podrobnosti vývoj polohy, rychlosti a směru všech vozidel v dané křižovatce a čase. Tyto geometrické a fyzikální charakteristiky můžeme zjistit například z časoprostorových trajektorií, což jsou souřadnice pohybu jednotlivých vozidel v prostoru a čase.

4.1 POŘÍZENÍ

Obecně lze časoprostorové trajektorie pořídit libovolným způsobem, který poskytne dostatečnou přesnost. V praxi je v drtivé většině případů využíváno strojové vidění (obr. 7), pomocí kterého je analyzován buď přímý přenos videa, nebo off-line videozáznam [8]. Alternativou je pak využití radarové technologie, která má však nesrovnatelně vyšší pořizovací náklady a nepřináší zásadní výhody například z pohledu přesnosti. Příklad detekcí a trajektorií je na následujících obrázcích.



Obrázek 7: Detekce vozidel v obraze pomocí strojového učení.



Obrázek 8: Trajektorie sestavené z jednotlivých detekcí a obarvené podle aktuální rychlosti.

4.2 DOPORUČENÉ POSTUPY PŘI POŘIZOVÁNÍ VIDEOZÁZNAMŮ

Videozáznam, jako zdroj informací, má celou řadu výhod, avšak je potřeba dodržet několik zásad při jeho pořizení, aby bylo možné následně extrahovat časoprostorové trajektorie s dostatečnou přesností.

4.2.1 Pohled na scénu

Klíčový parametr, který je determinující pro veškeré další kroky a analýzy. Pokud bude videozáznam pořizen ze špatného úhlu nebo nebude zabrána celá scéna, nelze tyto nedostatky již odtrinit. Jetedy potřeba dodržet následující podmínky:

1. Osa optické soustavy by měla s povrchem země svírat úhel $30^\circ - 90^\circ$. S rostoucím úhlem roste i přesnost transformace časoprostorových trajektorií do reálných souřadnic.
2. V záběru by se mělo vyskytovat minimum statických a dynamických okluzí (zákrytů). Algoritmy jsou schopny částečné nebo krátké okluze kompenzovat, při větším rozsahu však může být znemožněna extrakce. Pokud není možné se okluzím zcela vyvarovat, je vhodné provést pilotní měření a ověření, že je možné požadované trajektorie vyhodnotit.
3. Detekovaný objekt musí mít požadovanou velikost v pixelech (definuje výrobce detekčního software). Kamera tedy nesmí být příliš blízko, příliš daleko a je nutné požit vhodné rozlišení videozáznamu.
4. Pohyb snímacího zařízení musí být minimální a oblast zájmu se musí vyskytovat po celou dobu záznamu v přibližně stejném místě. Drobné nízkofrekvenční pohyby je možné softwarově kompenzovat.

4.2.2 Videozáznam složený z více zdrojů

Tato situace může nastat ve dvou případech. První případ je situace, kdy potřebujeme na sebe navázat několik videozáznamů kratší délky. To může nastat třeba při pořizování videa pomocí UAV s omezenou dobou letu, kdy se střídají dvě UAV. V takovém případě je potřeba:

1. Videa musí mít dostatečný časový překryv, nejméně však 30 s.
2. Obě snímací zařízení musí mít shodné snímací soustavy se stejným nastavením (zejména fps, rozlišení, expozici, ISO, atd.).
3. Úhlový rozdíl obou soustav byl co nejmenší a zároveň každá soustava snímala vždy ze stejného místa.

Ve druhém případě jde o situaci, kdy není možné zájmovou oblast zachytit pomocí jednoho zařízení, pak je potřeba zajistit:

1. Dostatečný překryv obou obrazových vstupů tak, aby i při pohybech snímacího zařízení byl vždy alespoň 20%, v případě překryvu v rozích alespoň 50% z důvodů vysoké distorze v těchto oblastech.
2. Obě snímací zařízení musí mít shodné snímací soustavy se stejným nastavením (zejména fps, rozlišení, expozici, ISO, atd.).

V případě statických instalací na stožárech nebo budovách tyto problémy často odpadají, případné překryvy mohou být nižší, ale je nutné ověřit možnost extrakce trajektorií.

4.2.3 Povětrnostní a světelné podmínky

V tomto případě je nutné dodržet obecné zásady platné pro obrazový záznam:

1. Vyvarovat se extrémním světelným podmínkám jako protisvětlo, odlesky, vysoký kontrast (např. stíny za slunečného počasí), tma, atd.
2. Pořizovat videozáznam za dobré viditelnosti. Prach, smog, nebo mlha mohou znemožnit extrakci trajektorií.
3. Vyvarovat se nepříznivým klimatickým vlivům jako vítr a srážky. V případě pořízení videozáznamu z UAV jsou tyto jevy zásadní.

Optimální obrazová kvalita je dosažena za všesměrového světla (zataženo) v denních hodinách. V případě větrných oblastí nebo období jsou tyto atmosférické projevy minimální zejména brzy po ránu.

4.2.4 Nastavení kamery

Obecně je vhodné pořídit videozáznam s nejvyšší možnou kvalitou, nejméně však:

1. Snímkovací frekvence by měla být alespoň 15 snímků/s, optimálně pak podle požadovaného časového rozlišení nebo rychlosti sledovaných předmětů (viz. Přesnost časové souřadnice)
2. Datový tok videa musí být takový, aby nedošlo ke ztrátě detailu sledovaného objektu. Například v případě snímání scény z přibližné výšky 200 metrů za použití kamery s horizontálním zorným úhlem 120° je vhodné, aby kamera měla nastaveno snímací rozlišení 4k a datový tok použitého video formátu byl minimálně 50 Mb/s.
3. Délka expozičního času a ISO musí být taková, aby nedocházelo k rozmazání sledovaných objektů.
4. Kamera musí být řádně zaostřena! Také je nutné se vyvarovat případnému přeastřování v průběhu videozáznamu.

U objektivů s výrazným skreslením, například typu rybího oka, je nutné zvážit dodatečnou kalibraci v závislosti na pokynech výrobce detekčního software.

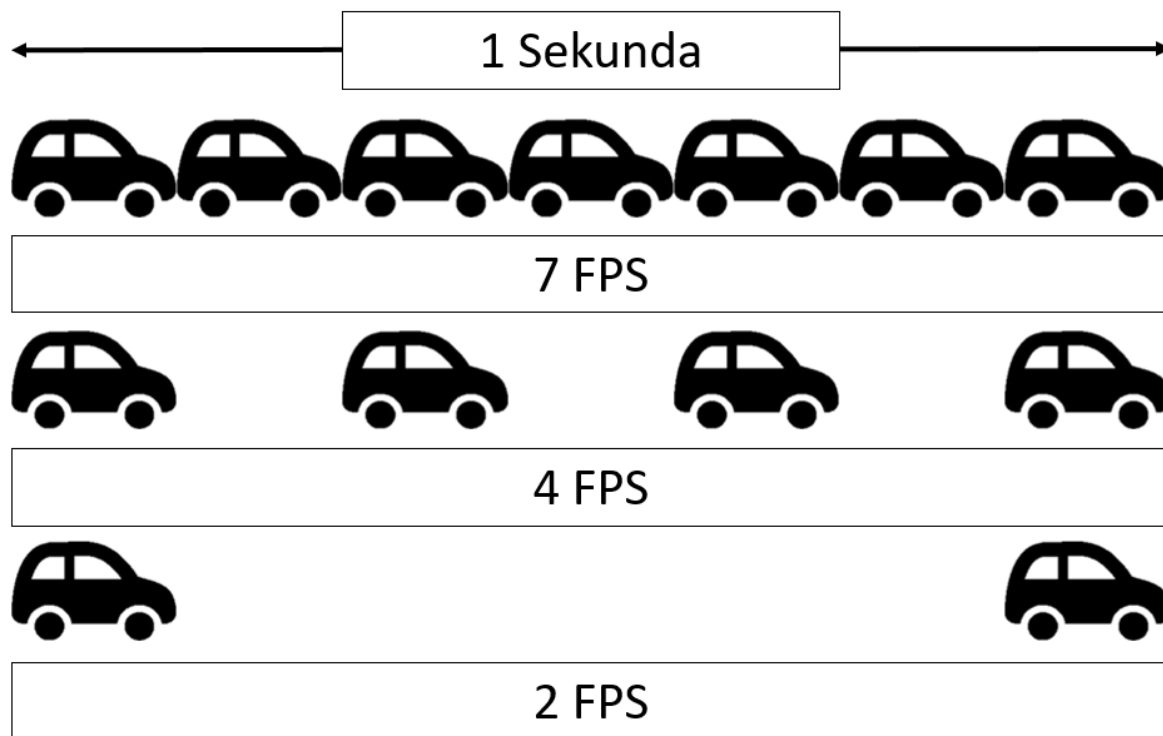
4.2.5 Georegistrace

Aby bylo možné provést transformaci do reálných souřadnic, musí být v záběru rovnoměrně rozmístěny výrazné body, kterým je možné přiřadit přesné souřadnice. Jedná se například o vodorovné dopravní značení, obrubníky, šachty, nároží atd.

4.3 PŘESNOST ČASOVÉ SOUŘADNICE

Pro účely preemptivního hodnocení bezpečnosti je důležité znát přesnost časoprostorových trajektorií, která je závislá v první řadě na použité technologii. V časové rovině lze přesnost zpravidla určit snadno a v absolutních hodnotách. Přesnost je dána snímkovací frekvencí (snímků

za sekundu, FPS, obr. 9) která je vlastností daného zařízení a je nutné zvolit vhodnou hodnotu v závislosti na rychlosti sledovaných vozidel. Při rychlosti vozidel 50 km/h a obvyklé snímkovací frekvenci 30 snímků/s urazí vozidlo mezi snímky přibližně 0,5 m. Pokud chceme zjistit změnu rychlosti, potřebujeme nejméně tři hodnoty, mezi kterými vozidlo urazí cca 1 m atd.

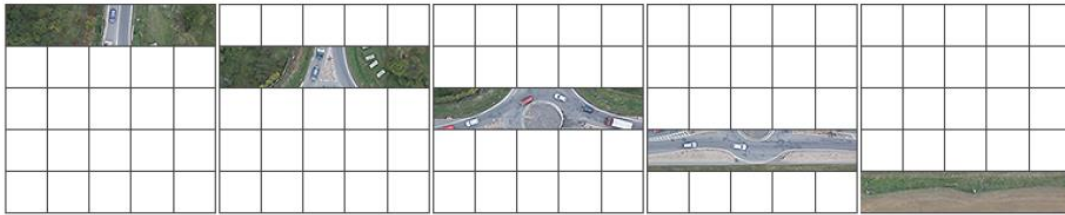


Obrázek 9: Vliv Počtu snímků za sekundu (FPS) na přesnost určení polohy.

Snímkovací frekvence běžných kamer (které jsou však pro dané účely plně vyhovující) může lehce oscilovat a rovněž může dojít k drobným deformacím vlivem použité technologie, kdy u CCD je celý snímek z čipu odečítán naráz (obr. 10), kdežto u CMOS je obrazový signál odečítán po řádcích (obr. 11). U velmi rychlých dějů je tak vhodné zohlednit i tyto aspekty.



Obrázek 10: Princip odečítání obrazu z CCD čipu. Celý obrázek je odečten naráz v jednom okamžiku.



Obrázek 11: Princip odečítání obrazu z CMOS čipu. Obrázek je odečítán po řádcích.

4.4 PŘESNOST PROSTOROVÝCH SOUŘADNIC

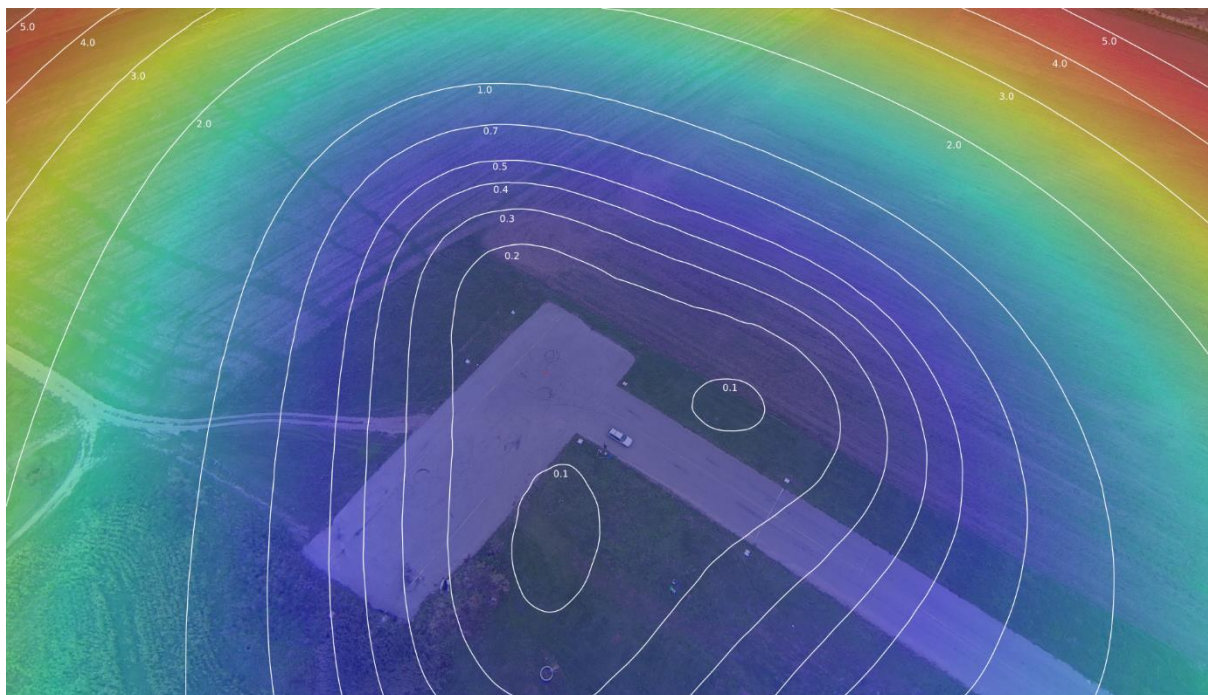
Oproti časové rovině je určení přesnosti v prostorové rovině výrazně složitější. Obecně můžeme přesnost určit třemi způsoby:

- analytickým výpočtem,
- citlivostní (numerickou) analýzou,
- statistickým modelem.

Volba metody (nebo metod) se odvíjí od konkrétní situace, pro kterou přesnost hodnotíme.

4.4.1 Analytické určení přesnosti

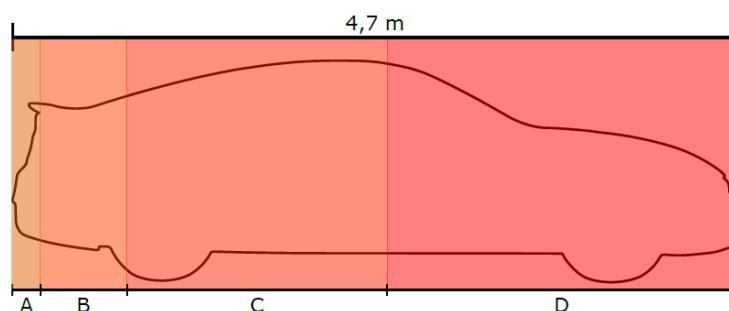
Tento postup je spíše teoretický a je uveden především pro úplnost. Transformaci bodu v obraze do reálných souřadnic lze analyticky popsat a ze své podstaty je tak „zcela“ přesná. Problém je ovšem v určení vstupních parametrů jako například vlastnosti optiky nebo poloha kamery v prostoru. Pokud mám k dispozici dostatek referenčních bodů, můžeme vytvořit model, na jehož základě jsme schopni přesnost určení pozic odhadovat (obr. 12) [10]. Celý proces je však velice komplikovaný.



Obrázek 12: Ukázka odhadu přesnosti (v metrech) transformace bodu v obraze do reálných souřadnic při testovacím měření.

4.4.2 Citlivostní analýza

Tento přístup je založen na numerickém modelu sledované veličiny a jejích dopadů. Je vhodný například pro určení přesnosti detekce závažnosti potenciálního konfliktu. Možnost použití této metody si uvedeme na příkladu, kdy chceme hodnotit závažnost kolize podle toho, jak hluboko pronikne vozidlo do vozidla před sebou, např. v případě nedodržené bezpečné vzdálenosti a náhlého brždění. Pro účely příkladu rozdělíme vozidlo na kolizní zóny A-D (obr. 13, toto rozdělení je pouze ilustrativní).



Obrázek 13: Ilustrace rozdělení automobilu do kolizních zón A až D podle závažnosti. Popis kolizních zón je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1: Ilustrativní definice kolizních zón.

Označení KZ	Míra závažnosti	Šířka pásma KZ
A	lehká kolize	20 cm
B	středně vážná kolize	60 cm
C	vážná kolize	180 cm
D	extrémní kolize	celé vozidlo

V rámci příkladu budeme modelovat potřebnou přesnost určení času do kolize (TCC), jakožto základního indikátoru konfliktních situací. Požijeme rovnici (odkaz na rovni) pro výpočet TTC a a budeme uvažovat situaci dvou vozidel jedoucích v obci při TTC přibližně 2s:

- Pozice předního nárazníku sledujícího vozidla f je $X_f(t) = 0$ [m]
- Pozice předního nárazníku vedoucího vozidla l je $X_l(t) = 23,6$ [m]
- Délka vedoucího vozidla je $L_l(t) = 4,7$ [m]
- Rychlost vedoucího vozidla l je $V_l(t) = 13,9$ [ms⁻¹]
- Rychlost sledujícího vozidla f je $V_f(t) = 23,4$ [ms⁻¹]

Pro jednotlivé kolizní zóny A-D spočteme čas TTC podle následujícího vzorce, kdy parametr S je vzdálenost na jakou pronikne bourající vozidlo do vozidla před sebou:

$$TTC_{Sf}(t) = \frac{X_l(t) - X_f(t) - L_l + S}{V_f(t) - V_l(t)} \quad (1)$$

Pro zjednodušení budeme uvažovat, že vzdálenost S je vždy do středu dané kolizní zóny. Pro jednotlivé kolizní zóny tedy dostaneme:

- TTC_A: 2,00 – 2,02 s
- TTC_B: 2,02 – 2,09 s
- TTC_C: 2,09 – 2,25 s
- TTC_D: 2,25 – 2,50 s

Na základě těchto časů, respektive jejich rozptylu, můžeme následně vypočítat, s jakou přesností je nutné určit pozici vozidla, pokud chceme detekovat dopravní konflikt dané závažnosti s danou přesností.

Tabulka 2: Výpočet potřebné přesnosti určení relativní vzdálenosti vozidel na dané hladině přesnosti.

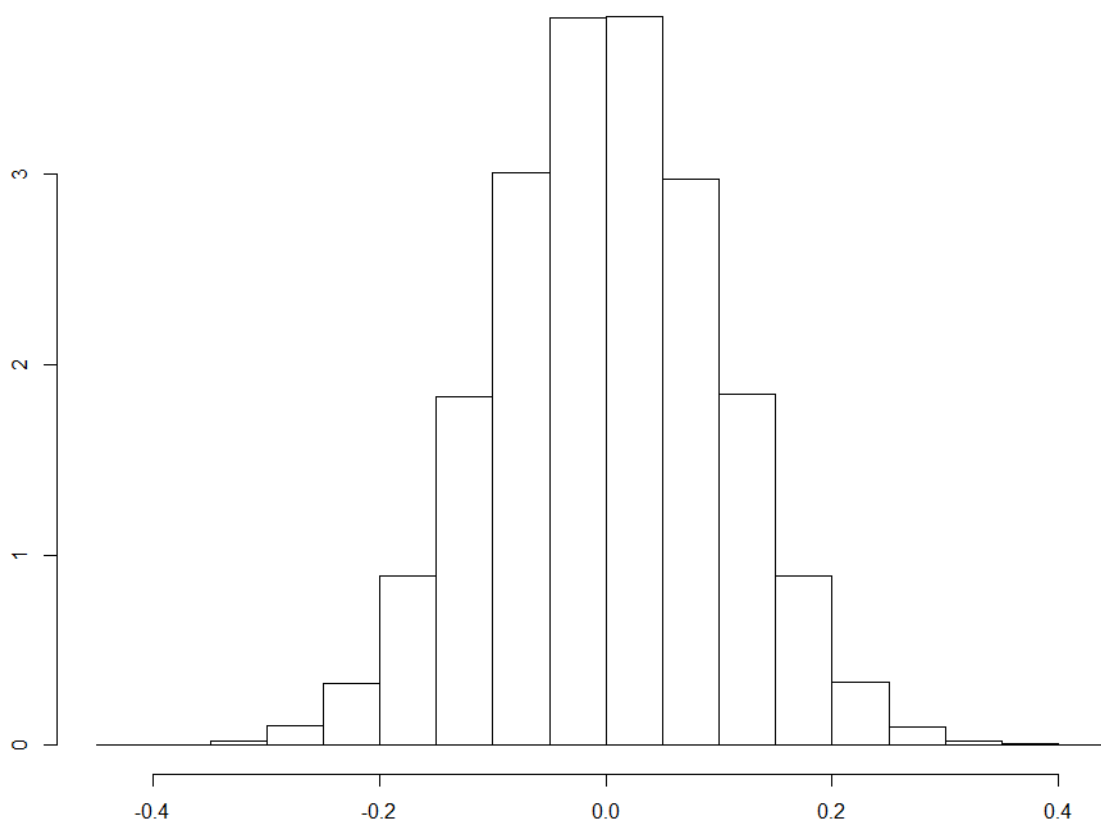
Přesnost určení TCC _s	Velikost časového intervalu [ms]				Přesnost určení relativní vzdálenosti [mm]			
	A	B	C	D	A	B	C	D
60%	8,5	25,4	76,2	88,9	80	240	720	845
70%	6,3	19	57,1	66,7	60	180	540	630
80%	4,2	12,7	38,1	44,4	40	120	360	420
90%	2,1	6,3	19	22,2	20	60	180	21

Z tabulky 2 je patrné, že pro dosažení přijatelné spolehlivosti detekce lehkých konfliktů jsou kladeny vysoké nároky na přesnost detekce vozidla v prostoru 2 cm. Pro závažnější konflikty a nižší hladinu spolehlivosti však požadavek na přesnost rychle klesá k hodnotám cca 20 cm, kterých je možno s dnešní technologií (rok 2019) dosáhnout.

4.4.3 Statistický model přesnosti

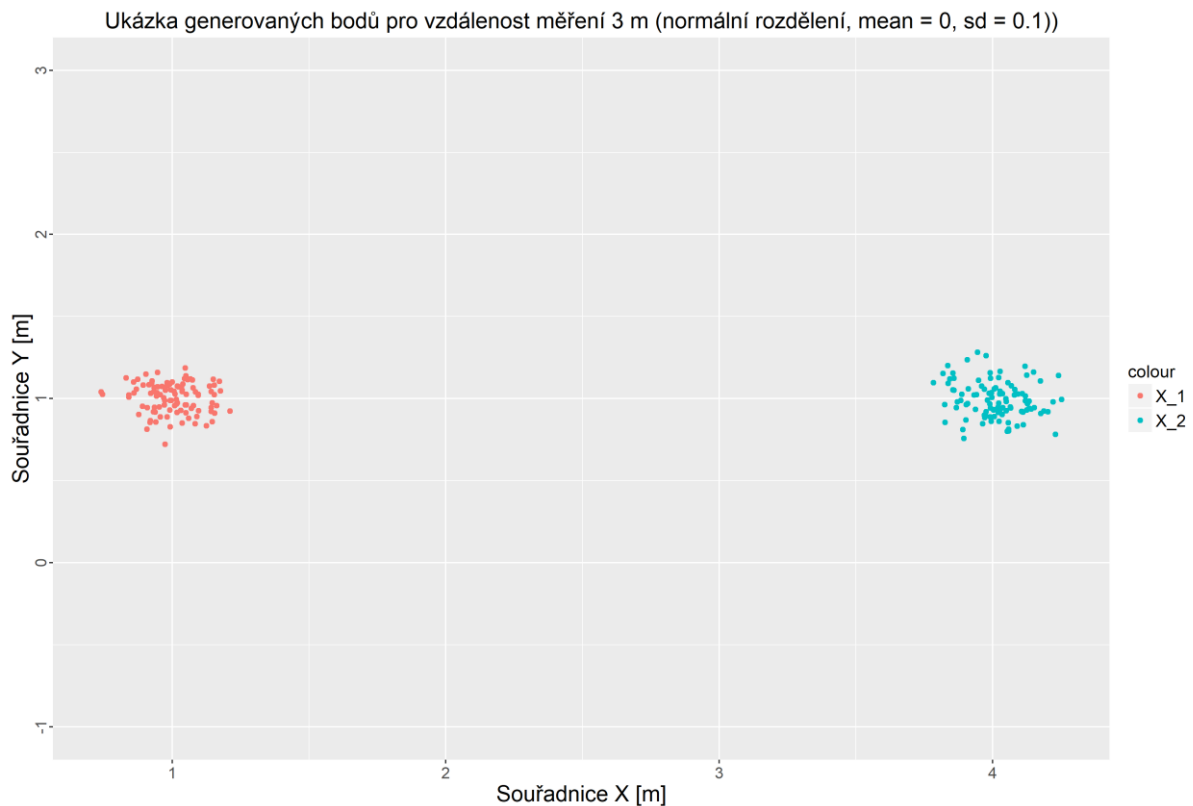
Tento postup vychází z předpokladu, že detekce vozidla, respektive jeho prostorová souřadnice, se pohybuje náhodně kolem přesné hodnoty. Pokud by jsme tedy měly dostatečný počet detekcí z jednoho místa, bude průměr těchto detekcí blízky reálné hodnotě. Analogicky pokud se vozidlo bude pohybovat po přímce, bude vzdálenost bodů od teoretického průjezdu oscilovat v rámci statistického, pravděpodobně normálního, rozdělení. Přesný tvar a parametry rozdělení je nutné určit individuálně. Pokud je toto rozdělení známé jsme schopni odhadnout přesnost určení polohy a dalších veličin. Pro následující příklad budeme uvažovat normální rozdělení o těchto parametrech (obr. 14):

- střední hodnota = 0
- směrodatná odchylka = 0,1



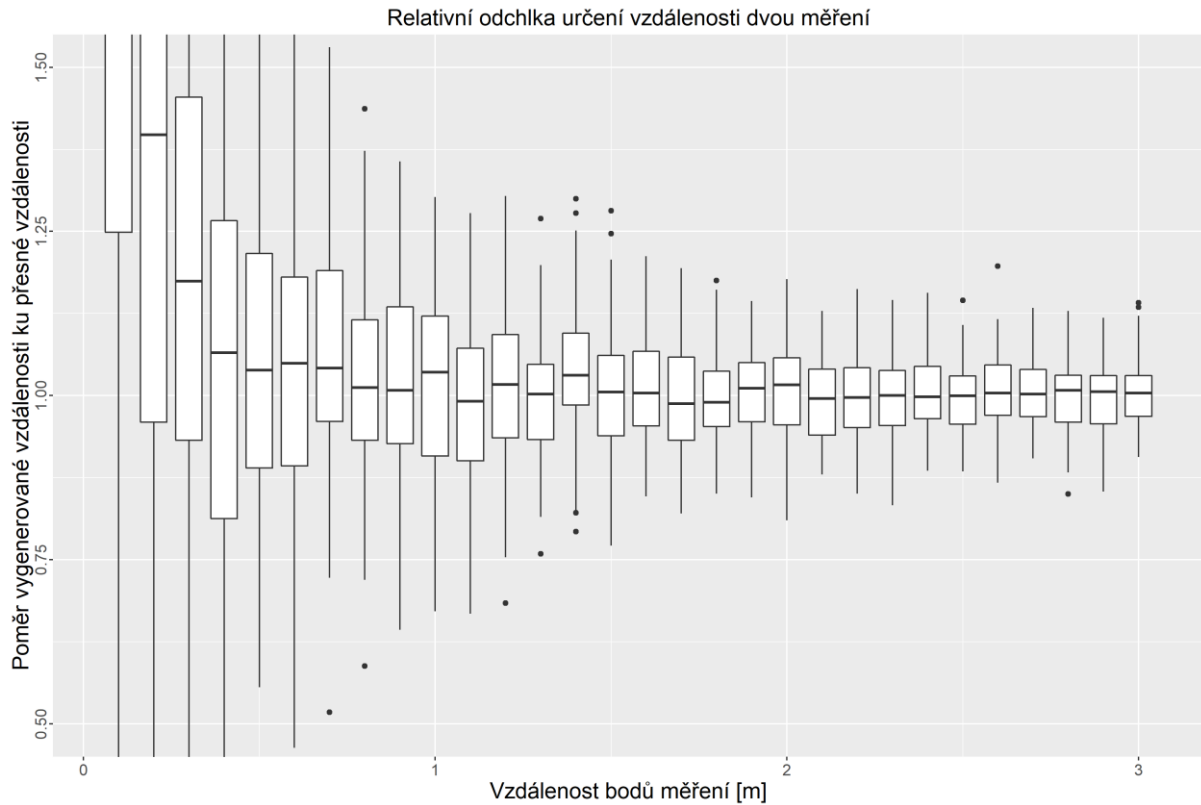
Obrázek 14: Příklad možného rozdělení určení přesnosti prostorové souřadnice vozidla

Pro toto rozdělení můžeme následně vygenerovat množinu bodů, která bude reprezentovat jednotlivé detekce, v potřebných krocích a vzdálenostech (obr. 15). Například v krocích 0,1 m a vzdálenosti 0,1 až 3 m.



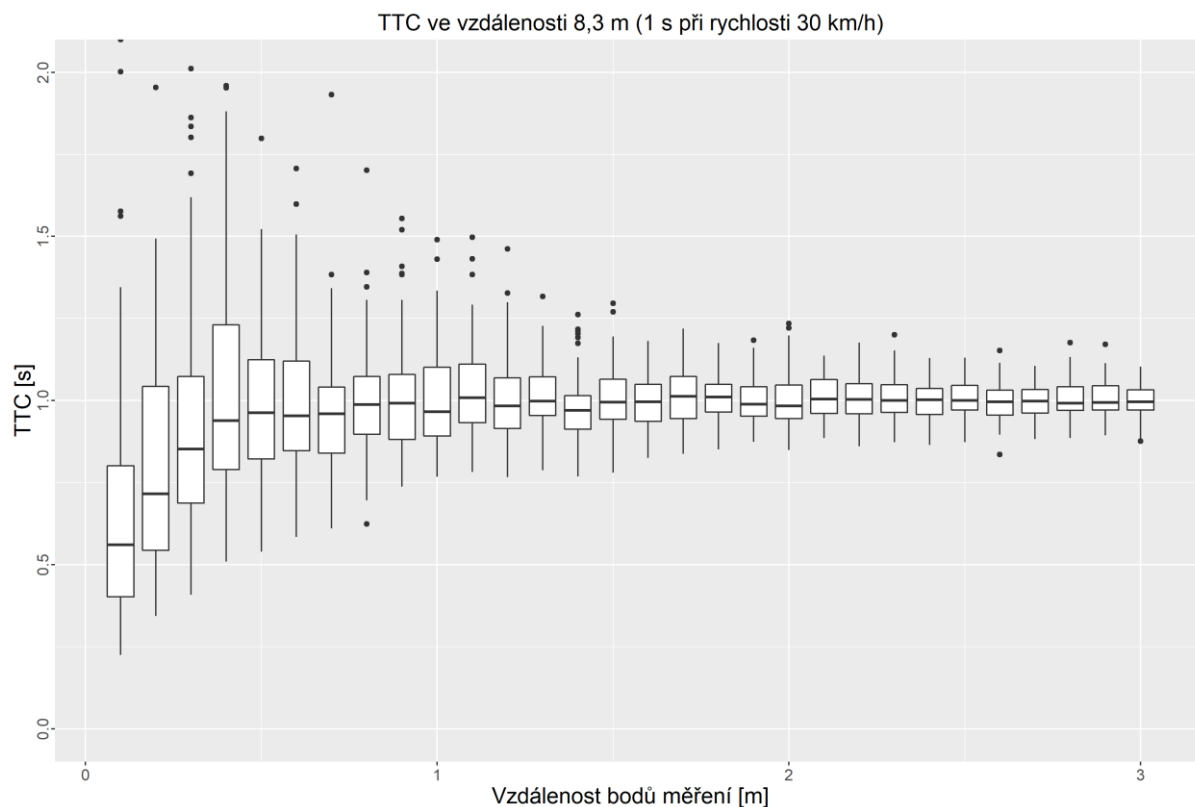
Obrázek 15: Ukázka generovaných bodů pro vzdálenost měření 3 m dle rozdělení z obrázku 14.

Pro takto vygenerované dvojice bodů můžeme následně spočítat vzdálenost a srovnat ji s přesnou hodnotou, kterou v našem případě známe a je rovna 0,1 až 3 m. Abychom jednotlivé vzdálenosti mohly vzájemně srovnat, budeme pracovat s poměrem skutečné a spočtené vzdálenosti.



Obrázek 16: Relativní odchylka určení vzdálenosti dvou měření.

Dle očekávání se chyba s narůstající vzdáleností bodů měření snižuje (obr. 16), cca od dvou metrů již velice pomalu a je závislá v podstatě čistě na použitém rozdělení jednotlivých detekcí. Pokud ze stejné simulace spočítáme TTC (obr. 16) a srovnáme jej s přesnou hodnotou 1s, zjistíme, že při detekční vzdálenosti 2 m se chyba určení pohybuje v řádu desetin sekundy, což může být v řadě případů zcela dostatečné.



Obrázek 16: Relativní odchylka určení TTC.

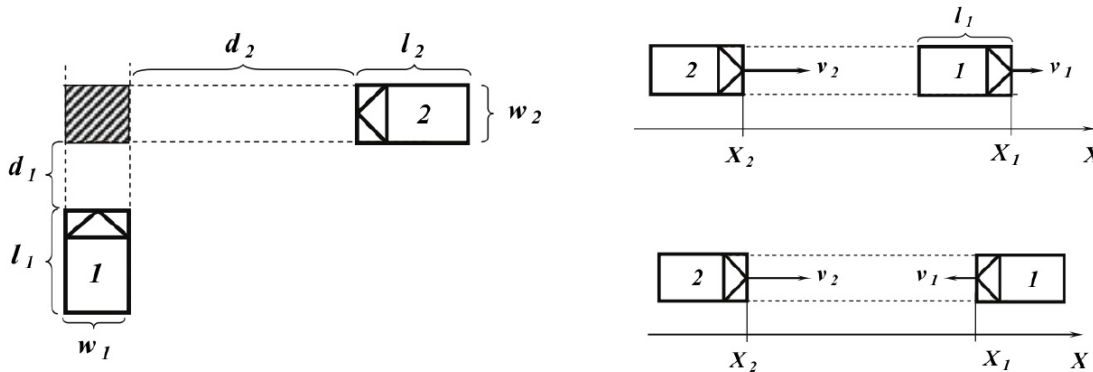
5 INDIKÁTORY KONFLIKTNÍCH SITUACÍ

Indikátorů pro hodnocení konfliktních situací je celá řada, přehledně jsou shrnuty například v [4]. Obecně je můžeme rozdělit na detekční, které slouží přednostně k detekování samotného konfliktu a popisné, které určují vážnost dopravního konfliktu. Toto dělení však není striktní a jednotlivé parametry se mohou snadno prolínat různými kategoriemi, nebo se vzájemně zastupovat. Pro zachování přehlednosti a porovnatelnosti výsledků budeme pracovat se třemi základními indikátory.

5.1 ČAS DO KOLIZE (TTC – TIME TO COLLISION)

Čas do kolize TTC je jedním ze základních indikátorů pro detekci konfliktní situace v dopravě. Je také často použit jako jeden ze vstupních parametrů indikátorů jiných. Je definován jako zbývající čas do kolize dvou vozidel v případě zachování směru jejich pohybu a rozdílu rychlosti. Čím menší je hodnota TTC, tím větší je pravděpodobnost vzniku kolizní situace. Čas do kolize ovšem nevypovídá o závažnosti nadcházející konfliktní události, ale pouze o její existenci. Mohou nastat případy, kdy se dva účastníci provozu k sobě přibližují vysokou rychlostí s velkou rozdílovou vzdáleností nebo naopak velice malou rychlostí s malou rozdílovou vzdáleností, při kterých bude hodnota TTC totožná. Následky těchto dvou příkladů kolizní situace budou evidentně rozdílné.

Zároveň tento indikátor nebere v potaz potenciální vzájemné konflikty účastníku provozu způsobené náhlou změnou rychlosti v důsledku zrychlení nebo prudkého zabrzdění vozidla. Určení času do kolize předpokládá, že rychlost vedoucího vozidla je menší než rychlost vozidla sledujícího v případě shodného směru pohybového vektoru obou těchto vozidel. Další případy rozdílných směrů vektorů pohybu vozidel, při kterých lze hodnotu času do kolize spočítat, jsou zobrazeny na obrázku 17.



Obrázek 17: Geometrická formulace TTC, převzato z [5].

Hodnotu času do kolize dvou za sebou jedoucích vozidel je možné vypočítat pomocí rovnice 2. V případě čelem k sobě se přibližujících vozidel lze hodnotu TTC vypočítat dle rovnice 3.

$$TTC_f(t) = \frac{X_l(t) - X_f(t) - L_l}{V_f(t) - V_l(t)} \quad (2)$$

Kde:

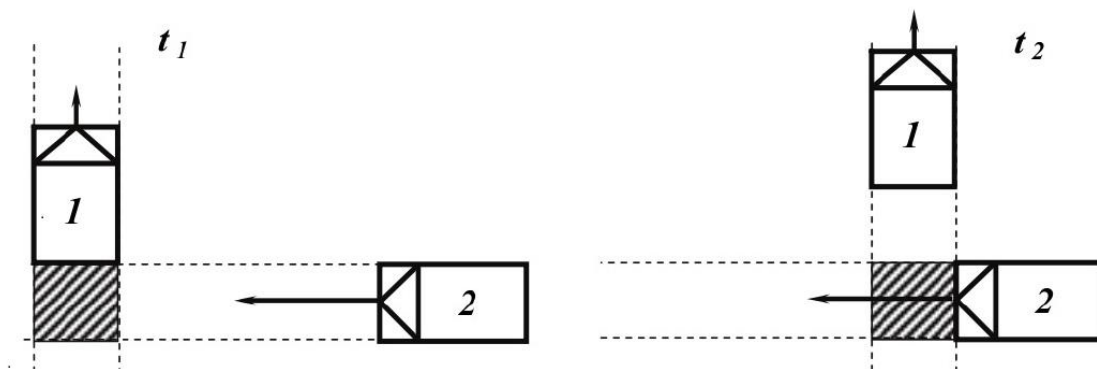
- $V(t)$ rychlost vozidla v čase t
- $X(t)$ pozice vozidla v čase t
- L délka vozidla
- l označení vedoucího vozidla
- f označení sledujícího vozidla

$$TTC_f(t) = \frac{X_1(t) - X_2(t)}{V_1(t) - V_2(t)} \quad (3)$$

5.2 ČAS PO PRŮJEZDU (PET - POST-ENCROACHMENT TIME)

Čas po průjezdu PET patří mezi indikátory událostí blízkých dopravním nehodám. Při výpočtu hodnoty PET se nepředpokládá vznik kolize dvou automobilů. Sleduje se časový interval mezi průjezdy stejné oblasti dvěma různými automobily. V časo-prostorovém zobrazení pohybu dvou účastníků dopravního uzlu se jedná o studii případu, kdy existuje průsečík trajektorií těchto

účastníků. V čase průsečíku obou trajektorií je ovšem pozice vozidel vzájemně nekolizní. Na obrázku 18 je znázorněn indikátor času pro průjezdu. V praxi se ovšem nejedná o jeden bod, který by byl v různých časech dvěma trajektoriím společný, ale o průnik oblastí, jejichž plocha je odvozena z rozměrů vozidel, pro které je hodnota PET počítána. Přesná hodnota PET je tedy vypočítána jako časový úsek od opuštění kritické oblasti prvním vozidlem (zadní nárazník) do vstupu do kritické oblasti druhým vozidlem (přední nárazník). Tento indikátor je vhodné použít v případě existence průsečných trajektorií. Hodnota času po průjezdu nevyovídá o míře závažnosti konfliktní situace ani o možných následcích z důvodu faktu, že rychlost a vzdálenost vozidla nejsou předmětem měření. V případě výskytu průsečných trajektorií v datech je indikátor PET vhodnější pro určení konfliktní situace než u indikátoru času do kolize TTC. Jsou-li trajektorie dvou vozidel podobné rovnoběžkám, je vhodnější použití indikátoru času do kolize. Nevýhodou indikátoru PET je požadavek na pevný kolizní bod/oblast.



Obrázek 18: Geometrická formulace TTC, převzato z [5].

Hodnotu indikátoru PET je možné vypočítat pomocí rovnice 4. Čím nižší je hodnota času po průjezdu, tím vyšší je závažnost dané konfliktní události. Obecně je za kritickou hodnotu indikátoru PET považován čas menší nebo rovno 1-1,5 sekundy [6].

$$PET = t_2 - t_1 \quad (4)$$

Kde:

- t_1 čas opuštění konfliktní zóny vozidlem 1
- t_2 čas vstupu do konfliktní zóny vozidlem 2

5.3 ČAS DO NEHODY (TA - TIME TO ACCIDENT)

Čas do nehody TA je indikátor, který je definován jako „čas zbývající do nehody od okamžiku zahájení úhybného manévru jedním z účastníků provozu za předpokladu nezměněné rychlosti a směru“. Tuto definici je také možné použít v případě jednoho účastníka dopravního uzlu. Indikátor času do nehody je speciálním druhem indikátoru času do kolize založený na úhybném manévru vykonaným kterýmkoliv z účastníků dopravního uzlu pro vyhnutí se kolizi [6]. Hodnota

indikátoru je spočítána pouze jednou a to v okamžiku zahájení úhybného manévru účastníkem dopravního uzlu [10]. Jedná se o indikátor využívaný v mnoha studiích zabývajících se bezpečností v dopravě. Lze vypočítat manuálně (reaktivně) i pomocí automatizovaných metod založených například na počítačovém vidění. Pokud je hodnota času do nehody velice nízká a je vypočítána z vysoké rychlosti vozidla, pak indikátor TA vypovídá o závažné dopravní události.

$$TA = 1,5 \frac{v_i}{16,7 \exp^{-0,0306 \cdot 0,5 v_m}} \quad (5)$$

Kde:

- v_i počáteční rychlost
- v_m průměrná rychlost

5.4 PRAHOVÉ HODNOTY

Abychom mohli Indikátory úspěšně aplikovat, je potřeba stanovit jejich prahovou hodnotu. V literatuře [6] můžeme například najít poměrně velký rozptyl hodnot pro TTC od 1,5 s (závažné konflikty) do 4 s (např. při nebezpečí vjezdu do kolony).

Obecně je však potřeba ke stanovení prahových hodnot přistupovat individuálně pro každou zkoumanou lokalitu. Je možné použít následující postupy:

1. Postupnou iterací dojít k hodnotě, při které už žádné další relevantní konfliktní situace nejsou detekovány.
2. Zvolit hodnotu na základě empirických nebo analytických výpočtů kdy se vezme v potaz např. minimální brzdná dráha nebo reakční doba řidiče.
3. Převzít hodnoty z předchozí studie nebo srovnávací lokality.

6 PREEMPTIVNÍ HODNOCENÍ BEZPEČNOSTI BA METODOU (BEFORE AND AFTER)

Pro hodnocení bezpečnosti na základě dopravních konfliktů je tato metoda nejvhodnější a v praxi ověřená. Své uplatnění má především při rekonstrukcích nebo jiných úpravách, přičemž nemusí jít nutně o úpravy prováděné za účelem zvýšení bezpečnosti.

6.1 PRINCIP METODY

Podstatou metody je srovnání počtu a závažnosti dopravních konfliktů před provedením úprav a po provedení úprav. Je tedy nutné provést měření v dostatečné délce v obou případech a za pokud možno podobných podmínek. Protože však není možné zajistit zcela identické podmínky, je nutné provést v obou případech i měření na srovnávací lokalitě a výsledky zpracovat vhodnou statistickou metodou. Srovnávací lokalita musí být co nejbližší lokalitě měřené a mít podobné geometrické a dopravně inženýrské parametry.

6.2 POSTUP MĚŘENÍ

Konkrétní postup měření je závislý na použité technologii a definovaný jejím dodavatelem, následující kroky jsou tedy spíše příkladem, jak by měření mohlo vypadat.

1. Prvním krokem je stanovení délky měření tak, aby byl zaznamenán dostatečný počet dopravních konfliktů. Je tedy nutné provést pilotní měření a na jeho základě stanovit délku hlavního měření. Pilotní měření rovněž ověří vhodnost umístění měřicího zařízení, které by mělo být umístěno tak, aby bylo možné jej stejně umístit jak před tak po provedení úprav. Pokud to není možné, musí být prokázáno, že změna polohy zařízení nemá vliv na výsledky měření. Pilotní měření musí být provedeno i na kontrolní lokalitě.
2. V závislosti na použité technologii musí být provedeno zaměření křižovatky nebo georeferenčních bodů. Na základě těchto bodů bude následně provedena kalibrace zařízení a transformace časoprostorových trajektorií do reálného souřadnicového systému. Tyto body musí být v detekčním poli měřicího zařízení a v daných rozestupech podle použité technologie.
3. Vlastní měření před a po provedení úprav.
4. Extrakce trajektorií a jejich vyhodnocení z pohledu indikátorů konfliktních situací.
5. Statistické vyhodnocení výsledků.

6.3 STATISTICKÁ METODA ODDS RATIO (PODÍL PRAVDĚPODOBNOSTÍ)

Abychom mohli tvrdit, že změna v počtu výskytu dopravních konfliktů je způsobena provedenou úpravou dané lokality, je nutné použít vhodnou statistickou metodu, která tuto hypotézu potvrdí. Lze použít například metodu podílu pravděpodobností, která je používána například ve zdravotnictví při testování léků. Podíl je definován jako změna na kontrolní lokalitě lomeno změna na sledované lokalitě

$$OR_i = \frac{A_i/C_i}{B_i/D_i} \quad (6)$$

Kde:

- A – Stav na kontrolní lokalitě před provedením úprav
- C – Stav na kontrolní lokalitě po provedení úprav
- B – Stav na sledované lokalitě před provedením úprav
- D – Stav na sledované lokalitě po provedením úprav

Pokud je podíl pravděpodobností $OR = 1$, všechny změny na měřené lokalitě můžeme vysvětlit změnami na kontrolní lokalitě (změna intenzity, počasí, složení dopravního proudu atd...).

7 PREEMPTIVNÍ HODNOCENÍ BEZPEČNOSTI SROVNÁVACÍ METODOU

Bohužel zatím není možné preemptivní hodnocení použít pro absolutní stanovení míry bezpečnosti jednotlivé křižovatky, což však není dost dobře možné ani s využitím nehodovosti.

Můžeme však provádět relativní hodnocení bezpečnosti navzájem mezi podobnými a podobně zatíženými křižovatkami.

7.1 PRINCIP METODY

V porovnání s BA metodou je srovnávání různých křižovatek metodicky složitější. Obecně může existovat nespočet různých kombinací křižovatek, které by jsme chtěli z pohledu bezpečnosti srovnávat a tyto křižovatky se liší tvarem, dopravním zatížením, denním průběhem zatížení, množstvím chodců, tipem řízení atd. Je tedy nutné přijmout fakt, že ne pro všechny kombinace je tento přístup vhodný. Měli bychom tedy srovnávat pouze křižovatky, které jsou buď podobného tvaru a typu nebo které jsou místopisně velice blízké, např. sousední. V prvním případě bude největším zdrojem nejistoty rozdíl v dopravním zatížení a složení dopravního proudu (který nemusí být na první pohled patrný), v druhém případě pak v rozdílném počtu a typu střetných bodů. Výsledky je tedy nutné z pohledu těchto rozdílů relativizovat.

7.2 POSTUP MĚŘENÍ

Postup měření je stejný jako u BA metod, ale je potřeba navíc dodržet tyto zásady:

1. Délka měření by měla být na srovnávaných lokalitách stejná a měření by mělo být provedeno ve stejné době.
2. Pokud není možné měření provádět simultánně, je nutné provést simultánně alespoň srovnávací měření intenzit a to tak, že na jedné křižovatce probíhá měření konfliktů a zároveň na druhé (nebo ostatních) měření intenzit.
3. Umístění měřicího zařízení musí být na všech křižovatkách takové, aby byla zajištěna stejná přesnost měření.

8 ZDROJE

[1] Tiwari G., Mohan D., Fazio J. (1998). "Conflict analysis for prediction of fatal crash locations in mixed traffic streams." *Accident Analysis and Prevention*, 30:207–215.

[2] The development of an automatic method of safety monitoring at Pelican crossings. *Accident Analysis and Prevention*, ročník 37, č. 5, 2005: s. 938 – 946, ISSN 0001-4575.

[3] Autey, J.; Sayed, T.; Zaki, M. H.: Safety evaluation of right-turn smart channels using automated traffic conflict analysis. *Accident Analysis and Prevention*, ročník 45, č. Supplement C, 2012: s. 120 – 130, ISSN 0001-4575.

[4] Mahmud, S. S.; Ferreira, L.; Hoque, M. S.; aj.: Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, ročník 41, č. 4, 2017: s. 153 – 163, ISSN 0386-1112.

[5] Saunier, N.: Automated Methods for Surrogate Safety Analysis. 2014, [online].
URL <http://n.saunier.free.fr/saunier/stock/14-08-25-dcddot.pdf>

[6] Mahmud, S. S.; Ferreira, L.; Hoque, M. S.; aj.: Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. IATSS Research, ročník 41, č. 4, 2017: s. 153 – 163, ISSN 0386-1112.

[7] Lu, G.; Liu, M.; Wang, Y.; aj.: Quantifying the Severity of Traffic Conflict by Assuming Moving Elements as Rectangles at Intersection. Procedia - Social and Behavioral Sciences, ročník 43, č. Supplement C, 2012: s. 255 – 264, ISSN 1877-0428, 8th International Conference on Traffic and Transportation Studies (ICTTS 2012).

[8] DataFromSky - Advanced traffic analysis of aerial video data. 2018, [online].
URL www.datafromsky.com

[9] Zapletal, D.: PREEMPTIVE SAFETY ANALYSIS OF ROAD USERS' BEHAVIOR FROM TRAJECTORIES, 2017

[10] Babinec, A.; Apeltauer, J.: On accuracy of position estimation from aerial imagery captured by low-flying UAVs, International Journal of Transportation Science and Technology, Volume 5, Issue 3, 2016, Pages 152-166, ISSN 2046-0430

9 SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

Zapletal, D.: PREEMPTIVE SAFETY ANALYSIS OF ROAD USERS' BEHAVIOR FROM TRAJECTORIES, 2017

Babinec, A.; Apeltauer, J.: On accuracy of position estimation from aerial imagery captured by low-flying UAVs, International Journal of Transportation Science and Technology, Volume 5, Issue 3, 2016, Pages 152-166, ISSN 2046-0430

APELTAUER, J.; HERMAN, D.; BABINEC, A.; APELTAUER, T. Automatic Vehicle Trajectory Extraction For Traffic Analysis From Aerial Video Data. In *ISPRS Archives. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Mnichov: International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015. s. 9-15. ISSN: 2194-9034.

SMĚLÝ, M.; PATOČKA, M.; APELTAUER, J.; RADIMSKÝ, M.; HOFHANSL, P.; ŠÍDA, M.: Metodika pro navrhování turbo-okružních křižovatek; *Metodika pro navrhování turbo-okružních křižovatek*. na Vysokém učení technickém v Brně. URL: http://www.fce.vutbr.cz/PKO/smely.m/navrhovani_turbo-okruznich_krizovatek.pdf. (metodika certifikovaná uplatněná)

VŠETEČKA, M.; APELTAUER, T.; APELTAUER, J.; NOVÁK, M.; ZUKAL, M.; ZUKAL, J.; ČIHÁČKOVÁ, P.: Metodika; *Testování detekčních technologií pro potřeby závislého řízení*.

10 PŘÍLOHA - UKÁZKA DETEKCE KONFLIKTNÍCH SITUACÍ V NÁSTROIJI DATAFROMSKY

V rámci softwarové aplikace DFS lze pomocí nástroje Safety Analysis (bezpečnostní analýza) provádět detekci a vyhodnocení dopravních konfliktů. Konflikty lze detekovat v celém videu nebo pouze jeho části, případně jen pro vybrané druhy dopravních prostředků.

10.1 VOLBA DETEKČNÍHO MODELU

Detekční model funguje na dvou základních modelech predikce trajektorie vozidla:

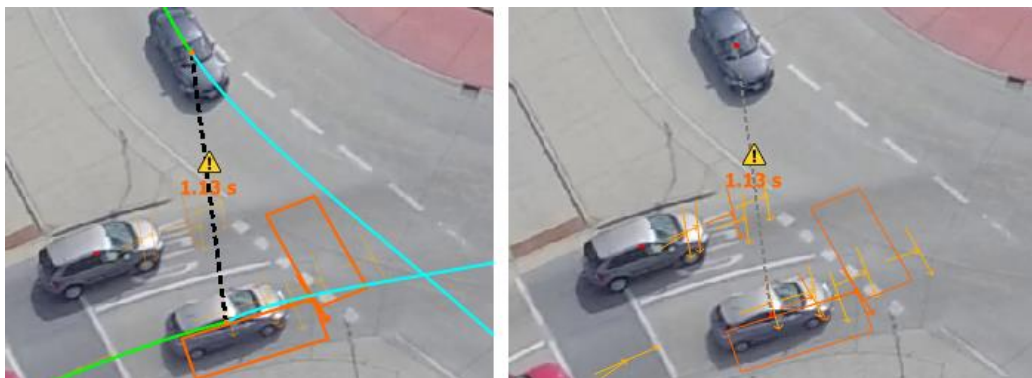
- **Speed Vector (vektor rychlosti)** – tento základní model předpokládá, že od okamžiku, ve kterém chceme detekovat kolizní situace, se bude vozidlo pohybovat po přímce. Výhodou tohoto modelu je především úspora výpočetního výkonu. Pokud se však vozidlo nepohybuje po přímce ale v oblouku, je přesnost detekcí úměrná jeho poloměru a pro oblouky s malým poloměrem je tento model již nepřijatelný.
- **Ackerman Steer Model (Ackermanův model zatáčení)** – tento pokročilý model vychází z aktuálního natočení kol vozidla a predikuje následný pohyb po křivce. Tento model je výrazně přesnější, avšak výpočetně náročnější.

Volba konkrétního modelu záleží na dané situaci a je vhodné ji podrobit citlivostní analýze. Alternativně lze u obou modelů ještě volit mezi variantou která pracuje pouze s aktuální rychlostí a variantou která pracuje i s aktuálním zrychlením. V případě zohlednění zrychlení je však nutné mít dostatečně přesná a kvalitní data, jelikož se jedná o druhou derivaci detekované trajektorie. V případě že jsme zvolili predikční model trajektorie, můžeme přejít k volbě Indikátoru dopravního konfliktu.

10.2 VOLBA INDIKÁTORU DOPRAVNÍHO KONFLIKTU

Podrobný popis indikátorů je výše. V nástroji DFS jsou v současnosti implementovány tyto indikátory:

- **Time to Collision (čas do kolize)** – výpočet času po kterém dojde ke kolizi dvou vozidel při zachování aktuálního směru jízdy a rychlosti. Dopravní konflikty, u kterých TTC poklesne pod zadanou hodnotu, jsou zaznamenány.



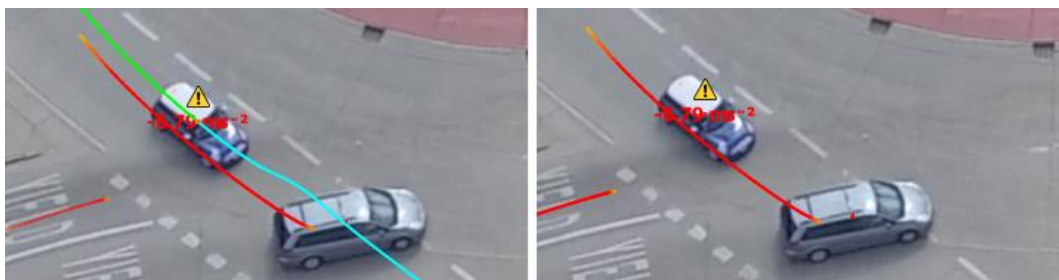
Obrázek 19: Příklad detekovaného dopravního konfliktu. Minimální detekovaný čas do kolize je 1.13 s. Pro detekci byla použita metoda Speed Vector, která není pro daný případ okružní křižovatky zcela vhodná.

- **Post Encroachment Time** (čas po průjezdu) – čas, po kterém se dvě vozidla „minou“ v kolizní zóně. Pokud čas klesne pod zadanou hodnotu, konflikt je detekován.



Obrázek 20: Příklad detekce času po průjezdu. Tato metoda je vhodná v případech, kdy je obtížné predikovat trajektorii vozidel.

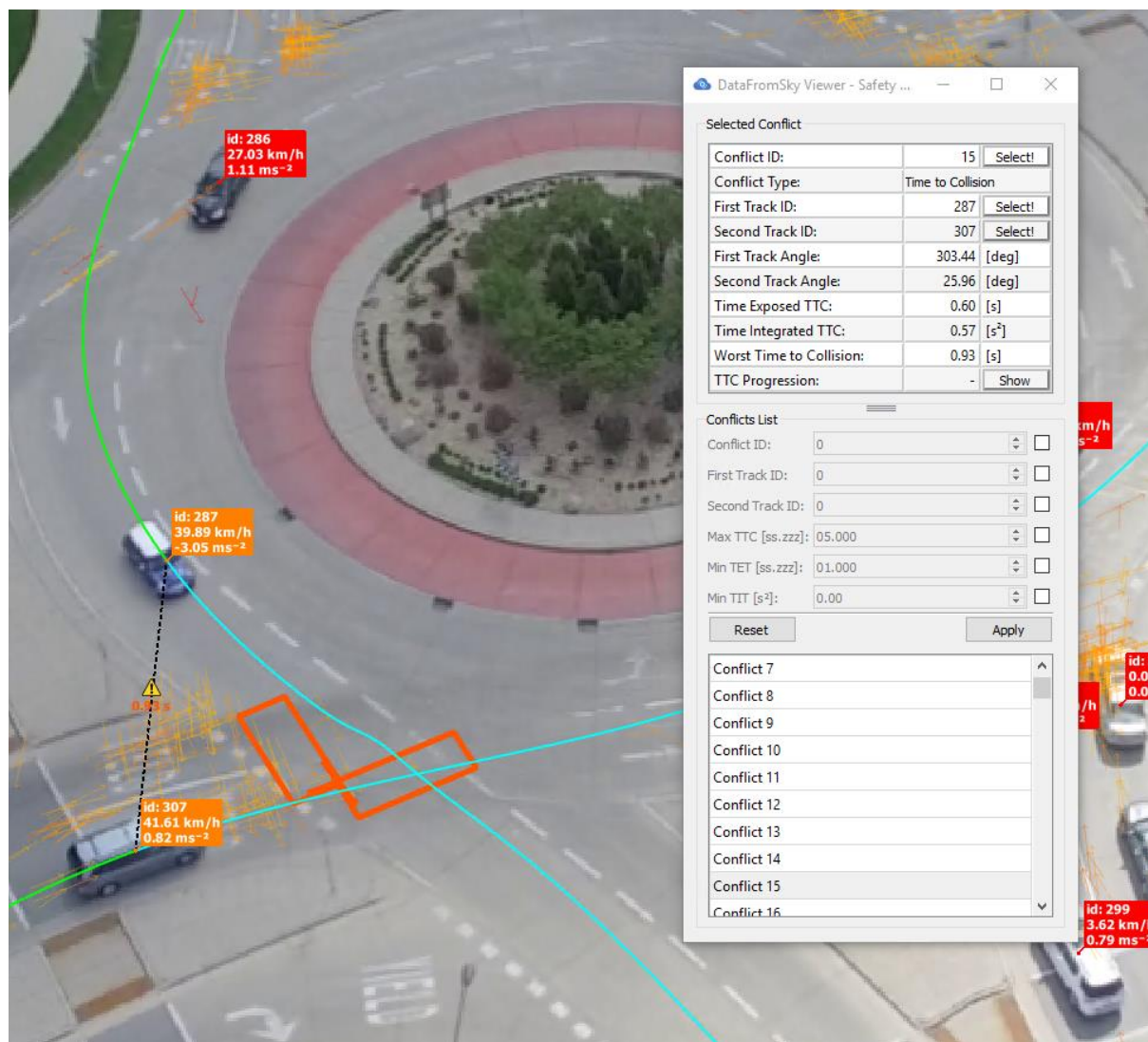
- **Heavy Braking** (prudké brždění) – tato metoda detekuje dopravní konflikt v případě, že zpomalení vozidla překročí zadanou hodnotu. Tato metoda je více citlivá na přesnost časoprostorových trajektorií než předchozí metody, z důvodu její druhé derivace.



Obrázek 21: Detekce konfliktu na základě překročení zadané hodnoty zpomalení.

10.3 VÝSLEDEK DETEKCE

Pokud jsme zvolili indikátor a prahovou hodnotu, můžeme provést detekci konfliktů ve zvoleném videozáznamu, respektive časoprostorových trajektorií. Veškeré dopravní situace, které byly vyhodnoceny jako dopravní konflikty, jsou následně vypsány v podobě menu, kde lze jednotlivé konflikty procházet, případně je filtrovat prostřednictvím různých parametrů. Rovněž je možné vykreslit grafy s podrobným průběhem sledovaného indikátoru, nebo dynamických veličin jednotlivých vozidel, a provádět detailní analýzu konfliktu.

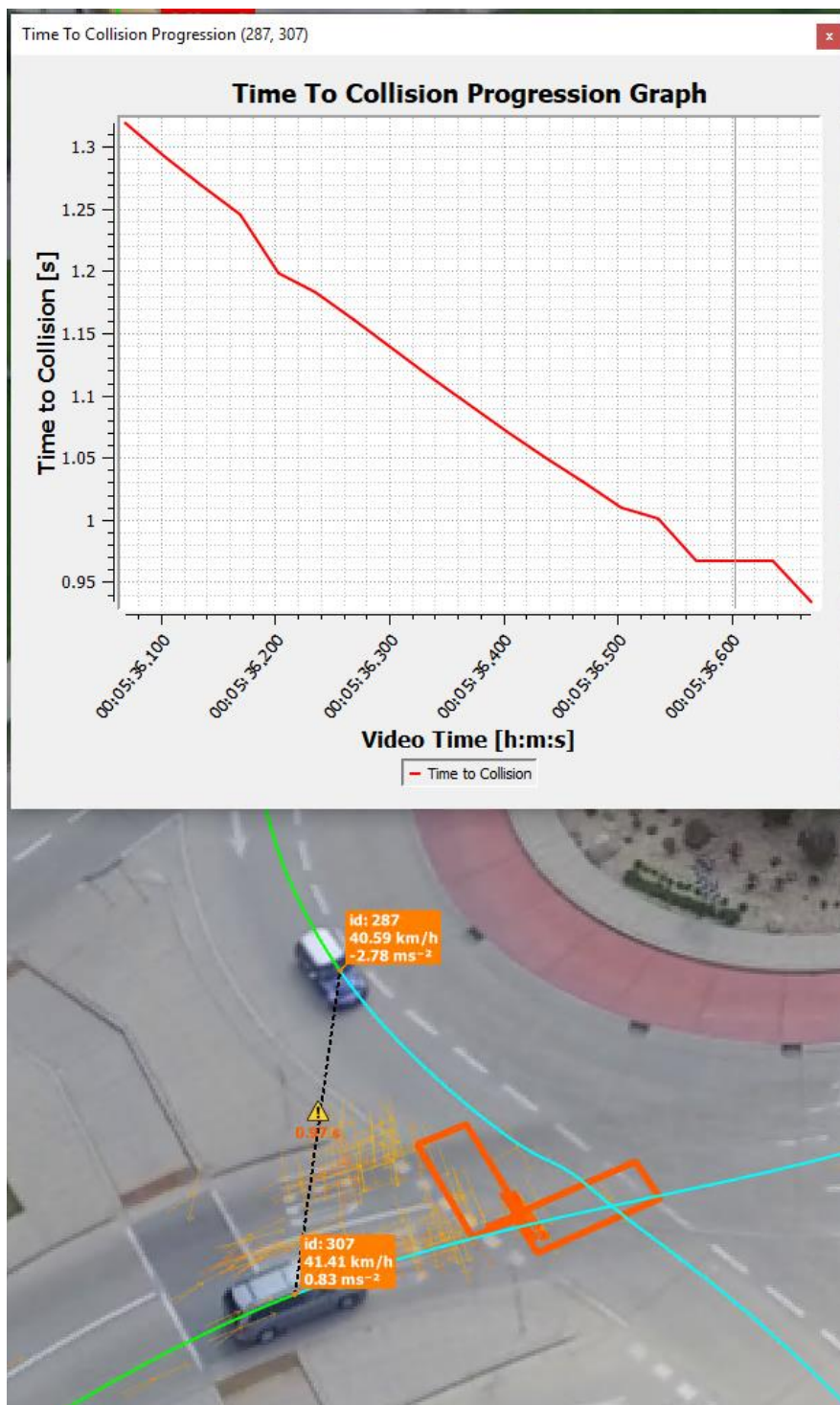


Obrázek 22: Výsledek detekce dopravních konfliktů. Konflikty jsou seřazeny dle závažnosti na základě zvoleného indikátoru.

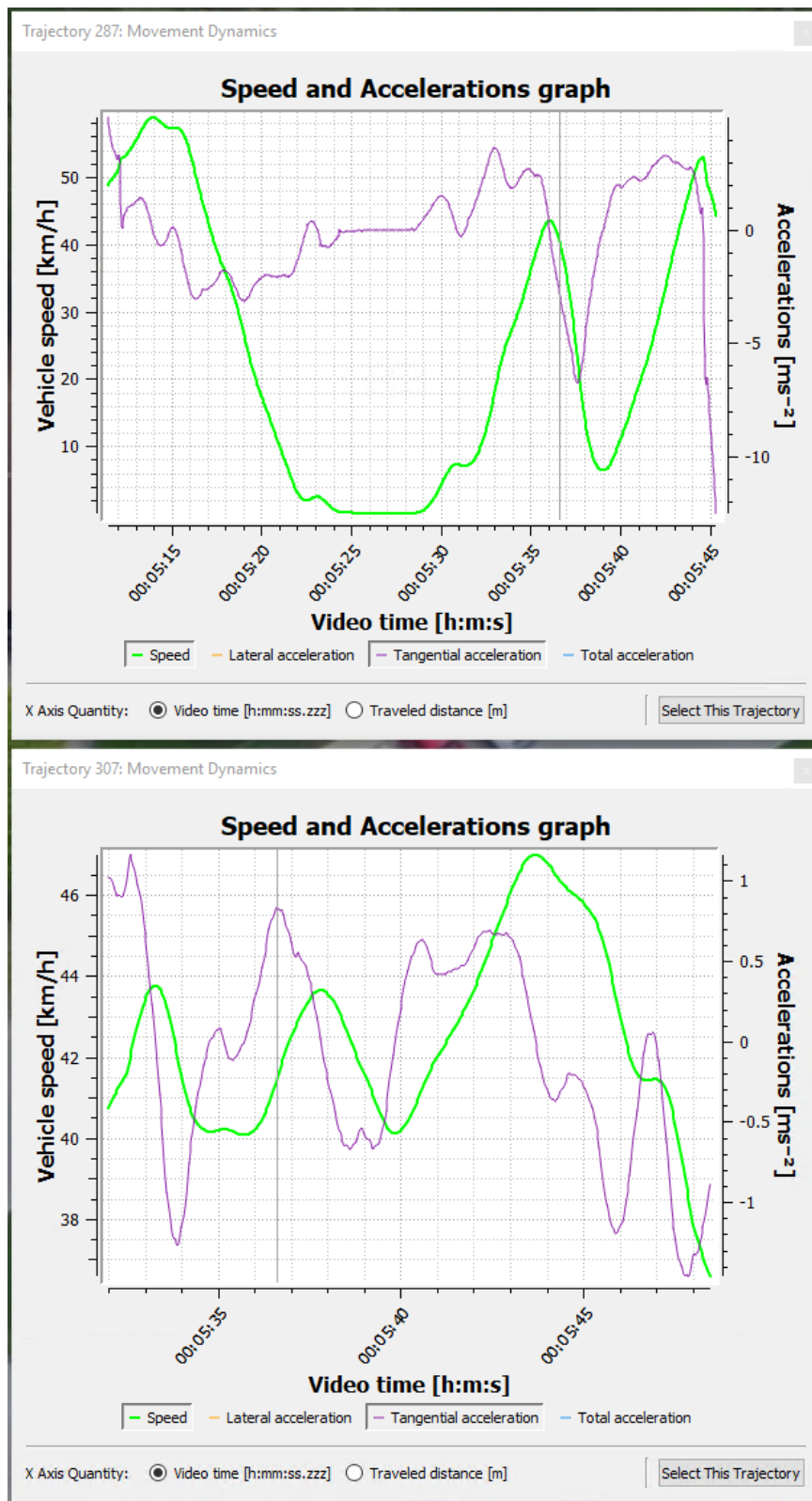
10.4 PODROBNÁ ANALÝZA DOPRAVNÍCH KONFLIKTŮ

Vzhledem k tomu, že není možné obecně definovat prahové hodnoty jednotlivých indikátorů, je nutné postupovat iteračně. Po první (a každé další) je nutné provést podrobnou analýzu vybraných konfliktů a prahové hodnoty adekvátně upravit. Následně provést další kolo detekce a postup opakovat, dokud nejsou detekovány jen relevantní konfliktní situace. Alternativní postup spočívá v exportu výsledků detekce včetně podrobných parametrů a průběhů jednotlivých veličin v čase a postprocesingu těchto dat v jiném nástroji.

V rámci uživatelského rozhraní DFS je k dispozici graf průběhu zvoleného indikátoru (obr. 23) a průběhy dynamických veličin vozidel, které se konfliktu účastní (obr. 24). Na následujícím příkladu je jasně patrné, že vozidlo id: 287 musí razantně brzdit (Speed a Tngential acceleration na obr. 24 nahoře) aby se vyhnulo kolizi s vozidlem id: 307, které špatně vyhodnotilo situaci a při vjezdu do křižovatky dokonce akcelerovalo (obr. 24 dole).



Obrázek 23: Průběh zvoleného indikátoru (např. TTC) v čase. Závislá čára v grafu ukazuje aktuální polohu na časové ose videozáznamu.



Obrázek 24: Průběh dynamických veličen vozidel v konfliktní situaci.