

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Analýza aritmetiky kinematických výpočtů dopravní nehody na křižovatce typu  
nedání přednosti vs. rychlost v prostředí numerického řešiče Matlab

Diplomová práce

2020

Michael Chocheľ

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Michael Chochel**  
Osobní číslo: **D18492**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**  
Téma práce: **Analýza aritmetiky kinematických výpočtů dopravní nehody na křižovatce typu nedání přednosti vs. rychlost v prostředí numerického řešiče Matlab.**  
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

### Zásady pro vypracování

Diplomant zpracuje podrobnou rešerši zkoumané dopravní situace, příslušných předpisů, používaných výpočtových modelů a metodik analýzy dopravních nehod. Následně zvolí metodiku pro analýzu výpočtových modelů v rámci numerického řešiče Matlab. Vybere a vypracuje prezentaci obdržených dat ve formě, která bude zaměřena na využití při analýze dopravních nehod a pro oblast prevence bezpečnosti silničního provozu a zákonitostí.

Rozsah pracovní zprávy: **50 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] Rábek, V.: Databáze informací a postupů z analýzy dopr. nehod, DVD, 2006
- [2] Rábek, V.: Vybrané postupy analýzy dopravních nehod, Vlastimil Rábek, 2009
- [3] Kasanický, G., Kohút, P.: Analýza nehod jednostopých vozidel, Žilinská univerzita v Žilině, 2000
- [4] Kasanický, G., Kohút, P.: Teorie analýzy dopravních nehod, Žilinská univerzita v Žilině, 2001
- [5] Bradáč, A. a kol.: Soudní inženýrství, CERM Akademické nakladatelství, 1999

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Mrázek, Ph.D.**  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **18. února 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2020**

L.S.

---

**doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Jakub Vágner, Ph.D.**  
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 31.7.2020

Bc. Michael Chocheľ

## **Poděkování**

Děkuji za pomoc, ochotu, cenné rady a vstřícnost ze strany vedoucího této práce, pana Ing. Zdeňka Mrázka, Ph.D. Konzultace s ním byly nedocenitelným zdrojem informací. Také děkuji své rodině za nekonečnou podporu, bez které by tato práce nikdy nevznikla.

## **Anotace**

Práce se zabývá analýzou dopravní nehody typu nedání přednosti v jízdě na křižovatce. Cílem je sestavit závislosti zrychlení, rychlostí a vzájemných vzdáleností vozidel a jejich vliv na průběh nehodové situace. Popsat, jak může stanovení možnosti zastavení před místem střetu nebo stanovení minutí vozidel s požadovaným časovým odstupem být citlivé na změny popsaných veličin.

## **Klíčová slova**

Dopravní nehoda, dispoziční dráha, povolená rychlost, zrychlení, dopravní bezpečnost

## **Title**

A Computational Analysis of the Traffic Accident of Type Not Giving Way to Traffic vs. Speed in the Environment of the Numerical Solver Matlab

## **Annotation**

The work deals with analysis of the traffic accident of type not giving way in a crossway. The goal is to determine dependencies between acceleration, speed and relative distance of vehicles and their impact on evolution of an accident. Describe how determination of possibility to stop in front of the place of impact or determination of vehicle evasion with required time gap can be sensitive to change of listed quantities.

## **Keywords**

Traffic accident, disposal track, speed limit, acceleration, traffic safety

# Obsah

SEZNAM ILUSTRACÍ .....	9
SEZNAM TABULEK .....	10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....	11
TERMINOLOGIE .....	12
ÚVOD .....	13
1 LEGISLATIVA .....	14
1.1 Právní předpisy.....	14
2 PODKLADY PRO ANALÝZU .....	17
2.1 Základní dělení podkladů .....	17
2.2 Ohledání místa nehody .....	17
2.2.1 Stopy na zúčastněných vozidlech.....	18
2.2.2 Stopy vozidel na vozovce .....	18
2.2.3 Stopy chůze, běhu osob a zvířat.....	20
2.2.4 Stopy způsobené vozidly na pevných objektech.....	21
2.2.5 Stopy na účastnících nehody.....	21
2.3 Svědectví .....	21
3 METODIKY ANALÝZY DOPRAVNÍCH NEHOD .....	24
3.1 Reakční doba řidiče .....	24
3.1.1 Optická reakce.....	25
3.1.2 Psychická reakce .....	25
3.1.3 Svalová reakce.....	25
3.1.4 Prodleva brzd .....	25
3.1.5 Doba náběhu .....	25
3.1.6 Shrnutí časů pro jednotlivé reakce.....	26
3.1.7 Vliv opožděné reakce .....	26
3.2 Brzdné zpomalení a součinitel adheze.....	27
3.2.1 Velikost součinitele adheze.....	28
3.2.2 Měření brzdného zpomalení.....	30
3.3 Fyzikální vztahy k řešení dané situace.....	31

3.4	Stanovení nárazové rychlosti .....	31
3.4.1	Zranění osádky vozidla .....	32
3.4.2	Pohyb předmětů po střetu.....	32
3.4.3	Rozptyl střepin .....	33
4	ANALÝZA DOPRAVNÍ SITUACE NA KŘÍŽOVATCE – NEDÁNÍ PŘEDNOSTI VS. RYCHLOST .....	34
4.1	Veličiny vstupující do výpočtů.....	36
4.1.1	Veličiny pevně dané .....	37
4.1.2	Veličiny určené předpisy, dispozicemi vozidla a prostředí .....	38
4.1.3	Veličiny variantní.....	38
4.2	Průběh nehodového děje.....	39
4.2.1	Pro řidiče automobilu.....	39
4.2.2	Pro řidiče motocyklu .....	39
4.3	Postup výpočtu pro modelovou situaci .....	40
4.3.1	Pohyb automobilu v modelové situaci.....	40
4.3.2	Pohyb motocyklu.....	40
4.3.3	Kritérium pro míjení provozu.....	43
4.4	Rozbor výsledků po odvíjení nehodového děje s různými parametry.....	45
4.4.1	Rozdíl dispoziční dráhy a dráhy na zastavení z rychlosti dovolené.....	45
4.4.2	Dostatečný časový rozestup mezi motocyklem a automobilem .....	50
5	Závěr.....	59
6	POUŽITÁ LITERATURA.....	61
7	Přílohy .....	63



## SEZNAM ILUSTRACÍ

<b>Obrázek 1</b> - Rozsah hodnot součinitele adheze pneumatik s dezénem hlubším než 1 mm na vozovkách z asfaltového betonu (19 zkušebních úseků) za mokra při zcela zabrzděném kole. Výsledky měření provedených ve Výzkumném ústavu dopravním (1, s. 7).....	29
<b>Obrázek 3</b> - Grafy nárazové rychlosti a odhození střepin reflektorů (7).....	33
<b>Obrázek 3</b> - Automobil vjíždí do křižovatky a) zleva, b) zprava .....	35
<b>Obrázek 4</b> - Osa příčin (10).....	36
<b>Obrázek 5</b> - Střet vozidel pro automobil přijíždějící a) zleva, b) zprava .....	37
<b>Obrázek 6</b> - Motocykl vzdálen od místa střetu na délku brzdné dráhy $s_{bm}$ . .....	41
<b>Obrázek 7</b> - Motocykl vzdálen od místa střetu na vzdálenost dispoziční dráhy. Automobil urazil dráhu $s_p$ , je zaznamenán řidičem motocyklu.....	42
<b>Obrázek 8</b> - Motocykl se nachází na počáteční pozici. V tuto chvíli se řidič automobilu rozhodl o jízdě.....	43
<b>Obrázek 9</b> – Závislost rozdílu drah na střetové rychlosti motocyklu a zrychlení automobilu. ....	46
<b>Obrázek 10</b> - Motocykl by mohl/nemohl zastavit při dovolené rychlosti 50 km/h, když původně brzdil $8 \text{ m/s}^2$ . .....	46
<b>Obrázek 11</b> - Motocykl by mohl/nemohl zastavit při dovolené rychlosti 50 km/h, když původně brzdil $4 \text{ m/s}^2$ . .....	47
<b>Obrázek 12</b> - Motocykl při dovolené rychlosti 50 km/h vůbec nebrzdil.....	47
<b>Obrázek 13</b> - Motocykl by mohl/nemohl zastavit při dovolené rychlosti 50 km/h, když automobil jel zleva. ....	48
<b>Obrázek 14</b> - Motocykl by mohl/nemohl zastavit při různých dovolených rychlostech, kde automobil jel zleva a motocykl brzdil $4 \text{ m/s}^2$ .....	49
<b>Obrázek 15</b> - Rozdíl mezi situací, kdy automobil jede zleva a zprava.....	50
<b>Obrázek 16</b> - Graf časového rozestupu mezi automobilem a motocyklem ve 3D. ....	51
<b>Obrázek 17</b> – Řidič automobilu omezil/neomezil motocykl brzdící nenáhle $2 \text{ m/s}^2$ . ....	52
<b>Obrázek 18</b> - Řidič automobilu omezil/neomezil motocykl brzdící nenáhle $2,9 \text{ m/s}^2$ .....	52

<b>Obrázek 19</b> - Řidič automobilu omezil/neomezil motocykl brzdící nenáhle $4 \text{ m/s}^2$ .....	53
<b>Obrázek 20</b> - Řidič automobilu omezil/neomezil motocykl pro různé hodnoty nenáhlého zpomalení.....	53
<b>Obrázek 21</b> – Hranice mezi dodržením a nedodržením časového odstupu pro různé dovolené rychlosti. ....	54
<b>Obrázek 22</b> - Hranice mezi dodržením a nedodržením časového odstupu pro automobil jedoucí zleva a zprava.....	55
<b>Obrázek 23</b> - Kombinace grafů pro možnost zastavení motocyklu před křižovatkou a jeho omezení automobilem pro nenáhlé zpomalení motocyklu $2 \text{ m/s}^2$ .....	56
<b>Obrázek 24</b> - Kombinace grafů pro možnost zastavení motocyklu před křižovatkou a jeho omezení automobilem pro nenáhlé zpomalení motocyklu $2,9 \text{ m/s}^2$ .....	57
<b>Obrázek 25</b> - Kombinace grafů pro možnost zastavení motocyklu před křižovatkou a jeho omezení automobilem pro nenáhlé zpomalení motocyklu $4 \text{ m/s}^2$ .....	58

## SEZNAM TABULEK

<b>Tabulka 1</b> - Úseky reakční doby.....	24
<b>Tabulka 2</b> - Přehled délky jednotlivých úseků reakční doby a odezvy vozidla při nouzovém brzdění osobního automobilu (kapalinové brzdy, normální viditelnost).....	26
<b>Tabulka 3</b> - Rychlosti nárazu brzdění při opožděném začátku brzdění (2).....	27
<b>Tabulka 4</b> – hodnoty součinitele adheze pro některé typy povrchů (8) .....	28
<b>Tabulka 6</b> - Příklady různých kritických hodnot tolerance zatížení (9) .....	32

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

PČR – Policie České republiky

ZoSP - zákon č. 361/2000 Sb., o silničním provozu, v platném znění

$T_a$ [s]	– čas od momentu rozhodnutí řidiče automobilu o jízdě (počátek nehodového děje) do srážky vozidel
$T_m$ [s]	– čas od počátku nehodového děje do okamžiku, kdy motocykl přijede do křižovatky za použití pouze nenáhlého zpomalení
$s_a$ [m]	– dráha automobilu k místu srážky
$a_a$ [ $m \cdot s^{-2}$ ]	– zrychlení automobilu
$t_{mb}$ [s]	– doba brzdění motocyklu před srážkou
$t_p$ [s]	– doba prodlevy
$s_p$ [m]	– dráha, kterou musí automobil ujet, aby jeho pohyb zaregistroval řidič motocyklu
$t_{mr}$ [s]	– doba reakce řidiče motocyklu
$v_{m0}$ [ $m \cdot s^{-1}$ ]	– počáteční rychlost motocyklu
$v_{mstr}$ [ $m \cdot s^{-1}$ ]	– nárazová rychlost motocyklu
$a_m$ [ $m \cdot s^{-2}$ ]	– skutečné zpomalení motocyklu před srážkou
$a_{mn}$ [ $m \cdot s^{-2}$ ]	– nenáhlé zpomalení motocyklu
$s_{ma}$ [m]	– dráha brzdění motocyklu
$s_{mv0}$ [m]	– dráha uražená motocyklem počáteční rychlostí $v_{m0}$

## **TERMINOLOGIE**

*Střetová rychlost:* rychlost vozidla, ve které dojde k nárazu/střetu

*Počáteční rychlost:* rychlost vozidla na počátku nehodového děje. Nemusí to být počátek manérování, může to být naopak ještě mnohem dříve, když se řidič teprve rozhoduje o tom, jestli šlápne na plyn, aby se rozjel (v takovém případě by počáteční rychlost byla rovna nule)

*Poměr adhezní tíhy:* poměr velikosti zatížení na brzděných kolech k celkové tíze vozidla (1)

*Dispoziční dráha:* vzdálenost vozidla na počátku reakce řidiče od místa střetu

*Dráha na zastavení:* dráha, kterou vozidlo potřebuje k zastavení z určité rychlosti s určitým brzděným zpomalením

## ÚVOD

Doprava, jakožto způsob přepravy osob a věcí, je dnes nedílnou součástí lidského života. Každý den vyjedou na dopravní komunikace miliony vozidel a každý den nevyhnutelně dojde k dopravní nehodě.

Nehody jsou řešeny odpovídajícími správními orgány, v drtivé většině má tyto úkony na starost PČR. Může se však stát, že celý proces dojde až k soudu. Soud nebo jedna ze stran si může, v případě potřeby, vyžádat vyhotovení znaleckého posudku znalcem.

Posudek v soudním procesu plní úlohu důkazu. Popisuje faktické skutečnosti týkající se daného případu způsobem, který je srozumitelný všem zúčastněným osobám. Nikdy z něj přímo neplyne, kdo je nebo není viník. Na jeho základě lze pouze zjistit, jak se celá situace odehrála, co způsobily a co předcházelo akcím, které zúčastněné subjekty provedly.

Tato práce pojednává o procesu vytvoření takového posudku pro nehodu na křižovatce typu kříž. Bude zmíněno, co všechno předchází vyhotovení posudku od sběru důkazního materiálu, přes úvahy a výpočty až k řešení problematiky, kde leží příčina nehodového děje.

Praktická část má za cíl vypracovat studii, s jejíž pomocí znalec snadněji stanoví, jak se nehodový děj odehrál. Grafické výstupy budou mít formu grafu, který pomůže objasnit, kde se nachází technická příčina nehodového děje. Vyjasní přechod mezi případy, kde je rozhodující překročení povolené rychlosti nebo nedání přednosti v jízdě.

S pomocí grafů bude taktéž vypracována citlivostní analýza vstupních údajů a jejich vliv na výsledné hodnoty a závěry.

# 1 LEGISLATIVA

## 1.1 Právní předpisy

Znalecká činnost je ustanovena následujícími předpisy:

- Zákon č. 36/1967 Sb., o znalcích a tlumočnících.
- Zákon č. 322/2006 Sb., kterým se mění zákon č. 36/1967 Sb., o znalcích a tlumočnících.
- Zákon č. 444/2011 Sb., kterým se mění zákon č. 36/1967 Sb., o znalcích a tlumočnících, ve znění pozdějších předpisů.
- Část druhá zákona č. 183/2017 Sb., kterým se mění některé zákony v souvislosti s přijetím zákona o odpovědnosti za přestupky a řízení o nich a zákona o některých přestupcích.
- Vyhláška ministerstva spravedlnosti č. 37/1967 Sb. k provedení zákona o znalcích a tlumočnících.
- Vyhláška ministerstva spravedlnosti č. 11/1985 Sb., kterou se mění vyhláška ministerstva spravedlnosti č. 37/1967 Sb., k provedení zákona o znalcích a tlumočnících.
- Vyhláška ministerstva spravedlnosti č. 184/1990 Sb., kterou se mění a doplňuje vyhláška ministerstva spravedlnosti č. 37/1967 Sb., k provedení zákona o znalcích a tlumočnících, ve znění vyhlášky č. 11/1985 Sb.
- Vyhláška ministerstva spravedlnosti č. 77/1993 Sb., kterou se mění a doplňuje vyhláška ministerstva spravedlnosti č. 37/1967 Sb., k provedení zákona o znalcích a tlumočnících, ve znění pozdějších předpisů.
- Část první vyhlášky č. 432/2002 Sb., kterou se mění vyhláška č. 37/1967 Sb., k provedení zákona o znalcích a tlumočnících, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 312/1995 Sb., kterou se stanoví paušální částka nákladů trestního řízení.
- Vyhláška č. 123/2015 Sb., která stanoví seznam znaleckých oborů a odvětví pro výkon znalecké činnosti.

Všechny výše zmíněné předpisy byly zrušeny a nahrazeny zákonem č. 254/2019 Sb. o znalcích, znaleckých kancelářích a znaleckých ústavech, platným od 09.10.2019, který nabude účinnosti dne 01.01.2021.

Zásady znalecké činnosti nejsou novým zákonem nijak výrazně dotčeny. Změny se týkají především podmínek, za kterých je fyzická osoba oprávněna vykonávat znaleckou činnost,

což je uvedeno v §5 zákona č.254/2019 Sb. Na to také navazují nově ustanovené definice pojmů *odborná způsobilost a bezúhonnost*, které jsou uvedeny v paragrafech §8 a §9 téhož zákona.

Pojem *znalecká činnost* je podle zákona č. 254/2019 Sb. §1 (1) definován následovně: „*Výkonem znalecké činnosti se rozumí provádění znaleckých úkonů, zejména zpracování a podání znaleckého posudku, jeho doplnění nebo vysvětlení, a činnost, která bezprostředně směřuje k podání znaleckého posudku, jeho doplnění nebo vysvětlení*“.

Správně strukturovaný znalecký posudek musí podle zákona č. 254/2019 Sb. §28 obsahovat:

- a) titulní stranu,
- b) zadání,
- c) výčet podkladů,
- d) nález,
- e) posudek,
- f) odůvodnění v rozsahu umožňujícím přezkoumatelnost znaleckého posudku,
- g) závěr,
- h) je-li to možné, přílohy potřebné k zajištění přezkoumatelnosti znaleckého posudku,
- i) znaleckou doložku,
- j) otisk znalecké pečeti.

Podle §28 musí být posudek úplný, pravdivý a přezkoumatelný.

Dokud ještě platí zákon č. 36/1967 Sb., každý znalec má povinnost vést tzv. *znalecký deník*. Je to spis obsahující všechny posudky, kterými se znalec za dobu svého působení zabýval. Tyto deníky jsou pravidelně kontrolovány krajským soudem.

Zákon č. 254/2019 Sb. nově ukládá znalcům povinnost evidovat posudky v informačním systému veřejné správy, jehož správcem je ministerstvo. O této povinnosti pojednávají odstavce 1 a 2 v §29. Podle odstavce 3 v §29 musí být takto evidovaný posudek vložen do systému do 5 pracovních dnů ode dne zadání znaleckého posudku nebo ode dne, kdy nastala skutečnost, ke které se váže povinnost zápisu posudku a musí obsahovat:

- a) den zadání znaleckého posudku,
- b) den podání, případně den vysvětlení nebo doplnění znaleckého posudku,
- c) předmět znaleckého posudku,
- d) obor a odvětví, případně specializaci, ve kterých má být podán znalecký posudek,
- e) označení zadavatele znaleckého posudku,

- f) označení znalce a osob, které se podílely na jeho zpracování,
- g) termín pro vyhotovení znaleckého posudku,
- h) příslušné jednací číslo orgánu veřejné moci a
- i) údaj o vyúčtovaném a přiznaném znalečném.

Pokud znalec v rámci výkonu znalecké činnosti odhalí nějaké skutečnosti, je povinen o nich mlčet během i po ukončení činnosti podle zákona č. 254/2019 Sb. §20. Porušením této povinnosti nebo opomenutím informování dalších osob o této povinnosti je znalec sankciován finanční pokutou podle §39 (2).



## **2 PODKLADY PRO ANALÝZU**

### **2.1 Základní dělení podkladů**

Analýza silniční nehody obvykle vychází ze spisového materiálu dodaného znalci policií nebo soudem. Podklady ve spisu lze podle Šachla (2, s. 10) dělit na:

- a) Podklady objektivní – protokol o nehodě v silničním provozu (případně záznam o malé dopravní nehodě s projednáním), plánek, fotodokumentace, lékařské zprávy a znalecké posudky
- b) Podklady subjektivní – protokol o výpovědi obviněného (obžalovaného), svědka apod.

Objektivní podklady jsou mnohem spolehlivější. Jsou poznamenány lidským faktorem v mnohem menší míře. Chyba se projeví leda při jejich pořizování, kdy se například pořídí fotografie objektu ze špatného úhlu a vzdálenosti jsou zkresleny. Fotografie jsou však jedním z nejčastějších důkazních materiálů. V ideálním případě se pořídí fotografický záznam všeho, co by mohlo třeba jen vzdáleně souviset s nehodou. Vyloučí se tím riziko, že v průběhu šetření vyjde najevo, že např. nějaký objekt příliš vzdálený od místa incidentu byl při ohledání místa nehody opomenut jakožto nepodstatný.

### **2.2 Ohledání místa nehody**

Ohledání místa je způsob, jak získat objektivní podklady, takže musí být provedeno důkladně, aby se později nemusely hledat důkazy, které by už byly nedosažitelné a aby získané podklady byly jasné a přesné.

Klíčovým krokem je stanovení rozměrů objektů a vzdáleností mezi nimi. K tomu se obvykle používá metoda, kdy je stanoven referenční objekt o známých rozměrech. K jeho pozici a rozměrům se poté vztahují všechny naměřené údaje.

K měření je využívána především geodetická technika, jakožto osvědčený nástroj pro měření polohy v půdorysu i výšky. Výška se může ukázat jako nezbytný parametr obzvláště v případech, kdy řešíme nehodu, která nastala v kopci.

Při měření platí předpoklad, že se s objekty nehýbalo. Tento aspekt lze ověřit s pomocí svědectví, pokud byli přítomni svědci. Pokud není nikdo, kdo by podal informace o manipulaci s vozidly nebo jinými předměty, popř. těly, pak je nutné ověřit, zda se tak opravdu stalo a v případě nutnosti ono přemístění zahrnout do výpočtů a určit původní pozice.

Podle Čermína (3, s. 28-41) lze rozdělit stopy, které se dají zaznamenat na místě nehody, do několika skupin:

- a) stopy na zúčastněných vozidlech,
- b) stopy vozidel na vozovce,
- c) stopy chůze, běhu osob a zvířat,
- d) stopy způsobené vozidly na pevných objektech,
- e) stopy krve a jiných kapalin,
- f) stopy na oběti nehody.

### **2.2.1 Stopy na zúčastněných vozidlech**

Jakékoliv deformace, které lze pozorovat na a uvnitř vozidel, které se účastnily nehody. Nesmí se však zapomenout ani na podvozek. Pokřivená karoserie, odřený lak, roztržitá okna či světlomety, zlomená zpětná zrcátka, poničené pneumatiky, poškozený volant, tachometry nebo přístrojová deska. Tyto a spousta dalších částí mohou pomoci objasnit, co a jak se stalo. Na vozidle může ulpět špína, bláto nebo kapaliny různých typů, což může být také plnohodnotným důkazem.

Prvotním cílem je najít místo střetu. Většinou to bude místo, kde je karoserie nejvíce zdeformovaná nebo skleněné části rozdrceny. Není to však pravidlo. Je nutné ověřit, zda známky poškození pozorovatelné na vozidle vznikly v souvislosti s nehodou nebo zda se na vozidle nacházely ještě před ní.

Jakmile se podaří odfiltrvat škody, které nebyly způsobeny ve spojitosti s nehodou, přichází další krok a tím je stanovit, jak jednotlivá poškození vznikla. To může významně pomoci k určení průběhu nehodového děje i určení toho, co ději předcházelo.

### **2.2.2 Stopy vozidel na vozovce**

Vozidlo může na vozovce zanechat několik typů stop. Každý z nich má svůj význam pro řešení nehodového děje a ke každému je potřeba přistupovat jinak. Chmelík (4, s. 213) rozdělil tyto stopy do následujících tříd:

- a) stopy jízdy vozidla,
- b) brzdné stopy,
- c) blokovací stopy,
- d) stopy smyku vozidla,
- e) stopy dření a vlečení, rýhy,

f) biologické stopy a stopy různých kapalin.

*Stopy jízdy vozidla* jsou zanechány koly, která nejsou nijak brzděna. Jsou snáze identifikovatelné na měkkém povrchu jako je třeba bláto nebo sněh. Obtížnější je to například na betonové vozovce, která není tak poddajná a pneumatiky nedokážou vytvořit dostatečně hluboké stopy, které by se daly využít ke zpracování. I přesto jsou tyto stopy důležité pro vyšetřování. To platí hlavně v případech, kdy řidič vozidla ujede z místa činu. Podle reliéfu dezénu a míry opotřebení lze s jistou pravděpodobností určit, o jaké vozidlo jde. S touto informací se řidič dohledá velice snadno. Někdy je však přítomnost těchto stop pouze dočasná. Pokud pneumatiky byly například mokré, zanechaly na vozovce skvrny, které po čase vyschnou. Je proto nutné zajistit stopy co nejrychleji.

*Brzdné stopy* jsou vytvořeny koly, která jsou brzděna. Dezén pneumatiky se otiskne na povrch vozovky ve směru jízdy, je nicméně rozmazaný a pro identifikaci vozidla tedy méně vhodný než stopy kol nebrzděných. Stále platí, že tyto stopy jsou lépe pozorovatelné na měkkém povrchu, kde mohou vyhloubit větší stopy. Stopy jsou dokonce hlubší než stopy nebrzděných kol, neboť zpomalující vozidlo působí na vozovku větší silou. Dalším rozdílem od nebrzděných kol je skutečnost, že brzdné stopy jsou na tvrdém povrchu (například beton) o poznání viditelnější.

Otisk pneumatiky bývá zastoupen v menší míře u vozidel se zabudovaným brzdovým systémem ABS v podobě přerušovaných čar. I tak by měl být počátek brzdění zjevný, což stále může pomoci k určení reakcí řidiče. Nicméně nastávají i případy, kdy nemusí být úplně jasné, kdy řidič začal brzdit. V případě, že se počátek brzdných stop každého kola liší, lze soudit, že brzdová soustava vozidla nefunguje tak, jak by fungovat měla. Brzdný účinek může být zpomalen a opožděn na obou stranách vozidla, ne jenom na jedné. To je potřeba prošetřit, protože ačkoliv je jasné, kdy vozidlo začalo zpomalovat, nedá se s jistotou tvrdit, kdy řidič začal brzdit.

*Blokovací stopy* vznikají při zablokování kol vozidla. Děje se tak ve chvíli, kdy brzdové kotouče brzdí kolo v takové míře, že mu nedovolí otočit se při styku s vozovkou. Takové stopy jsou charakteristické silnou vrstvou pryže zanechané na povrchu vozovky. Dezén pneumatiky je téměř nerozpoznatelný. Pneumatiky se k vozovce částečně přitaví vlivem velkého množství tepla, které vzniká při tření mezi povrchem vozovky a pneumatiky. Blokovací stopy jsou rozeznatelnější na suchém povrchu, ačkoliv i na mokřém povrchu jsou dostatečně viditelné k získání délky brzdné dráhy vytvořené zablokovanými koly. Je však nutné počítat s tím,

že pryž se nezačne tavit hned v momentě počátku blokování kol. Teplota okolo styku pneumatiky s vozovkou potřebuje nějaký čas k nárůstu na požadovanou hodnotu, aby se pryž začala lepit k vozovce.

*Stopy smyku vozidla* vznikají při pohybu kol v axiálním směru, zatímco se vozidlo zároveň pohybuje dopředu. Děje se tak na kluzkých vozovkách, v zatáčkách nebo při jízdě v přímém směru, kdy řidič drastickou rychlostí točí volantem za vysoké rychlosti.

*Stopy dření a vlečení, rýhy* vznikají při kontaktu vozovky s nějakou tvrdou částí vozidla, popř. předmětu, který je vozidlem tlačén. Při nárazu se vozidlo může převrátit na dveře nebo na střechu, a ještě stále pokračovat v pohybu vlivem setrvačnosti. Během pohybu může zároveň k sobě přichytit okolní předměty, které stály poblíž nebo ležely na vozovce. Okolním předmětem může být také živá bytost, nádrže či pytle s kapalinou. Ty následně zanechají poslední typ stop, tedy *biologické stopy a stopy různých kapalin*.

Tyto stopy pomáhají objasnit trajektorii pohybu vozidla a mnohdy i jeho rychlost. Patří do nich i kapaliny, které jsou součástí vozidla. Může to být benzín, chladicí kapalina, olej, brzdová kapalina a spousta dalších.

Pro všechny stopy na vozovce platí zásada, že je třeba sledovat zpětně, od vozidla, objektu, osoby nebo od zvířete, které je zanechalo, tj. proti jejich předpokládanému pohybu při nehodě (4, s. 217).

Stopám vozidel na vozovce je nutné věnovat zvýšenou pozornost. Jsou hlavním zdrojem informací pro rekonstrukci celého nehodového děje. Dají se poměrně přesně určit trajektorie všech zúčastněných vozidel. Podle délky brzdných drah lze přibližně odhadnout rychlost vozidla na počátku brzdění. Pokud je odhalena skutečnost, že se trajektorie dvou a více vozidel kříží, pak je nezbytné určit pořadí, v jakém se jednotlivá vozidla prostřídala na onom křížení. Znalost této informace může mít klíčovou roli v rámci řešení průběhu nehodové události.

### **2.2.3 Stopy chůze, běhu osob a zvířat**

Rychlost a směr pohybu hraje významnou roli při určování nárazové rychlosti vozidla s chodcem, popřípadě se zvířetem. Analýza nehody začíná určením místa, kde skončilo tělo chodce (zvířete). Poté je určeno, kde došlo ke střetu. Toho se docílí většinou pomocí stop krve anebo výpovědí svědků. Tyto pozice v korelaci s pohybem chodce (zvířete) určí rozsah rychlostí, kterými se vozidlo mohlo pohybovat.

#### **2.2.4 Stopy způsobené vozidly na pevných objektech**

V drtivé většině případů jsou tyto stopy k nalezení v případě, kdy vozidlo sjelo mimo vozovku a narazilo do objektů stojících poblíž nehody. Mohou to být svodidla, stromy, budovy, pouliční osvětlení apod. Tyto objekty pomáhají mapovat trajektorii pohybu vozidla. V případě srážky vozidla s dalším objektem vždy zůstanou stopy vozidla na daném objektu nebo naopak. Poblíž objektů se také mohou nacházet části vozidla jako třeba ulomená boční zrcátka, střepy z bočního či čelního skla nebo světlometů.

Nesmějí být opomenuty ani osoby, které se, byť nedobrovolně, mohou stát účastníky dopravní nehody tím, že do nich vozidlo narazí nebo kolem nich jen projede. Při takovém minutí se může stát, že se část oblečení účastníka nehody zachytí za vyčnívající část vozidla. Pokud dojde ke střetu člověka s vozidlem, může oblečení nebo některé doplňky (brýle, kabelka) odlétnout stranou. Následně se pozice těchto věcí dá použít k určení místa střetu, avšak jejich využití není spolehlivé, jelikož po dopadu mohou vlivem okolních činitelů velice snadno změnit svoji polohu, což může vést ke zkreslení výsledků.

Pokud se na škodě objektu podílí více než jedno vozidlo, je nutné jednotlivá poškození separovat a určit, které škody byly způsobeny kterým vozidlem a kdy k poškození došlo. Sestavení časových závislostí pro vznik každého poškození může být neocenitelnou pomůckou při rekonstrukci nehodového děje.

#### **2.2.5 Stopy na účastnících nehody**

Tyto stopy lze najít na oblečení a těle oběti. Z oblečení je důležité zjistit opotřebení, které vznikne například vlečením těla po vozovce nebo jeho přejetím pneumatikou vozidla.

Podle parametrů zranění oběti lze určit, jakou rychlostí se vozidlo přibližně pohybovalo. Jde především o to, jaká část těla byla poškozena a jak vážně. Pokud došlo k odhozu těla, pak lze podle pohybu těla a jeho konečné pozice také stanovit, jak velká byla nárazová rychlost. K odhadu nárazové rychlosti je potřeba vždycky uvážit tvar části vozidla, která narazila do člověka.

### **2.3 Svědectví**

U svědectví se ve velké míře projevuje tzv. lidský faktor. Člověk není dokonalý a určitě není neustále připraven a v pozoru. Z tohoto důvodu je třeba brát svědectví s rezervou.

Některý svědek, který není přímým účastníkem nehody, pohlédne k místu nehody teprve poté, co uslyšel ránu. Podvědomě pak v mysli rekonstruuje, co střetu předcházelo, a může mít

tendenci interpretovat to jako realitu. Ve výpovědi takového svědka může být skryta dokonce vzájemná záměna směrů příjezdu automobilů, které se střetly jako protijedoucí: při obvyklém excentrickém střetu protijedoucích automobilů dochází většinou k pootočení každého z nich o cca 180°. Potom to, co svědek (reagující až na zvukový vjem) vnímá jako vzájemný odraz automobilů, je ve skutečnosti pokračování v původním pohybu, vozidla jsou však otočena proti původnímu směru pohybu (2, s. 25).

Výpovědi přímých účastníků nehody jsou ještě méně důvěryhodné. Šok, kterému jsou vystaveni, způsobí, že se informace o tom, co se dělo během průběhu nehody, vůbec neuloží do paměti. Proto například řidič vozidla, které havarovalo, není schopen popsat, co se stalo. Jediné, co ví, je fakt, že jel a že potom nejspíš sjel z cesty.

*„Po těžkém otřesu mozku se často stává, že si postižený nemůže vzpomenout na okolnosti a události, které byly bezprostředně před úrazem. Zvláště typické je to u automobilových nehod. Poslední hodiny před vznikem nehody jako by byly z paměti vymazány. Podobně lidé trpící epilepsií mají amnézii na to, co předcházelo vzniku křečí. Tato pozorování vedla již na počátku minulého století k hypotéze, že trvalé pamětní stopy nevznikají najednou, ale že jsou výsledkem nervových procesů v určitém časovém úseku. Tato klinická pozorování byla potvrzena i pokusy na zvířatech. Při použití elektrického šoku (krátkodobém průchodu střídavého elektrického proudu mozem) dochází k vymazání čerstvě vytvořené pamětní stopy, ale několik hodin staré stopy již neovlivní. Také při použití elektrošokové léčby u pacientů na psychiatrických odděleních dochází k jistému narušení pamětních stop. V dlouhodobé paměti jsou však již pamětní stopy pozoruhodně stabilní. Bylo prokázáno, že trvalá paměť zůstává zachována, i když je zvíře na dobu 60 minut ochlazen na teplotu 0 °C. Ani několik minut období klinické smrti spojené s přerušáním přívodu krve do mozku nevedlo u zvířat ani u lidí k poruchám paměti. Také při dlouhodobém zimním spánku, např. u hlodavců, nedochází k narušení jejich dlouhodobé paměti.“ (5, s. 143)*

*„Při autonehodách, elektrošocích, epilepsii se setkáváme s tzv. retrográdní amnézií. To znamená, že si postižení nepamatují různě dlouhý časový úsek před incidentem. Retrográdní amnézie je vždy patologická. Účinkem farmak, např. benzodiazepinů, disociativních anestetik nebo skopolaminu se setkáváme s druhým typem amnézie – anterográdní. Při ní dochází k poruchám paměti až po podání dávky farmak.“ (5, s. 143-144)*

U všech svědků je nutné dát pozor na přesnost výpovědi. I když svědek nebyl nijak poznamenán špatně uloženými vzpomínkami, pořád je to „jenom člověk“. Co se týče odhadu

délkových rozměrů, polohy nebo času, téměř každý udělá chybu. Často se stává, že řidič uvede vzdálenost od objektu, do kterého narazil, mnohem kratší, než jaká ve skutečnosti byla. Může za to pravděpodobně rychlost, s jakou se nehodový děj odehraje. Běžně si člověk nedokáže správně uvědomit svoji rychlost a čas, který stráví přiblížením k objektu. O stupeň obtížnější situace nastává pro řidiče tehdy, jede-li proti jinému vozidlu. Vzájemná vzdálenost mezi vozidly se zkracuje relativní rychlostí obou vozidel. Tato relativní rychlost je nesmírně obtížná na představu pro netrénovaného člověka.

### 3 METODIKY ANALÝZY DOPRAVNÍCH NEHOD

#### 3.1 Reakční doba řidiče

Reakční doba čas, který uplyne od počátku vnímání podnětu do počátku vykonávání odezvy na tento stimul. Celkový reakční čas lze vyjádřit jako součet doby trvání vizuální percepce a doby trvání rozhodování, na něž bezprostředně navazuje samotná motorická odezva. Vizuální percepce zahrnuje interval potřebný pro detekci stimulu od doby, kdy jej bylo možné detekovat, zatímco doba rozhodování reprezentuje čas potřebný pro výběr a rozhodnutí o odezvě. Poté tělo započne výkon příslušné odezvy. Nad rámec definice reakčního času se staví čas potřebný pro svalový pohyb, který nicméně tvoří neopomenutelnou kategorii, neboť zkoumání pouze reakční rychlosti bez zájmu o motorické odezvy by pozbylo pro forenzní biomechaniku praktického významu (6).

Podle Bradáče (7, s. 231-234) lze k reakční době připočítat i prodlevu brzd a náběh brzdného účinku. Rozdělení reakční doby je vypsáno v tabulce 1.

**Tabulka 1** - Úseky reakční doby

Hranice časového úseku		Název časového úseku	
1	Počátek optického vnímání nebezpečného objektu	Optická reakce	Reakční doba řidiče
2	Počátek ostrého optického vnímání objektu	Psychická reakce	
3	Začátek svalové reakce	Svalová reakce	
4	Dotyk brzdového pedálu	Prodleva brzd	Odezva vozidla
5	První dotyk třecích ploch brzd	Náběh brzd	
6	Začátek zanechávání stop pneumatik na vozovce		



### **3.1.1 Optická reakce**

Řidič musí neustále sledovat cestu před sebou a dbát na to, aby si držel dostatečně velký odstup od možných překážek v jízdě. Dostatečně velký odstup je vzdálenost, kterou ujede za reakční dobu. Při jízdě 50 km/h je to přibližně 25 metrů. Pokud řidič zrovna sleduje objekt v momentě, kdy se daný objekt dostane do trajektorie vozidla, pak je optická reakce v podstatě zanedbatelná. Pokud by však řidič sledoval jiný objekt, pak se doba optické reakce prodlouží. Doba reakce nabývá významných hodnot, jestliže oko musí změnit směr, kterým se dívá, o více než 5°. Potom kritický objekt, který se mění v překážku, z počátku vidí jen periferním viděním a nestíhá na něj včas zareagovat. Pro usnadnění registrace takového objektu pomůže, když se objekt přemístí po nějaké dráze. Velikost dráhy je dána mnoha faktory, např. rychlostí vozidla, pozorností řidiče, počasí, množstvím světla.

### **3.1.2 Psychická reakce**

Rychlost psychické reakce závisí na psychickém a fyzickém stavu řidiče a jeho řídicích schopnostech. Požití návykových látek výrazně prodlužuje dobu tohoto procesu. Jde o proces, který započne ve chvíli, kdy řidič zaregistruje blížící se překážku. V ten moment začne přemýšlet o tom, zda zabrzdí a jak moc, nebo strhnout volant, užít zvukové výstražné znamení nebo vůbec nereagovat. Jakmile řidič dojde k nějakému rozhodnutí, tato reakce končí.

### **3.1.3 Svalová reakce**

Nastává v případě rozhodnutí o změně stylu jízdy, ať už z pohledu rychlosti nebo směru. Pokud jde o rozhodnutí k brzdění, pak svalová reakce má podobu přesunutí nohy z plynového pedálu na brzdový. Zařazení jiného rychlostního stupně znamená sundat ruku z volantu, přesunout ji na řadící páku. Rychlost je závislá především na fyzických dispozicích řidiče.

### **3.1.4 Prodleva brzd**

Je to reakce vozidla na řidičovo konání v případě, že se rozhodne brzdit. Její trvání probíhá od momentu prvního dotyku brzdového pedálu až po první tlak brzdových destiček na kola nápravy.

### **3.1.5 Doba náběhu**

Časový úsek mezi prvním dotykem brzdových destiček s koly až po okamžik, kdy brzdy dosahují požadovaného brzdného účinku. Pro usnadnění analýzy se může přistoupit k rozhodnutí, že tento okamžik odpovídá momentu, kdy lze na vozovce pozorovat brzdné stopy zanechané pneumatikami.

### 3.1.6 Shrnutí časů pro jednotlivé reakce

V tabulce 2 jsou uvedeny časové rozsahy pro jednotlivé úseky reakční doby.

**Tabulka 2** - Přehled délky jednotlivých úseků reakční doby a odezvy vozidla při nouzovém brzdění osobního automobilu (kapalinové brzdy, normální viditelnost)

		Doba trvání (sekund)		
		Spodní mez (2%)	Průměr	Horní mez (98%)
<b>Optická reakce (varianty)</b>				
Řidič předem pozoruje kritický objekt	a)	0,00	0,00	0,00
Řidič sledoval jiný objekt				
- v rozsahu do 5°	b)	0,32	0,48	0,55
- v rozsahu nad 5°	c)	0,41	0,61	0,70
<b>Psychická reakce (rozhodování)</b>		0,22	0,45	0,58
<b>Svalová reakce (přesun nohy z pedálu na pedál)</b>		0,15	0,19	0,21
<b>Odezva vozidla</b>				
- <b>prodleva</b> brzd (od dotyku pedálu po první dotyk třecích ploch brzd)		0,03	0,05	0,06
- <b>náběh</b> brzdného účinku (od prvního dotyku třecích ploch brzd po začátek zanechávání stop pneumatik na vozovce)		0,07	0,15	0,49
<b>Odezva celkem</b>		0,10	0,20	0,55
<b>CELKEM – varianta</b>	a) (přímý pohled)	0,47	0,84	1,34
	b) (do 5°)	0,79	1,32	1,89
	c) (nad 5°)	0,88	1,45	2,04

### 3.1.7 Vliv opožděné reakce

V rámci řešení dopravních nehod hraje každá sekunda důležitou roli. Význam každé sekundy je ještě viditelnější, vezme-li se v potaz rozdíl mezi nárazovou rychlostí vozidla v případě, kdy reakční doba trvala 1 sekundu a kdy trvala 1.5 sekundy.

V nejčastějších případech se reakční doba prodlouží kvůli nevěnování dostatečné pozornosti provozu. Pokud se řidič „kochá“ pohledem na krajinu, telefonuje či si povídá se spolujezdcem.

Nárazová rychlost se určí podle vztahu

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 - 2 * a * s},$$

kde  $v_1$  je nárazová rychlost v  $m \cdot s^{-1}$ ,

$v_0$  je počáteční rychlost v  $m \cdot s^{-1}$ ,

$a$  je zpomalení vozidla v  $m \cdot s^{-2}$ ,

$s$  je dráha v metrech, na které auto zpomaluje na nárazovou rychlost  $v_1$ .

Prodloužená reakční doba má za následek snížení velikost brzděné dráhy  $s$ . S reakcí opožděnou o jedinou sekundu se dispoziční dráha, kterou má vozidlo na zastavení, zkrátí při rychlosti 50 km/h o asi 13,9 metrů. Při rychlosti 90 km/h dojde ke zkrácení dráhy na brzdění o 25 metrů.

V tabulce 3 je uveden výčet hodnot nárazové rychlosti v závislosti na velikosti prodloužení reakční doby a také na počáteční rychlosti s uvažovaným zpomalením o hodnotě  $5,8 m \cdot s^{-2}$ .

**Tabulka 3** - Rychlosti nárazu brzdění při opožděném začátku brzdění (2)

Opoždění začátku brzdění (s)	Počáteční rychlost (km/h)					
	40	50	60	90	110	130
0,2 s	18	20	22	27	30	33
0,4 s	26	29	32	39	43	47
0,5 s	29	32	35	43	48	52
0,7 s	34	38	42	51	57	62
1,0 s	40	46	50	61	68	74

### 3.2 Brzděné zpomalení a součinitel adheze

Podle (1, s. 14) se maximální možné brzděné zpomalení vypočítá podle vzorce

$$a = (u * f + 0,01 * s) * g,$$

kde  $a$  je dosažitelné zpomalení v  $m \cdot s^{-2}$ ,

$u$  je poměr adhezní tíhy nebo účinnosti brzdění – bezrozměrná hodnota vždy menší nebo rovna jedné – při zablokování všech kol vozidla je  $u = 1,000$ ,

$f$  je součinitel tření (adheze) – bezrozměrná hodnota většinou (ne však vždy) menší než jedna,

$s$  je sklon vozovky ve směru pohybu vozidla – v procentech (kladné stoupání, záporné klesání),

$g$  je velikost gravitačního zrychlení  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

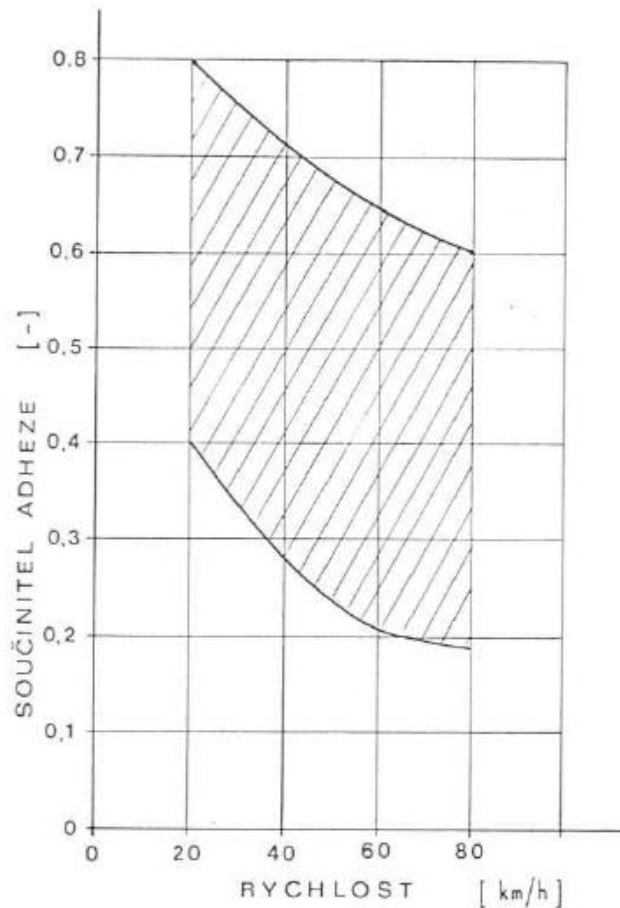
### 3.2.1 Velikost součinitele adheze

Pro určení hodnoty součinitele adheze byla provedena spousta experimentů a měření. Jako zástupce výčtu některých hodnot slouží tabulka 4.

**Tabulka 4** – hodnoty součinitele adheze pro některé typy povrchů (8)

Vozovka		Součinitel adheze
beton	suchý	0,8 - 1,0
	mokrý	0,5 – 0,8
asfalt	suchý	0,6 – 0,9
	mokrý	0,3 – 0,8
dlažba	suchá	0,6 – 0,9
	mokrá	0,3 – 0,5
makadam	suchý	0,6 – 0,8
	mokrý	0,3 – 0,5
polní cesta	suchá	0,4 – 0,6
	mokrá	0,3 – 0,4
tráva	suchá	0,4 – 0,6
	mokrá	0,2 – 0,5
hluboký písek, sníh		0,2 – 0,4
náledí		0,1 – 0,3

Na tyto hodnoty se však nelze s jistotou spoléhat, neboť součinitel adheze je závislý na obrovském souboru různých vlivů. Platí to především pro mokré povrchy, kde součinitel adheze klesá velice strmě s narůstající rychlostí pohybu vozidla, přičemž strmost se liší mezi jednotlivými typy povrchu vozovky, jak uvedl Šachl v (1).



**Obrázek 1** - Rozsah hodnot součinitele adheze pneumatik s dezénem hlubším než 1 mm na vozovkách z asfaltového betonu (19 zkušebních úseků) za mokra při zcela zabrzděném kole. Výsledky měření provedených ve Výzkumném ústavu dopravním (1, s. 7).

Podle Šachla lze rozdělit činitele, kteří mají vliv na hodnotu součinitele adheze, do skupin:

- a) činitelé textury povrchu vozovky,
- b) činitelé vlastností pneumatik,
- c) činitelé interakční.

Textura povrchu vozovky se dělí na mikrotexturu a makrotexturu. Makrotextura popisuje drsnost povrchové vrstvy vozovky. Jde hlavně o velikost zrn kameniva v povrchové vrstvě. Zrna nejsou hladké útvary. Mají na svém povrchu výstupky. Tvar, velikost a členitost těchto výstupků určují mikrotexturu povrchu vozovky. Mikrotextura hraje významnou roli obzvláště v případech, kdy je vozovka mokrá. Na druhou stranu makrotextura je důležitým parametrem spíše tehdy, kdy je řešena situace, kde se vozidla pohybovala při rychlostech vyšších než 100 km/h.

Mezi vlastnosti pneumatik se řadí dezén nebo složení pryže běhounu, kde měkčí pryž dosahuje většího součinitele adheze. Opotřebení dezénu se projevuje na obě strany. Hladký dezén zvětšuje součinitel adheze na suchém povrchu, avšak na mokrém ho snižuje.

Dále je hodnota součinitele adheze ovlivněna stavem vozovky, který je dán například její teplotou. Se vzrůstající teplotou se součinitel adheze zmenšuje. Po překročení teploty asi 20 °C jsou však další změny ve spojitosti s teplotou vozovky téměř zanedbatelné. Opotřebení vozovky samozřejmě také ovlivňuje její adhezní vlastnosti a to tak, že s přibývajícím mírou opotřebením se součinitel adheze zmenšuje. Znečištění vozovky snižuje její adhezní vlastnosti, neboť omezuje styk pneumatiky s povrchem vozovky.

Styk pneumatiky s vozovkou je omezen i v případě aquaplaningu. Pokud se vozidlo pohybuje kritickou nebo vyšší rychlostí, pak na vodě „plave“ a ke styku s vozovkou vůbec nedojde. V takovém případě ztrácí řidič kontrolu nad řízením a proto je nutné se takovému stavu vyhnout.

Kritická rychlost pro vznik aquaplaningu je podle lit. (1) dána tloušťkou vodního filmu, texturou vozovky, průměrem kola, přetlakem v pneumatikách, jejich šířkou a zatížením. Pokud je však dezén příliš opotřebovaný, nedokáže odvádět vodu s dostatečnou účinností a to vede ke vzniku aquaplaningu ještě před dosažením kritické rychlosti.

### **3.2.2 Měření brzdného zpomalení**

Kvůli vysoké variabilitě vlivů na adhezi lze jen obtížně určit výsledný součinitel adheze. Proto nelze s jistotou určit, jakých hodnot nabývalo brzdné zpomalení. Lze však stanovit interval, kde se výsledná hodnota nacházela.

Skutečnou hodnotu zrychlení lze určit například s pomocí decelerografu nebo na základě změřené délky brzdné dráhy. Měření se ale musí provést v co nejkratší době po nehodě, aby měření probíhalo za stejných, nebo aspoň hodně blízkých, podmínek, kde má okolní prostředí stejné vlastnosti jako v době nehody. Je tím myšleno především počasí, tj. teplota, vlhkost vzduchu, síla větru, prašnost či velikost vodního filmu na povrchu vozovky.

Nicméně ani se splněním těchto podmínek nelze nalézt naprosto přesnou hodnotu brzdného zpomalení, kterého docílil řidič během nehody. V rámci experimentu je do vozidla posazen jiný řidič. Ten bude mít téměř jistě jinak rychlé reakční schopnosti a nedá se určit, jak moc se jeho reakce blíží reakci, která nastala u řidiče během nehody. Původní řidič má totiž jiné řidičské zkušenosti a schopnosti a navíc se nedá nijak určit, jak rychlá byla jeho reakce

během nehody. Jak bylo popsáno v kapitole 2.3, řidič si je ne vždy schopen uvědomit, co se v průběhu kritické situace děje, jak rychle zareagoval, jak dlouho reakce trvala atd.

### 3.3 Fyzikální vztahy k řešení dané situace

Pro analýzu v rámci této práce bude potřeba určit následující veličiny a použít odpovídající vztahy:

Doba rovnoměrně zpomaleného pohybu z rychlosti  $v_2$  na rychlost  $v_1$  na dráze  $s$  a s brzdným zpomalením  $a$

$$t = \frac{v_2 - \sqrt{v_2^2 - 2 * a * s}}{a} = \frac{v_1 - v_2}{a} = \frac{2 * s}{v_1 - v_2}.$$

Délka dráhy rovnoměrného přímočarého pohybu rychlostí  $v$  za čas  $t$

$$s = v * t.$$

Délka dráhy rovnoměrně zpomaleného pohybu z rychlosti  $v_2$  na rychlost  $v_1$  za čas  $t$

$$s = \frac{v_1 - v_2}{2} * t = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 * a} = v_1 * t - a * \frac{t^2}{2}.$$

Počáteční rychlost rovnoměrně zpomaleného pohybu z rychlosti  $v_1$  na rychlost  $v_2$ , na dráze  $s$ , s brzdným zpomalením  $a$

$$v_1 = v_2 + a * t = \sqrt{v_2^2 + 2 * a * s}.$$

Rychlost na konci rovnoměrně zpomaleného pohybu z rychlosti  $v_1$  na rychlost  $v_2$  na dráze  $s$  a s brzdným zpomalením  $a$

$$v_2 = v_1 - a * t = \sqrt{v_1^2 - 2 * a * s}.$$

### 3.4 Stanovení nárazové rychlosti

Postupů, jak určit velikost nárazové rychlosti, je mnoho. Volba nejvhodnějšího způsobu záleží především na okolnostech samotné nehody a nalezených stop. Bradáč (7) uvádí několik příkladů, jako třeba energetické rastry či korelační diagramy, které při určování nárazové rychlosti vycházejí z deformací částí vozidla. Dále je možné určit nárazovou rychlost z deformace okolních objektů (např. pouliční osvětlení, sloupky, dopravní značení apod.), ze zranění osádky vozidla a z pohybu předmětů po střetu.

### 3.4.1 Zranění osádky vozidla

Existuje mnoho studií, které se zabývají problematikou biomechaniky s tímto zaměřením na spojitost mezi zraněním a nárazovou rychlostí. Autoři se mnohdy liší v konkrétních hodnotách pro konkrétní typy zranění na některých částech těla. Je to především dáno faktem, že každý člověk je individuální a organismus každého těla snese odlišné zatížení. Avšak shodují se v tom, že hranici tolerance organismu na vnější působení lze popsat indexem zranění GSI. Vzorce pro stanovení GSI se liší v závislosti na tom, jak dlouho je část těla pod vlivem působící síly.

Straus (9) uvádí několik příkladů poškození lebky, pro které bylo několika autory stanoveno zatížení, při kterém k poškození dochází.

**Tabulka 5** - Příklady různých kritických hodnot tolerance zatížení (9)

	<b>Tlak</b> <b>(kp.cm<sup>-2</sup>), Pa(N.m<sup>-2</sup>)</b>	<b>Autor</b>
<b>Otřes mozku</b> <b>(comotio cerebri)</b>	1,0 kp.cm <sup>-2</sup> (intrakraniálně) = 10000 kp.m <sup>-2</sup> = 98100 Pa (po dobu 6-12 ms)	Lissner-Gurdjian (1960); Patrick (1966)
	<b>Mírný otřes</b>	Ellis (1964)
	1,5 kp.cm <sup>-2</sup> = 15000 kp.m <sup>-2</sup> = 147150 Pa (po dobu 6-12 ms)	
	2,1 kp.cm <sup>-2</sup> = 21000 kp.m <sup>-2</sup> = 206010 Pa (žádné poranění mozku při t < 6 ms)	
	2,1-6,3 kp.cm <sup>-2</sup> = 206010-618030 Pa (při t = 1 ms)	
<b>Pohmoždění mozku</b> <b>(contusio cerebri)</b>	2,0 kp.cm <sup>-2</sup> = 20000 kp.m <sup>-2</sup> = 196200 Pa (po dobu 6-12 ms)	Lissner-Gurdjian (1960); Patrick (1966)

### 3.4.2 Pohyb předmětů po střetu

Bradáč (7, s. 419-422) rozděluje pohyb předmětů po střetu na tři fáze. Přitom znalec musí dbát na riziko, že v rámci každé fáze mohl být předmět zpomalen nebo i zastaven jiným objektem.

V první fázi odlétají části vozidla nebo i posádka vozidel ve směru pohybu vozidla. Tento pohyb se dá nazvat jako vrh vodorovný. Pro pozici, rychlost a zrychlení předmětu platí stejná



pravidla, jaká se pro vodorovný vrh uplatňují v mechanice. Pohyb je zpravidla charakterizován změnou polohy ve vodorovné i svislé ose.

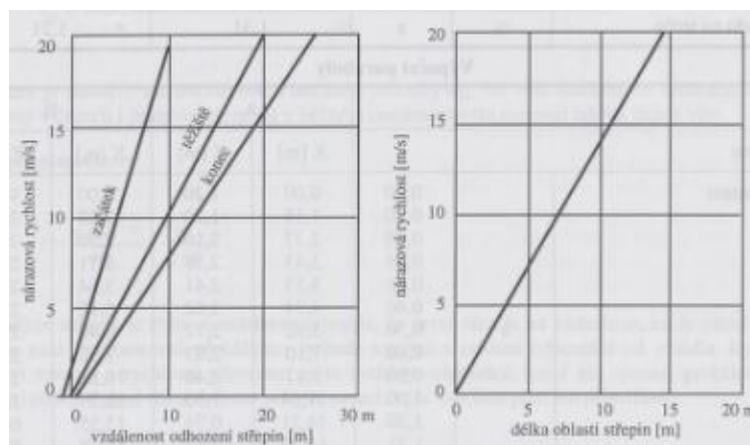
Druhá fáze zahrnuje dopad a odlehčení předmětu. Při dopadu se rychlost tělesa ve svislém směru postupně snižuje na nulu, přičemž probíhá deformace jak letícího tělesa, tak i vozovky. Následuje proces restituce, kdy se těleso vzdálí od vozovky. Poté se těleso vrací směrem zpět k vozovce kvůli působení gravitační a setrvačné síly.

Třetí fáze se vyznačuje sunutím tělesa po vozovce. Předmět je postupně zpomalován až na nulovou rychlost vlivem třecí síly. Při určování třecí síly nesmí být opomenut vliv setrvačné síly z druhé fáze, který zvyšuje hodnotu celkové normální síly.

### 3.4.3 Rozptyl střepin

Při uvolnění skla, resp. jeho střepin, bylo zjištěno, že nejjemnější částice se zastavují v nerovnostech vozovky prakticky na místě dopadu, větší se pohybují dále. Z tohoto hlediska by bylo výhodné, kdyby při ohledání místa nehody bylo zaznamenáno, kde byly střepy nejjemnější a kde největší – zejména pokud pocházely jen z jednoho vozidla (7).

Nejdůležitější jsou údaje o pozici těžiště všech střepin, kde sada střepin začíná, kde se vyskytují nejdálší střepiny a jak velká je oblast se střepinami. Obrázek 2 popisuje závislost mezi těmito parametry a nárazovou rychlostí.



**Obrázek 2** - Grafy nárazové rychlosti a odhození střepin reflektorů (7)

Podobné křivky platí i pro střepiny z čelního skla. Grafy jsou v tomto případě závislé na tom, o jaký typ vozidla jde (osobní automobil, dodávka, mikrobus, autobus, nákladní vozidlo). Vliv má také způsob konstrukce přední části vozidla (čelní kabina nebo kapota).

## 4 ANALÝZA DOPRAVNÍ SITUACE NA KŘÍŽOVATCE – NEDÁNÍ PŘEDNOSTI VS. RYCHLOST

Každá dopravní nehoda, kde dojde ke kolizi vozidel, je spojena s principem založeným na tom, že se o jeden prostor dělí dva nebo více účastníků provozu. Právními předpisy byla stanovena pravidla, podle kterých mají dotyčné subjekty nárok na prostor v určitém pořadí, ne zároveň. Leč nehody se i přesto stávají a děje se tak proto, že nějaké pravidlo, nebo i více pravidel, nebylo některým ze subjektů, či více subjekty, dodrženo. Úkolem je provést citlivostní analýzu. Stanovit vliv veličin na závěr analýzy.

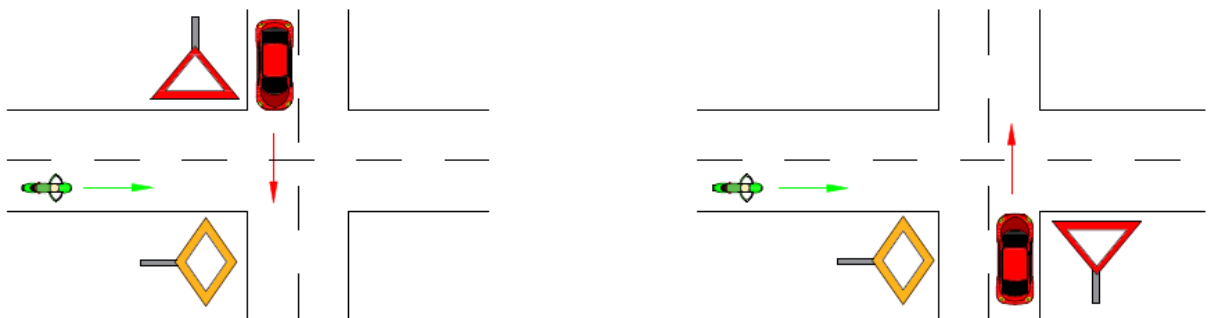
Při řešení situace, kde se na křižovatce kříží silnice hlavní a vedlejší, nás nejvíce zajímají předpisy, které upravují přednost v jízdě, rychlostní limity a přikazují věnovat pozornost provozu. Takovými předpisy jsou zejména následující vybraná ustanovení zákona č. 361/2000 Sb., ZoSP:

- ust. § 5 odst. 1 písm. b):
  - (1) „Řidič je kromě povinností uvedených v § 4 dále povinen“
  - b) „věnovat se plně řízení vozidla nebo jízdě na zviřeti a sledovat situaci v provozu na pozemních komunikacích“
- ust. § 18 odst. 1, 3, 4:
  - (1) „Rychlost jízdy musí řidič přizpůsobit zejména svým schopnostem, vlastnostem vozidla a nákladu, předpokládanému stavebnímu a dopravně technickému stavu pozemní komunikace, její kategorii a třídě, povětrnostním podmínkám a jiným okolnostem, které je možno předvídat; smí jet jen takovou rychlostí, aby byl schopen zastavit vozidlo na vzdálenost, na kterou má rozhled.“
  - (3) „Řidič motorového vozidla o maximální přípustné hmotnosti nepřevyšující 3500 kg a autobusu smí jet mimo obec rychlostí nejvýše 90 km.h<sup>-1</sup>; na silnici pro motorová vozidla rychlostí nejvýše 110 km.h<sup>-1</sup> a na dálnici rychlostí nejvýše 130 km.h<sup>-1</sup>. Řidič jiného motorového vozidla smí jet rychlostí nejvýše 80 km.h<sup>-1</sup>.“
  - (4) „V obci smí jet řidič rychlostí nejvýše 50 km.h<sup>-1</sup>, a jde-li o dálnici nebo silnici pro motorová vozidla, nejvýše 80 km.h<sup>-1</sup>.“
- ust. § 22 odst. 1: „Řidič přijíždějící na křižovatku po vedlejší pozemní komunikaci označené dopravní značkou "Dej přednost v jízdě!" nebo "Stůj, dej přednost v jízdě!" musí dát přednost v jízdě vozidlům nebo jezdcům na zviřatech přijíždějícím po hlavní pozemní komunikaci nebo organizované skupině chodců nebo průvodcům hnaných zvířat se zvířaty přicházejícím po hlavní pozemní komunikaci.“

- ust. § 2 písm. q), které vymezuje pojem „dát přednost“ jako: „*povinnost řidiče nezahlubit jízdu nebo jízdní úkon nebo v nich nepokračovat, jestliže by řidič, který má přednost v jízdě, musel náhle změnit směr nebo rychlost jízdy*“.

V závislosti na konkrétní situaci je technická příčina nehodového děje na straně vozidla na vedlejší, vozidla na hlavní anebo leží příčina nehody někde mezi nimi, někdo k ní má však zpravidla blíže.

Byla zvolena reprezentativní situace, ve které figurují automobil a motocykl. Pro zjednodušení problematiky byla zvolena křižovatka ve tvaru kříže. V rámci této práce bude automobil zastupovat vozidlo jedoucí na vedlejší silnici a motocykl naopak vozidlo jedoucí na hlavní silnici. V této reprezentativní situaci dochází ke střetu zmíněných dvou vozidel. V rámci analýzy je potřeba stanovit, kdy a kde se přelévá míra odpovědnosti z jednoho vozidla na druhé. Situace je řešena pro případy, kdy automobil vjíždí do křižovatky jak zleva, tak i zprava.



**Obrázek 3** - Automobil vjíždí do křižovatky a) zleva, b) zprava

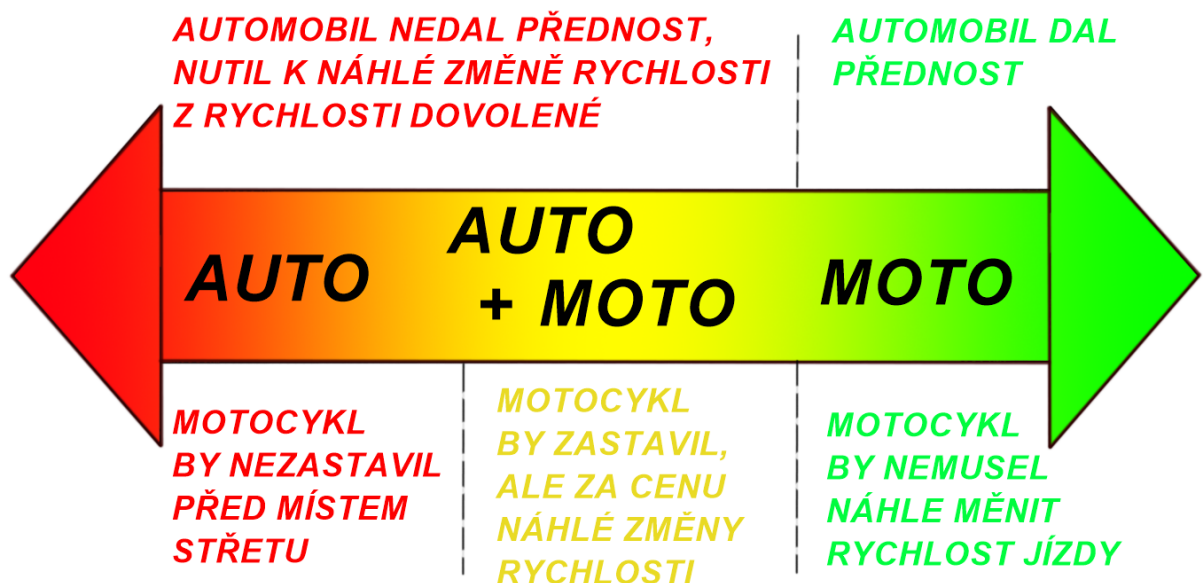
Při této konfiguraci dopravní nehody se vyšetřující orgán (PČR) často setkává s reakcemi řidičů ve smyslu, že řidič automobilu byl určitě v právu, když vjel do křižovatky, neboť motocykl byl od křižovatky ještě dost daleko a při dodržení maximální povolené rychlosti by motocykl nestihl do křižovatky přijet dostatečně rychle. Na druhou stranu může také zaznít reakce, že řidič na vedlejší má dát přednost vozidlům na hlavní silnici. Pokud by řidič automobilu věnoval patřičnou pozornost provozu, pak by jistě věděl, že motocykl bude přinejmenším omezen a tudíž by do křižovatky vůbec neměl vjet.

Oba účastníci řešené vzorové dopravní situace jsou o své argumentaci a správnosti jednání zpravidla pevně přesvědčeni. Jsou si jisti, že jednali v souladu s předpisy. Je však jasné, že někde musela nastat chyba, jinak by nehoda přece vůbec nevznikla.

Příčina nehodového děje se začíná hledat u řidiče na vedlejší. Ten měl podle pravidel silničního provozu dát přednost v jízdě vozidlu na hlavní. I přesto se však rozhodl o jízdě

do křižovatky. Pozornost se poté přesouvá na vozidlo na hlavní. Pokud řidič vozidla na hlavní překročil povolenou rychlost, nevěnoval patřičnou pozornost provozu nebo nastala kombinace obojího, pak narůstá pravděpodobnost, že právě toto jednání vedlo ke střetu. Je však nutné ověřit, zda jednání řidiče na hlavní k nehodě opravdu přispělo. Pokud ano, pak se pomyslně posune příčina nehodového děje na ose příčin (Obrázek 4) směrem doprava. Jestli k tomuto posunu dojde je dáno tím, zdali řidič motocyklu dokáže před křižovatkou zastavit z dovolené rychlosti. Poté následuje zkoumání automobilu na vedlejší. Je nutné posoudit správnost rozhodnutí řidiče na vedlejší o jízdě do křižovatky. V případě, že řidič na vedlejší špatně odhadl přijatelnou vzdálenost motocyklu vzhledem k dovolené rychlosti, dochází k ohrožení vozidla na hlavní. Na ose příčin nastává posun směrem do červených barev a příčina nehodového děje se potom může nacházet v oblasti AUTO+MOTO.

Míra zavinění se plynule přelévá mezi účastníky nehody. Je to dáno výsledky každé z fází analýzy popsané v předchozím odstavci. Pro názornost přelévání odpovědnosti slouží osa příčin na obrázku 4.



Obrázek 4 - Osa příčin (10)

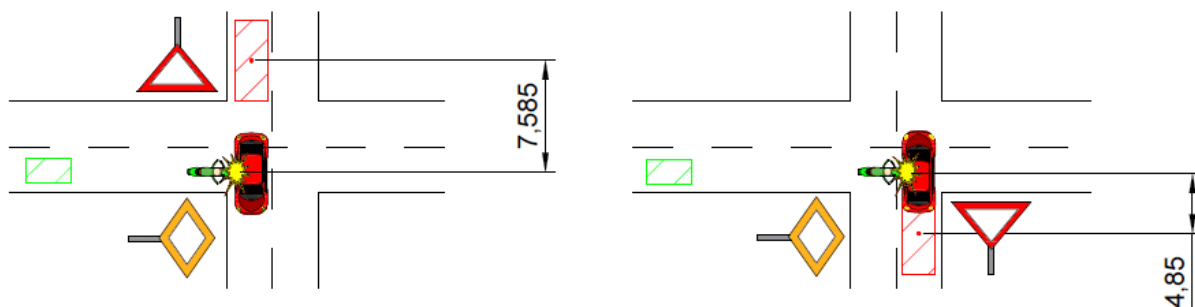
#### 4.1 Veličiny vstupující do výpočtů

V následujícím oddíle jsou některé veličiny označené zkratkou, která je blíže popsána v Seznamu zkratek a symbolů.

### 4.1.1 Veličiny pevně dané

*délka automobilu* – rozměry automobilu byly převzaty z technických specifikací modelu Škoda Octavia, který se na českých dopravních komunikacích vyskytuje v hojném množství. Z toho důvodu je to ideální kandidát pro použití jako referenční vozidlo v této analýze. Parametry byly čerpány z webu Škoda Auto (11), kde délka vozidla měří **4,67 metru**.

$s_a$  – dráha, kterou automobil urazí před střetem. Závislá na tom, přijíždí-li automobil zleva či zprava. Šířka jednoho jízdního pruhu je uvažována o velikosti 3,5 m. Uvažuje se případ, kdy motocykl naráží do automobilu uprostřed svého jízdního pruhu přímo doprostřed délky automobilu. Veličina  $s_a$  potom nabývá hodnot **7,585 metru** a **4,85 metru**, jak je znázorněno v obrázku 5.



**Obrázek 5** - Střet vozidel pro automobil přijíždějící a) zleva, b) zprava

$a_{max}$  – brzdné zpomalení při intenzivním brzdění, kterého je motocykl schopen dosáhnout. Tato hodnota není popsána v Seznamu zkratk a symbolů. V řešeném vzorovém příkladě je uvažována situace za sucha, jelikož je to stav, ve kterém se vozovka obecně nachází nejčastěji. Platí předpoklad, že vozidla jsou v dobrém technickém stavu. Povrch vozovky je betonový, živičný. Na základě uvedených předpokladů uvažujeme brzdné zpomalení, kterého může motocykl dosáhnout při vynaložení veškerého úsilí, o hodnotě **8 m.s<sup>-2</sup>**. O stanovení hodnoty  $a_{max}$  pojednává kapitola 3.2.

$t_{rm}$  – reakční doba řidiče motocyklu je uvažována jako **1 sekunda**. V kapitole 3.1 je tato problematika popsána detailněji. Důsledky reakční doby na vývoj nehodové události jsou popsány v kap. 4.2.

$s_p$  – indikační poloha pro reakci řidiče motocyklu. Vzdálenost rozjezdu automobilu, při které je zjevné, že dojde ke vjetí automobilu do jízdní dráhy motocyklu. Tato vzdálenost je volena o velikosti **1 metr** pro případ, kdy automobil přijíždí do křižovatky zprava. Dráha **2,5 metru** platí pro případ, kdy automobil přijíždí zleva. Tato vzdálenost by měla v běžném provozu stačit

jako signál upozorňující řidiče na pohyb, změnu pohybového stavu nebo vjetí do jízdního pruhu jiných vozidel. Důsledky této veličiny jsou spolu s důsledky  $t_{rm}$  popsány v kap. 4.2.

#### 4.1.2 Veličiny určené předpisy, dispozicemi vozidla a prostředím

$v_{dov}$  – rychlost dovolená. Jsou voleny tři hodnoty: **50 km/h, 70 km/h, 90 km/h**. Volba těchto hodnot pramení z jejich vysoké četnosti použití jako rychlostních omezení na dopravních komunikacích v České republice. Rychlost 50 km/h je maximální povolená rychlost pro jízdu v obci. Rychlost 90 km/h je na druhou stranu maximální povolená rychlost pro jízdu mimo obec. Hodnota 70 km/h je střední rychlost zvoleného intervalu, jejíž hodnota je také často používána jako omezení rychlosti pro místní nebo přechodnou úpravu provozu nebo je také pevně stanovena jako maximální rychlost při přepravě dětí dle ust. § 6 odst. 3 písm. c) ZoSP.

$a_m$  – skutečné zpomalení motocyklu před srážkou. Slouží k určení vzdálenosti motocyklu od místa střetu v momentě rozhodnutí řidiče automobilu o jízdě a ke stanovení počáteční rychlosti  $v_{m0}$ . Voleny jsou hodnoty **8 m.s<sup>-2</sup>, 4 m.s<sup>-2</sup>, 0 m.s<sup>-2</sup>**. Hodnota 8 m.s<sup>-2</sup> je dána hodnotou  $a_{mmax}$ . Charakterizuje intenzivní brzdění. Tato hodnota je použita pro případ, kdy jsou k dispozici stopy prokazující fakt, že řidič intenzivně brzdil (např. blokové stopy). Hodnota 4 m.s<sup>-2</sup> zastupuje případ, kdy lze předpokládat, že řidič motocyklu brzdil, ale nelze očekávat, že brzdil po celou dobu intenzivně. Pokud došlo k intenzivnímu brzdění, pak nevíme, jak dlouho se intenzivním brzděním zpomalovalo. Vyjadřuje průměrnou hodnotu brzdění v průběhu celého nehodového děje. Brzdění 0 m.s<sup>-2</sup> platí pro případ, kdy řidič motocyklu vůbec nebrzdil.

$a_{mn}$  – nenáhlé zpomalení motocyklu slouží k posouzení, jestli by řidič automobilu svým manévrem nutil řidiče motocyklu k náhlé změně rychlosti. Pro tuto veličinu jsou zvoleny reprezentativní hodnoty **4 m.s<sup>-2</sup>, 2,9 m.s<sup>-2</sup>, 2 m.s<sup>-2</sup>**. Hodnota **4 m.s<sup>-2</sup>** je určena jako polovina hodnoty  $a_{amax}$ , což je bráno jako maximální přípustná změna rychlosti, která ještě není brána jako náhlá. Hodnota **2,9 m.s<sup>-2</sup>** je poloviční hodnota zrychlení, kterého by mělo být schopno každé vozidlo v technicky přijatelném stavu a způsobitelném k provozu na pozemních komunikacích. Zpomalení **2 m.s<sup>-2</sup>** zastupuje poklidné zpomalení, které je jednoznačně nenáhlé, zatímco předchozí hodnoty jsou založeny na empirických znalostech, přesná hodnota hranice mezi náhlým a nenáhlým zpomalením není přesně definována žádným zákonem.

#### 4.1.3 Veličiny variantní

$a_a$  – zrychlení automobilu je voleno v rozmezí od **0,5 m.s<sup>-2</sup>** do **2 m.s<sup>-2</sup>**, což pokryje všechny případy, které mohou nastat v běžném provozu.

$v_{strm}$  – nárazová rychlost se pohybuje v intervalu od **30 km/h** do **100 km/h**, aby byla zohledněna většina možností, které se mohou v běžném provozu naskytnout.

## 4.2 Průběh nehodového děje

### 4.2.1 Pro řidiče automobilu

Řidič se podívá do křižovatky, aby zjistil její aktuální dopravní situace. Vidí motocykl na hlavní silnici, ale usoudí, že je od křižovatky ještě dost daleko. Rozhodne se tedy do ní vjet. Proveďte všechny manuální úkony, které jsou potřeba k uvedení automobilu do pohybu, a začne se rozjíždět. V rámci této vzorové situace se uvažuje, že do této chvíle uplynula **1 sekunda** od rozhodnutí řidiče, že pojedou. Následuje rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb se zrychlením  $a_a$  směrem do křižovatky. Počátkem tohoto pohybu je indikační poloha  $s_p$  pro reakci motocyklu. Automobil dále pokračuje v rovnoměrně zrychleném pohybu až do místa nárazu.

### 4.2.2 Pro řidiče motocyklu

Uplyne určitá doba (např. **2 s**) od chvíle, kdy se řidič automobilu rozhodl o jízdě. Během této doby řidič motocyklu stále neví o skutečnosti, že automobil vjede do jeho trajektorie. Automobil nejeví známky pohybu, proto se může zdát, že dává přednost motocyklu na hlavní. Z toho důvodu řidič motocyklu nebrzdí a pohybuje se počáteční rychlostí. Řidič motocyklu si ani po zmíněných 2 sekundách není vědom toho, že do křižovatky vjíždí automobil. Tuto skutečnost zaregistruje až v momentě, kdy automobil urazí dráhu  $s_p$ . Jak dlouho trvá, než automobil urazí tuto dráhu, je závislé na tom, s jakým zrychlením  $a_a$  se řidič rozhodne do křižovatky vjet. Každopádně je to další úsek času, který řidič motocyklu stráví jízdou počáteční rychlostí. Dále následuje doba reakce  $t_{mr}$  na novou skutečnost. Je to další sekunda, po kterou se motocykl pohybuje počáteční rychlostí. Až po jejím uplynutí začíná motocykl brzdit se zpomalením  $a_m$ . Zpomalení je závislé na nalezených stopách na místě nehody. Pokud byly na vozovce nalezeny blokovací stopy, lze soudit, že došlo k intenzivnímu brzdění. Pokud žádné stopy nalezeny nebyly (řidič nevěnoval pozornost provozu, byla omezena viditelnost kvůli počasí apod.), pak lze uvažovat, že k intenzivnímu brzdění nedošlo.

## 4.3 Postup výpočtu pro modelovou situaci

### 4.3.1 Pohyb automobilu v modelové situaci

Cílem této části výpočtu je stanovit, kolik času uběhlo od rozhodnutí řidiče automobilu o jízdě do křižovatky až do momentu střetu vozidel.

V závislosti na tom, zda automobil jede zleva nebo zprava, je určena dráha automobilu  $s_a$ . Ta bude nabývat hodnot 7,585 m nebo 4,85 m.

Následně je podle vzorce

$$t_a = \sqrt{\frac{2 * s_a}{a_a}}$$

stanovena doba, po kterou se automobil pohyboval. Tato hodnota je navýšena o časový úsek mezi rozhodnutím řidiče a počátkem pohybu vozidla (zvolena 1 s). Tím je, z pohledu řidiče automobilu, určena doba celého nehodového děje

$$T_a = t_a + 1.$$

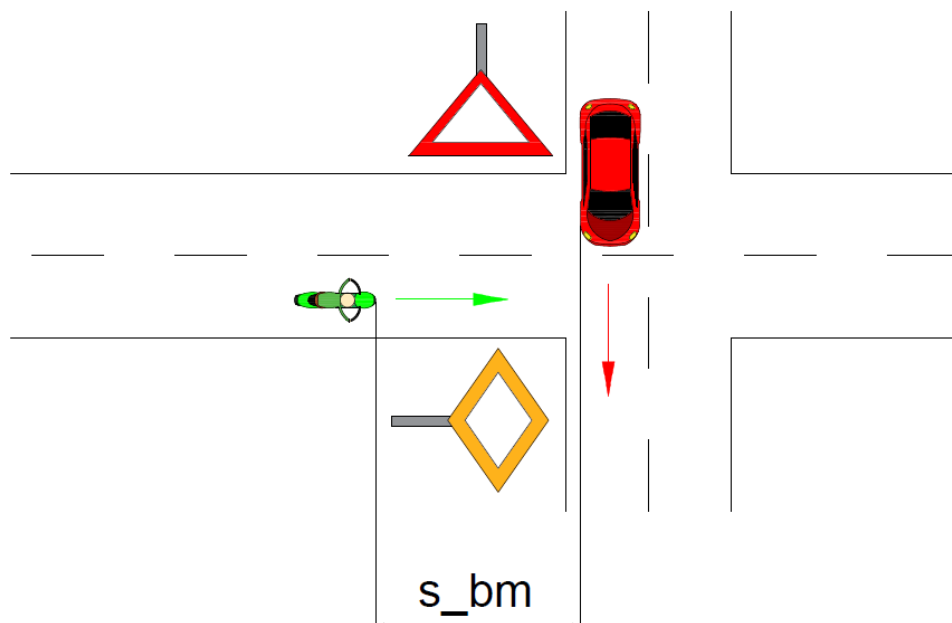
Přičítá se jedna sekunda jako uvažovaná doba mezi rozhodnutím o jízdě a počátkem pohybu automobilu, viz kapitola 4.2.1.

### 4.3.2 Pohyb motocyklu

Pohyb motocyklu je určen zpětně, tj. od nárazu po moment rozhodnutí řidiče automobilu o jízdě. Jako první krok je stanoven čas  $t_{bm}$ , který měl motocykl k dispozici na brzdění. Pokud je viditelná dráha brzdění, pak je z její délky  $s_{bm}$  určena doba brzdění  $t_{bm}$  podle vztahu

$$t_{bm} = \frac{v_{strm} - \sqrt{v_{strm}^2 - 2 * a_m * s_{bm}}}{a_m}.$$





**Obrázek 6** - Motocykl vzdálen od místa střetu na délku brzdné dráhy  $s_{bm}$ .

Pokud nejsou k dispozici stopy brzdění, pak je doba brzdění  $t_{bm}$  dána vztahem

$$t_{bm} = T_a - t_p - t_{rm},$$

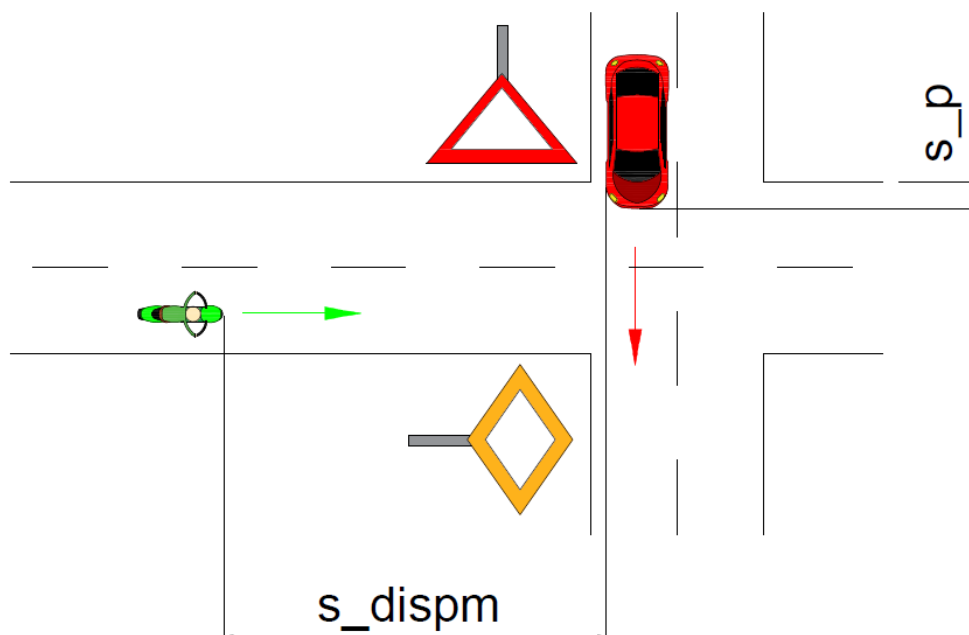
kde je doba  $T_a$  ponížena o čas  $t_p$ , kdy nebylo zjevné, že automobil vjede do křižovatky, a také o dobu reakce řidiče motocyklu  $t_{rm}$ .

Se znalostí doby brzdění lze stanovit počáteční rychlost motocyklu (voleny hodnoty pro  $a_m$  8 m.s<sup>-2</sup>, 4 m.s<sup>-2</sup>, 0 m.s<sup>-2</sup>)

$$v_{0m} = v_{strm} + a_m * t_{bm},$$

velikost **dispoziční dráhy** (vzdálenost vozidla na počátku reakce řidiče od místa střetu), na které má motocykl zastavit

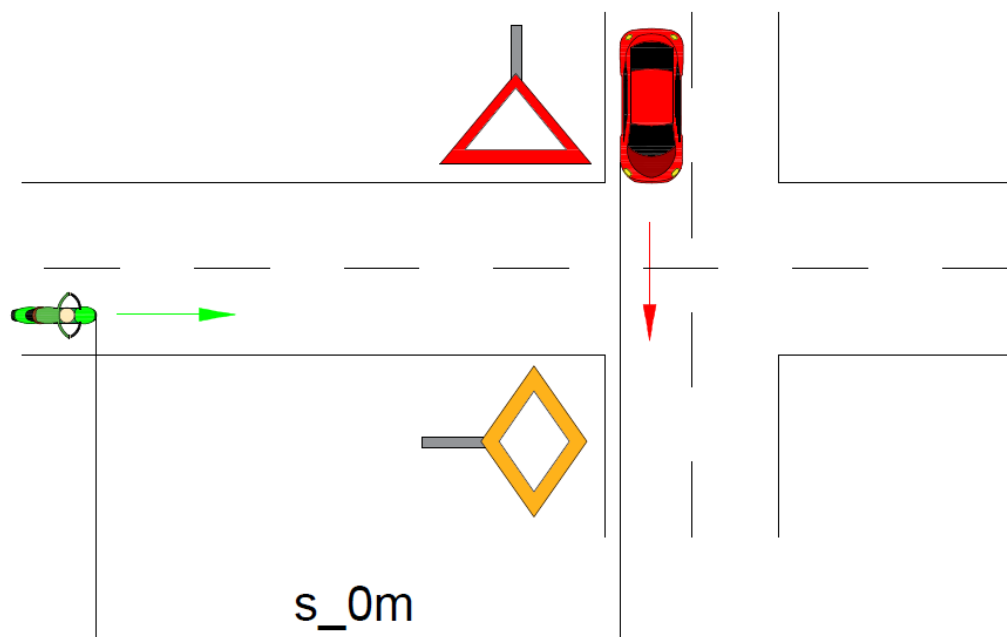
$$s_{dispm} = v_{strm} * t_{rm} + \frac{1}{2} * a_m * t_{bm}^2$$



**Obrázek 7** - Motocykl vzdálen od místa střetu na vzdálenost dispoziční dráhy. Automobil urazil dráhu  $s_p$ , je zaznamenán řidičem motocyklu.

a vzdálenost motocyklu od místa střetu v momentě rozhodnutí řidiče automobilu o jízdě  $s_{0m}$ , která je dána součtem dráhy, na které motocykl brzdí, a součtem dispoziční dráhy, kterou motocykl urazí od momentu rozhodnutí řidiče automobilu o jízdě až do počátku reakce řidiče motocyklu, podle vztahu

$$s_{0m} = s_{dispm} + v_{0m} * t_p.$$



**Obrázek 8** - Motocykl se nachází na počáteční pozici. V tuto chvíli se řidič automobilu rozhodl o jízdě.

Nejdříve je ověřeno, zda by motocykl dokázal zastavit s použitím nejvyšší dostupné hodnoty brzdného zpomalení. Musí však platit, že velikost dispoziční dráhy  $s_{dispm}$  je větší než velikost dráhy

$$s_z = v_{dov} * t_{rm} + \frac{v_{dov}^2}{2 * a_{mmax}},$$

kteřou vozidlo potřebuje na zastavení z rychlosti dovolené s použitím maximálního zpomalení. Pokud je dispoziční dráha větší než dráha na zastavení z rychlosti dovolené, pak je potvrzeno, že z rychlosti dovolené by řidič motocyklu dokázal zastavit. V opačném případě (velikost dráhy, kterou má motocykl k dispozici na zastavení, je menší než velikost dráhy, kterou motocykl potřebuje na zastavení z dovolené rychlosti) platí, že by řidič motocyklu nedokázal včas zastavit kvůli přítomnosti *náhlé překážky* ve své trajektorii.

*„Překážka náhlá je překážka, která je řidiči takovým způsobem, že řidič při správné technice jízdy nemůže zastavit před místem střetu, resp. nemůže odvrátit nehodu.“* (10)

### 4.3.3 Kritérium pro míjení provozu

Pro případy, kdy by motocykl mohl zastavit, je dále potřeba provést analýzu situace, kde motocykl zpomaluje, ale s menším než maximálním možným zpomalením. Pro běžný provoz je to totiž maximální brzdění nepřijatelné řešení, chceme-li dodržet dopravní předpisy. Na suchém betonu lze dosáhnout zpomalení až  $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , což se dá označit jako náhlá změna

rychlosti. Další simulace mají ukázat, zdali mohl motocykl přijet ke křižovatce s použitím pouze nenáhlého zpomalení a přesto se vyhnout nebezpečné dopravní situaci. S takovým zpomalením sice motocykl přijede do křižovatky s nenulovou rychlostí, ale to je, konec konců, požadavek pro zachování plynulosti provozu. Je žádané, aby se vozidla minula s rozumným časovým odstupem. Ten je blíže popsán v kapitole 4.3.3.

Do následujících výpočtů jsou dosazovány hodnoty maximální povolené rychlosti  $v_{dov}$  a nenáhlého brzdění  $a_{mn}$ , se kterými je zdolána dráha  $s_{0m}$ . Děj je odvíjen dopředně, tj. od momentu rozhodnutí řidiče automobilu o jízdě.

Nejprve je určena dráha  $s_{v0m}$ , kterou motocykl ujede s dovolenou rychlostí konstantním pohybem, než začne reagovat na novou překážku v podobě automobilu vjíždějícího do křižovatky podle vztahu

$$s_{v0m} = v_{dov} * (t_p + t_{rm}).$$

Zbývající dráha  $s_{bn}$  k místu srážky je řešena jako pohyb rovnoměrně zpomalený

$$s_{bn} = s_{v0m} - v_{dov} * (t_p + t_{rm}).$$

Ta slouží k určení rychlosti  $v_{1m}$ , kterou se motocykl pohybuje na místě střetu

$$v_{1m} = \sqrt{v_{dov}^2 - 2 * a_{mn} * s_{bn}},$$

ze které je dopočítán čas brzdění  $t_{bmn}$  s použitím nenáhlého zpomalení

$$t_{bmn} = \frac{v_{dov} - v_{1m}}{a_{mn}}.$$

Celkový čas  $T_m$  pohybu motocyklu je dán součtem délky trvání pohybu rovnoměrného s počáteční rychlostí a pohybu rovnoměrně zpomaleného dle vztahu

$$T_m = t_p + t_{rm} + t_{bmn}.$$

Výstupem výpočtu je rozdíl mezi časy  $T_a$  a  $T_m$ . Na jeho hodnotu je kladen požadavek, aby byla větší nebo alespoň rovna **2 sekundám**. Je to časový rozestup, který zajistí, že se vozidla s největší pravděpodobností minou bez vzniku jakékoliv kolize. Hodnota 2 sekundy byla stanovena jako střední hodnota mezi 1 a 3 sekundami. Pro zajištění bezkolizního minutí vozidel je 1 sekunda málo. Naopak 3 sekundy jsou příliš dlouhá doba. Dodržování odstavu na 3 sekundy u každé křižovatky by mohlo vést až ke zdržování provozu.

Je to však hodnota získaná empiricky, pozorováním a častým účastněním se provozu na dopravních komunikacích. Vyjadřuje pocitově dostatečný a bezpečný odstup, který zajišťuje hladký průběh dopravní situace a plynulost provozu.

#### **4.4 Rozbor výsledků po odvíjení nehodového děje s různými parametry**

Pro znázornění výsledků získaných během výpočtů byla vygenerována sada grafických výstupů. Grafy usnadňují orientaci ve výsledcích a závislostech mezi různými veličinami.

V rámci zachování posloupnosti analytických úkonů, která je popsána v kapitole 4.3, jsou nejdříve uvedeny výstupy výpočtů pro případy, kde je zkoumáno, zda by řidič motocyklu dokázal zastavit před místem nehody za použití extrémního úsilí.

Během analýzy je poté nehodový děj odvíjen z počátečních pozic za předpokladu, že byly dodrženy dopravní předpisy. Pro tyto případy se uvažuje zpomalení motocyklu nenáhlé. Jak se projevuje hodnota tohoto zpomalení, je ukázáno v druhé části této kapitoly.

Závěr této kapitoly popisuje vliv nenáhlého zpomalení na velikost oblasti, která je uprostřed osy příčin. Situace v této oblasti nejsou jednoznačné. Nelze v těchto případech přímo stanovit, kdo způsobil nehodu.

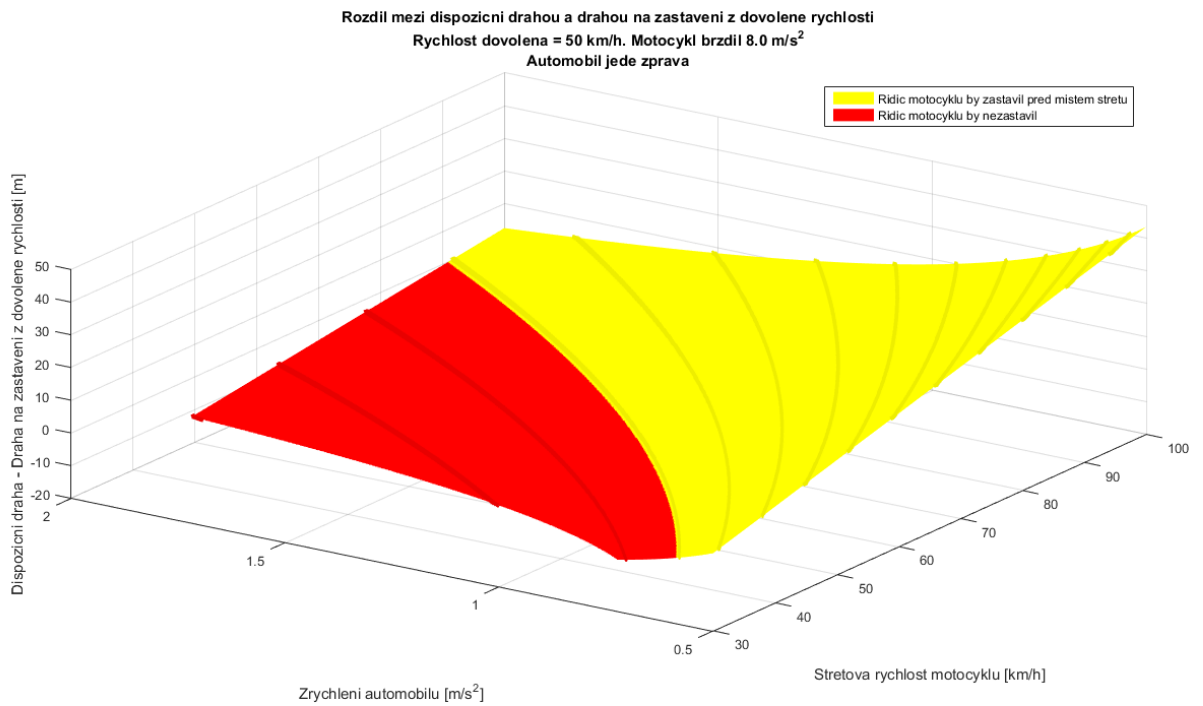
##### **4.4.1 Rozdíl dispoziční dráhy a dráhy na zastavení z rychlosti dovolené**

V grafech pro tuto část analýzy lze pozorovat, za jakých okolností došlo k nesprávnému rozhodnutí řidiče automobilu na vedlejší, který svým rozhodnutím o jízdě do křižovatky ohrozil motocykl na hlavní. Řidič motocyklu tedy neměl dostatečnou dráhu na zastavení před místem střetu i při dodržení rychlostních limitů. Tyto případy jsou označeny červenou barvou. Žlutou barvou jsou označeny situace, ve kterých by řidič motocyklu býval zastavil, pokud by nejel vyšší rychlostí než dovolenou.

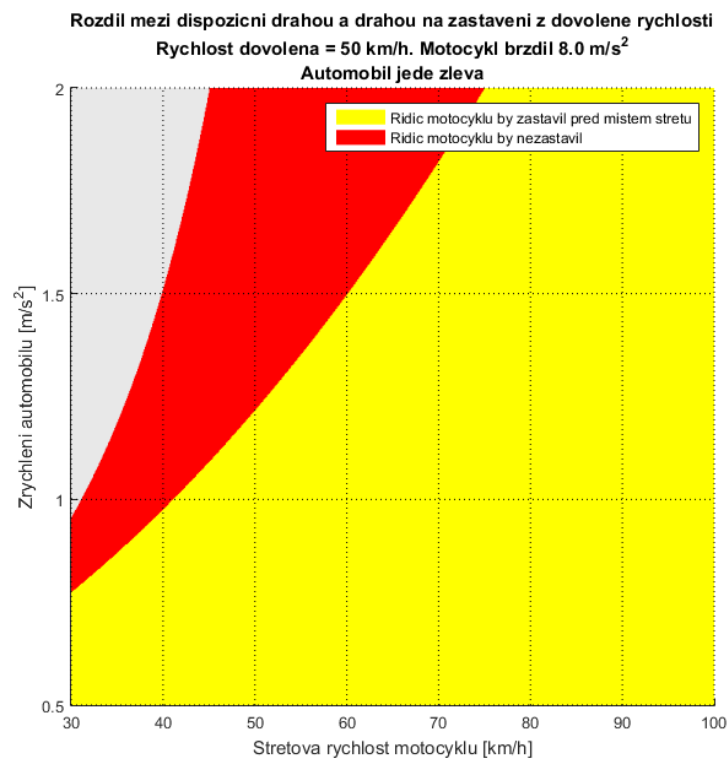
Většina grafů je zobrazena ve formě 2D grafu, avšak všechny grafické výstupy popisují závislost jedné proměnné na dvou nezávislých proměnných, je to tedy graf se třemi osami. Závislost rozdílů drah na střetové rychlosti a zároveň na zrychlení automobilu je zobrazena jako prostorová plocha na obrázku 9.

V grafech 10 - 12 je vyobrazena hranice mezi situacemi, kdy je řidič motocyklu schopen zastavit před křižovatkou z rychlosti dovolené a kdy naopak ne. Každý graf byl sestaven pro jinou hodnotu brzděného zpomalení. Žlutá oblast zastupující případy, kdy motocykl zvládne zastavit z dovolené rychlosti, se s klesajícím brzděním zmenšuje. Děje se tak podle následujícího principu: *Nechť existují dva střety. Pokud má vozidlo v obou případech stejně*

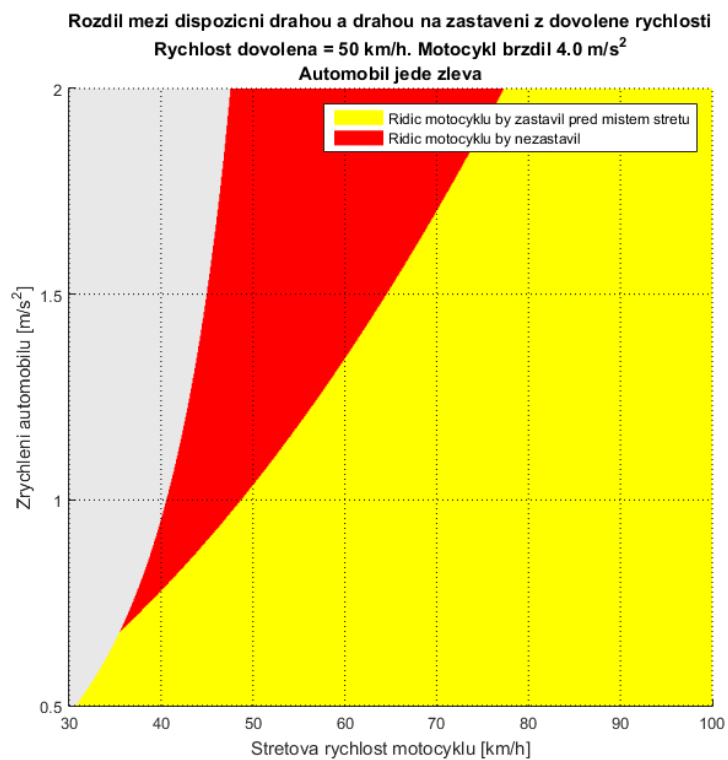
velkou střetovou rychlost, pak v případě menšího zpomalení musí mít vozidlo menší dispoziční dráhu a tím se zhoršují možnosti zastavení před místem střetu.



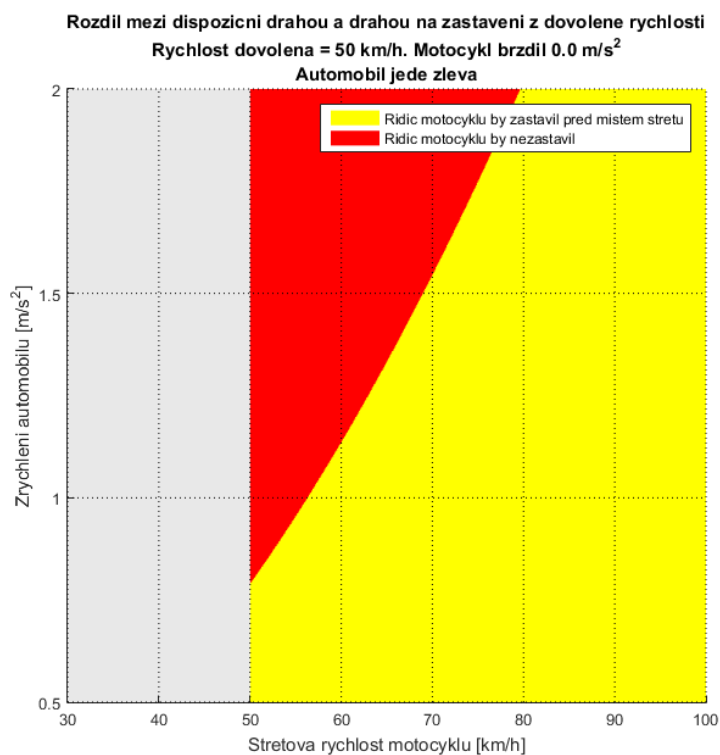
**Obrázek 9** – Závislost rozdílu drah na střetové rychlosti motocyklu a zrychlení automobilu.



**Obrázek 10** - Motocykl by mohl/nemohl zastavit při dovolené rychlosti 50 km/h, když původně brzdil 8 m/s<sup>2</sup>.

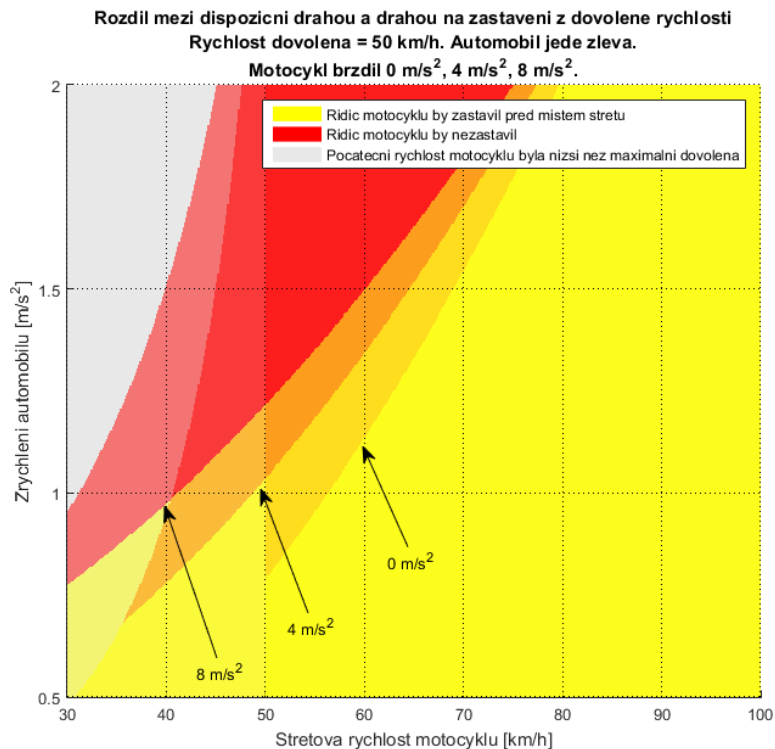


**Obrázek 11** - Motocykl by mohl/nemohl zastavit při dovolené rychlosti 50 km/h, když původně brzdil 4 m/s<sup>2</sup>.



**Obrázek 12** - Motocykl při dovolené rychlosti 50 km/h vůbec nebrzdil.

Na obrázku 13 je kombinace předchozích tří grafů. Tento obrázek slouží k jasnější představě o pohybu hranice mezi případy, kdy řidič motocyklu dokáže zastavit a kdy ne. Z grafů vyplývá, že s narůstající hodnotou brzdného zpomalení motocyklu roste možnost, že měl řidič motocyklu k dispozici více metrů než kolik potřeboval na zastavení. Platí princip zmíněný výše.



**Obrázek 13** - Motocykl by mohl/nemohl zastavit při dovolené rychlosti 50 km/h, když automobil jel zleva.

Na obrázku 14 je vyobrazena kombinace grafů pro různé dovolené rychlosti. Z grafu vyplývá, že s narůstající hodnotou maximální dovolené rychlosti dochází ke zmenšení oblasti případů, kdy motocykl dokáže před střetem zastavit i za použití maximálního zpomalení (červená oblast). Příčina tohoto závěru je jasná. Z vyšší rychlosti zastavuje vozidlo na delší dráze.

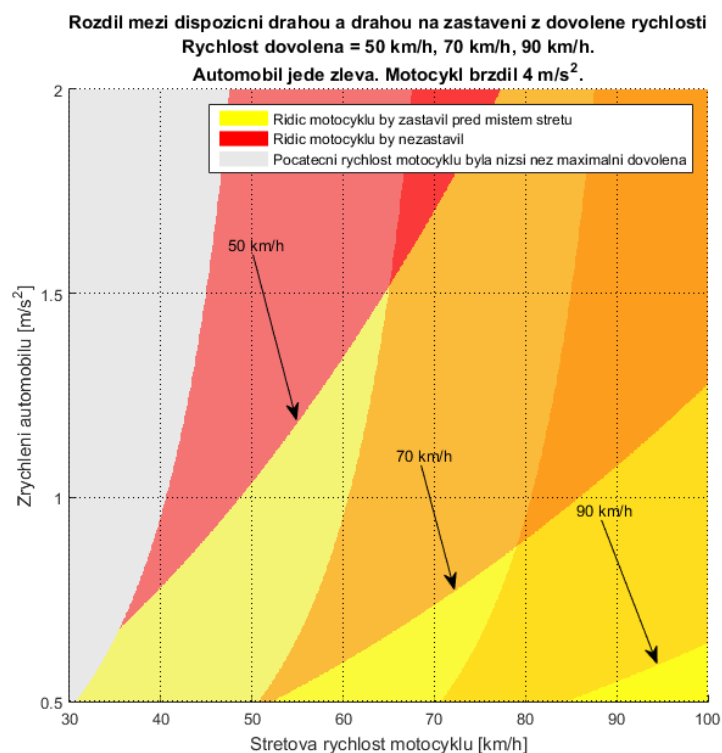
Podle vývoje gradientu hranice mezi oblastmi lze soudit, že s narůstající dovolenou rychlostí stoupá význam zrychlení automobilu na úkor střetové rychlosti. V místě, kde je dovolená rychlost 50 km/h (např. v obci) je významnější veličinou střetová rychlost. V místech s dovolenou rychlostí 90 km/h převažuje svým vlivem hodnota zrychlení automobilu.

**Příklad čtení z grafu:** Příklad se vztahuje k obrázku 13. Je uvažováno zrychlení automobilu o hodnotě 1 m.s<sup>-2</sup>. Za předpokladu, že motocykl brzdil intenzivně (8 m.s<sup>-2</sup>), z grafu vyplývá, že pro střetovou rychlost 35 km/h motocykl nemohl před místem střetu zastavit ani



s dodržением rychlostních předpisů. Pokud by se střetová rychlost pohybovala blízko hodnoty 40 km/h, pak se výsledky nacházejí blízko hranice, kdy motocykl může při dodržení povolené rychlosti zastavit a kdy nikoliv. V takovém nemohou být závěry jednoznačné. Pokud však střetová rychlost nabývá hodnot např. 45 km/h nebo vyšších, pak je jisté, že motocykl by býval mohl zastavit, kdyby dodržel povolenou rychlost.

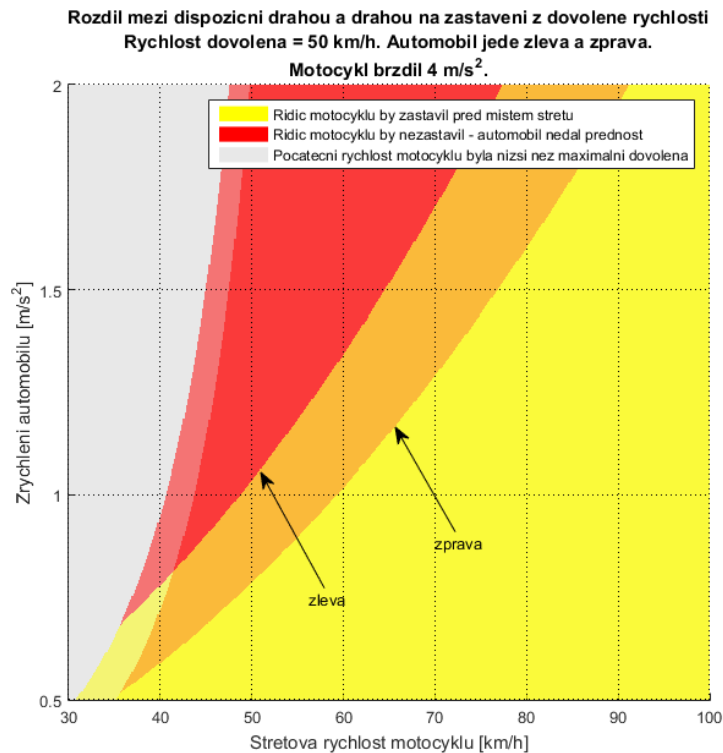
Pokud je uvažována střední hodnota brzdění ( $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ), pak pro rychlost 35 km/h platí stejný závěr. Tato hodnota se pohybuje v šedé oblasti. Tato oblast má ale stejné vlastnosti jako červená. Rozdíl spočívá v tom, že šedá oblast zastupuje hodnoty, kde motocykl jel prokazatelně rychlostí nižší než je rychlost dovolená. V tomto případě tedy plyne opět závěr, že motocykl pro takovou střetovou rychlost zastavit nemohl, musela mu být vytvořena překážka náhlá, před kterou zastavit nedokázal. Rychlost 40 km/h se pro tuto hodnotu brzdění nachází v červené oblasti, tedy stále platí, že zastavit nemohl. Oblast, kde závěry nejsou až tak jednoznačné, se pohybuje pro toto brzdění kolem střetové rychlosti 48 km/h. Pro rychlost 55 km/h s jistotou platí, že motocykl by býval zastavil před místem střetu, kdyby dodržel předepsanou rychlost.



**Obrázek 14** - Motocykl by mohl/nemohl zastavit při různých dovolených rychlostech, kde automobil jel zleva a motocykl brzdil  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

Obrázek 15 porovnává dvě téměř totožné situace. Rozdíl spočívá v tom, jestli automobil jede zleva nebo zprava. Pokud automobil jede zleva, pak je žlutá oblast (motocykl mohl

zastavit, pokud by brzdil maximálně) větší. Příčina tkví v tom, že motocykl má v tomto případě (zleva) více času na zpomalení.

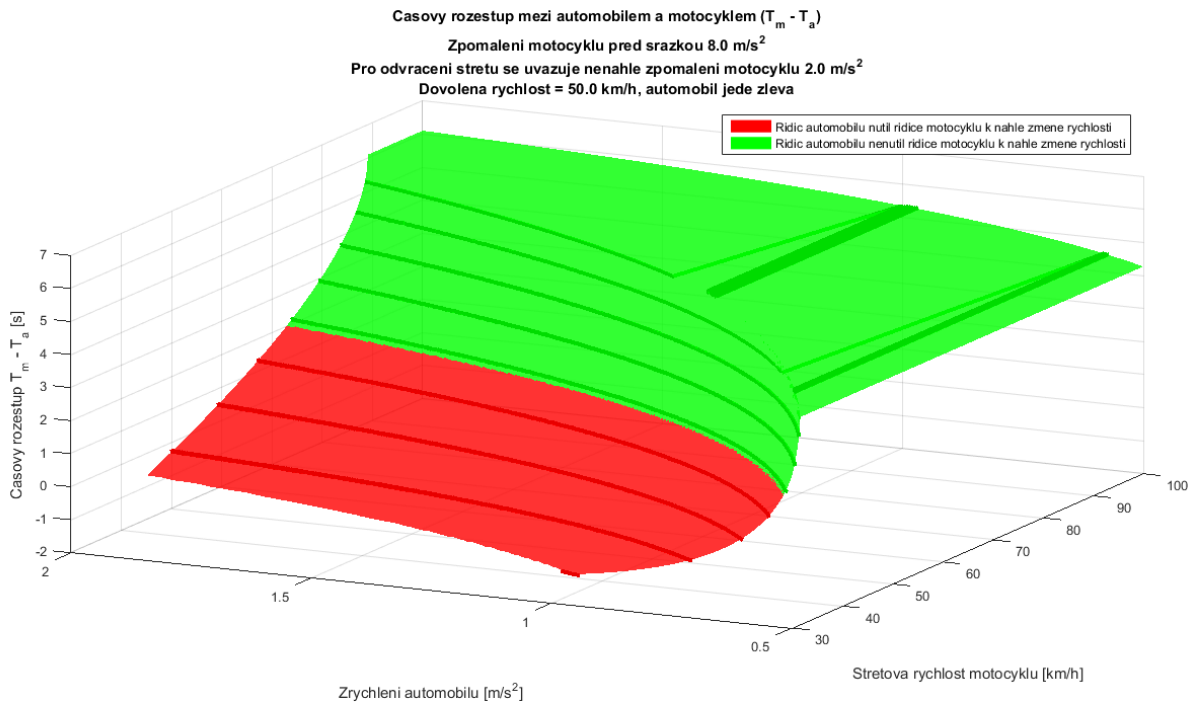


**Obrázek 15** - Rozdíl mezi situacemi, kdy automobil jede zleva a zprava.

#### 4.4.2 Dostatečný časový rozestup mezi motocyklem a automobilem

Stejně jako v předchozí podkapitole, i tady jsou grafy se třemi osami. Pro názornost slouží obrázek 16. Je uvažována situace, kdy automobil brzdí nenáhle z rychlosti dovolené. Je vyžadován časový rozestup projetí křižovatkou podle kapitoly 4.3.3. Jsou posuzovány tři různé hodnoty nenáhlého zpomalení. Rozdíl mezi nimi je zobrazen v následujících grafech.

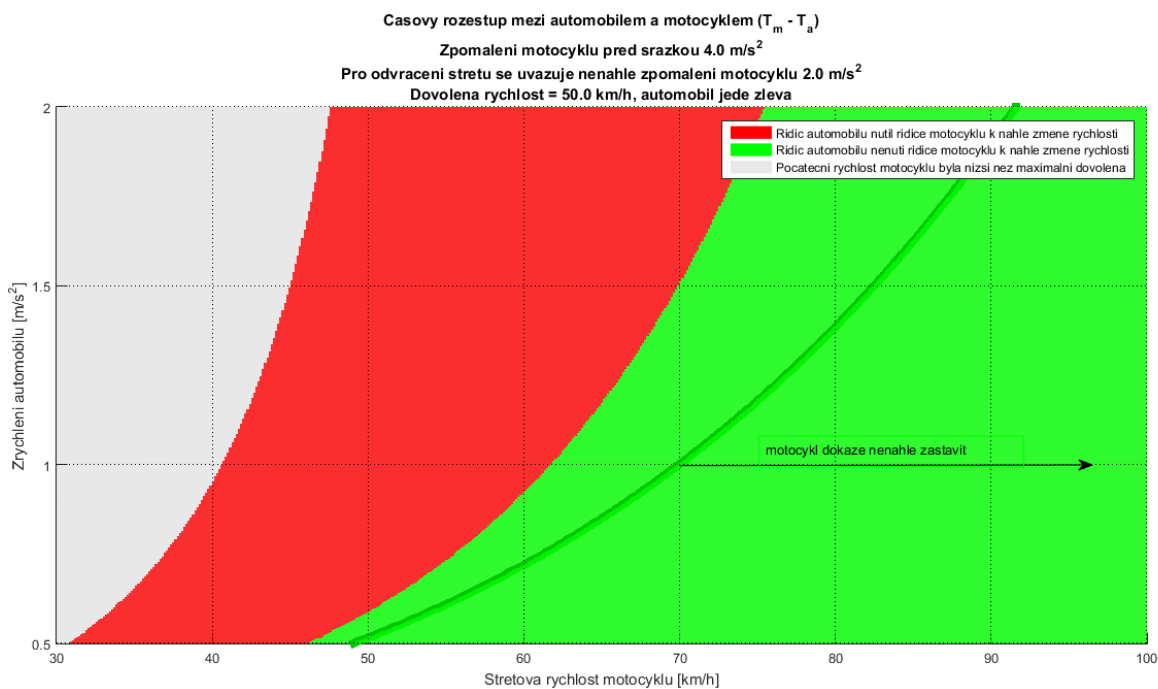
Vyobrazené grafy jsou rozděleny na dvě oblasti. Červená oblast vyznačuje případy, kdy řidič automobilu svým jednáním nutil řidiče motocyklu k náhlé změně rychlosti z rychlosti dovolené. Zelená oblast zastupuje situace, kde řidič automobilu nenutil řidiče motocyklu brzdit náhle. Pokud se motorka pohybuje podle předpisů, projede křižovatkou s požadovaným časovým odstupem. Od modré čáry směrem doprava se nacházejí případy, kdy by motocykl dokonce ještě před křižovatkou zastavil, kdyby brzdil nenáhle.



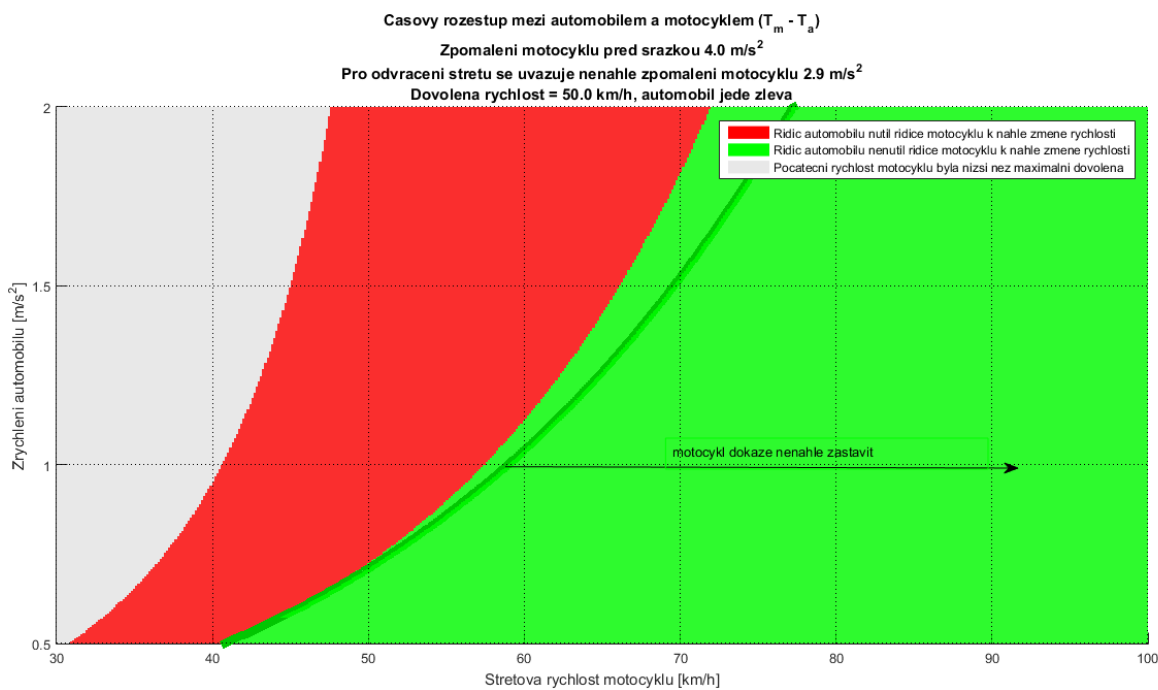
**Obrázek 16** - Graf časového rozestupu mezi automobilem a motocyklem ve 3D.

Na obrázcích 17 - 19 jsou vyobrazeny situace, které se liší aplikovaným nenáhlým zpomalením. S narůstající hodnotou nenáhlého zpomalení narůstá množina případů, kdy by došlo k minutí provozu o požadovaný časový odstup. Děje se tak podle principu popsaného v předchozí podkapitole, která zkoumá, zda vozidlo na hlavní silnici dokáže před místem střetu zastavit. Pro přehlednost vývoje hranice mezi oblastmi slouží kombinace grafů v obrázku 20.

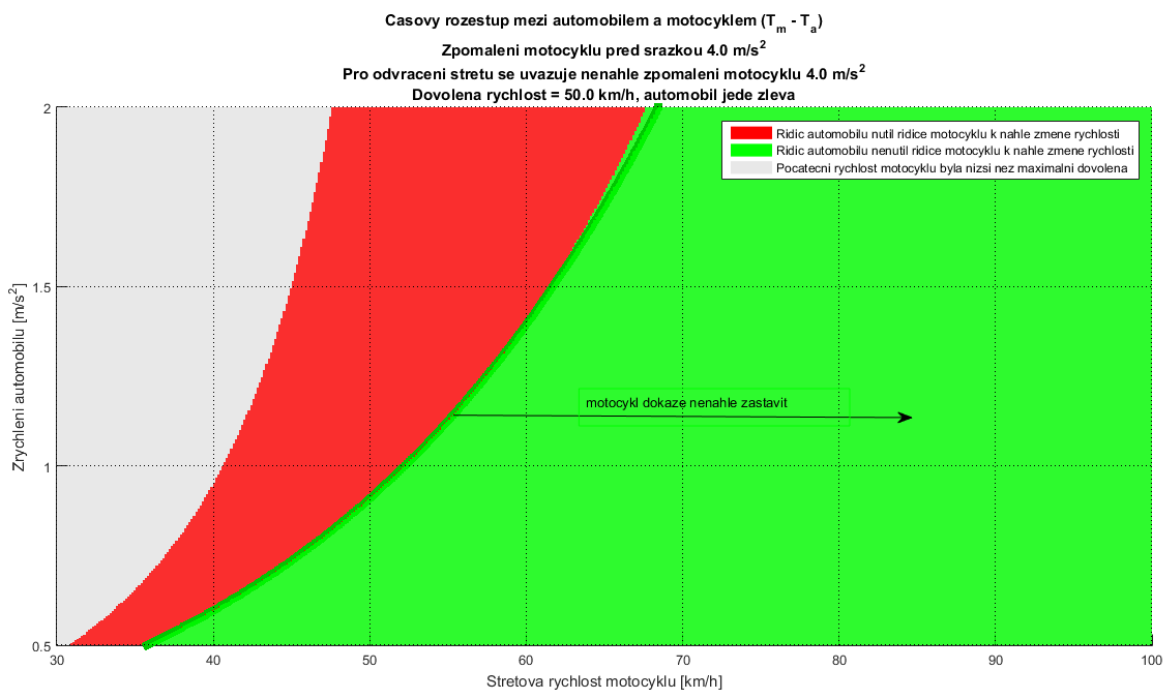
Použité hodnoty nenáhlého zpomalení zastupují hraniční hodnoty brzdného zpomalení, které určují, zda vozidlo brzdilo náhle nebo nenáhle. Následující grafy ukazují závislost výsledku analýzy na volbě tohoto parametru. Jeho hodnota totiž není zákonně stanovena a proto je potřeba posoudit, která hodnota nebo hodnoty jsou nejvhodnější pro řešení dopravní nehody.



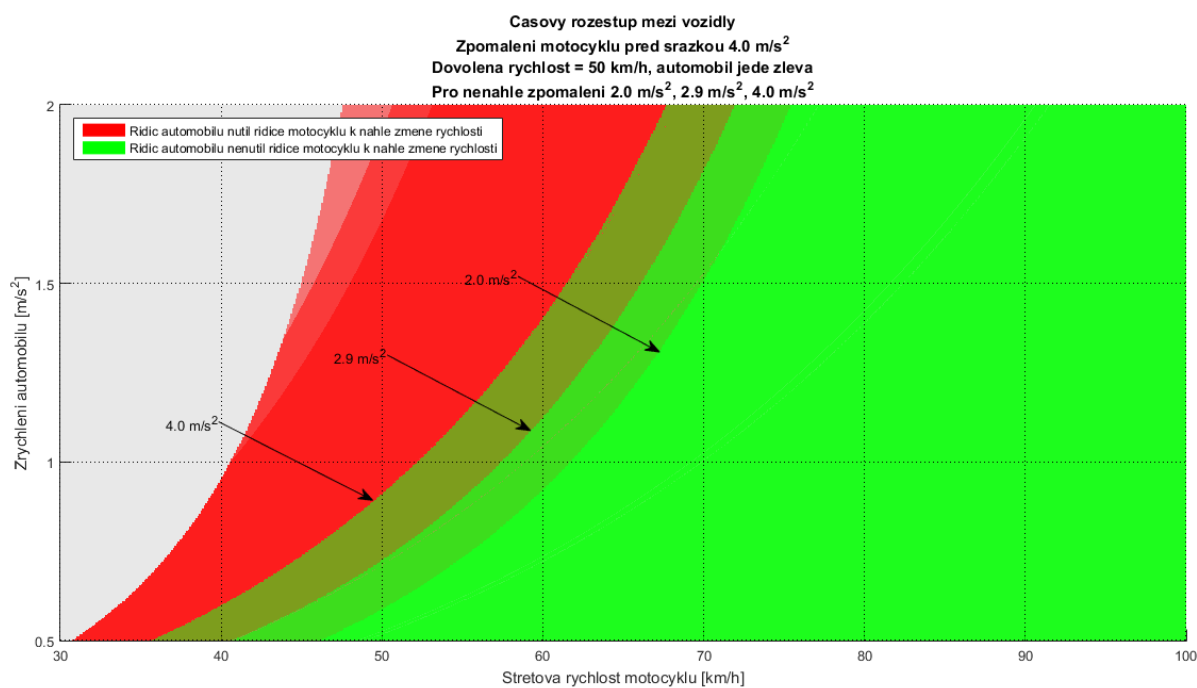
**Obrázek 17** – Řidič automobilu omezil/neomezil motocykl brzdící nenáhle  $2 \text{ m/s}^2$ .



**Obrázek 18** - Řidič automobilu omezil/neomezil motocykl brzdící nenáhle  $2,9 \text{ m/s}^2$ .

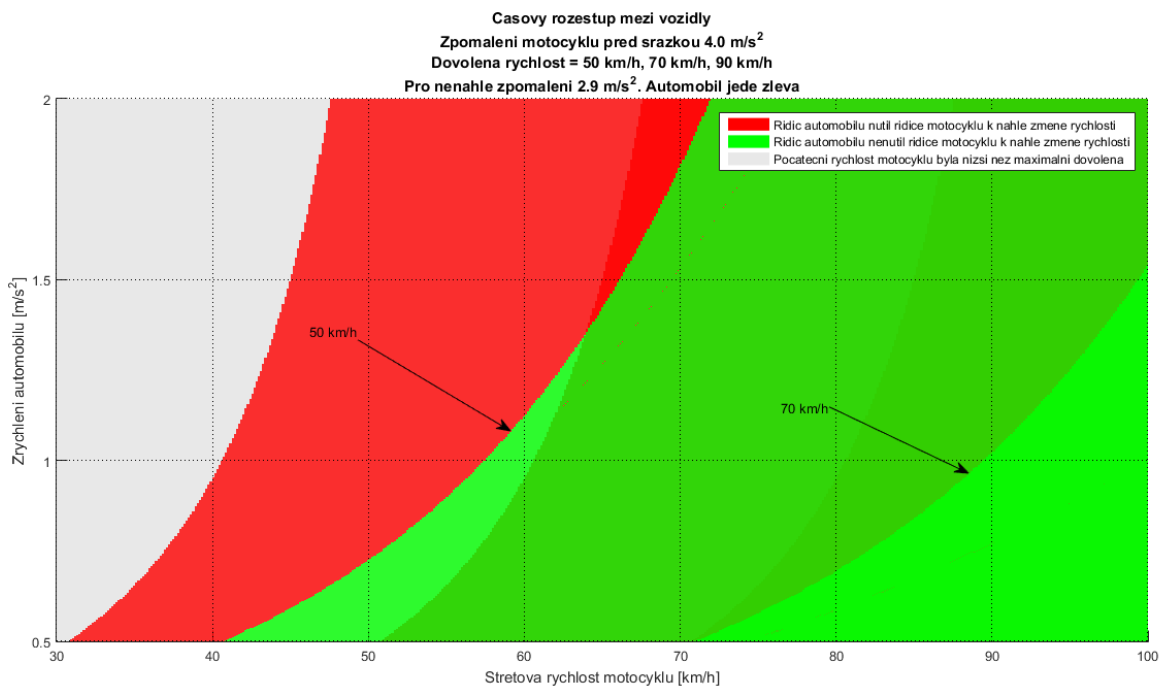


**Obrázek 19** - Řidič automobilu omezil/neomezil motocykl brzdící nenáhle  $4 \text{ m/s}^2$ .



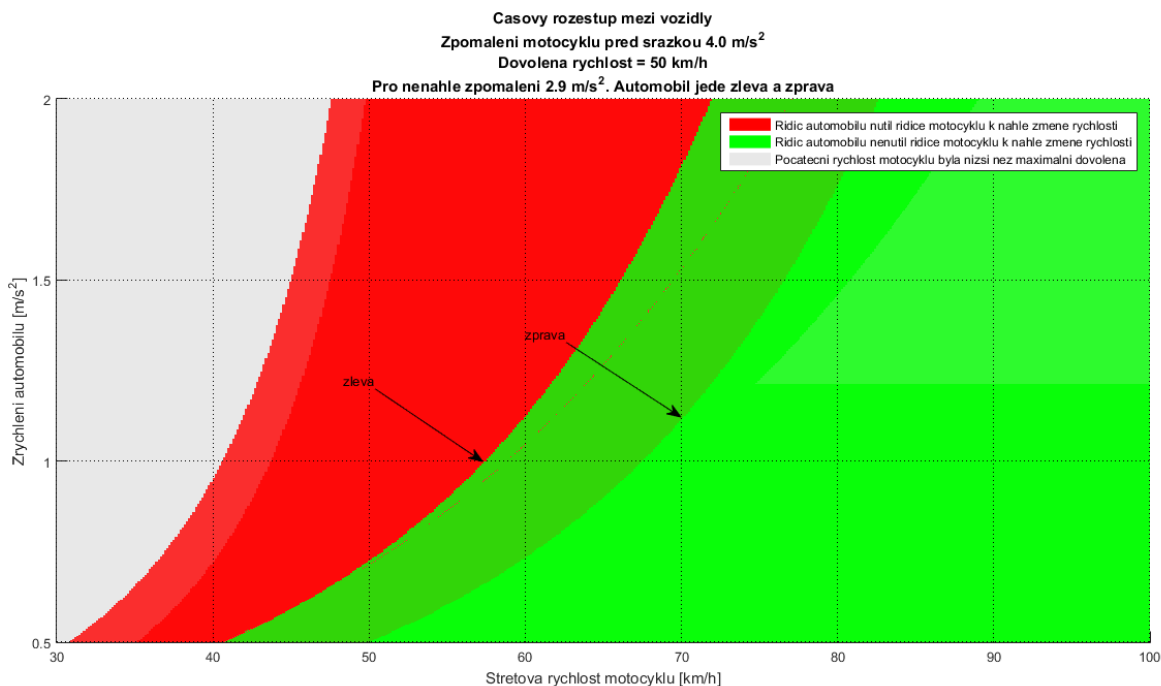
**Obrázek 20** - Řidič automobilu omezil/neomezil motocykl pro různé hodnoty nenáhlého zpomalení.

Z grafů plyne závěr, že pokud má hranice mezi náhlým a nenáhlým zpomalením nižší hodnotu, pak se zvětšuje množina případů, kdy nedošlo k bezpečnému minutí provozů o alespoň požadované  $2 \text{ s}$ .



**Obrázek 21** – Hranice mezi dodržáním a nedodržáním časového odstupu pro různé dovolené rychlosti.

Z obrázku 21 plyne závěr, že příčina nehodového děje ve většině případů leží na straně řidice vozidla na vedlejší a jeho předčasném vjezdu do křižovatky při vysokých rychlostech. Přechod mezi oblastmi pro rychlost 90 km/h není vyobrazen, protože se nenachází v daném rozmezí hodnot nezávislých proměnných.

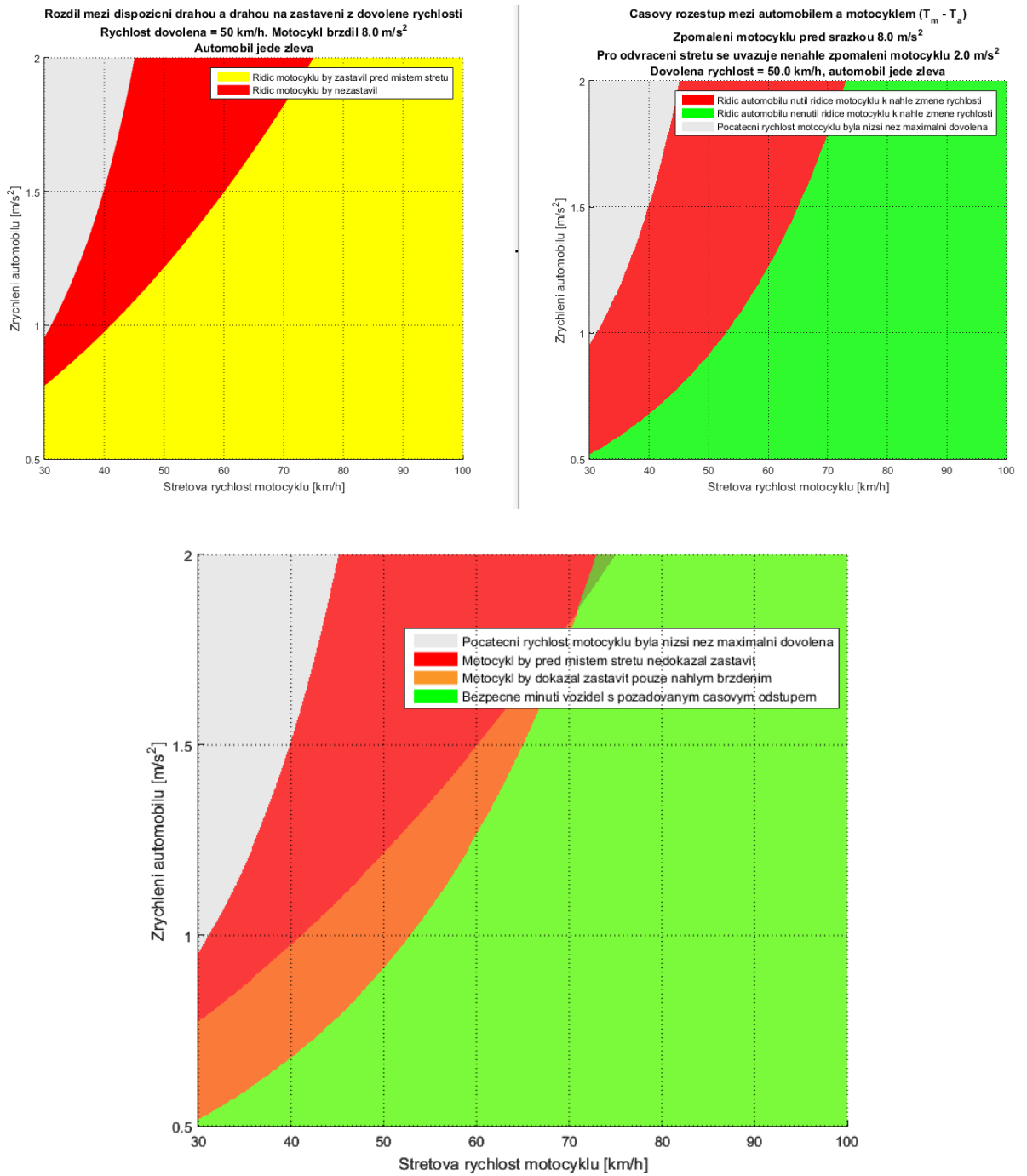


**Obrázek 22** - Hranice mezi dodržením a nedodržením časového odstupu pro automobil jedoucí zleva a zprava.

Oblast minutí provozů s malým časovým odstupem (červená oblast) se zvětšuje pro případ, kdy automobil vjíždí do křižovatky zprava, jak je vidět na obrázku 22. Hranice mezi oblastmi se pohybuje tímto způsobem, neboť pro jízdu zprava má motocykl na hlavní silnici méně času na reakci. Automobil má v tomto případě příznivější podmínky pro to, aby vjel motocyklu do cesty a přinutil ho k náhlému zpomalení.

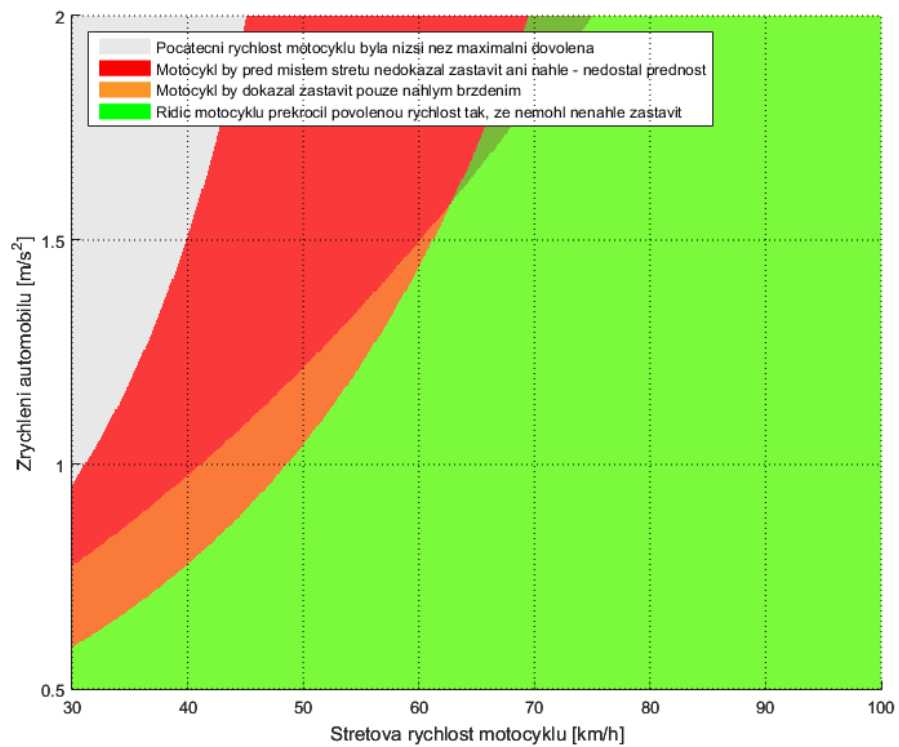
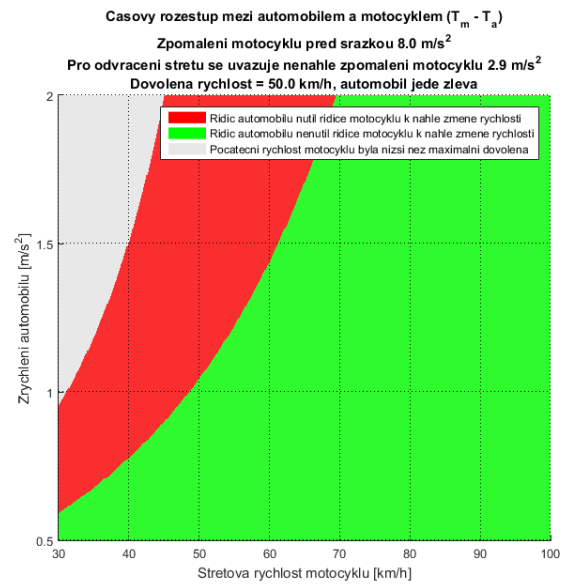
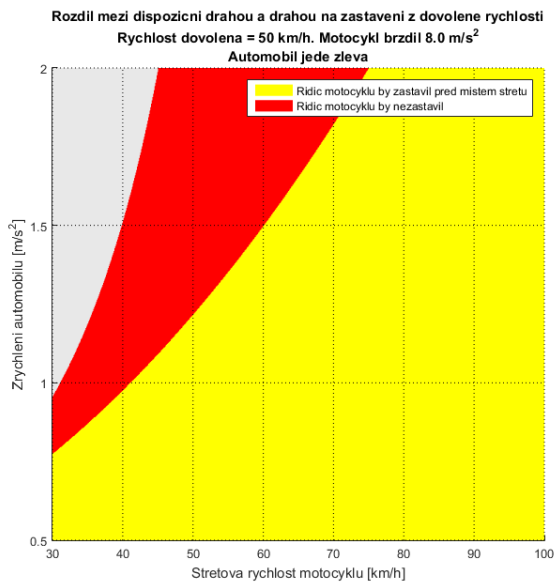
Z uvedených dvojic následujících dále je sestrojen graf, který kopíruje barevné značení i definice příčin nehodového děje shodně s osou příčin na obrázku 3. Každý graf je popsán legendou. V legendě však není zanesena informace o tmavě zelené oblasti. Ta se totiž nenachází na ose příčin.

Tmavě zelená oblast odpovídá případům, kde se motocykl na hlavní pohybuje tak rychle, že nedokáže zastavit před dosažením křižovatky. Automobil na vedlejší se přitom pohybuje tak rychle, že stihne křižovatku projet dostatečně brzy na to, aby mezi vozidly vznikl přijatelně velký časový odstup.

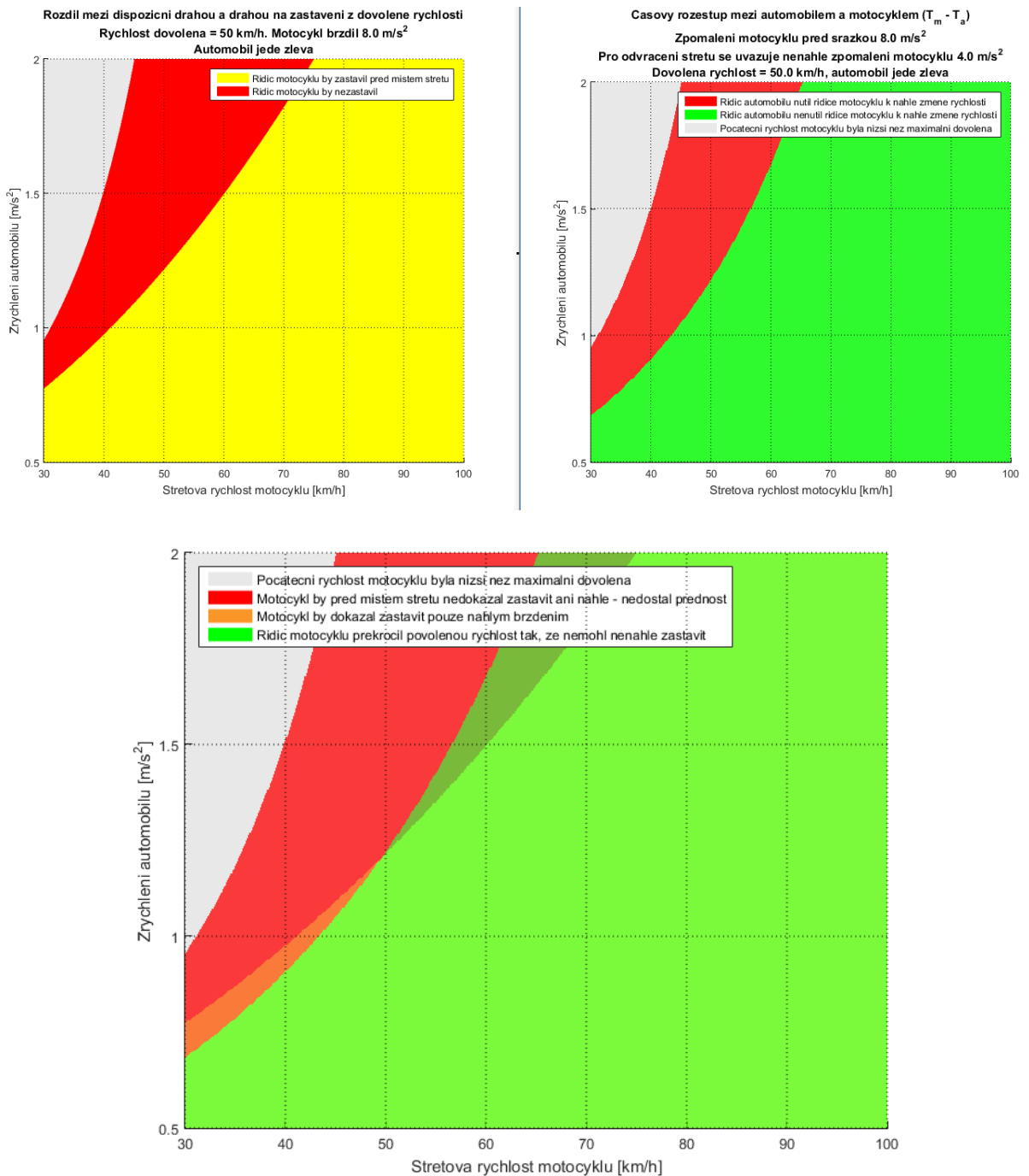


**Obrázek 23** - Kombinace grafů pro možnost zastavení motocyklu před křižovatkou a jeho omezení automobilem pro nenáhle zpomalení motocyklu  $2 \text{ m/s}^2$ .





**Obrázek 24** - Kombinace grafů pro možnost zastavení motocyklu před křižovatkou a jeho omezení automobilem pro nenáhlé zpomalení motocyklu  $2,9 \text{ m/s}^2$ .



**Obrázek 25** - Kombinace grafů pro možnost zastavení motocyklu před křižovatkou a jeho omezení automobilem pro nenáhlé zpomalení motocyklu  $4 \text{ m/s}^2$ .

V posledních třech grafech je nutné upozornit na oranžovou oblast. Ta se s rostoucí hodnotou uvažovaného nenáhlého zrychlení zmenšuje. Následkem toho je přechod mezi příčinou nehody řidiče na hlavní a na vedlejší čím dál ostřejší. Z těchto poznatků plyne ponaučení, že hranice mezi náhlým a nenáhlým brzděním by se měla uvažovat na nižších hodnotách, než je polovina maximálního možného nebo minimálního požadovaného brzděného zpomalení.

## 5 Závěr

Některé z parametrů není možné určit naprosto přesně. Je nutné zaokrouhlovat či volit hodnoty tak, aby se co možná nejvíce blížily realitě. Jednou z takových veličin je zrychlení či zpomalení zúčastněných vozidel. Velikost tohoto atributu nelze určit přesně, jelikož je závislá na spoustě dalších faktorů, které taktéž nelze určit přesně. Z tohoto důvodu nebudou nikdy známé konkrétní rychlosti vozidel v daných okamžicích napříč nehodovým dějem, pouze jejich přibližné hodnoty. Pro rekonstrukci průběhu nehody se znalec zaměřuje na konkrétní okamžiky, kde se kinematické veličiny dají určit nejpřesněji.

V rámci této práce se podařilo sestavit grafy, které názorně ukazují citlivost řešení dopravní nehody v křižovatce na některých vstupních údajích, jako jsou zrychlení vozidla na vedlejší nebo střetová rychlost vozidel.

Z provedených výpočtů a následných grafických výstupů plynou následující poznatky:

- Při zkoumání, zdali motocykl dovede zastavit před místem střetu z dovolené rychlosti má nejvýznamnější vliv právě dovolená rychlost, viz Obrázek 14. Hranice mezi zastavením/nezastavením se v závislosti na dovolené rychlosti pohybuje více než v závislosti na dalších parametrech.
- Druhým nejvíce citlivým parametrem je jízda automobilu zprava nebo zleva. Citlivost už nedosahuje takové hodnoty, i přesto je tento parametr nezanedbatelný, viz Obrázek 15. Oba parametry jsou snadno zjistitelné, takže není potřeba provádět mnoho iterací výpočtů.
- Brzdné zpomalení má na analýzu nejmenší vliv, viz Obrázek 13. Pro vysoké hodnoty zrychlení automobilu (blížící se  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ) je rozdíl mezi použitými hodnotami takřka zanedbatelný. Této vlastnosti, lze využít při odhadu zvoleného brzdného zpomalení. Zvolená hodnota nemusí být moc přesná, vzhledem k nízké citlivosti tohoto parametru.
- Na základě obrázku 14 jsou výsledky pro stanovení možnosti zastavení motocyklu při nižších dovolených rychlostech (50 km/h) citlivé na změnu střetové rychlosti. S narůstající dovolenou rychlostí vliv střetové rychlosti plynule klesá a na významu nabývá zrychlení automobilu.
- V grafu 19 lze pozorovat, že s rostoucí hodnotou nenáhlého zpomalení není potřeba hledat možnost toho, že by došlo k minutí provozu vozidel. Pro hodnotu nenáhlého zpomalení např.  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  téměř není žádný prostor pro splnění kritéria časového odstupu

mezi vozidly. Spíše dojde k nenáhlému zastavení před místem střetu než aby došlo k míjení provozu.

- Při posuzování správnosti rozhodnutí řidiče automobilu (nutnosti náhlé změny rychlosti) byla zjištěna podobná citlivost na pohyb zprava/zleva jako u posuzování zastavení motocyklu před místem střetu.
- Stanovení minutí provozu je nejcitlivější na parametr dovolená rychlost.

Nikdo doposud nestanovil přesnou hranici mezi náhlým a nenáhlým zrychlením. V praxi se často užívá poloviční hodnota nejvyššího dosažitelného zpomalení nebo polovina minimálního zpomalení, kterého by mělo být schopno dosáhnout vozidlo v dostatečně dobrém technickém stavu. Výpočty však nasvědčují tomu, že tyto hodnoty ponechávají málo prostoru pro případy, kdy leží technická příčina nehody mezi účastníky. Nízko položená hranice dává větší prostor pro plynulý přechod pozice příčiny nehodového děje mezi účastníky nehody. Jen v málokterých případech se nachází čistě na straně jediného účastníka. Proto je potřeba tuto oblast rozšířit, aby teoretická analýza více korespondovala s realitou.

Na tuto práci lze dále navázat např. zkoumáním vývoje nehodového děje v křižovatce složitější charakteru. Je řešen pouze přímý směr jízdy. Pokud bude některé z vozidel (nebo obě) na křižovatce odbočovat, výsledky budou jiné a přinejmenším stejně tak zajímavé jako pro přímý směr jízdy.

K výpočtům a vykreslení grafických výstupů byl použit výpočetní software Matlab. Jeho největší předností byly v rámci této práce právě grafické výstupy a vysoká variabilita možností, jak vykreslené grafy popisovat, překrývat přes sebe a možnost sledovat souřadnice jednotlivých bodů v ploše grafu. Funkce „*DEBUG*“ byla v rámci výpočtů nedocenitelnou pomocí, která umožnila najít chyby spojené s tím, jak Matlab zapisuje hodnoty do matic a jak nakládá s imaginárními čísly.

## 6 POUŽITÁ LITERATURA

- (1) ŠACHL (ST.), Jindřich a Jindřich ŠACHL (ML.). *Adheze pneumatik v analýze silničních nehod* [online]. 1. Praha: ČVUT v Praze, 2008 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/projects/k622x1a/lecture/Adheze%20pneumatik.pdf>
- (2) ŠACHL, Jindřich. *Analýza nehod v silničním provozu*. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04638-8.
- (3) ČERMÍN, Stanislav. *Kriminalistika - dopravní nehody*. Praha : SPN, 1968.
- (4) CHMELÍK, Jan. *Dopravní nehody*. 1. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2009. ISBN 978-80-7380-211-0.
- (5) MATOUŠKOVÁ, Ingrid. *Aplikovaná forenzní psychologie*. Praha: Grada, 2013. Psyché (Grada). ISBN 978-802-4745-800.
- (6) STRAUS, Jiří. Prodloužení reakční doby v závislosti na hladině alkoholu. *Kriminalistika*. 2010, **42**(3), 1-2.
- (7) BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: CERM, 1997. ISBN 80-720-4057-X.
- (8) BRADÁČ, Albert. *Příručka znalce - analytika silničních nehod*. 1. Ostrava: Dům techniky ČSVTS, 1985, 299 s.
- (9) STRAUS, Jiří. Tolerance lebky a mozku na vnější mechanické působení. In: *XVI. konference absolventů studia technického znanectví s mezinárodní účastí 26. - 27. 1. 2007 v Brně* [online]. Brno, 2018, s. 7 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <http://exfos.cz/wp-content/uploads/2018/12/str05-straus.pdf>
- (10) MRÁZEK, Zdeněk. *Podklady k semináři: Technicko – právní problematika dopravních nehod*. Pardubice, 2019.

- (11) ŠKODA OCTAVIA. *Oficiální web ŠKODA AUTO a.s.* [online]. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO, 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/octavia/octavia/octavia-rozmary>

## **7 Přílohy**

**Příloha A** - Výpočet pro určení možnosti zastavení motocyklu před místem střetu .....64

**Příloha B** - Výpočet časového odstupu při nenáhlém brzdění motocyklu.....67

## Příloha A - Výpočet pro určení možnosti zastavení motocyklu před místem střetu

```
niter = 700; % počet iterací
t_pohyb = linspace (0,0,niter);
t_a = linspace (0,0,niter);
t_p = linspace (0,0,niter);
t_prodleva = linspace (0,0,niter);
t_bm = linspace (0,0,niter);
v0_m = size (niter, niter);
s_bm = linspace (0,0,niter);
s_disp = size (niter, niter);
delta_s = size (niter, niter);
% inicializace pocatecnich promennych
v_dov = [50/3.6 70/3.6 90/3.6]; % rychlost dovolena [m/s]
v_str = linspace(30/3.6, 100/3.6, niter); % rychlost stretova [m/s]
a_m = [8.0, 4.0, 0.0]; % brzdne zpomalení moto [m/s^2]
a_a = linspace( 0.5, 2, niter); % zrychlení auta [m/s^2]
sirkaPruhu = 3.5; % [m]
delkaAuta = 4.67; % [m]
celkovaDrahaAuta = sirkaPruhu + delkaAuta;
% zprava
s_a(1) = celkovaDrahaAuta - sirkaPruhu/2 - delkaAuta/2;
% zleva
celkovaDrahaAuta = 2*sirkaPruhu + delkaAuta;
s_a(2) = celkovaDrahaAuta - sirkaPruhu/2 - delkaAuta/2;

for s = 1 : 2 % iterace pres smer
    if (s==1)
        smer = 'zprava';
    else
        smer = 'zleva';
    end
    for am = 1 : 3 % iterace pres zpomalení motorky
        for v = 1 : 3 % iterace pres v_dov
            %% Vypocet drahy na zastavení z dovolene rychlosti
            t_r = 1; % [s] % t_r - cas, za který motorka zareaguje
```



```

                                %    na pohyb auta
s_z = v_dov(v)*t_r + (v_dov(v)^2)/(2*a_m(1)); % pocitame se spravnou reakci 1s

for i = 1 : niter                % iterace pres a_a
    for j = 1 : niter            % niter pres v_str
        %% Vypocet dispozicni drahy
        % Vypocet casu pro auto
        if strcmp(smer,'zprava')
            sa = s_a(1);
            s_p = 1;            % s_p - draha, kterou auto musi ujet, aby ridic motorky
                                %    zaregistroval pohyb auta, volim 2.5 metru
        else
            sa = s_a(2);
            s_p = 2.5;
        end
        t_pohyb(i) = sqrt( (2*sa)/a_a(i) ); % t_pohyb - doba, za kterou
                                            %    auto ujede drahu s_a

        t_stani = 1; % t_stani - doba mezi rozhodnutim ridice auta o jizde
                    %    a pohybem kol auta

        t_a(i) = t_pohyb(i) + t_stani;      % cas, za který auto narazi

        % Vypocet casu pro motorku
        t_p(i) = sqrt( (2*s_p)/a_a(i) );    % t_p - cas, za který auto ujede s_p

        t_prodleva(i) = t_stani + t_p(i);   % t_a0 - doba, po které motorka
                                            %    zacina brzdit
                                            %    (zacina cas reakce t_r
                                            %    na nove vzniklou udalost)

        t_bm(i) = t_a(i) - t_prodleva(i) - t_r; % t_bm - doba brzdění motorky

        v0_m(i,j) = v_str(j) + a_m(am) * t_bm(i); % v_0m - pocatecni rychlost
                                                    %    motorky
    end
end

```

```

s_bm(i) = v_str(j) * t_bm(i) + 1/2 * a_m(am) * (t_bm(i)^2);
                                                    % s_bm - brzdna draha motorky
s_disp(i,j) = s_bm(i) + v0_m(i,j) * t_r;
                                                    % s0_m - vzdalenost motorky od
                                                    %    krizovatky v momente, kdy
                                                    %    se auto rozhodlo k pohybu

delta_s(i,j) = s_disp(i,j) - s_z;
end
end
end
end
end
end
end

```

## Příloha B - Výpočet časového odstupu při nenáhlém brzdění motocyklu

```
% v_dov    - rychlost dovolena [km/h]
% v_str_min - minimum intervalu v_str [km/h]
% v_str_max - maximum intervalu v_str [km/h]
% a_a_min   - minimum intervalu a_a [m/s^2]
% a_a_max   - maximum intervalu a_a [m/s^2]
% s_a       - draha pro auto [m]
% s_a_whole - draha, kterou ma auto ujet, aby bylo pryč z vozovky [m]
% a_m       - zpomalení motorčky skutečně [m/s^2]
% a_mn      - zpomalení motorčky pro odvrácení smětu [m/s^2]
% niter     - počet iterací
% smer      - zleva / zprava
% s_p       - indikační poloha [m]

v_str = linspace(v_str_min/3.6, v_str_max/3.6, niter); % [m/s] % v_str - smětovaná
                                                % rychlost moto
v_dov = v_dov / 3.6; % konverze dovolené rychlosti na [m/s]
a_a = linspace(a_a_min, a_a_max, niter); % a_a - Zrychlení auto
t_r = 1; % [s] % t_r - čas, za který motorčka zareaguje
% na pohyb auta

% Výpočty
for i = 1 : niter % iterujeme přes a_a
    for j = 1 : niter % iterujeme přes v_str
        % Výpočet času pro auto
        t_pohyb(i) = sqrt( (2*s_a)/a_a(i) ); % t_pohyb - doba, za kterou
                                                % auto ujede drahu s_a

        t_stani = 1; % t_stani - doba mezi rozhodnutím řidiče auta o jízdě
                    % a pohybem kol auta

        t_a(i) = t_pohyb(i) + t_stani; % čas, za který auto narazí
```

```

% Vypocet casu pro moto
t_p(i) = sqrt( (2*s_p)/a_a(i) );           % t_p - cas, za který auto ujede s_p

t_prodleva(i) = t_stani + t_p(i);         % t_a0 - doba, po které moto
                                           %   zacina brzdit
                                           % (zacina cas reakce t_r
                                           %   na nove vzniklou udalost)

t_bm(i) = t_a(i) - t_prodleva(i) - t_r;   % t_bm - doba brzdeni moto

v0_m(i,j) = v_str(j) + a_m * t_bm(i);    % v_0m - pocatecni rychlost
                                           %   moto

s_bm(i) = v_str(j) * t_bm(i) + 1/2 * a_m * (t_bm(i)^2);
                                           % s_bm - brzdna draha moto

s0_m(i,j) = s_bm(i) + v0_m(i,j) * ( t_prodleva(i) + t_r );
                                           % s0_m - vzdalenost moto od
                                           %   krizovatky v momente, kdy
                                           %   se auto rozhodlo k pohybu

% Vypocet casu pro motorku T_m, kdy motorka jede podle predpisu
s_bnenahle(i,j) = s0_m(i,j) - v_dov * ( t_prodleva(i) + t_r );
                                           % s_bnenahle - draha, která zbyva
                                           %   moto na brzdeni
                                           %   po tom, co se doposud
                                           %   pohybovala povolenou
                                           %   rychlosti

v1_m(i,j) = sqrt( (v_dov^2) - 2 * a_mn * s_bnenahle(i,j) );
                                           % v1_m - rychlost, se kterou moto
                                           %   projizdi krizovatku
                                           %   - je potreba pro vypocet casu,
                                           %   ve kterem moto projizdi křižovatkou

t_bnenahle(i,j) = (v_dov-v1_m(i,j))/a_mn;

```

```

% t_bnenahle - cas, po který moto
%          nenahle brzdi, nez dorazi
%          ke krizovatce

if (s_bnenahle(i,j)>0)
    T_m(i,j) = t_prodleva(i) + t_r + t_bnenahle(i,j);
else
    T_m(i,j) = s0_m(i,j)/v_dov;
end

% Vypocet casu T_a, který auto potrebuje, aby bezpecne prejelo
% do dalsiho pruhu od chvile, kdy se rozhodl, ze pojede
T_a(i) = sqrt( (2*s_a_whole)/a_a(i)) + t_stani;

% Casovy rozestup T_a a T_m
% Pokud ma cela situace probehnout bez komplikaci, mel by byt rozdíl
% aspon 2 sekundy. Auto by melo projet celou svou drahu o 2 sekundy
% drive nez se do krizovatky dostane moto pri dodrzeni max. povolene
% rychlosti a nenahlem brzdeni.
casovy_odstup(i,j) = T_m(i,j) - T_a(i);
end
end

```