

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Analýza aritmetiky kinematických výpočtů dopravních nehod s chodci

Bc. Michal Votroubek

Diplomová práce

2020

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Votroubek**
Osobní číslo: **D17497**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Téma práce: **Analýza aritmetiky kinematických výpočtů dopravních nehod s chodci**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je učinit poznatky o zákonitostech výpočtů a závěrů analýzy nehodového děje. Stanovit metodiku posouzení.

1. Úvod.
2. Základy analýzy nehodového děje.
3. Systém výpočtu.
4. Sestavení závislosti analýzy nehodového děje na vstupních veličinách.
5. Vyhodnocení, závěr.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] BRADÁČ, A. a kol.: Soudní inženýrství. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 1997, ISBN 80-7204-057-X.
- [2] HUGEMANN, W.: Unfall-rekonstruktion. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.
- [3] PORADA, V. a kol.: Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi. Praha: Linde, 2000. 378 s. ISBN 80-7201-212-6
- [4] BRADÁČ, A. a kol.: Příručka znalce I. a II.. Analytika silničních nehod. 1. a 2. díl, Dům techniky ČSVTS Ostrava, 1985, 544 str., Publikační číslo 60/858 A/85.
- [5] RÁBEK, V.: Vybrané postupy analýzy dopravních nehod: (sborník převzatých cizojazyčných publikací). 2009. Olomouc: Properus, 2009. ISBN 978-80-554-0033-4.

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.

Tato diplomová práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Rokytnici v Orlických horách dne 17. 1. 2020

Bc. Michal Votroubek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Zdeňkovi Mrázkovi, Ph.D. za veškerou pomoc při psaní diplomové práce. Především za věnovaný čas, a také za předání osobních zkušeností. Dále bych rád poděkoval všem lidem z univerzity, kteří mi se studiem pomohli, a to jak učitelům, tak i spolužákům. A v neposlední řadě hlavně mé rodině, která mi umožnila studium na vysoké škole, a své přítelkyni za veškerou podporu.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá analýzou dopravních nehod s chodci. Zobrazuje závislosti mezi fyzikálními veličinami, jakožto rychlostí, zrychlením či vzdáleností, které ovlivňují průběh nehodového děje. Z těchto závislostí jsou dále vyvozeny závěry, zda technická příčina nehodového děje je na straně řidiče automobilu nebo na straně chodce přecházejícího vozovku. Na závěr je znázorněno, jakým způsobem tyto veličiny ovlivňují hodnocení příčiny nehodového děje.

Klíčová slova

dopravní nehoda, řidič automobilu, chodec, vozovka, reakční doba

Title

Analysis of the arithmetic of kinematic computations of the traffic accidents with pedestrians

Annotation

This diploma thesis deals with the analysis of traffic accidents with pedestrians. It shows the dependences between physical quantities, such as speed, acceleration, distance, which affect the course of an accident. From these dependencies, conclusions are further drawn as to whether the technical cause of the accident is on the side of the car driver or on the side of the pedestrian crossing the road. Finally, it is shown how these quantities affect the evaluation of the cause of an accident.

Keywords

traffic accident, car driver, pedestrian, road, reaction time

OBSAH

Seznam ilustrací a tabulek	9
Seznam zkratk a symbolů	11
Úvod.....	13
1 Legislativa.....	14
1.1 Legislativa.....	14
1.2 Základní pojmy	14
2 Chodec	16
2.1 Statistiky.....	16
2.2 Přecházení mimo přechod.....	18
2.3 Rychlost chůze	19
2.4 Chodec vs. automobil.....	20
3 Řidič, automobil.....	21
3.1 Reakční doba.....	21
3.1.1 Reakční doba řidiče	22
3.1.2 Odezva automobilu	23
3.1.3 Hodnoty reakčních dob	24
3.1.4 Dráha na zastavení v závislosti na reakční době (v porovnání s počáteční rychlostí).....	25
3.2 Brzdné zpomalení.....	28
3.3 Součinitel adheze	30
3.4 Řidič automobilu.....	32
4 Základy analýzy dopravní nehody vozidla s chodcem	33
4.1 Podklady pro analýzu	33
4.1.1 Stopy na místě dopravní nehody.....	33
4.1.2 Výpovědi zúčastněných, svědků.....	36
4.2 Zjišťování střetové rychlosti při nehodě s chodci	37
4.2.1 Postřetový pohyb vozidla.....	37

4.2.2	Odhození chodce.....	37
4.2.3	Z rozsahu zranění.....	37
4.2.4	Z navinutí těla chodce.....	38
4.3	Aplikace fyzikálních vztahů potřebných pro tuto analýzu.....	38
5	Struktura výpočtu dopravní nehody automobilu s chodcem	40
5.1	Posouzení nehodového děje z hlediska pohybu automobilu.....	41
5.1.1	Chodec přechází zleva	41
5.1.1.1	Předstřetový pohyb řidiče automobilu.....	41
5.1.1.2	Dráha na zastavení.....	42
5.1.1.3	Celkový výpočet – kritérium pro posouzení možnosti odvrácení nehodového děje	43
5.1.2	Chodec přechází zprava	49
5.1.3	Porovnání přecházení ZLEVA/ZPRAVA	51
5.2	Vyhodnocení správnosti rozhodnutí chodce o vstoupení do vozovky.....	52
5.2.1	Situace, kdy chodec přechází zleva	52
5.2.2	Situace, kdy chodec přechází zprava	57
5.2.3	Porovnání přecházení ZLEVA/ZPRAVA	60
5.3	Spojení posouzení ze strany řidiče a posouzení ze strany chodce	61
	Závěr	66
	Použitá literatura	68
	Přílohy.....	70

Seznam ilustrací a tabulek

Obrázek 1. Pravděpodobnost úmrtí chodce závislá na rychlosti vozidla [3].....	17
Obrázek 2. Nehody chodců pod vlivem alkoholu [3].....	18
Obrázek 3. Průběh brzdění [8].....	28
Obrázek 4. 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. [9]	32
Obrázek 5. Modelový případ dopravní nehody automobilu s chodcem [autor].....	40
Obrázek 6. Návrh dráhy chodce ve vozovce S _{CHL} (přecházení zleva) [autor].....	41
Obrázek 7. 3D graf rozdíl dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení [autor].....	44
Obrázek 8. Půdorys 3D grafu rozdílu DD a DZ, intenzivní brzdění [autor]	45
Obrázek 9. Půdorys 3D grafu rozdílu DD a DZ, poloviční brzdění [autor]	46
Obrázek 10. Půdorys 3D grafu rozdílu DD a DZ, nulové brzdění [autor]	46
Obrázek 11. Graf vlivu brzdného zpomalení [autor].....	47
Obrázek 12. Graf vlivu dovolené rychlosti [autor].....	48
Obrázek 13. Návrh dráhy chodce ve vozovce S _{CHP} (přecházení zprava) [autor]	49
Obrázek 14. Půdorys 3D grafu rozdílu DD a DZ, přecházení zprava [autor]	50
Obrázek 15. Graf přecházení ZLEVA/ZPRAVA [autor]	51
Obrázek 16. Náčrt modelové situace přecházení zleva [autor]	52
Obrázek 17. 3D graf – Kritérium minutí provozu o 2 s [autor].....	55
Obrázek 18. Kritérium minutí provozu o 2 s – vliv nenáhlé hodnoty brzdění [autor]	56
Obrázek 19. Kritérium minutí provozu o 2 s – vliv rychlosti dovolené [autor]	57
Obrázek 20. Náčrt modelové situace přecházení zprava [autor]	58
Obrázek 21. Kritérium minutí provozu o 2 s – přecházení zprava [autor].....	59
Obrázek 22. Kritérium minutí provozu o 2 s – porovnání přecházení ZLEVA/ZPRAVA [autor]	60
Obrázek 23. První graf – rozdíl DD a DZ, druhý graf – kritérium minutí provozu o 2 s, oba grafy stejná rychlost dovolená 50 km/h [autor]	61
Obrázek 24. Překrytí grafů – rozdíl DD a DZ, a kritéria minutí provozu o 2 s při nenáhlém brzdění 2 m/s ² [autor]	62
Obrázek 25. Překrytí grafů – rozdíl DD a DZ, a kritéria minutí provozu o 2 s při nenáhlém brzdění 2,9 m/s ² [autor]	63

Obrázek 26. Překrytí grafů – rozdíl DD a DZ, a kritéria minutí provozu o 2 s při nenáhlém brzdění 4 m/s^2 [autor]	63
Obrázek 27. Osa příčin nehodového děje MIMO PŘECHOD [16]	65
Tabulka 1. Rychlost chůze žen [m/s] [5]	20
Tabulka 2. Rychlost chůze mužů [m/s] [5]	20
Tabulka 3. Členění reakční doby subsystému řidič + vozidlo [6]	21
Tabulka 4. Přehled délky jednotlivých úseků reakční doby a odezvy vozidla při nouzovém brzdění osobního automobilu (kapalinové brzdy, normální viditelnost) [6]	25
Tabulka 5. Závislost dráhy potřebné k zastavení na době reakce a počáteční rychlosti [autor]	26
Tabulka 6. Rychlost nárazu do překážky při opožděném začátku brzdění [7]	27
Tabulka 7. Rychlost nárazu v závislosti na délce dráhy chybějící do zastavení [7]	27
Tabulka 8. Velikost součinitele adheze [8]	30

Seznam zkratek a symbolů

DD – dispoziční dráha

DN – dopravní nehoda

DZ – dráha do zastavení

MS – místo střetu provozu

ΔS [m] rozdíl dispoziční dráhy a dráhy na zastavení z rychlosti dovolené

a_B [m/s²] brzdné zpomalení

a_{BNB} [m/s²] nenáhlé brzdění

S_A [m] dispoziční dráha automobilu

S_B [m] brzdná dráha automobilu

S_{BNBD} [m] dráha při nenáhlém brzdění

S_{Dp} [m] dráha prodlevy při dovolené rychlosti

S_{DR} [m] dráha při dovolené rychlosti a reakční době řidiče

S_{CH} [m] dráha chodce od poloviny jízdního pruhu do MS

S_{CHL} [m] šířka vozovky 7 m

S_{CHP} [m] šířka jízdního pruhu 3,5 m

S_{CHpL} [m] návrh dráhy chodce zleva

S_{CHpR} [m] návrh dráhy chodce zprava

S_{CHr} [m] dráha chodce po dobu reakční doby řidiče

S_{PA} [m] počáteční dráha automobilu

S_z [m] dráha do zastavení z rychlosti dovolené

T_A [s] celkový čas automobilu

t_B	[s]	doba brzdění
T_{BNB}	[s]	čas po dobu nenáhlého brzdění
t_{CH}	[s]	čas chodce od poloviny jízdního pruhu do MS
T_{CH}	[s]	celkový čas chodce ve vozovce, případně v jízdním pruhu
t_{CHpL}	[s]	čas, kdy se chodec rozhodl že půjde situace zleva
t_{CHpP}	[s]	čas, kdy se chodec rozhodl že půjde situace zprava
t_r	[s]	reakční doba řidiče
v_0	[m/s]	počáteční rychlost automobilu
v_D	[m/s]	dovolená rychlost
V_{DOV}	[m/s]	dovolená rychlost
v_{CH}	[m/s]	rychlost chodce ve vozovce
$v_{stř}$	[m/s]	rychlost střetu
$v_{střetD}$	[m/s]	střetová rychlost při rychlosti dovolené

Úvod

Silniční doprava je nedílnou součástí našeho každodenního života. Využívá se k přepravě osob, zvířat, potravin, léků a mnoha dalších věcí. V minulosti byly dopravní prostředky na primitivní úrovni, jakožto například koňský povoz nebo dále ve vývoji povozy na parní pohon. Nicméně doba, tudíž i vývoj dopravních prostředků se posouvá neustále kupředu.

Dopravní prostředky nezastavitelně přibývají a jsou stále na lepší úrovni, což v mnoha případech představuje určité riziko. Jejich rychlosti běžně dosahují přes 100 km/h, a i přes to, že to zákon nedovoluje, řidiči se mnohdy pohybují rychlostí ještě mnohem vyšší. Není tedy divu, že dopravních nehod neustále přibývá.

Když už však dopravní nehoda vznikne, je zapotřebí ji především správně posoudit a vyvodit důsledky, kdo je ve vzniklé situaci viník a kdo poškozený. V České republice se ke vzniklé dopravní nehodě volají jednotky Integrovaného záchranného systému, podle posouzení konkrétní situace. Policie danou situaci ohledá, přičemž vyslechne účastníky dopravní nehody přímo na daném místě, pokud jsou ve stavu způsobilém k výpovědi, a stanoví viníka dopravní nehody. Když tomu tak není nebo se účastníci dopravní nehody nedomluví, případně nějaký účastník pozmění výpověď v neprospěch někoho jiného, případ končí u soudního řízení.

Při soudním procesu se předkládají výpovědi všech zúčastněných osob nehody, většinou včetně posudku od znalce dopravních nehod, který vypracuje posudek na konkrétní nehodu. Součástí znaleckého posudku jsou právě výpočty kinematických veličin a jejich závislostí, kterými se tato práce zabývá.

V této práci je vyobrazena analýza veličin, které ovlivňují průběh nehodového děje automobilu a chodce. Vyskytují se zde případy, kdy je vina jednoznačná, ale také případy, kdy je vina na hraně mezi chodcem a řidičem a cílem této práce je určit, kde se tato hrana nachází. Posuzuje se, zda řidič automobilu nemohl přizpůsobit svoji jízdu a tím zabránit nehodě, a zároveň zda chodec před vstupem do vozovky správně vyhodnotil situaci.

1 Legislativa

1.1 Legislativa

Tato práce se zabývá dopravními nehodami, jako první musím uvést zákon o provozu na pozemních komunikacích.

- **Zákon č. 361/2000 Sb.**, o provozu na pozemních komunikacích, ze dne 14. září 2000.

Tento zákon byl od roku 2001, kdy nabyl účinnosti, novelizován mnoha zákony. Z tohoto zákona plynou práva a povinnosti nejen řidiče automobilu ale i chodce.

Povinnosti řidiče plynou mimo jiné hlavně z §4 a §5 tohoto zákona. Povinnosti chodce plynou z §53 a §54 v oddílu 5 tohoto zákona.

- **Zákon č. 36/1967 Sb.**, o znalcích a tlumočnících, ze dne 6. dubna 1967. Tento zákon pozbyde platnosti 1.1.2021 a nahradí ho Zákon č. 254/2019 Sb., o znalcích, znaleckých kancelářích a znaleckých ústavech, který vejde v platnost právě 1.1.2021.

1.2 Základní pojmy

§2 Vymezení základních pojmů, ze zákona č. 361/2000 Sb. obsahuje následující pojmy, vybrali jsme jen ty, které je potřeba mít na paměti, při řešení této práce. Značení pořadí těchto pojmů zachováno tak jak je v tomto zákonu uvedeno.

- a) „účastník provozu na pozemních komunikacích je každý, kdo se přímým způsobem účastní provozu na pozemních komunikacích,*
- d) řidič je účastník provozu na pozemních komunikacích, který řídí motorové nebo nemotorové vozidlo anebo tramvaj; řidičem je i jezdec na zvířeti,*
- f) vozidlo je motorové vozidlo, nemotorové vozidlo nebo tramvaj,*
- j) chodec je i osoba, která tlačí nebo táhne sánky, dětský kočárek, vozík pro invalidy nebo ruční vozík o celkové šířce nepřevyšující 600 mm, pohybuje se na lyžích, kolečkových bruslích nebo obdobném sportovním vybavení anebo pomocí ručního nebo motorového vozíku pro invalidy, vede jízdní kolo, motocykl o objemu válců do 50 cm³, psa a podobně,*

- l) nesmět **ohrozit** znamená povinnost počínat si tak, aby jinému účastníku provozu na pozemních komunikacích nevzniklo žádné nebezpečí,*
- m) nesmět **omezit** znamená povinnost počínat si tak, aby jinému účastníku provozu na pozemních komunikacích nebylo nijak překáženo,*
- q) dát přednost v jízdě znamená povinnost řidiče nezahájit jízdu nebo jízdní úkon nebo v nich nepokračovat, jestliže by řidič, který má přednost v jízdě, musel náhle změnit směr nebo rychlost jízdy,*
- cc) obec je zastavěné území, jehož začátek a konec je na pozemní komunikaci označen příslušnými dopravními značkami; na účelových komunikacích se značky neosazují. “ [1]*

Z §18 Rychlost jízdy, ze zákona č. 361/2000 Sb., plyne mimo jiné pro rychlost řidiče automobilu následující:

- (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.*
- (2) Řidič nesmí*
- a) snížit náhle rychlost jízdy nebo náhle zastavit, pokud to nevyžaduje bezpečnost provozu na pozemních komunikacích,*
 - b) omezovat plynulost provozu na pozemních komunikacích, zejména bezdůvodně pomalou jízdou a pomalým předjížděním.*
- (3) Řidič motorového vozidla o maximální přípustné hmotnosti nepřevyšující 3 500 kg a autobusu smí jet **mimo obec** rychlostí nejvýše **90 km.h⁻¹**; na silnici pro motorová vozidla rychlostí nejvýše 110 km.h⁻¹ a na dálnici rychlostí nejvýše 130 km.h⁻¹. Řidič jiného motorového vozidla smí jet rychlostí nejvýše 80 km.h⁻¹.*
- (4) V **obci** smí jet řidič rychlostí nejvýše **50 km.h⁻¹**, a jde-li o dálnici nebo silnici pro motorová vozidla, nejvýše 80 km.h⁻¹. “ [1]*

2 Chodec

Nejohroženější skupinou v silničním provozu jsou právě chodci. Jsou nejvíce zranitelní, jelikož nemají žádné ochranné karoserie, navíc jsou vůči automobilu takřka zanedbatelní, a tak často utrpí mnohočetná poranění, v horších případech mohou zemřít. Právě proto je potřeba, aby chodci v silničním provozu byli obezřetní a využívali své smysly, především zrak a sluch, naplno. Důležité také je přemýšlet a předvídat, a tím předcházet kolizi s dopravním prostředkem.

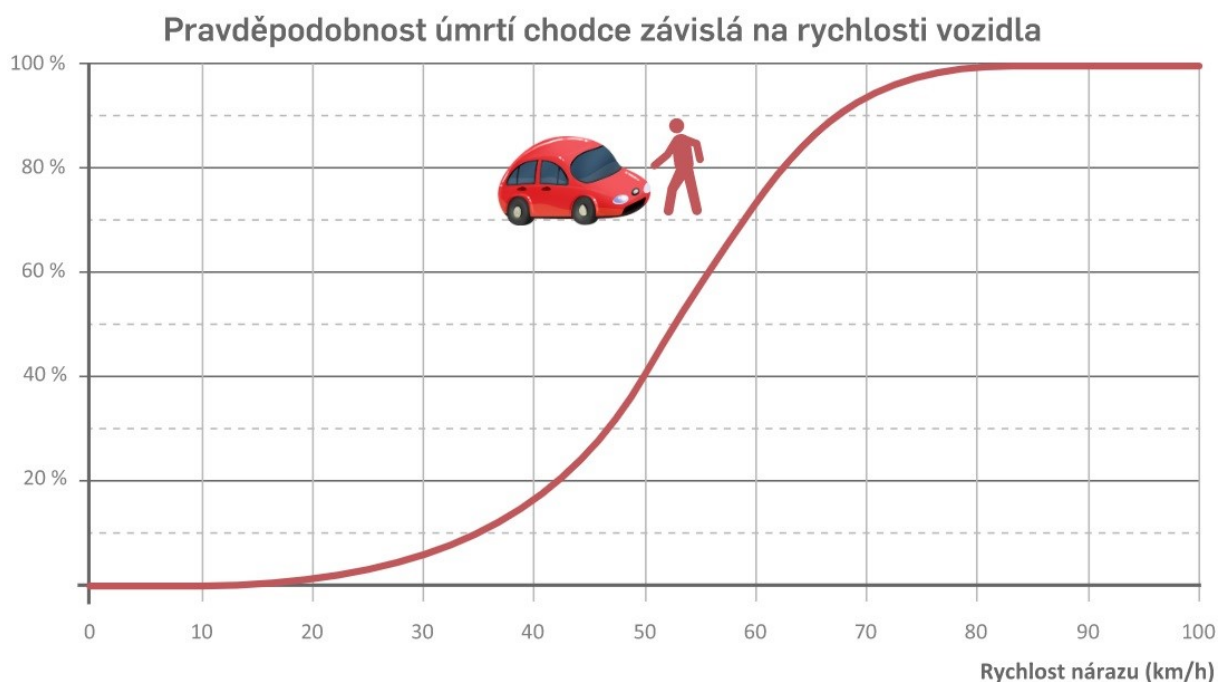
2.1 Statistiky

Policie vyhodnocuje mnohé statistiky dopravních nehod, ze kterých vyplývá, že nejvíce chodců umírá za snížené viditelnosti během zimních měsíců listopad, prosinec a leden. [2]

Mezi nejčastější příčiny, kdy chodec umírá vlastním zaviněním je zejména nepozornost chodce a náhlé vběhnutí do vozovky z chodníku, při kterém nedá přednost projíždějícímu automobilu. S tím souvisí přecházení vozovky mimo přechod pro chodce a špatně odhadnutá rychlost a vzdálenost vozidla při přecházení. Je však i mnoho případů, kdy je chodec sražen automobilem i na přechodu pro chodce, z čehož plyne, že chodec musí dávat vždy dobrý pozor, pokud se rozhodne vstoupit do vozovky.

Ze statistiky v roce 2019 vyplývá, že počet dopravních nehod zaviněných chodcem se dostal na číslo 1079, při kterých zemřelo 11 osob. Celkově při dopravních nehodách v roce 2019 zemřelo 93 chodců. [2]

Na následujícím grafu je zobrazeno riziko úmrtí chodce při střetu s automobilem



Obrázek 1. Pravděpodobnost úmrtí chodce závislá na rychlosti vozidla [3]

Z obrázku 1. vyplývá, že pravděpodobnost usmrcení chodce rapidně vzrůstá od nárazové (střetové) rychlosti 30 km/h po rychlost 70 km/h. Při nárazové rychlosti do 20 km/h je pravděpodobnost úmrtí minimální, naopak od rychlosti 80 km/h je pravděpodobnost úmrtí velmi vysoká, až takřka stoprocentní. [3]

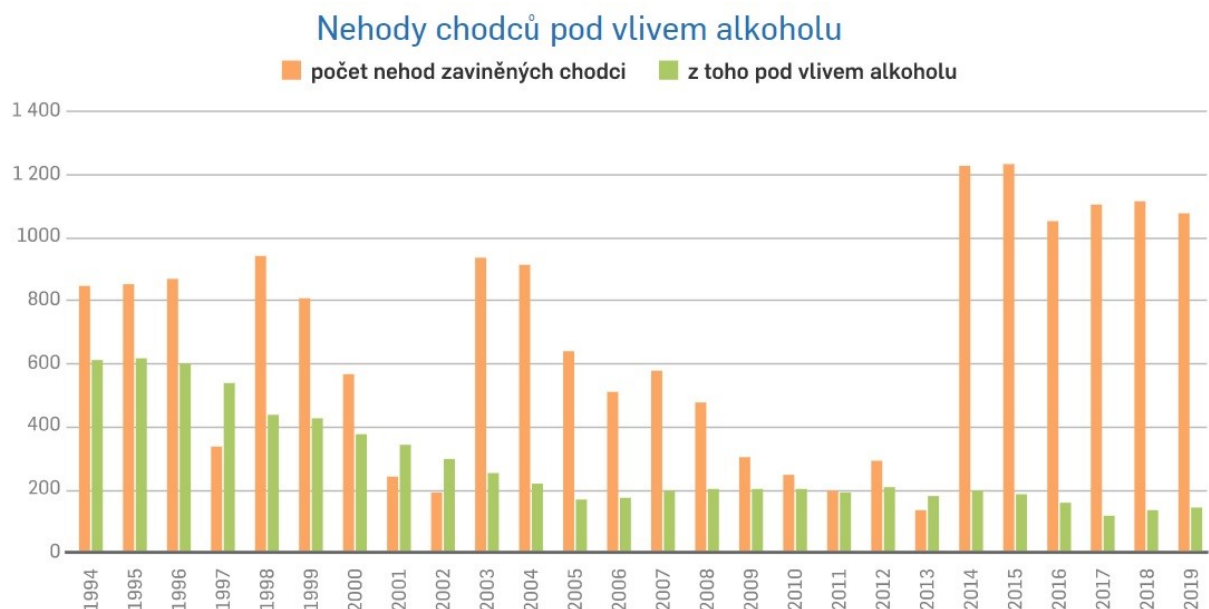
Vyhodnocuje se mnoho faktorů, podle kterých chodci umírají. Jedním z nich je závislost usmrcení chodce na čase den – noc. V minulých letech byl poměr usmrcení chodce ve dne 35 % – v noci 65 %. Vliv tohoto faktoru je v současné době zcela minimální, neboť procentuální průměrný poměr se téměř vyrovnal a to na 45 % ve dne – 55 % v noci. Tento pozitivní vzestup je také dán následkem kladení důrazu na nošení reflexních prvků chodců. [3]

Dalším faktorem, který se hodnotí je roční období nebo i konkrétní měsíc. Z vyhodnocení posledních sedmi let vychází, že nejméně usmrcených chodců bývá v květnu, a také v letních měsících červen a červenec, přičemž úplně nejlepší situace bývá v srpnu. Naopak největší počet usmrcených chodců připadá na říjen, listopad a zimní měsíce prosinec, leden, což úzce souvisí se sníženou viditelností. [2]

Velmi důležitým faktorem při dopravní nehodě je také chodec pod vlivem alkoholu. Že se nesmí řídit vozidlo pod vlivem alkoholu, je všeobecně známo, ale i pro chodce platí určitá

pravidla. Pokud jde člověk po chodníku či krajnici silnice, stává se z něho chodec, tudíž účastník silničního provozu, pro kterého platí práva a zejména povinnosti podle platného zákona č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích. Z toho plyne, že ani chodec by neměl být pod vlivem alkoholu a svým jednáním nijak ohrozit bezpečnost silničního provozu. I opilý chodec totiž může zapříčinit nehodu s fatálními následky jak pro něho samotného, tak pro ostatní zúčastněné.

Ze statistiky plyne, že v roce 1996 se stalo více než 800 nehod zaviněných chodci, z nichž okolo 600 chodci pod vlivem alkoholu. Graf znázorňující nehody chodců pod vlivem alkoholu od roku 1994 až po rok 2019 je znázorněn na obrázku 2. [3]



Obrázek 2. Nehody chodců pod vlivem alkoholu [3]

2.2 Přecházení mimo přechod

Dle §54 zákona č. 361/2000 Sb. „*Mimo přechod pro chodce je dovoleno přecházet vozovku jen kolmo k její ose. Před vstupem na vozovku se chodec musí přesvědčit, zdali může vozovku přejít, aniž by ohrozil sebe i ostatní účastníky provozu na pozemních komunikacích. Chodec smí přecházet vozovku, jen pokud s ohledem na vzdálenost a rychlost jízdy přijíždějících vozidel nedonutí jejich řidiče k náhlé změně směru nebo rychlosti jízdy.*“ [1]

Chodci mají na pozemních komunikacích vyznačená místa k přecházení vozovky, a to přechody pro chodce. Je však běžné, že přechod pro chodce na vozovce není vyznačen, a tak chodec musí přejít mimo něj. Daný člověk se však musí ujistit, že vozovku přechází na přehledném a bezpečném místě. Ze zákona je dané, že vozovka se smí přecházet pouze kolmo k její ose. Další důležitou věcí také je, aby se chodec před vstupem do silnice přesvědčil, zda může vozovku bezpečně přejít a neohrozil tím sebe a ostatní účastníky silničního provozu. [4]

Chodec by sám měl nejlépe vyhodnotit, kdy je vhodné vozovku bezpečně přejít, s ohledem na vzdálenost vozidla či jeho rychlost. Také by neměl omezit řidiče, například náhlou změnou směru jízdy nebo omezením rychlosti. Je dobré mít stále na paměti, že je potřeba se stále rozhlížet, a to i během samotného přecházení. Důležité však je vybrat si pro přecházení opravdu přehledné místo a dávat pozor obzvláště ve městě, kde bývají u krajnice zaparkovaná auta nebo popelnice, což bývá pro řidiče automobilů nepřehledné. Je také důležité myslet na to, že za stejný čas auto ujede delší vzdálenost než chodec, vzhledem k jeho rychlosti.

2.3 Rychlost chůze

Chůze je základní lidská potřeba, která nám umožňuje pohyb z místa na místo. Rychlost chůze má zásadní význam při analýze dopravních nehod s chodci. Chůze se z fyzikálního hlediska může rozdělit na pohyb stejnoměrný a pohyb zrychlený. Při analýze dopravní nehody s chodcem, kdy už daná nehoda vznikla, je jen velmi těžké zjistit dané zrychlení chodce, proto jsme se v dané práci omezili na stejnoměrnou chůzi a vycházíme z průměrné hodnoty rychlosti chodce. [5]

Bereme tedy rychlost chodce jako konstantní hodnotu, nikoliv zrychlenou. Stejnou rychlost chodce při přecházení vozovky je snadné spočítat jako podíl dráhy a času, kdy dráha je šířka jízdního pruhu a čas je doba uplynutá během přecházení vozovky. Tento čas je však ovlivněn parametry chodce jako je věk, pohlaví, výška, váha a celkově zdravotní stav člověka. [5]

Pro analýzu dopravní nehody s chodcem je dobré určit reprezentativní průměrnou stejnoměrnou rychlost chodce, z které můžeme vycházet, a právě průměrné hodnoty rychlostí stanovil výzkum provedený v Ústavu soudního inženýrství v Krakově, který se týká pohybu chodců v testovacích podmínkách a na silnici. Výzkum probíhal na základě natáčení chodce digitálním fotoaparátem, který přecházel vozovku. Následná analýza spočívala v počtu snímků, od doby, kdy chodec vstoupil na vozovku, po dobu, kdy z ní vystoupil. Dále byl vypočten čas, podle počtu těchto snímků. Ze změřené vzdálenosti a tohoto času byla následně stanovena průměrná

rychlost chodce, z čehož plynou následující hodnoty průměrných rychlostí seřazených podle věku, pohlaví a způsobu pohybu, zobrazené v tabulkách 1. a 2. [5]

Tabulka 1. Rychlost chůze žen [m/s] [5]

Věk	Způsob pohybu				
	Pomalá chůze	Běžná chůze	Rychlá chůze	Běh	Rychlý běh
21-30	0,7-1,4	1,1-1,6	1,5-2,0	2,0-3,6	3,6-5,2
31-40	0,8-1,3	1,1-1,6	1,5-2,1	2,0-3,7	3,6-4,5
41-50	0,7-1,3	1,1-1,6	1,5-2,0	2,1-3,6	3,0-4,2
51-60	0,7-1,2	1,1-1,6	1,4-2,1	2,0-3,6	2,9-4,3

Tabulka 2. Rychlost chůze mužů [m/s] [5]

Věk	Způsob pohybu				
	Pomalá chůze	Běžná chůze	Rychlá chůze	Běh	Rychlý běh
21-30	0,8-1,4	1,3-1,8	1,6-2,4	2,6-4,6	4,3-6,6
31-40	0,9-1,4	1,2-1,8	1,8-2,5	2,6-4,6	4,8-6,9
41-50	0,8-1,4	1,2-1,8	1,6-2,3	2,3-4,2	4,3-7,0
51-60	0,7-1,3	1,3-1,6	1,6-2,1	2,2-4,2	4,0-5,7

2.4 Chodec vs. automobil

Když porovnáme řidiče automobilu a chodce, je zřejmé, že řidič je při dopravní nehodě vždy ve větším bezpečí vůči chodci. Řidič je chráněn přímo automobilem, ve kterém se právě nachází. Automobil má v dnešní době řadu prvků pasivní bezpečnosti, jako je například bezpečnostní pás, airbag, deformační zóny, a další, díky kterým je řidič chráněn, když k nárazu dojde.

Naproti tomu chodec, jak už bylo zmíněno, běžně nechodí s bezpečnostní přilbou a chrániči. Většinou má jen běžné oblečení, tudíž není nijak chráněn před jedoucím automobilem. Chodec má z fyzikálního hlediska oproti automobilu mnohonásobně nižší hmotnost a rychlost, což jsou faktory, které zásadně ovlivňují průběh dopravní nehody. Automobil dokáže chodce odhodit až do vzdálenosti několika metrů a následky těchto nehod bývají pro chodce vždy mnohem horší a v mnoha případech fatální.

3 Řidič, automobil

3.1 Reakční doba

Reakční doba je čas, který uplyne od počátku vjemu do uvedení v činnost ovládacích prvků automobilu, které mohou změnit směr, či velikost rychlosti vozidla tak, aby se vozidlo dalo bezpečně ovládat. [6 s. 231]

Reakční dobu subsystému řidič + vozidlo lze rozdělit do přehledné tabulky 3. níže. Toto rozdělení je vhodné při provádění analýz dopravních nehod. [6 s. 231]

Tabulka 3. Členění reakční doby subsystému řidič + vozidlo [6]

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 Reakční doba řidiče

Reakční doba řidiče je od prvopočátku vjemu až po aktivaci ovládacího systému vozidla. [6 s. 231] Tato doba je u každého člověka různá, protože ji může ovlivnit samotný zdravotní stav, psychické naladění, věk, ospalost, ale i také požití alkoholu či jiných návykových látek omamného typu, a tak dále. Řidič prodlouží tuto dobu také ovládním autorádia, držetím mobilního telefonu v ruce při psaní SMS zpráv, telefonováním, či novým trendem, a to nahráváním se na sociální sítě během řízení vozidla. Příčiny prodloužení reakční doby mohou být i zhoršený výhled z vozidla, nedostatečné okolní osvětlení, klimatické podmínky a řada dalších okolností, které ovlivní zdánlivě krátký časový interval, který má mnohdy nevratné následky.

Reakční doba řidiče je členěna na tři části [6 s. 232–233]:

1. Optická reakce – počátek zaznamenání objektu zrakem
2. Psychická reakce – čas, za který se řidič rozhodne, jakým způsobem bude reagovat
3. Svalová reakce – samotný pohyb končetin na ovládacích prvcích automobilu

Optická reakce

Člověk, jakožto řidič automobilu sedící za volantem jedoucího vozidla, vnímá okolní objekty převážně zrakem. Z tohoto důvodu mluvíme o optické reakci. Je to doba zrakového vjemu. Každý řidič má tuto dobu také různě dlouhou, ovlivní ji především onemocnění očí nebo výhled z vozidla. Prostřednictvím optického vjemu si řidič uvědomí, že má ve svém zorném poli nějaký objekt. [6 s. 232]

Řidič vozidla by měl být při dodržení bezpečné jízdy neustále ve střehu a dodržovat dostatečný odstup, aby případně mohl vozidlo bezpečně zastavit a nikoho při tom neohrozit. Při dodržení bezpečného odstupu by měl mít i dostatečný rozhled z vozidla, aby mohl případně vzniklé krizové situace včas řešit. Když je řidič pozorný a neustále sleduje objekty, které mohou zkřížit jeho cestu, například chodce jdoucí kolem krajnice vozovky či po chodníku, je tato doba optické reakce rovna nule, protože má objekt takzvaně pořád na očích. Když ovšem daný objekt, který se může změnit v objekt kritický, nesleduje od chvíle, kdy kritický ještě nebyl a zachytí ho jen pomocí periferního vidění, nabývá tato doba již vyšších hodnot. Lidské oko má zorné pole ostrého vidění kolem své osy asi jenom jeden úhlový stupeň. Když je objekt mimo tento zorný úhel a je zachycen pomocí periferního vidění musí se na něj oko natočit, aby ho zaznamenalo ostře. Právě tento čas natočení oka je doba optické reakce. Při úhlu natočení oka o více než 5°,

vzhledem k jeho ose ostrého vidění, není zafixování oka tak jednoduché, protože si musíme uvědomit, že se pohybuje sledovaný objekt i řidič ve vozidle. Tento pohyb bude tedy nejbližší připomínat tlumené kmitání. [6 s. 232]

Psychická reakce

Doba psychické reakce je čas, za který se řidič rozhodne, jakým způsobem vyhodnotí vzniklou situaci, kterou zaznamenal opticky. Během této doby se rozmyslí, zda je potřeba změnit velikost rychlosti jízdy, směr pohybu trajektorie vozidla nebo zda je potřeba vůbec nějakým způsobem reagovat. Tento čas rozhodování a jakým způsobem se nakonec řidič rozhodne velice ovlivňuje požití omamných látek, porucha nervového systému či obyčejná únava. Proto by takto ovlivněný řidič neměl za volant vůbec usedat a ohrožovat tím bezpečný provoz. [6 s. 232–233]

Svalová reakce

Svalovou reakcí se rozumí čas, po který probíhá například změna polohy nohou na pedálech nebo rukou na volantu. V situaci, kdy se řidič rozhodl snížit rychlost vozidla, přesune nohu z pedálu akcelérátoru na brzdový pedál. [6 s. 233]

3.1.2 Odezva automobilu

Po reakční době řidiče následuje reakce automobilu tzv. odezva automobilu. Ovlivňuje ji technický stav vozidla, zejména technický stav bezpečnostních prvků jako je například brzdná soustava.

Odezva automobilu je rozdělena na dvě části, jako první je prodleva brzd a následuje doba náběhu: [6 s. 233]

Prodleva brzd

Doba prodlevy brzd je od okamžiku prvního dotyku brzdového pedálu po dotyk brzdových destiček s kotoučem nebo v případě bubnových brzd, dotyku brzdové čelisti s bubnem. Významný vliv na délku této doby má tedy rychlost sešlápnutí pedálu řidičem, tato rychlost u běžného řidiče je kolem 0,5 m/s, trénovaný řidič by mohl dosáhnout i dvakrát větší hodnoty 1 m/s. Dalším důležitým vlivem je také doba prodlevy samotných brzd, seřízení vůle mezi brzdovou destičkou a kotoučem, případně brzdovou čelistí a bubnem. Když je například tato

vůle příliš velká, musí se přepravit větší množství provozní kapaliny, v případě kapalinových brzd. [6 s. 233]

Doba náběhu

Doba náběhu je vymezení vůlí v brzděném mechanismu od doby, kdy se dotkly brzdové destičky kotouče, případně brzdové čelisti bubnu po dobu, kdy došlo ke vzniku narůstajících sil mezi třecími plochami, až po vyvolání plného brzděného účinku. Konec této doby nastává při nouzovém brzdění, kdy vozidlo zanechává viditelné stopy na vozovce. [6 s. 233]

3.1.3 Hodnoty reakčních dob

Pro představu jak hodně jednotlivé části reakční doby řidiče a odezvy automobilu zasahují do celkové reakční doby subsystému řidiče a automobilu je zobrazeno v tabulce 4. [6 s. 234]

Tabulka 4. Přehled délky jednotlivých úseků reakční doby a odezvy vozidla při nouzovém brzdění osobního automobilu (kapalinové brzdy, normální viditelnost) [6]

		Doba trvání (sekund)		
		Spodní mez (2%)	Průměr	Horní mez (98%)
Optická reakce (varianty)				
Řidiče 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
Psychická reakce (rozhodování)		0,22	0,45	0,58
Svalová reakce (přesun nohy z pedálu na pedál)		0,15	0,19	0,21
Odezva vozidla				
- prodleva brzd (od dotyku pedálu po první dotyk třecích ploch brzd)		0,03	0,05	0,06
- náběh brzdného účinku (od prvního dotyku třecích ploch brzd po začátek zanechávání stop pneumatik na vozovce)		0,07	0,15	0,49
Odezva celkem		0,10	0,20	0,55
CELKEM – varianta	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

3.1.4 Dráha na zastavení v závislosti na reakční době (v porovnání s počáteční rychlostí)
 Prodloužení reakční doby má výrazný vliv na dráhu potřebnou k zastavení vozidla. Vztah pro výpočet dráhy potřebné k zastavení z rychlosti počáteční:

$$S_z = v_0 * (t_r + t_{ov}) + \frac{v_0^2}{2 * a} [m]$$

kde,

S_z ... dráha potřebná k zastavení [m]

v_0 ... počáteční rychlost [m/s]

t_r ... reakční doba řidiče [s]

t_{ov} ... odezva vozidla [s]

a ... brzdné zpomalení [m/s^2]

Za použití tohoto vztahu je sestrojena tabulka 6., která slouží k názorné ukázce, jak se změní dráha potřebná k zastavení vozidla, při změně reakční doby řidiče. Jako referenční hodnota reakční doby řidiče je zde uvažována jedna vteřina. Při výpočtu je zde použito brzdné zpomalení $5,8 m/s^2$, doba odezvy automobilu $0,1 s$ a tento výpočet je proveden pro porovnání s různými počátečními rychlostmi.

Tabulka 5. Závislost dráhy potřebné k zastavení na době reakce a počáteční rychlosti [autor]

Dráha na zastavení S_z [m]		Počáteční rychlost [km/h]								
		50	55	60	65	70	75	80	85	90
Reakční doba řidiče [s]	0,5	25	29	34	39	44	50	56	62	69
	0,75	28	33	38	43	49	55	61	68	75
	1	32	37	42	48	54	60	67	74	81
	1,25	35	41	46	52	59	66	73	80	88
	1,5	39	45	51	57	64	71	78	86	94
	1,75	42	48	55	62	69	76	84	92	100
	2	46	52	59	66	73	81	89	98	106

Z tabulky 5. vyplývá, že pro rychlost $50 km/h$ a prodloužení reakční doby o pouhou jednu vteřinu, tedy na hodnotu $2 s$, se dráha potřebná na zastavení prodlouží o přibližně $14 m$. Pro porovnání si můžeme uvést příklad. Když je počáteční rychlost větší než rychlost $50 km/h$ o zhruba $13 km/h$ a reakční doba není prodloužená, tedy trvá průměrnou $1 s$, tak je z tabulky patrné, že když měl řidič automobilu prodlouženou reakci o $1 s$, tak v porovnání s průměrnou reakcí jel $63 km/h$. Ve výsledku je tedy velmi podobné, když má řidič prodlouženou reakci o $1 s$, stejně tak jako když jede rychlostí $63 km/h$ místo $50 km/h$, vztaženo k dovolené rychlosti v obci. Dráha potřebná k zastavení narůstá s druhou mocninou počáteční rychlosti, tedy pro hodnotu rychlosti $90 km/h$ a prodloužení reakce z $1 s$ na $2 s$ naroste tato dráha na $25 m$.

S dráhou potřebnou k zastavení velmi úzce souvisí střetová rychlost vozidla. Když máme dispoziční dráhu (dráha, kterou má řidič k dispozici od počátku reakce ke střetu) kratší než

dráhu potřebnou k zastavení, dochází ke vzniku střetu. Čím je rozdíl dispoziční dráhy a dráhy do zastavení větší, tím je i střetová rychlost větší. Zjednodušeně řečeno, velikost rozdílu těchto drah se změní v rychlost rázu. Rychlost tohoto rázu při opožděné reakci brzdění je zobrazena v tabulce 6. [7 s. 87]

Tabulka 6. Rychlost nárazu do překážky při opožděném začátku brzdění [7]

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

Velikost rozdílu dispoziční dráhy a dráhy potřebné k bezkoliznímu zastavení vozidla, je při záporné hodnotě těchto drah dráha, která chybí do bezpečného zastavení vozidla bez vzniku střetu. [7 s. 88]

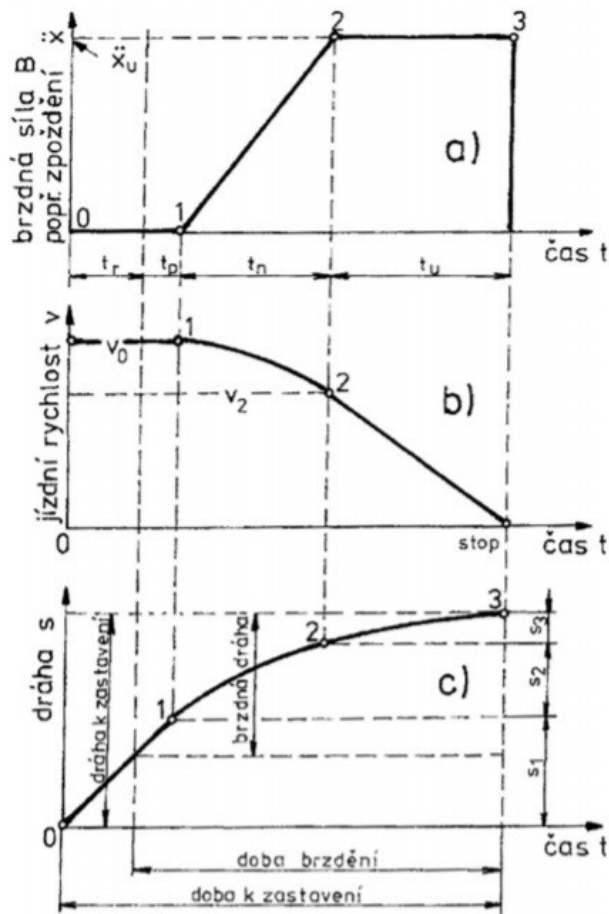
Z tabulky 7. je patrné, jak velikost dráhy chybějící do zastavení ovlivní rychlost nárazu. [7 s. 88]

Tabulka 7. Rychlost nárazu v závislosti na délce dráhy chybějící do zastavení [7]

Dráha chybějící do zastavení [m]	Rychlost nárazu [km/h]
2	17,3
5	27,4
10	38,7
20	54,8
30	67,1

Jakým způsobem vstupují tyto hodnoty reakčních dob do průběhu brzdění znázorňuje také obrázek 3.

Průběh brzdění



Legenda: t_r – reakční doba řidiče
 t_p – doba prodlevy brzd
 t_n – doba náběhu brzdění
 t_u – doba plného zpomalení

Obrázek 3. Průběh brzdění [8]

3.2 Brzdné zpomalení

Brzdné zpomalení při výpočtových analýzách nehodového děje má významný vliv, a proto je dobré ho co nejpřesněji změřit. Je však významně ovlivněno součinitelem adheze, který je také velice těžké určit. Vlivy, jako jsou klimatické podmínky, stav vozovky či pneumatik, významně ovlivňují součinitel adheze a jen stěží by šly s nějakou určitou přesností nasimulovat. Pro co nejlepší výsledky měření brzdného zpomalení je proto nutností provést toto měření nejlépe ihned po nehodě. [9]

Nejvhodnější měřicí přístroj pro měření brzdného zpomalení je registrační decelerograf, který je vybaven snímačem ovládací síly na brzdovém pedálu. V tomto přístroji je závaží o definované hmotnosti, které je uloženo pohyblivě jen v jedné rovině. Jedná se o rovinu, ve které je měřeno brzdné zpomalení, a proto se při měření musí přístroj správně umístit a zafixovat. Při měření je potřeba nezapomenout také na případnou korekci gravitačního zrychlení, které by měření značně ovlivnilo, například při měření ve spádu. Korekci se lze vyhnout při přípravě měření. Závaží decelerografu se tedy může pohybovat v jedné rovině. Při brzdění se pohybuje proti pružině, tento pohyb je dále přes mechanismus zaznamenáván na registrační papír. Přístroj je schopen zaznamenat brzdné zpomalení v závislosti na síle, kterou se ovládá brzdový pedál. Záznam probíhá v závislosti na čase. Dnes již existují decelerografy elektronické, které zaznamenávají celý průběh zkoušení brzdění. [10 s. 16]

Při měření je důležité se co nejvíce přiblížit skutečné události. Proto by měření mělo probíhat na místě střetu, se stejným vozidlem, a hlavně v co nejkratší okamžik od nehody. To je však ve většině případů nemožné. V první řadě musí být vozidlo schopné jízdy, aby šlo měření vůbec uskutečnit. Když je vozidlo provozu schopné, je zapotřebí, aby se k nehodě co nejrychleji dostavil znalec, kterého není snadné ihned sehnat. V neposlední řadě je zapotřebí sehnat samotný přístroj na měření, nejlépe s vyškolenou odbornou obsluhou. I při splnění všech těchto podmínek je experimentální měření značně ovlivněno subjektivním chováním řidiče, který bude měření provádět, například každý řidič sešlápne brzdový pedál jinou rychlostí a každý má různě dlouhou reakční dobu. Měřením brzdného zpomalení se tedy dá dosáhnout přibližné hodnoty, nikoli však přesné. Jak hodně je tato hodnota přesná, závisí na již zmíněných okolnostech. [9]

Brzdné zpomalení je závislé na více parametrech, jeho maximální hodnotu je možné vyjádřit následujícím vztahem: [9 s. 14]

$$a = (u * f + 0,01 * s) * g \text{ [m/s}^2\text{]}$$

kde,

a ... dosažitelné zpomalení v $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$,

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

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

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

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

3.3 Součinitel adheze

Určit velikost součinitele adheze je velice náročné, protože ho ovlivňuje mnoho faktorů. Jako ukázka hodnot slouží tabulka 8., ve které jsou hodnoty závislé pouze na materiálu vozovky a zda je povrch suchý nebo mokrý.

Tabulka 8. Velikost součinitele adheze [8]

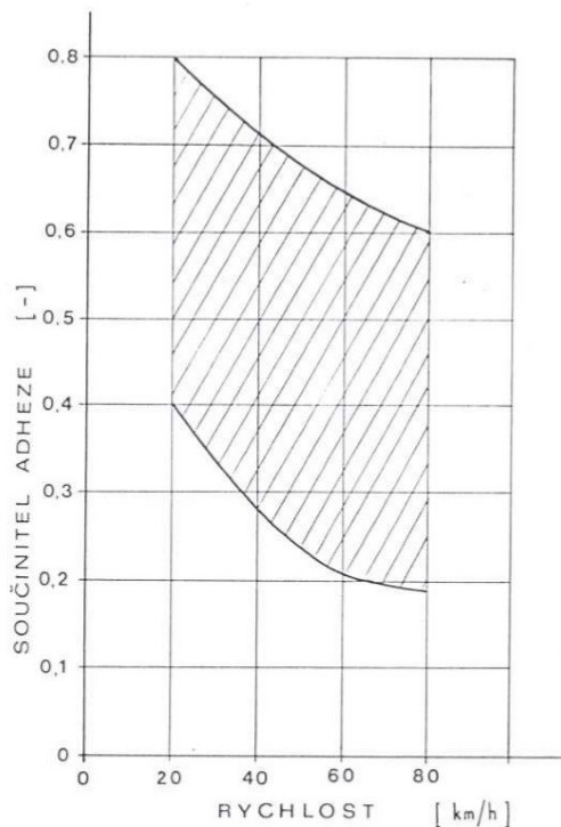
Vozovka		Součinitel adheze
beton	suchý	0,8 - 1,0
	mokrý	0,5 - 0,8
asfalt	suchý	0,6 - 0,9
	mokrý	0,3 - 0,8
dlažba	suchá	0,6 - 0,9
	mokrá	0,3 - 0,5
makadam	suchý	0,6 - 0,8
	mokrý	0,3 - 0,5
poľní cesta	suchá	0,4 - 0,6
	mokrá	0,3 - 0,4
tráva	suchá	0,4 - 0,6
	mokrá	0,2 - 0,5
hluboký písek, sníh		0,2 - 0,4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

Tyto hodnoty však ovlivňuje ještě mnoho faktorů, které jsou rozděleny do třech skupin. První skupinou jsou činitelé textury povrchu vozovky, druhou skupinou jsou činitelé vlastností pneumatik a poslední činitelé interakční. [9 s. 23]

Povrch vozovky je členěn na mikrotexturu (výstupky na každém zrnku kameniva) a na makrotexturu (výstupky jednotlivých zrn na povrchu vozovky). Makrotextura má drenážní schopnost odvodu vody z vozovky stejně jako dezén pneumatiky. Má tedy největší vliv za mokra a při vysokých rychlostech, kde se vzrůstající rychlostí udává strmost poklesu adheze. Mikrotextura má vliv spíše při nižších rychlostech okolo 20 km/h. Je potřeba si dát pozor na povrch bez mikrotextury s relativně velkou makrotexturou, který je za mokra kluzký. Může to být například povrch, který je tvořen hladkými oblázky přibližně stejné velikosti. [9 s. 25]

K činitelům ovlivňující vlastnosti pneumatiky patří samotné složení běhounu pneumatiky. Obecně platí, že čím měkčí pneu, tím větší součinitel adheze, na úkor kratší životnosti pneumatiky. Různé tvary a uspořádání pryžových segmentů běhounu pneumatiky má také různé adhezivní vlastnosti. Dále také opotřebení pneumatiky a její stáří má výrazný vliv. Opotřebení pneu, respektive hloubka dezénu, má vliv na obě strany. V případě sucha je výhodné mít téměř holé pneu (velká styčná plocha s vozovkou), naopak za mokra je potřeba mít vyšší vzorek pro odvod vody, aby se zamezilo aquaplaningu. [9 s. 31]

Významný vliv na součinitel adheze má také rychlost. Za mokra se zvyšující se rychlostí součinitel adheze klesá, jak je vidět na obrázku 4. [9 s. 7] To však ovlivňuje i různá drsnost povrchu vozovky. [9 s. 24]



Obrázek 4. 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. [9]

Další vlivy adhezních vlastností jsou stáří a znečištění vozovky, vliv adhezní tíhy, skluzu pneu, roční období atd. [9]

3.4 Řidič automobilu

Při řešení dopravní nehody automobil vs. chodec je již z principu věci na tom o něco hůře řidič automobilu, protože v očích vyšetřovatelů je to právě on, kdo mohl danou situaci lépe předpovědět a vyhodnotit. Například přizpůsobit rychlost vozidla stavu vozovky a prostředí či dodržet dovolenou rychlost atd. Toto přesvědčení vychází zřejmě z toho, že řidič musel projít určitou zkouškou, aby řidičské oprávnění získal. Oproti tomu u chodce se tyto dovednosti nepředpokládají, neboť řidičský průkaz ani vlastnit nemusí.

4 Základy analýzy dopravní nehody vozidla s chodcem

4.1 Podklady pro analýzu

Podklady pro analýzu silničních nehod lze dělit na objektivní a subjektivní [7 s. 10]:

- Objektivní podklady jsou protokol o nehodě, plánek, fotodokumentace, znalecké posudky, lékařské zprávy atd.
- Subjektivní podklady jsou protokol o výpovědi obviněného, svědka apod.

Pro analýzu mají mnohem větší význam podklady objektivní, protože nejsou poznamenány lidským faktorem. Jejich význam je však ovlivněn jejich pořizováním (sběrem), může se stát například fotografie pořízené ze špatných úhlů mohou zkreslovat apod. Subjektivní podklady, jakožto výpovědi lidí při dopravní nehodě, jsou značně ovlivněny. Lidé při nehodě bývají v šoku, tudíž je jejich výpověď značně psychicky ovlivněna. Případně si sám může výpověď zformulovat tak, jak se mu to hodí. Analýza má být objektivní, aby měla co nejvyšší vypovídající hodnotu. Proto by měla vycházet z podkladů objektivních nikoliv subjektivních. Zda jsou výpovědi technicky přijatelné se lze rozhodnout až na základě analýzy provedené na základě objektivních podkladů. [7 s. 10–12]

Ohledání místa nehody probíhá za účelem získání objektivních podkladů. Samotný sběr stop na místě nehody je ovlivněn lidským činitelem, který by například nezaznamenal stopy, které zdánlivě s nehodou nesouvisí. Proto je důležité zdokumentovat celkový stav a veškeré stopy ihned na místě DN. [7 s. 11]

Stopy, které lze zaznamenat na místě dopravní nehody, se dají rozdělit do několika skupin [11]:

- 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 tělech obětí nebo zraněných osob.

4.1.1 Stopy na místě dopravní nehody

Stopy na zúčastněných vozidlech představují jakékoliv deformace vozidel, na které má vliv například intenzita nárazu, zvenku odření vozidla či zevnitř například poškozený volant nebo uvolněné sedačky, ale také biologické stopy při poranění osob v automobilu. Je podstatné určit

místo střetu, které lze vyvodit právě z těchto stop na vozidlech. Nemusí vždy platit, že největší deformace je místem střetu. U stop na vozidlech účastníků se dopravní nehody je potřeba zjistit mechanismus vzniku stopy, zda stopa vznikla v přímé souvislosti s nehodou a jestli a kde je protistopa. [12 s. 218]

Velmi přínosným zdrojem informací jsou stopy záznamů tachygrafických kotoučků, které mají některá vozidla podle předpisů instalována. Ze zaznamenaného průběhu rychlostí můžeme zjistit konkrétní hodnotu rychlosti vozidla při nárazu na překážku. [12 s. 218]

Stopy vozidel na vozovce jsou velmi důležitým bodem při posouzení dopravní nehody, protože se z nich může vyvodit v jakém místě začal řidič reagovat na hrozící nebezpečí. Tyto stopy lze rozdělit na stopy jízdy vozidla, brzdné stopy, blokovací stopy, stopy smyku vozidla, stopy dření a vlečení, rýhy, stopy chůze, běhu osob a zvířat, biologické stopy a stopy různých kapalin. [12 s. 212–217]

Stopy jízdy vozidla vznikají na povrchu vozovky otáčejícími se nebrzděnými koly. Kvalita těchto stop závisí na různých faktorech, a to zejména na povrchu vozovky, přičemž při tvárném povrchu vozovky je stopa lépe viditelná oproti pevným povrchům, jako je například dlažba či beton, na které jsou stopy viditelné jen obtížně až neviditelně. Dále záleží na hmotnosti vozidla a také na stavu pneumatik, které mají významný vliv při identifikaci vozidla. [12 s. 213]

Brzdné stopy vznikají brzděnými koly, které se ještě otáčejí. Otisk dezénu, v místě styku brzděné pneumatiky s vozovkou, se ve směru jízdy rozmazává, čímž se celý obrazec zkresluje a ve stopě je větší než ve skutečnosti. Brzdná stopa je hlubší než stopa jízdy právě na měkkém povrchu, přičemž tlak vozidla na vozovku se zvyšuje brzděním, a proto může být viditelné i na tvrdším povrchu. [12 s. 213]

Blokovací stopy vznikají třením pneumatiky o kontaktní povrch vozovky a jsou tvořeny neotáčejícími se koly, tím že tření v brzdách vozidla je větší než tření mezi pneumatikou a vozovkou. Blokovací stopy jsou výrazné, vyznačují se tmavým pruhem na vozovce, který může být tvořen více užšími tmavými pruhy uvnitř stopy. [12 s. 215]

Stopy smyku vozidla se vytvářejí při nadměrně rychlé jízdě zejména v zatáčkách, kdy je vozidlo nachýleno k jedné straně a náhlým brzděním na kluzké vozovce. Dalším důvodem ke vzniku stopy smyku mohou být také listy na vozovce, nějaké skvrny na vozovce, například od oleje, prudké otočení volantu při vysoké rychlosti, ale také sjeté pneumatiky a tak dále. Otáčením

vozidla kolem svislé osy se stopa smyku ve svém průběhu rozšiřuje. Dezén pneumatiky se na vozovce zobrazuje v podobě různě silných čar. [12 s. 216]

Stopy dření a vlečení, rýhy se tvoří při pohybu vozidla tlakem tvrdých předmětů na vozovku, například při převrácení vozidla či nárazu do nějaké překážky na vozovce. Daný předmět se poté tlačí po vozovce od místa nárazu po konečnou polohu. Stopy vlečení bývají bez poškození vozovky, přičemž stopy dření se zobrazují na vozovce. [12 s. 216]

Obecně pro stopy na vozovce je důležité všimnout si jak stop na vozovce, vozidlech, objektech, osob či zvířat, tak i stop na okolních objektech poblíž vozovky, a to na domech, svodidlech, stromech, a tak dále.

Stopy chůze, běhu osob a zvířat, biologické stopy a stopy různých kapalin, například oleje, brzdové kapaliny nebo také převážené kapaliny. Právě stopy kapalin jsou velmi důležitým bodem pro určení místa střetu vozidel na vozovce. Při střetu se často poškodí chladič a kapalina vytéká na vozovku, čímž zobrazí pohyb vozidla do konečné polohy. Pro tuto skupinu jsou důležité i stopy obuvi, kdy na podrážce může být otisknut pedál brzdy a tím lze v některých případech i určit, kdo vozidlo řídil. Důležitou biologickou stopou je stopa krve, která je velkým přínosem při lokalizaci osoby i vozidla. [12 s. 216]

Stopy způsobené vozidly na pevných objektech jsou stopy, které vznikají při těch dopravních nehodách, kdy vozidlo sjede mimo vozovku. Řadí se sem stopy na všem v nejbližším okolí, kam vozidlo sjelo, například na domech, stromech, svodidlech, sloupech, plotech a dalších. Při nárazu do pevného objektu se současně zobrazí i stopy na vozidle, jako jsou například části omítky nebo třísky ze stromů, což je přínosné v případech, kdy řidič odjede od místa nehody. [12 s. 220]

Stopy na tělech obětí nebo zraněných osob jsou důležitou skupinou stop při objasnění dopravní nehody. Lékař posuzuje vnitřní i vnější poranění u všech osob, které vykazují újmu na zdraví. U obětí příčinu zranění posoudí pitva. Stopy u této skupiny se rozlišují na stopy na těle poškozeného a na stopy na oděvu poškozeného. Jelikož jsou zraněné osoby bezprostředně po nehodě převáženy do zdravotnických zařízení je obtížné zajistit veškeré stopy na jejich oblečení, a proto je potřebné pořídit alespoň fotografii poškozeného, pokud je to v dané situaci možné. Může jít o stopy po vlečení těla po vozovce, oděrky v obleku, dále také o otisky pneumatik na oblečení, utržené části oděvu a mnoho dalších. Poškozený oděv v mnoha

případech slouží také ke kriminalistickému vyšetřování, jelikož může obsahovat různé částice z místa střetu při dopravní nehodě. [12 s. 221]

4.1.2 Výpovědi zúčastněných, svědků

Výpovědi, respektive paměťové stopy zaznamenává člověk pomocí lidských smyslů, jako je zrak, sluch a také hmat a čich. Takovéto zaznamenání je u každého různé, člověk může být ovlivněn onemocněním těchto smyslů, případně ovlivněn v podobě požití omamných látek, které dané smysli mohou otupit. Proto je nutné bezprostředně po nehodě udělat testy na přítomnost těchto látek u zúčastněných. Výpovědi zejména obviněných jsou dále ovlivněny charakterem člověka, ve smyslu úpravy výpovědi, tak jak se jim to hodí. Například těsně po autonehodě se může daný člověk přiznat, že řídil a zavinil nehodu, však s odstupem času si uvědomí, že by mohl vyvázat bez trestu, tím že změní svoji výpověď a řekne že řídil člověk, který například při nehodě zemřel. Zúčastnění, těsně po nehodě, jsou také ovlivněni samotným šokem ze vzniklé situace až do stavu, kdy si nic nepamatují. Z těchto důvodů ovlivnění výpovědí, není možné se jimi bezprostředně řídit. [7 s. 25]

Dalším ovlivněním při výslechu je subjektivní odhad údajů, jako jsou odhady délek, poloh a doba trvání určitého děje. Odhady vzdáleností jsou mnohdy i několika násobně různé, než tomu bylo ve skutečnosti, a to i u stojících objektů, natož pak u pohybujících. Při odhadu vzdálenosti mezi vozidly, řidiči po střetu uvádějí obvykle kratší vzdálenost. Mnohdy odhady délky bývají až nereálné, například řidič při střetu s chodcem uvedl, že ho spatřil na vzdálenost 2 m, ve skutečnosti však měl brzdou dráhu zhruba 8 m, ke které je potřeba připočíst dráhu během jeho reakční doby. Z těchto důvodů jsou z technického hlediska odhady vzdáleností prakticky k ničemu a je tedy potřeba k nim přistupovat s opatrností. [7 s. 26]

Pro přesnost odhadování polohového údaje hraje velkou roli velikost relativní rychlosti. Například při míjení protijedoucích vozidel je relativní (součtová) rychlost velká, oproti předjíždění vozidel, kdy v situaci předjíždění vozidel je relativní rychlost podstatně menší a odhad vzdálenosti je tím přesnější. Při každém odhadu, jako u předchozího odhadu vzdálenosti je i údaj o odhadnutí polohy jen velmi přibližný a nepřesný. [7 s. 26–27]

Odhad délky trvání časového údaje je stejně jako u předchozích případů velmi nepřesný. Většina lidí je schopna vcelku přesně odhadnout, za jak dlouho někam dojdou, nebo dojedou. Protože je to dlouhý časový údaj, naopak výrazně horší odhad je v řádů vteřin například velký rozdíl je u uvědomění se, zda okamžik trval 5 s nebo 20 s. Krátké časové údaje jsou při průběhu nehodového děje však rozhodující. [7 s. 27]

4.2 Zjišťování střetové rychlosti při nehodě s chodci

Při analýze dopravní nehody je třeba zjistit, pokud možno co nejpřesněji hodnotu střetové rychlosti. Pro samotné zjištění existuje řada způsobů, které jsou více či méně přesné. U každé dopravní nehody se hodí jiný způsob. Dle zjistitelných stop na místě nehody s chodci se dá zjistit střetová rychlost. Například z postřetového pohybu vozidla, odhození chodce, z rozsahu zranění nebo z navinutí těla chodce.

4.2.1 Postřetový pohyb vozidla

Postřetovým pohybem vozidla se rozumí pohyb vozidla do konečné polohy. Tento pohyb se rozděluje na pohyb translační a pohyb rotační. Při translačním pohybu se řeší, zda vozidlo po nárazu nepřerušeně brzdilo, jelikož řidič většinou neudrží nohu na brzdovém pedálu. Může nastat situace, že deformací podběhu dojde k zablokování rotace některého z kol. Když tato situace nenastane, rotující vozidlo se zpomalí, a to bočním třením pneumatik o vozovku, přičemž podélná osa vozidla je kolmá k okamžitému směru pohybu těžiště. Postřetový rotační pohyb je doprovázen odstředivou silou, která je vysoká, jeli rotace vozidla rychlá. [7 s. 44–45]

Postřetový pohyb vozidel bývá často ovlivněn nesmykovou složkou působení kol, tudíž ne vždy se jedná o jednoduchý přímočarý pohyb. Při určení místa střetu jsou důležité i stopy smýkání a brzdění před střetem nebo po střetu, protože samotné vyhodnocení konečných poloh vozidel a obraz jejich poškození většinou nestačí. Postřetový pohyb se dále dělí na jednotlivé fáze, kterým se přiřazují na známých dráhách úseku jednotlivá zpomalení v intervalu hodnot daného charakteru či stavu povrchu. Fáze mohou být například brzdění, blokování, sunutí, dření a tak dále. [13 s. 51]

4.2.2 Odhození chodce

Chodec může být při střetu s vozidlem ve vzpřímené poloze naražen a následně odhozen. Rozlišuje se podélná vzdálenost odhození a příčná vzdálenost odhození. Podélnou vzdáleností odhození se rozumí vzdálenost od střetu chodce s vozidlem do těžiště chodce v konečné poloze. Tato část odhození zahrnuje let a sunutí. Příčná vzdálenost odhození je vzdálenost mezi bodem střetu na vozidle a těžištěm chodce v konečné poloze, stejně jako u podélné vzdálenosti ve směru pohybu vozidla. [13 s. 69–70]

4.2.3 Z rozsahu zranění

Zranění chodce, například zlomení stehenní kosti či deformace lebky, mohou vzniknout jen při určitých rychlostech. Na základě těchto zranění lze alespoň odhadnout, jaká byla rychlost střetu. Například fraktura obou dolních končetin nastává při rychlosti 50 km/h a větší. Toto zjištění je

závislé na poloze chodce při střetu a fázi jeho chůze. Takto zjištěné údaje spíše vymezují interval, kde se pravděpodobně hodnota střetové rychlosti nachází. [14 s. 276–277]

4.2.4 Z navinutí těla chodce

Navinutí těla chodce znamená, že ve chvíli nárazu přilne tělo chodce k povrchu vozidla a kopíruje tak jeho tvar. Ve většině případů jako první dochází ke střetu vozidla s nohama v místě u kolen, následuje střet v místě hlavy. Takzvaně příčné přesazení udává rozdíl mezi místem střetu nohou a hlavy v závislosti na rychlosti chodce při střetu s vozidlem. Ze vzniklých deformací způsobených nohama a hlavou lze vyvodit směr pohybu chodce při střetu. Pokud je jasné, v jakém místě přesně došlo k nárazu hlavy, rychlost vozidla lze spolehlivě určit z navinutí těla chodce. Délka navinutí určuje střetovou rychlost vozidla v závislosti na výšce chodce. [15]

4.3 Aplikace fyzikálních vztahů potřebných pro tuto analýzu

K výpočtu v této práci bude zapotřebí aplikovat fyzikální zákonitosti, respektive vztahy k výpočtu pohybu rovnoměrně přímočarého a rovnoměrně zpomaleného pohybu:

Rovnoměrně přímočarý pohyb – délka dráhy S při rychlosti V za čas T :

$$S = V * T.$$

Rovnoměrně zpomalený pohyb – délka dráhy s z rychlosti v_2 na rychlost v_1 za čas t :

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

Doba času t rovnoměrně zpomaleného pohybu při rychlosti v_2 na v_1 s brzdným zpomalením a na dráze s .

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

Rychlost v_1 na počátku rovnoměrně zpomaleného pohybu z rychlosti v_2 s brzdným zpomalením a na dráze s .

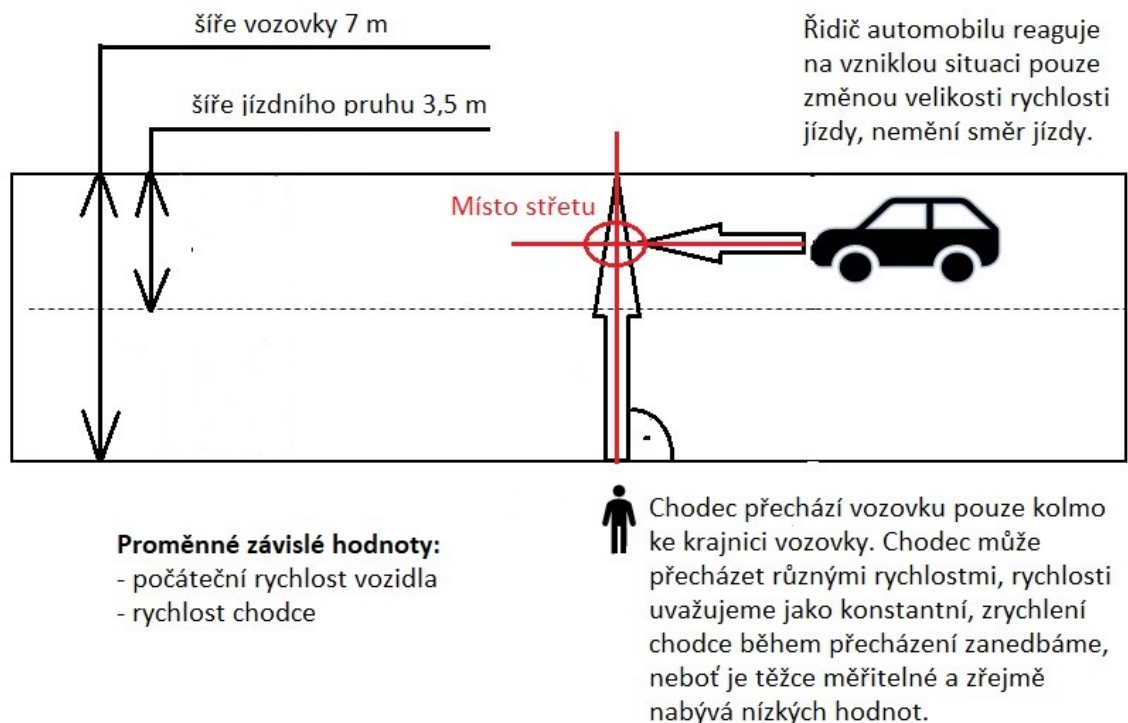
$$v_1 = v_2 + a * t = \sqrt{v_2^2 + 2 * a * s}.$$

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

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

5 Struktura výpočtu dopravní nehody automobilu s chodcem

V diplomové práci budu řešit analýzu dopravní nehody chodce a automobilu mimo přechod. Situace v běžném provozu jsou různé a pro popis struktury výpočtu si nadefinujeme modelový případ a budeme sledovat, když chodec přechází zprava / zleva, při různých rychlostech dovolených, či různých nenáhlých a brzdných zpomalení. Posouzení proběhne na základě stanovených kritérií, jak ze strany řidiče automobilu, tak ze strany chodce. Budu sledovat, jakým způsobem ovlivňují vstupní veličiny, rychlost chůze chodce a střetová rychlost automobilu, výpočet (citlivostní analýza), pro zobrazení závislostí na veličinách rychlosti chůze chodce a střetové rychlosti automobilu bude výpočet převeden do programu, pomocí kterého vykreslím pro názornost závislosti do grafů. Pevně nadefinované hodnoty jsou šíře vozovky 7 m, šíře jízdního pruhu 3,5 m. Chodec v této modelové situaci se bude pohybovat pouze kolmo ke krajnici vozovky a jeho rychlost uvažujeme konstantní, zrychlení chodce pro zjednodušení zanedbáme, mnohdy je přesný průběh chůze chodce těžko zjistitelný. Řidič automobilu v tomto modelovém případě reaguje na vzniklou situaci pouze změnou velikosti rychlosti jízdy, nemění směr jízdy. Doba jeho reakce je uvažována 1 sekundu. Tento modelový případ je znázorněn a stručně popsán na obr. 5.

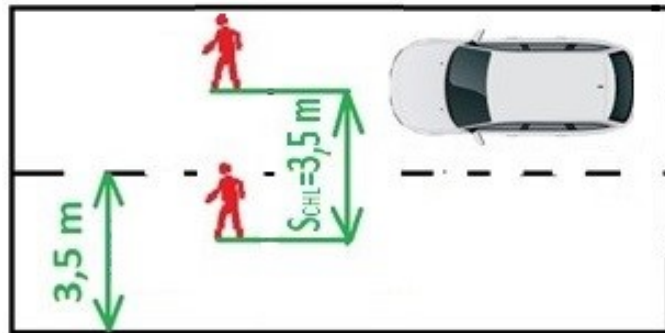


Obrázek 5. Modelový případ dopravní nehody automobilu s chodcem [autor]

5.1 Posouzení nehodového děje z hlediska pohybu automobilu

5.1.1 Chodec přechází zleva

Návrh délky dráhy chodce, při přecházení zleva. Je to dráha od poloviny protisměru, kdy by řidič automobilu měl chodce vidět, do poloviny jízdního pruhu. Ve výpočtu se pro situaci zleva bude rovnat $s_{CH} = S_{CHL} = 3,5$ m



Obrázek 6. Návrh dráhy chodce ve vozovce S_{CHL} (přecházení zleva) [autor]

5.1.1.1 Předstřetový pohyb řidiče automobilu

Výpočet je proveden za základě určení dispoziční dráhy (DD) automobilu. Dispoziční dráha automobilu je v této modelové situaci dráha, kterou má řidič automobilu od počátku reakce na chodce až k místu střetu, na počátku této dráhy jede řidič rychlostí počáteční, která je větší než rychlost dovolená.

Hodnoty brzdných zpomalení jsou zvoleny 8 m/s^2 , 4 m/s^2 a 0 m/s^2 . Hodnota 8 m/s^2 je intenzivní brzdění, které dosahuje běžně osobní automobil. Hodnota 4 m/s^2 je vybrána jakožto polovina z hodnoty intenzivního brzdění a hodnota 0 m/s^2 odpovídá situaci, kdy řidič automobilu nebrzdil.

Ve vztahu pro výpočet dispoziční dráhy automobilu uvažují hodnotu reakční doby 1 sekunda, je to průměrná doba reakce.

Střetová rychlost automobilu a rychlost chůze chodce jsou proměnné veličiny.

Určení času t_B , jedná se o čas brzdění automobilu, který určí, jako čas co ujde chodec od poloviny jízdního pruhu do místa střetu t_{CH} a odečtu od něho reakční dobu řidiče t_r jednu sekundu, protože po dobu reakce nebrzdil.

Výpočet dispoziční dráhy automobilu S_A :

$$s_A = v_0 * t_r + s_B \text{ [m]} \quad (1)$$

$$= (v_{stř} + a_B * t_B) * t_r + v_{stř} * t_B + \frac{1}{2} * a_B * t_B^2 \quad (2)$$

$$= (v_{stř} + a_B * (t_{CH} - t_r)) * t_r + v_{stř} * (t_{CH} - t_r) + \frac{1}{2} * a_B * (t_{CH} - t_r)^2 \quad (3)$$

$$= \left(v_{stř} + a_B * \left(\frac{s_{CH}}{v_{CH}} - t_r \right) \right) * t_r + v_{stř} * \left(\frac{s_{CH}}{v_{CH}} - t_r \right) + \frac{1}{2} * a_B * \left(\frac{s_{CH}}{v_{CH}} - t_r \right)^2 \text{ [m]} \quad (4)$$

kde,

s_A ... dispoziční dráha automobilu [m]

v_0 ... počáteční rychlost automobilu [m/s]

t_r ... reakční doba řidiče [s]

s_B ... brzdná dráha automobilu [m]

$v_{stř}$... rychlost střetu [m/s]

t_B ... doba brzdění [s]

a_B ... brzdné zpomalení [m/s²]

t_{CH} ... čas chodce od poloviny jízdního pruhu do MS [s]

s_{CH} ... dráha chodce od poloviny jízdního pruhu do MS [m]

v_{CH} ... rychlost chodce ve vozovce [m/s]

5.1.1.2 Dráha na zastavení

Zde ve výpočtu zanedbáváme náběh brzd a reakční dobu řidiče uvažujeme zjednodušeně 1 sekundu. Dráha do zastavení (DZ) je zde dráha, která je potřebná k zastavení z rychlosti dovolené před místem střetu.

Výpočet dráhy do zastavení S_z z rychlosti dovolené v_{DOV} :

$$s_z = v_{DOV} * t_r + \frac{v_{DOV}^2}{2 * a_B} \text{ [m]} \quad (5)$$

kde,

S_z ... dráha do zastavení z rychlosti dovolené [m]

V_{DOV} ... dovolená rychlost [m/s]

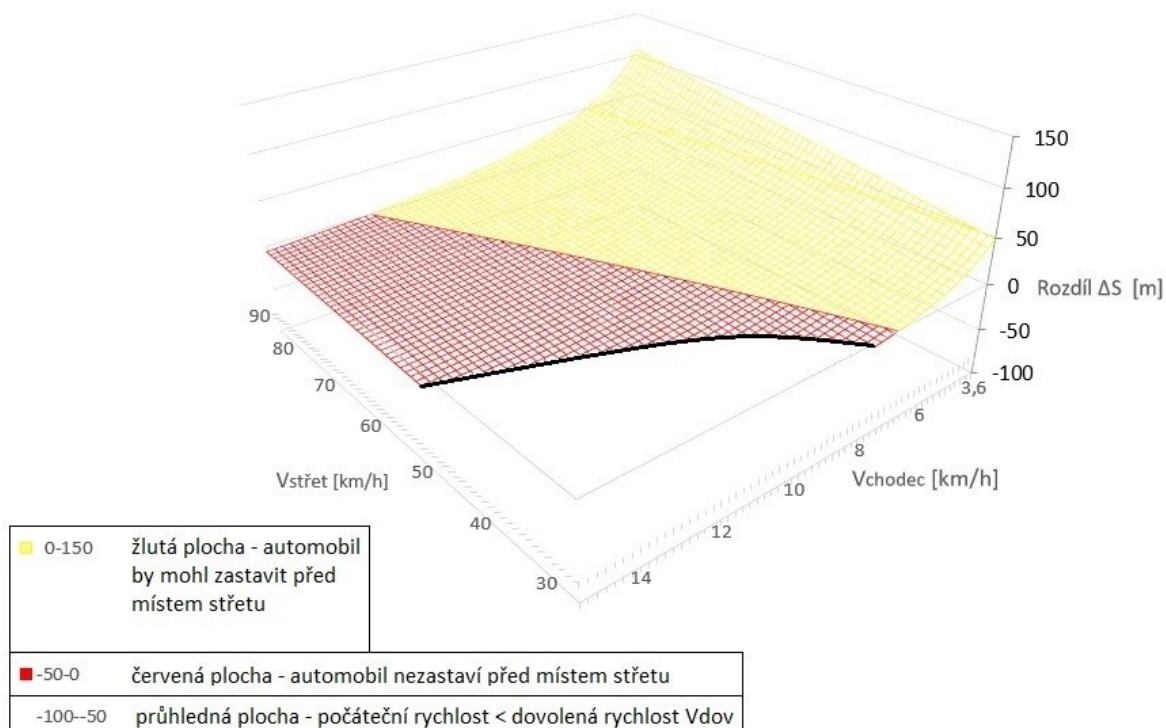
5.1.1.3 Celkový výpočet – kritérium pro posouzení možnosti odvrácení nehodového děje
Řidič odvrátí nehodový děj v případě, že bude mít více metrů k dispozici než kolik potřebuje na zastavení. Takové odvrácení nehodového děje je nezávislé na chodci. Zde nesleduji, jakým způsobem se pohybuje chodec, ale sleduji pouze, zda situaci měl nebo neměl pod kontrolou řidič automobilu.

Výchozí rovnice pro výpočet rozdílu dráhy ΔS :

$$\Delta S = s_A - s_z \text{ [m]} \quad (6)$$

$$\Delta S = \left(v_{stř} + a_B * \left(\frac{s_{CH}}{v_{CH}} - t_r \right) \right) * t_r + v_{stř} * \left(\frac{s_{CH}}{v_{CH}} - t_r \right) + \frac{1}{2} * a_B * \left(\frac{s_{CH}}{v_{CH}} - t_r \right)^2 - \left(v_{DOV} * t_r + \frac{v_{DOV}^2}{2 * a_B} \right) \text{ [m]} \quad (7)$$

Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z $V_{dov}=50[\text{km/h}]$; při intenzivním brzdění před střetem $A_b=8[\text{m/s}^2]$



Obrázek 7. 3D graf rozdíl dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení [autor]

Vyhodnocení, které bude platit pro všechny grafy v této sekci (posouzení ze strany řidiče automobilu):

Pro kladné (žluté) hodnoty ΔS mohl řidič automobilu zastavit, naopak pro záporné (červené) hodnoty ΔS nemohl zastavit a zabránit tím střetu s chodcem.

Maximum tohoto grafu je, když řidič automobilu jel rychle a chodec šel pomalu. Naopak minimum je v situaci, kdy automobil jel pomalu a chodec šel rychle.

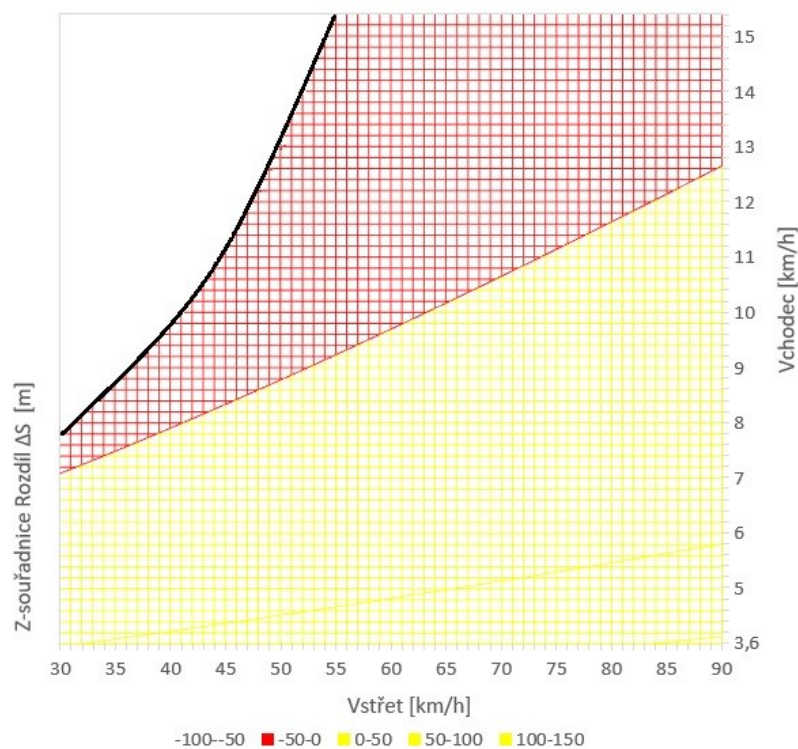
Žlutá oblast grafu značí, kdy řidič automobilu má možnost zastavit. Červená oblast grafu značí, kdy řidič nemohl zastavit před místem střetu, protože mu byla vytvořena překážka náhlá, při rychlosti dovolené a včasné reakci není schopen zastavit před místem střetu.

Pro počáteční rychlosti menší, jak rychlost dovolená je nastavena podmínka a v grafu se zobrazují jako průhledná plocha, která je ohraničena černou křivkou.

K výpočtu této analýzy a vytvoření závislostí jsem použil tabulkový procesor MS EXCEL. Program v MS EXCEL je vytvořen tak, aby se mohli hodnoty proměnných plynule nastavovat a v případě potřeby se mohli hodnoty pozměnit. Prostředí tohoto programu v příloze A a B.

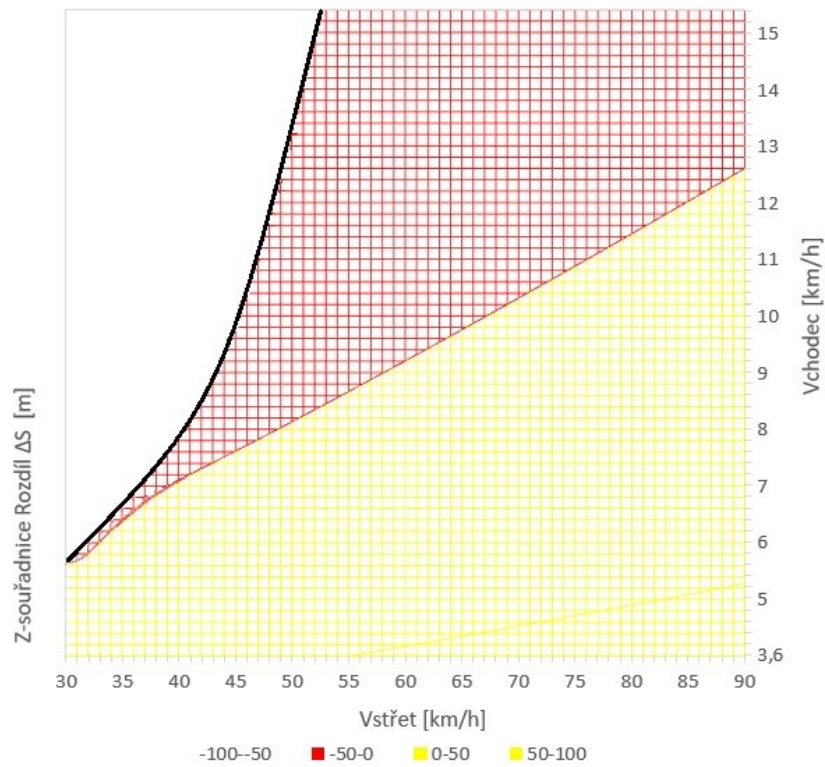
Následující 3 grafy jsou půdorysy 3D grafu na obrázku 7. U těchto grafů je pevně nastavená rychlost dovolená $V_{dov} = 50 \text{ km/h}$ a sleduji kam se posouvá křivka hranice mezi zastaví/nezastaví (červená/žlutá oblast grafů), když nastavuji různá brzdná zpomalení od intenzivního $A_B = 8 \text{ m/s}^2$ přes poloviční $A_B = 4 \text{ m/s}^2$ až k $A_B = 0 \text{ m/s}^2$ což znamená že řidič automobilu nereagoval a vůbec nebrzdil. Sleduji tím, jak v dané situaci bylo významné brzdit nebo nebrzdit.

Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z $V_{dov}=50[\text{km/h}]$; při intenzivním brzdění před střetem $A_B=8[\text{m/s}^2]$



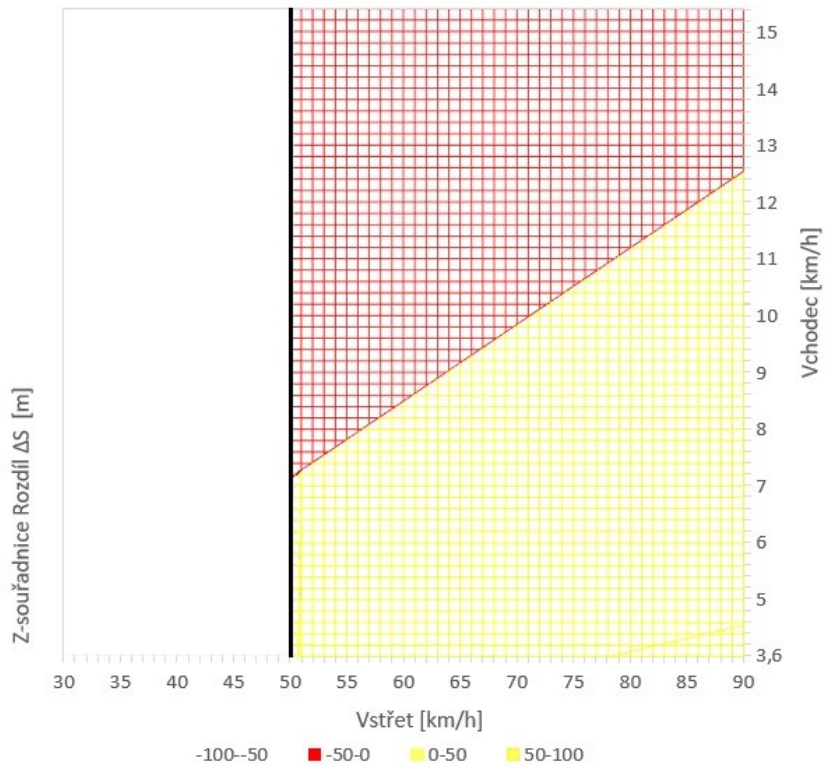
Obrázek 8. Půdorys 3D grafu rozdílu DD a DZ, intenzivní brzdění [autor]

Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z $V_{dov}=50[\text{km/h}]$; při polovičním brzdění před střetem $A_b=4[\text{m/s}^2]$



Obrázek 9. Půdorys 3D grafu rozdílu DD a DZ, poloviční brzdění [autor]

Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z $V_{dov}=50[\text{km/h}]$; řidič nereaguje a nebrzdí $A_b=0[\text{m/s}^2]$

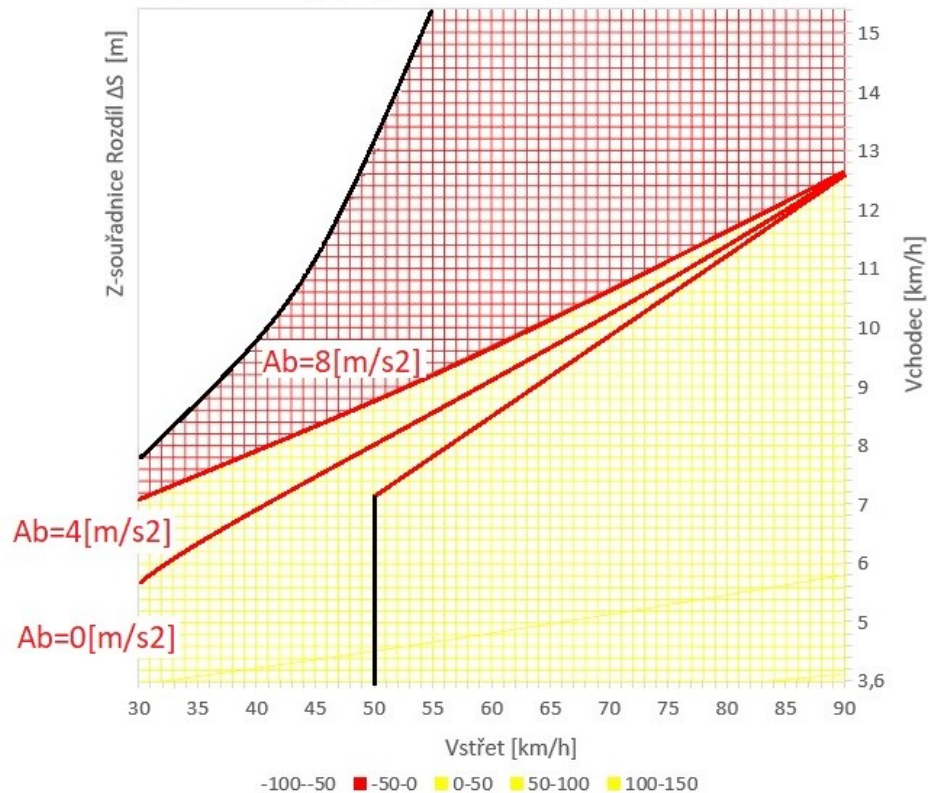


Obrázek 10. Půdorys 3D grafu rozdílu DD a DZ, nulové brzdění [autor]

Pouze tyto tři grafy jsem zobrazil samostatně pro představu, jak probíhala analýza. Pro přehlednost jsem hraniční křivky mezi zastaví/nezastaví přenesl do jednoho grafu, tak jak je vyobrazeno na obrázku 11.

Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z $V_{dov}=50$ [km/h]; při různém brzděném zpomalení před střetem $A_b=8; 4; 0$ [m/s²]; výchozí (referenční)

Graf 2. pro $A_b=8$ [m/s²] a přeneseny křivky zlomů z grafů 3. a 4.



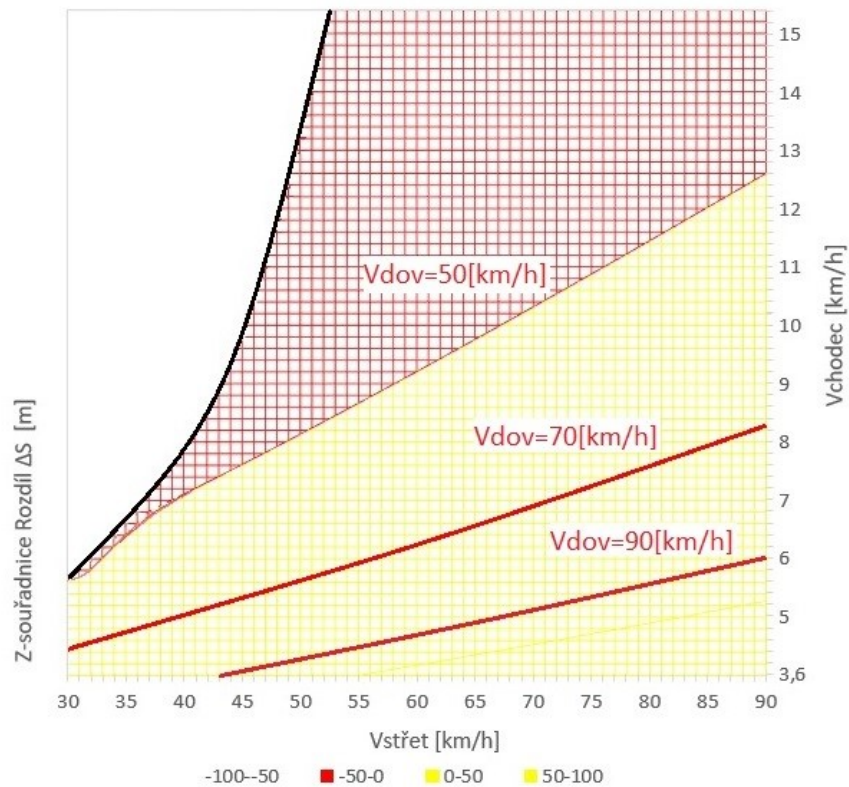
Obrázek 11. Graf vlivu brzděného zpomalení [autor]

Vyhodnocení:

Z obrázku 11. je patrné, že čím bylo nastavováno menší a menší brzděné zpomalení až po situaci, kdy řidič automobilu vůbec nebrzdil, zhoršovala se možnost zastavení před místem střetu, protože řidič měl na počátku reakce menší dispoziční dráhu než dráhu potřebnou na zastavení z rychlosti dovolené a tím graf více červená – zvětšuje se oblast, kdy řidič automobilu nemohl zastavit před místem střetu.

Následující graf na obrázku 12. zobrazuje, jakým způsobem se posouvá hranice zastavení v závislosti na různých dovolených rychlostech a to $V_{dov} = 50; 70; 90$ km/h, při nastaveném stejném brzděném zpomalení $A_B = 4$ m/s².

Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z různých $V_{dov} = 50; 70; 90$ [km/h]; při stejném brzděném zpomalení před střetem $A_b = 4$ [m/s²]; výchozí (referenční) graf pro $V_{dov} = 50$ [km/h]; a přeneseny křivky zlomů pro $V_{dov} = 70; 90$ [km/h]



Obrázek 12. Graf vlivu dovolené rychlosti [autor]

Vyhodnocení:

Z obrázku 12. je patrné, že s rostoucí rychlostí dovolenou se zhoršuje možnost zastavit před místem střetu. Tato možnost zastavení řidiče se výrazně zhorší při dovolené rychlosti 90 km/h, oproti dovolené rychlosti v obci 50 km/h, kdy měl řidič mnohem větší šanci zastavit. V grafu se zvětšuje červená oblast.

Shrnutí předchozích dvou vyhodnocení:

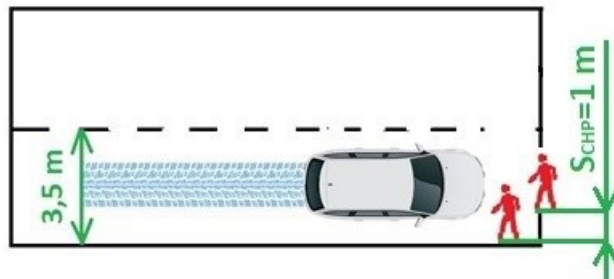
S rostoucí rychlostí dovolenou a zmenšujícím se brzděným zpomalením vzniká situace, kdy řidič automobilu nemohl odvrátit střet s chodcem.

5.1.2 Chodec přechází zprava

Zde se ve výpočtu, oproti přecházení zleva, změní doba chodce ve vozovce respektive dráha chodce $s_{CH} = S_{CHP}$.

Návrh dráhy přecházení zprava obrázek 13.:

Chodec jdoucí po krajnici, není podmínkou k reakci pro řidiče automobilu. Teprve v situaci, kdy chodec projeví zjevný pohyb směrem do vozovky (kolmo ke krajnici) stává se pro řidiče objektem na který by měl reagovat. Dráhu tohoto pohybu jsem zvolil reprezentativní 1 m, je to průměrná dráha 1,5 kroku zdravého člověka. Když jde chodec průměrnou rychlostí 1 m/s, urazí tuto dráhu za 1 sekundu. Při 0,5 m, nemusí být pohyb zjevný, naopak při 1,5 se chodec dostává před vozidlo.



Obrázek 13. Návrh dráhy chodce ve vozovce S_{CHP} (přecházení zprava) [autor]

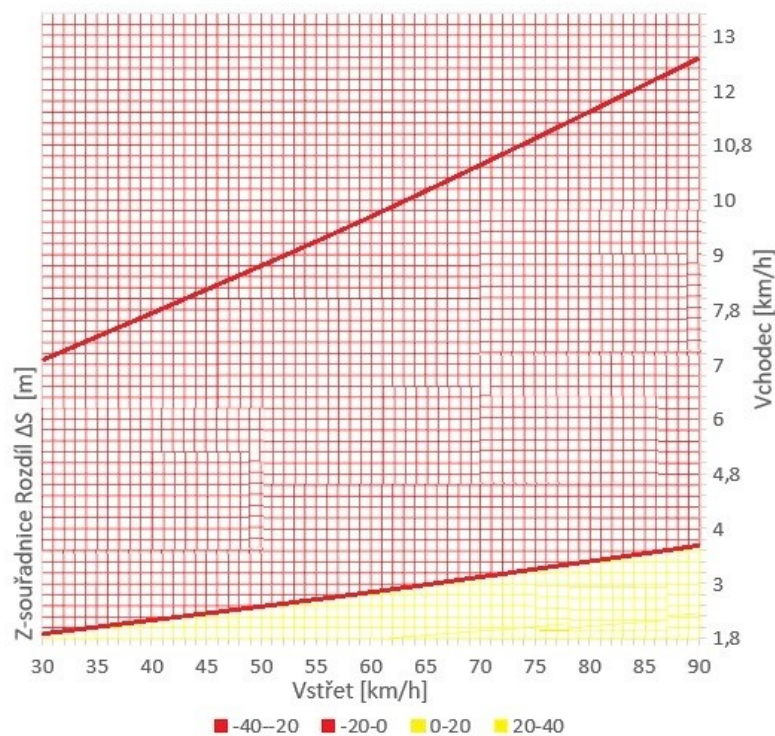
Pro situaci přecházení chodce zprava nedává chodec řidiči automobilu moc velký časový prostor na včasnou účinnou reakci a mnohdy řidič nemá čas ani na samotnou reakci natož pak na samotné brzdění.

Při přecházení zprava je kratší doba před střetem, tudíž kratší dispoziční dráha a tím i menší šance na zastavení. Když půjdeme do hodnot velmi pomalé chůze a chodci udělíme rychlost $V_{CH} = 1,8\text{ km/h}$. V tomto případě se hranice možnosti zastavení posune do kladných čísel, a tudíž by už řidič automobilu mohl zastavit a odvrátit tím riziko nehody. Aby bylo z grafů v situaci přecházení zprava alespoň něco čitelné, posunul jsem pro všechny případy přecházení chodce zprava hodnotu rychlosti chůze na právě $V_{CH} = 1,8\text{ km/h}$, aby to mělo ještě smysl.

Tento případ by mohl nastat právě, kdyby byl chodec senior nebo tělesně omezený člověk. Je tedy potřeba ověřit i tuto možnost. A tím prověřit možnosti, kdy i při chodci zprava by byla možnost zastavit. To však nastane minimálně, ve vzácných případech, kdy se chodec pohybuje opravdu velmi pomalu. Z grafu na obrázku 14. je patrné, jak je oblast, kdy nemohl zastavit

násobně větší v porovnání, kdy zastavit ještě mohl. Jelikož 3,6 až 5 km/h je běžná rychlost chůze, tak by graf při těchto mezích rychlosti byl celý červený, respektive řidič automobilu by takřka nemohl zastavit. V situaci, kdy řidič automobilu nebrzdil tedy při hodnotě $A_B = 0 \text{ m/s}^2$, graf celý zčervenal, tudíž řidič automobilu při dodržení rychlosti dovolené ani tak nemohl zastavit.

Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z $V_{dov}=50[\text{km/h}]$;
při intenzivním brzdění před střetem $A_b=8[\text{m/s}^2]$
situace zprava



Obrázek 14. Půdorys 3D grafu rozdílu DD a DZ, přecházení zprava [autor]

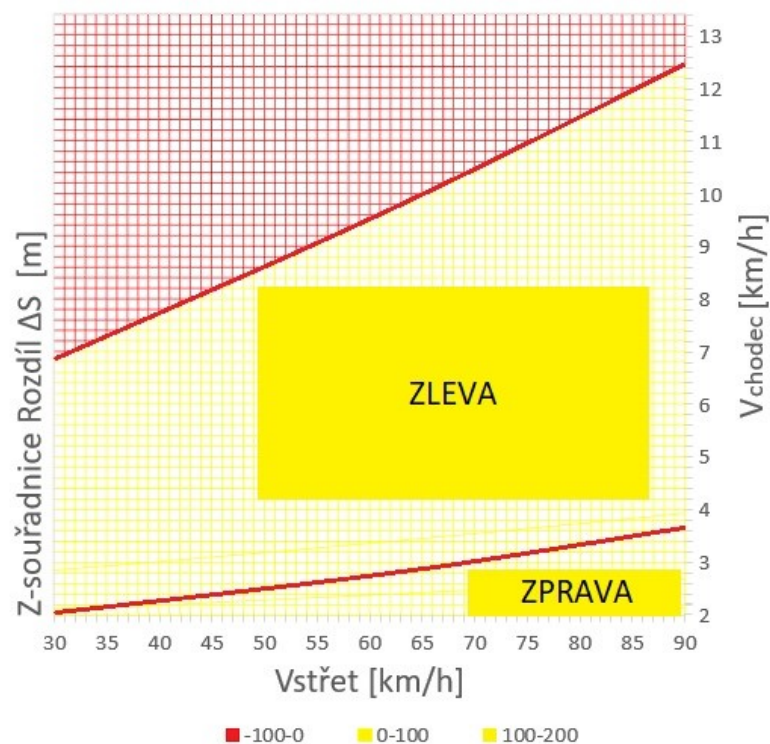
Vyhodnocení:

V obou případech přecházení chodce zprava, ať už řidič reaguje a brzdí, nebo nereaguje a nebrzdí, jsou hodnoty obou grafů velmi podobné. Z toho plyne, že při přecházení zprava řidič automobilu většinou nestihne ani reagovat, natož pak brzdit. Takže je vlastně jedno, jestli měl brzdné zpomalení maximální nebo žádné, ve výsledku se takřka nic nemění.

5.1.3 Porovnání přecházení ZLEVA/ZPRAVA

Pro názorné porovnání situace, kdy chodec přechází vozovku zleva nebo zprava, slouží graf na obrázku 15. Z grafu je patrné, že mnohem větší šance, aby nedošlo ke střetu provozu je v situaci přecházení zleva. Naopak v situaci zprava je tato pravděpodobnost výrazně menší, takřka žádná. Pro řidiče automobilu vyplývá, že při přecházení chodce zprava nemá téměř možnost zastavit (takřka celý červený graf). Mnohdy totiž řidič automobilu nestihne na chodce ani zareagovat, jak již bylo zmíněno výše v kapitole 5.1.2. Chodec přechází zprava. Z grafu je také patrné, že při přecházení zleva když je chodec velmi rychlý běžec nedává řidiči možnost zastavit. Naopak při přecházení zprava stejná situace (kdy řidič nemá možnost zastavit) nastane, když chodec nešel velmi pomalou chůzí, ale průměrnou a vyšší.

Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z $V_{dov}=50[\text{km/h}]$; při intenzivním brzdění před střetem $A_b=8[\text{m/s}^2]$
porovnání situace zleva/zprava



Obrázek 15. Graf přecházení ZLEVA/ZPRAVA [autor]

5.2 Vyhodnocení správnosti rozhodnutí chodce o vstoupení do vozovky

V této situaci chodec přechází mimo přechod, tudíž dle zákona je na vedlejší a řidič automobilu je na hlavní. Chodec smí přecházet vozovku, jen pokud **nedonutí k náhlé změně směru nebo rychlosti jízdy přijíždějících vozidel.**

Nenáhlá změna rychlosti jízdy, můžeme definovat, jako nedonucení řidiče použít zvýšené brzdné zpomalení. Za intenzivní brzdění, které běžně dosahuje osobní automobil považujeme hodnotu 8 m/s^2 , nenáhlá hodnota brzdění by mohla být polovina intenzivního, tedy 4 m/s^2 , v úvahu lze brát hodnotu čtvrtiny intenzivního brzdění, tedy nenáhlou hodnotu 2 m/s^2 . Dále vybraná hodnota nenáhlého brzdění $2,9 \text{ m/s}^2$ je polovina z hodnoty $5,8 \text{ m/s}^2$. Tímto zpomalením $5,8 \text{ m/s}^2$ musí brzdít vyhovující plně zatížený osobní automobil na vodorovné suché vozovce.

5.2.1 Situace, kdy chodec přechází zleva

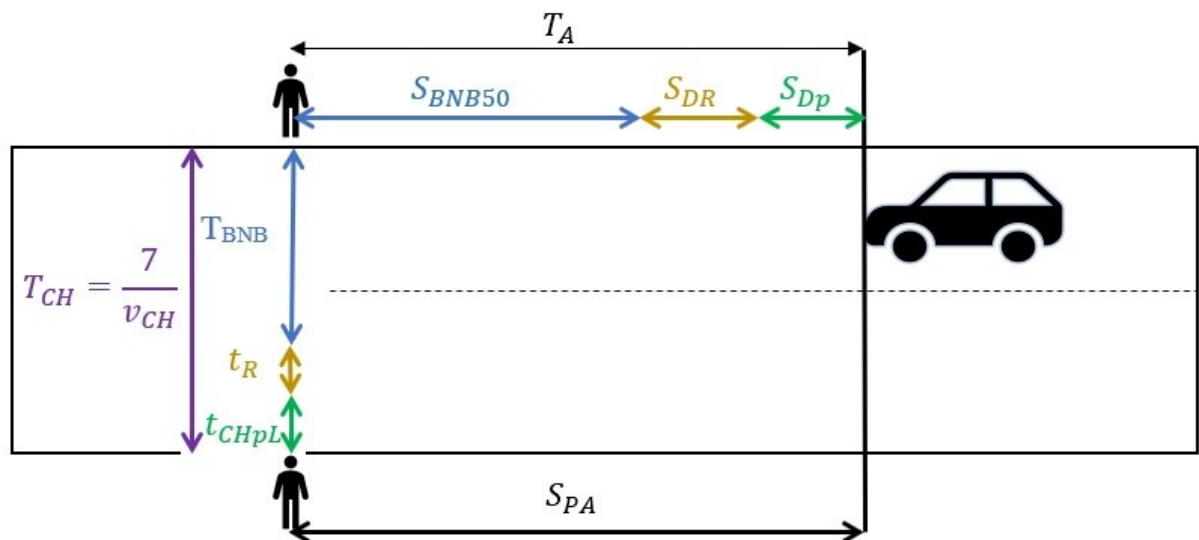
Návrh dráhy chodce zleva S_{CHpL} :

$$S_{CHpL} = \frac{S_{CHL} - S_{CH}}{2} = \frac{7 - 3,5}{2} = 1,75 \text{ [m]} \quad (8)$$

kde,

S_{CHL} ... šířka vozovky 7 m [m]

Jedná se o velikost dráhy S_{CHpL} , která odpovídá polovině jízdního pruhu, kdy už by měl řidič chodce vidět a začít na něho reagovat.



Obrázek 16. Náčrt modelové situace přecházení zleva [autor]

Výpočet chodec zleva dle obrázku 16.:

Dráha S_{Dp} je prodleva při dovolené rychlosti za čas chodce t_{CHpL} (Řidič automobilu, ještě o záměru chodce vůbec neví, na počátku tohoto času t_{CHpL} , se chodec rozhodl, že půjde a zahájil přecházení. Bylo jeho rozhodnutí správné?)

$$Auto: S_{Dp} = v_D * t_{CH} = v_D * \frac{S_{CHpL}}{v_{CH}}$$

$$Chodec: t_{CHpL} = \frac{S_{CHpL}}{v_{CH}}$$

Dráha " S_{DR} " ... reakční dráha při dovolené rychlosti, kterou řidič ujede, než začne na chodce vůbec reagovat. Reakční doba řidiče $t_R = 1$ s. Za tuto jednu vteřinu však chodec ušel dráhu $S_{CHr} = v_{CH} * t_R$.

$$Auto: S_{DR} = v_D * t_R$$

Výpočet:

Počáteční dráha automobilu S_{PA} , když se chodec rozhodl vstoupit do vozovky a zahájit, tím přecházení. Vypočtená ze skutečné počáteční rychlosti automobilu v_0 .

$$S_{PA} = v_0 * t_R + S_B + v_0 * t_{CHpL} \text{ [m]} \quad (9)$$

$$S_{PA} = (v_{stř} + a_B * (\frac{S_{CH}}{v_{CH}} - t_R)) * t_R + v_{stř} * (\frac{S_{CH}}{v_{CH}} - t_R) + \frac{1}{2} * a_B * (\frac{S_{CH}}{v_{CH}} - t_R)^2 + (v_{stř} + a_B * (\frac{S_{CH}}{v_{CH}} - t_R)) * \frac{S_{CHpL}}{v_{CH}} \text{ [m]} \quad (10)$$

S_{BNBD} je zbylá dráha z S_{PA} , při použití nenáhlé hodnoty brzdění a_{BNB} z rychlosti dovolené v_D :

$$S_{BNBD} = S_{PA} - S_{DR} - S_{Dp} \text{ [m]} \quad (11)$$

Délka času T_{BNB} je čas po dobu nenáhlého brzdění a_{BNB} z rychlosti dovolené v_D do střetové rychlosti $v_{střetD}$, která je vypočtena z rychlosti dovolené:

$$T_{BNB} = \frac{v_D - v_{střetD}}{a_{BNB}} [m] \quad (12)$$

Střetová rychlost $v_{střetD}$ z rychlosti dovolené v_D :

$$v_{střetD} = \sqrt{v_D^2 - 2 * a_{BNB} * S_{BNBD}} [m/s] \quad (13)$$

Dosazení do vztahu (12):

$$T_{BNB} = \frac{v_D - \sqrt{v_D^2 - 2 * a_{BNB} * S_{BNBD}}}{a_{BNB}} [s] \quad (14)$$

Celkový čas automobilu:

$$T_A = T_{BNB} + t_R + t_{Dp} [s] \quad (15)$$

$$T_A = \frac{v_D - \sqrt{v_D^2 - 2 * a_{BNB} * S_{BNBD}}}{a_{BNB}} + t_R + \frac{S_{CHpL}}{v_{CH}} [s] \quad (16)$$

Celkový čas chodce T_{CH} , strávený přecházením celé šíře vozovky S_{CHL} :

$$T_{CH} = \frac{S_{CHL}}{v_{CH}} = \frac{7}{v_{CH}} [s] \quad (17)$$

Vyhodnocovací kritérium výpočtu:

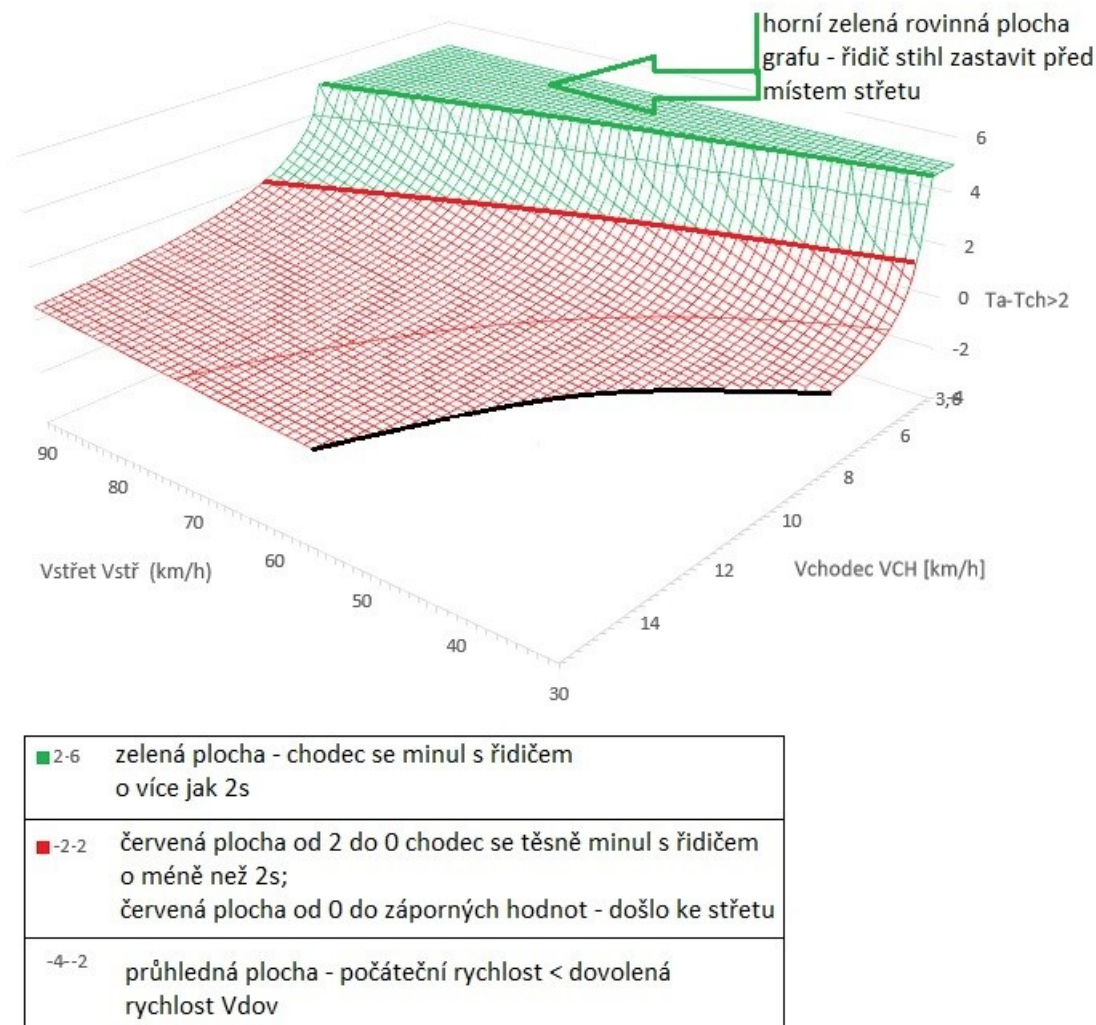
$$T_A - T_{CH} > 2 [s] \quad (18)$$

Tedy chodec opustí vozovku, a až po 2 sekundách projede automobil.

Hodnota 2 sekundy je vybrána jako reprezentativní hodnota bezpečného minutí provozu. V případě uvažování 1 sekundy, by minutí provozu nebylo příliš komfortní, protože při průměrné rychlosti chodce 1 m/s, by urazil dráhu 1 m a tuto vzdálenost od jedoucího vozidla

považujeme za nebezpečnou, respektive nekomfortní, při vyšších rychlostech chodce by tato vzdálenost byla ještě kratší, proto než 1 s volíme 2 s. Oproti tomu 3 s by se dalo považovat za zbytečně dlouhou dobu minutí vozidla s chodcem. V této situaci nemusí řidič automobilu před chodcem nutně zastavit, stačí aby se projíždějící vozidlo minulo s chodcem právě o již zmíněné 2 s.

Kritérium minutí provozu o 2s " $T_a - T_{ch} > 2$ "; hodnoty výpočtu:
 $V_{dov} = 50$ [km/h] a nenáhlé bzdění $A_{bnb} = 2$ [m/s²]



Obrázek 17. 3D graf – Kritérium minutí provozu o 2 s [autor]

Minimum tohoto grafu nastává v situaci, kdy chodec jde pomalu a řidič jede rychle. Maximum je v situaci, kdy chodec jde rychle a řidič jede pomalu. Tento graf však nabývá i nekonečných hodnot, je tomu z důvodu, že nastávají situace, kdy řidič automobilu zastavil ještě před místem, kde by se mýjel s chodcem, tudíž čas o kolik se minou je nekonečně dlouhý. Aby byl graf

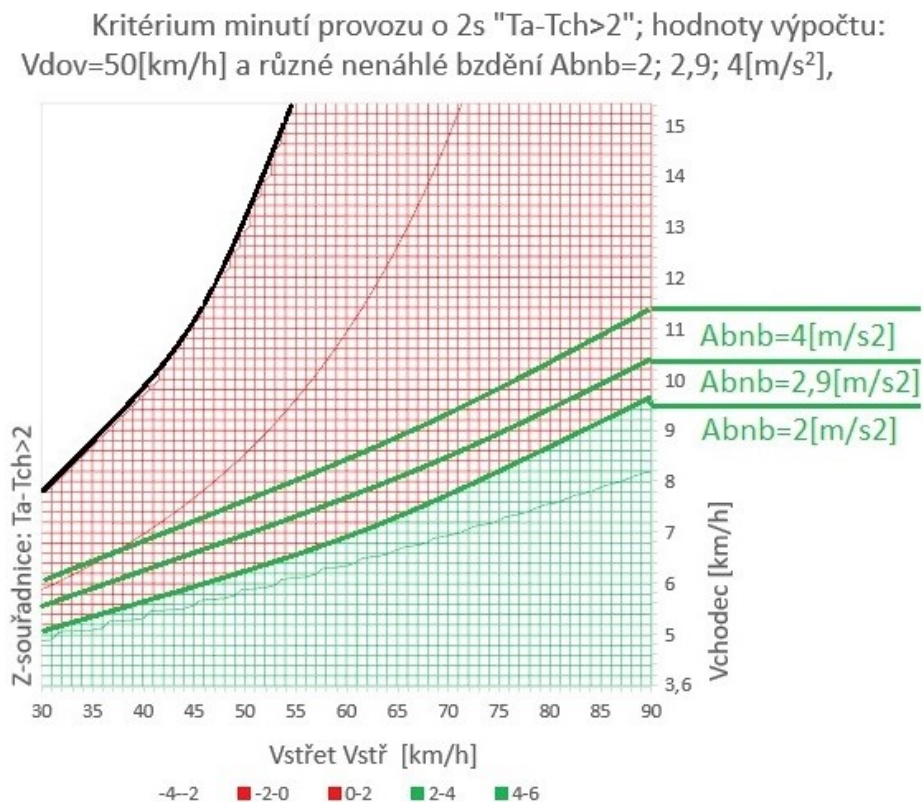
čitelný, pro hodnoty nekonečna jsem nastavil konstantní hodnotu úměrnou měřítku grafu. Tyto hodnoty pak vytvoří zelenou plochu o konstantní hodnotě, vyznačenou na obrázku 17.

Když $T_A - T_{CH} > 2$ sekundy a ve výpočtu jsem vycházel z toho, že automobil jel rychlostí dovolenou, tak se chodec rozhodl správně a nenutil svým přecházením řidiče automobilu náhle brzdit.

Když $T_A - T_{CH} < 2$ s a ve výpočtu jsem vycházel z toho, že automobil jel rychlostí dovolenou, tak se chodec rozhodl špatně a nutil řidiče k náhlé změně rychlosti, protože při nenáhlé by se dostali pod 2 s, ba dokonce když " $T_A - T_{CH}$ " je záporné, došlo ke střetu automobilu s chodcem a v této situaci při rychlosti dovolené je příčina nehodového děje pouze na straně chodce.

Ovšem když řidič automobilu jel větší rychlostí než dovolenou, nemohl chodec správně odhadnout jeho čas, za který přijede k místu, kde chodec přechází a byla by to příčina nehodového děje na straně řidiče, protože jel rychlostí vyšší než dovolenou.

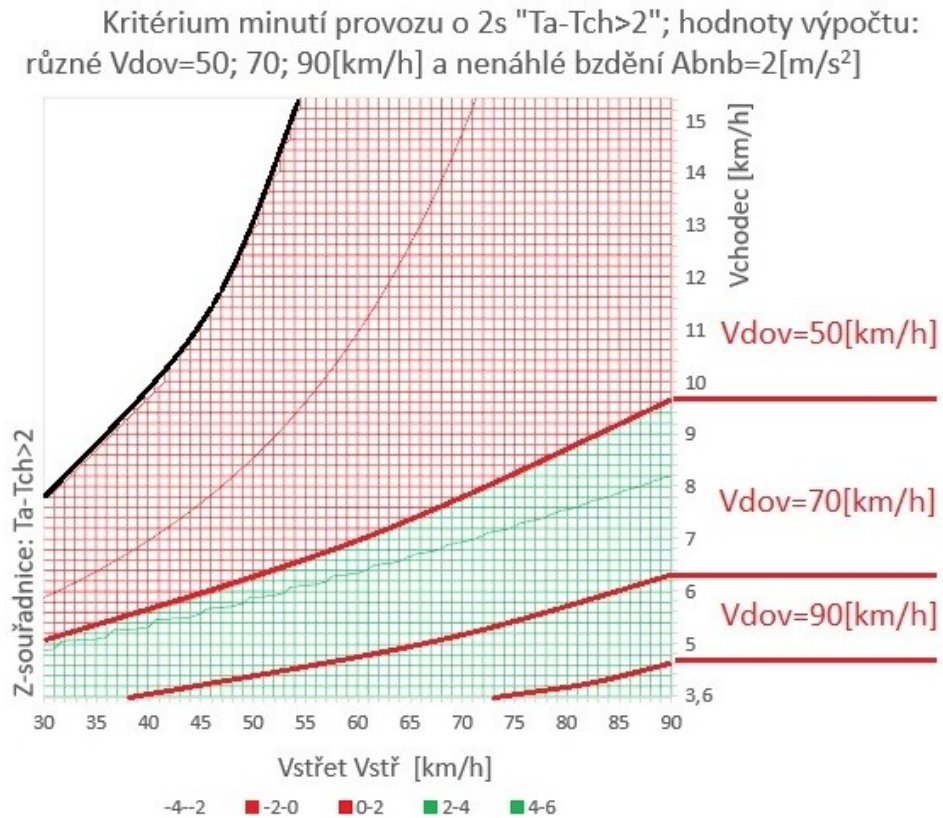
Pro názornou ukázkou, jak se mění rozhodnutí chodce v závislosti na různých rychlostech dovolených 50, 70, 90 km/h a nenáhlého brzdění automobilu 2,0; 2,9; 4,0 poslouží následující grafy na obrázcích 18. a 19.



Obrázek 18. Kritérium minutí provozu o 2 s – vliv nenáhlé hodnoty brzdění [autor]

Vyhodnocení:

Z grafu na obrázku 18. je patrné, že, čím bylo nastavováno větší nenáhlé brzdné zpomalení automobilu A_{BNB} , tím se zvětšovala zelená oblast grafu a rostla větší šance, že se minou o více než 2 sekundy. Tedy se vzrůstající hodnotou nenáhlého brzdění se posouvá hranice možností minutí vozidel o více jak 2 sekundy.



Obrázek 19. Kritérium minutí provozu o 2 s – vliv rychlosti dovolené [autor]

Vyhodnocení:

Z grafu na obrázku 19. je patrné, že s rostoucí hodnotou rychlosti dovolené je méně pravděpodobné splnění podmínky minutí provozů o 2 s.

5.2.2 Situace, kdy chodec přechází zprava

Návrh dráhy chodce zprava S_{CHpP} , vypočtená z šířky jízdního pruhu $S_{3,5}$ a průměrné šíře automobilu S_2 :

$$S_{CHpP} = \frac{S_{3,5} - S_2}{2} = \frac{3,5 - 2}{2} = 0,75 \text{ [m]} \quad (19)$$

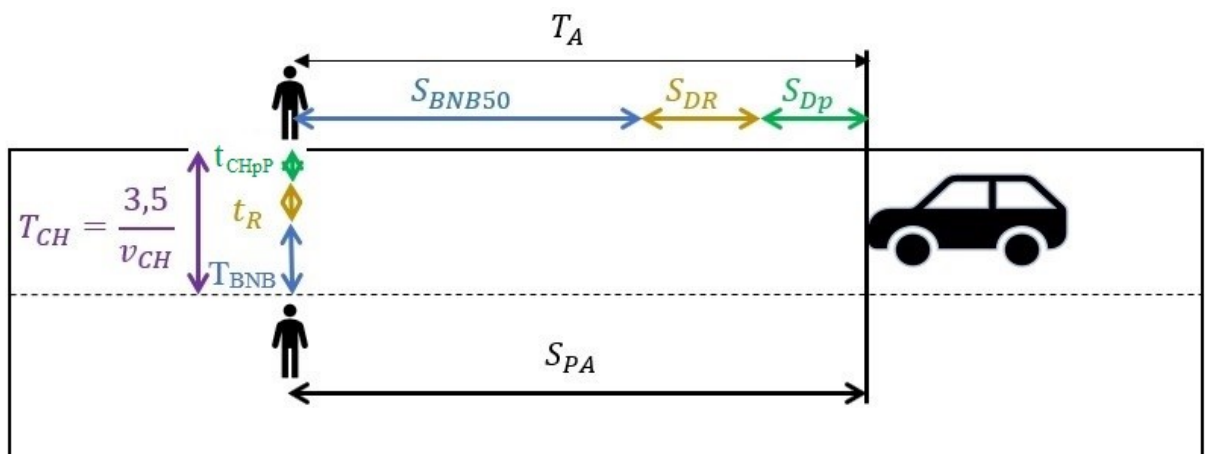
(Polovina jízdního pruhu 3,5 m odečtená šíře automobilu 2 m vydělená dvěma. Také je to délka zhruba jednoho kroku, na který by už řidič automobilu měl reagovat.)

Výpočet je stejný, jako v situaci přecházení zleva, akorát jsou potřeba pozměnit hodnoty s indexem „L“ na hodnoty s indexem „P“, zejména ve vztahu (10) a ve vztazích, navazujících na tento vztah (10). Změna následujících veličin a jejich hodnoty ve výpočtu situace zprava:

$$S_{CHpL} \Rightarrow S_{CHpP} = 0,75 \text{ [m]}$$

$$S_{CH} \Rightarrow S_{CH} = 1 \text{ [m]} \dots \text{ dráha od } S_{CHpP} \text{ do místa střetu [m]}$$

$$S_{CHL} \Rightarrow S_{CHP} = 3,5 \text{ [m]} \dots \text{ šířka jízdního pruhu [m]}$$



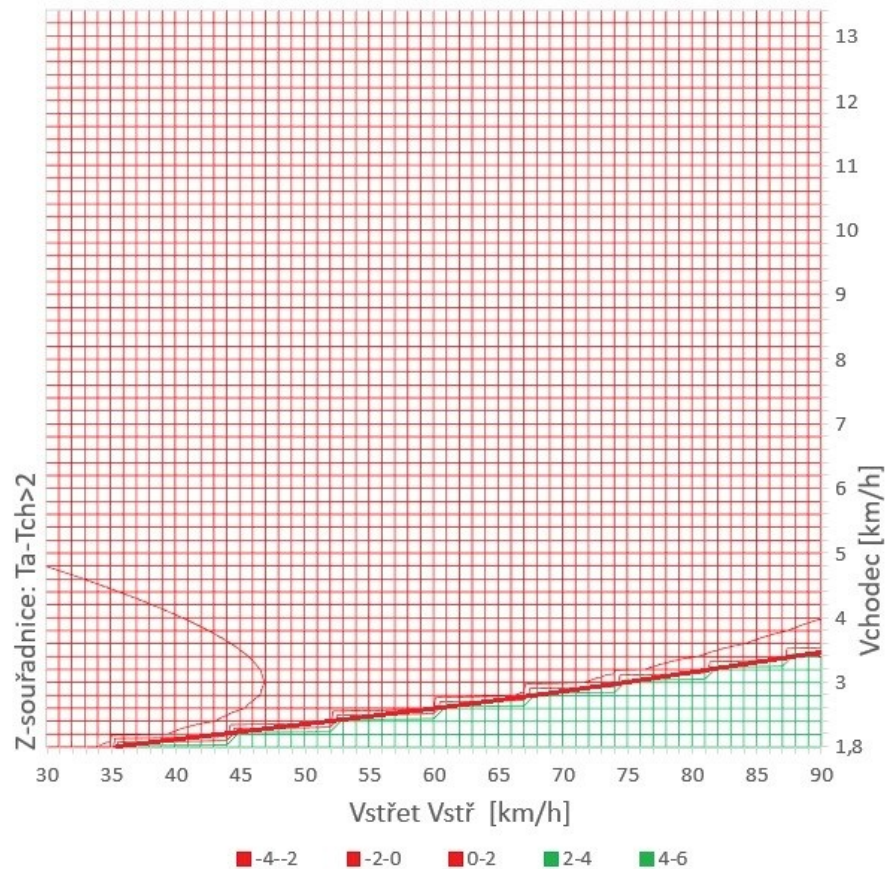
Obrázek 20. Náčrt modelové situace přecházení zprava [autor]

Stejně tak, jako v kapitole Posouzení ze strany řidiče automobilu v situaci přecházení zprava, tak i tady v situaci přecházení zprava musím upravit hodnotu rychlosti chůze chodce na 1,8 km/h, učinil jsem tak pro všechny možné grafy různých rychlostí dovolených a různých nenáhlých zpomaleních, právě pro přecházení zprava.

Jak bylo popsáno již v minulé kapitole, tak podobně i tady je extrémní případ pro přecházení zprava. Mohlo by tak nastat pro seniora o holi, chodítku, nebo tělesně postiženého občana, kdy v těchto případech se může délka kroku z 0,75 m zkrátit na polovinu 0,375 i méně. Tím by se prodloužil čas chodce ve vozovce a řidič automobilu by na něho mohl stihnout reagovat. A rychlost chodce by začínala již od 1,8 km/h.

Pro tento příklad velmi pomalé chůze přikládám graf na obrázku 21., kdy rychlost chodce byla nastavena od 1,8 km/h a tím pádem řidič automobilu mohl chodce vidět už v jeho kratší dráze a mohl reagovat včasěji.

Kritérium minutí provozu o 2s "Ta-Tch>2" hodnoty výpočtu:
 $V_{dov}=50[\text{km/h}]$, při nenáhlém brzdění $A_{bnb}=4[\text{m/s}^2]$



Obrázek 21. Kritérium minutí provozu o 2 s – přecházení zprava [autor]

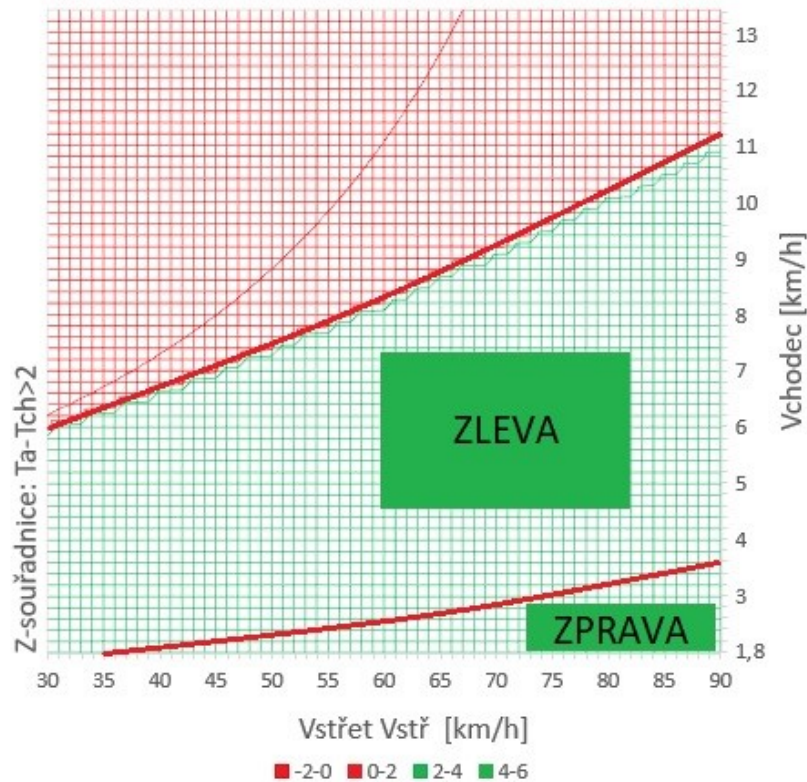
Z takto upraveného grafu plyne, že řidič automobilu by mohl zastavit před chodcem, kdyby se chodec pohyboval rychlostí 0,94 m/s a méně, a řidič automobilu by dodržel rychlost dovolenou, která v tomto případě byla zvolena 50 km/h a brzdné nenáhlé zpomalení 4 m/s².

Oblasti grafu, kdy se provoz minul a více jak 2 sekundy, jsou hodnoty nekonečna, z toho vyplývá, že řidič automobilu by dokázal jenom zastavit. Nevznikla by situace, kdy by chodec stihl přejít vozovku s bezpečnou rezervou dvou vteřin a zároveň by se automobil stále pohyboval (brzdil). Zastavil by pouze ve výjimečných případech, spíše je nemožné, aby v situaci přecházení zprava řidič automobilu byl schopen před chodcem zastavit, ba dokonce jet, tak pomalu aby chodec stihl přejít a automobil se stále pohyboval. Nastalo by tak, kdyby řidič automobilu se pohyboval výrazně nižší rychlostí, než je rychlost dovolená. V tomto případě je příčina nehodového děje skoro vždy na straně chodce, protože řidič automobilu má minimální čas na reakci a následné brzdění.

5.2.3 Porovnání přecházení ZLEVA/ZPRAVA

Pro názorné porovnání situace, kdy chodec přechází vozovku zleva nebo zprava, je obrázek 22.

Kritérium minutí provozu o 2s " $T_a - T_{ch} > 2$ " hodnoty výpočtu:
 $V_{dov} = 50$ [km/h], při nenáhlém brzdění $A_{bnb} = 4$ [m/s²];
porovnání zleva/zprava

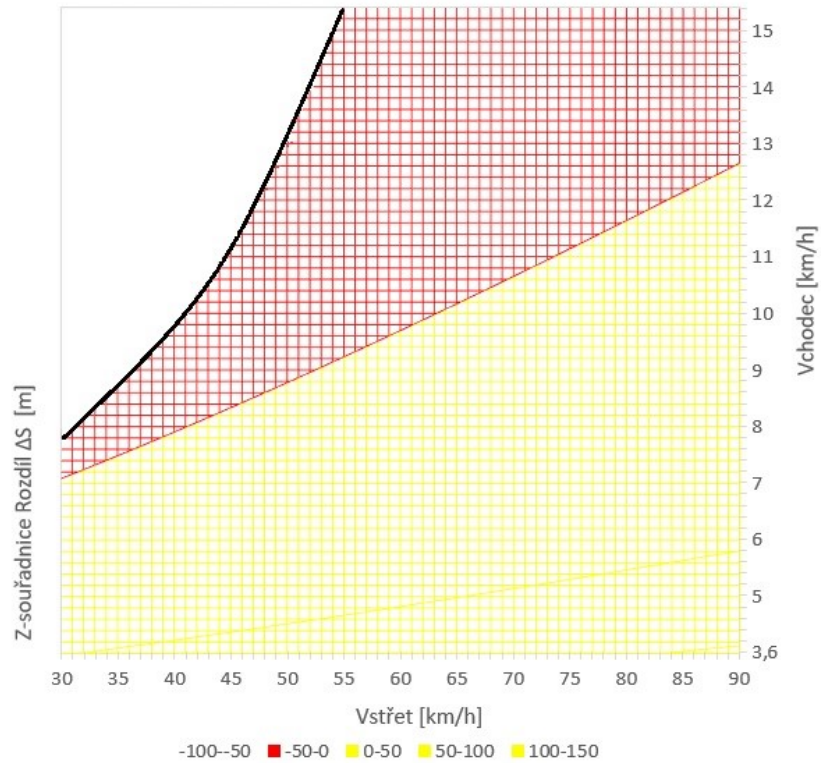


Obrázek 22. Kritérium minutí provozu o 2 s – porovnání přecházení ZLEVA/ZPRAVA [autor]

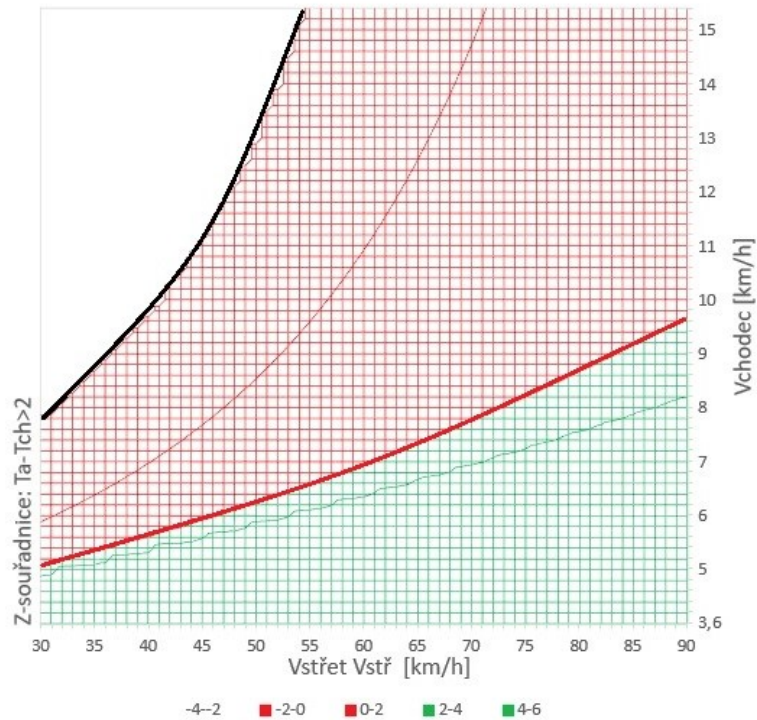
Z grafu na obrázku 22. Je patrné, že mnohem větší šance, aby se provoz minul o více, než 2 nastává v situaci přecházení zleva. Naopak v situaci zprava je tato pravděpodobnost výrazně menší, takže žádná. Zelená oblast přecházení zprava značí spíše, že řidič automobilu, při příliš pomalé chůzi chodce stačil nenáhle zastavit před místem střetu.

5.3 Spojení posouzení ze strany řidiče a posouzení ze strany chodce

Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z $V_{dov}=50$ [km/h];
při intenzivním brzdění před střetem $A_b=8$ [m/s²]



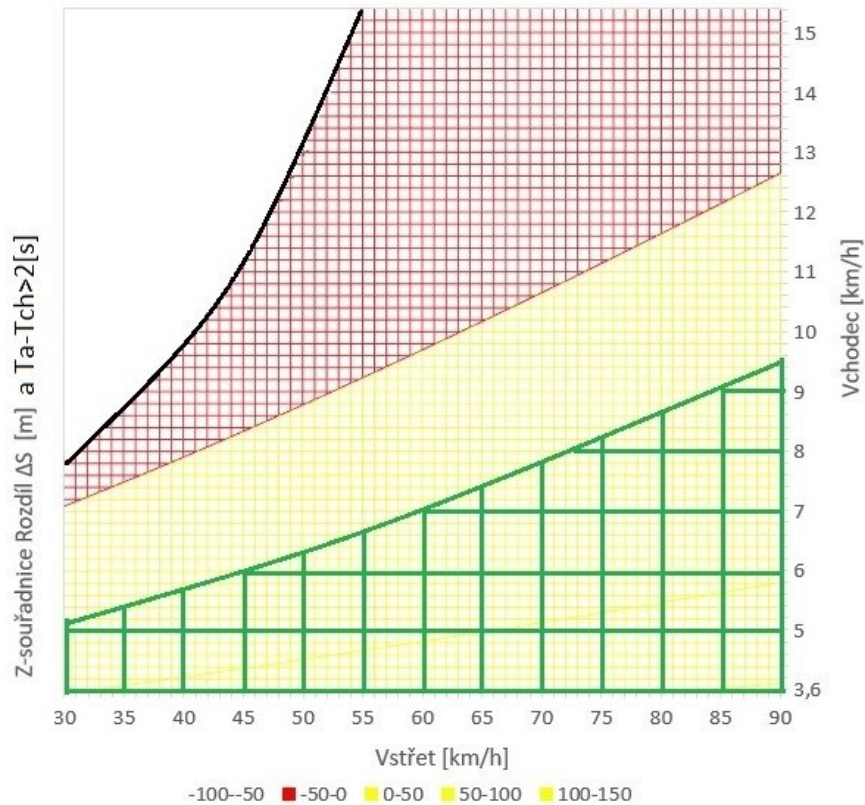
Kritérium minutí provozu o 2s " $T_a-T_{ch}>2$ "; hodnoty výpočtu:
 $V_{dov}=50$ [km/h] a nenáhlé brzdění $A_{bnb}=2$ [m/s]



Obrázek 23. První graf – rozdíl DD a DZ, druhý graf – kritérium minutí provozu o 2 s, oba grafy stejná rychlost dovolená 50 km/h [autor]

Graf na obrázku 24. vznikl překrytím grafů na obrázku 23., pro přehlednost zobrazených výše.

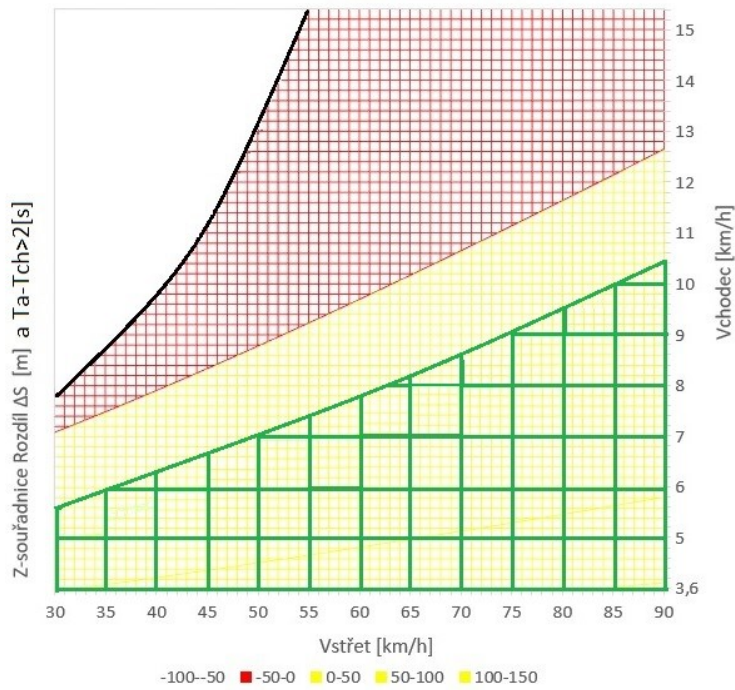
Překrytí grafů: Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z $V_{dov}=50[\text{km/h}]$; při intenzivním brzdění před střetem $A_b=8[\text{m/s}^2]$ a grafu
Kritérium minutí provozu o 2s " $T_a-T_{ch}>2$ "; hodnoty výpočtu:
 $V_{dov}=50[\text{km/h}]$ a nenáhlé brzdění $A_{bnb}=2[\text{m/s}^2]$



Obrázek 24. Překrytí grafů – rozdíl DD a DZ, a kritéria minutí provozu o 2 s při nenáhlém brzdění 2 m/s^2 [autor]

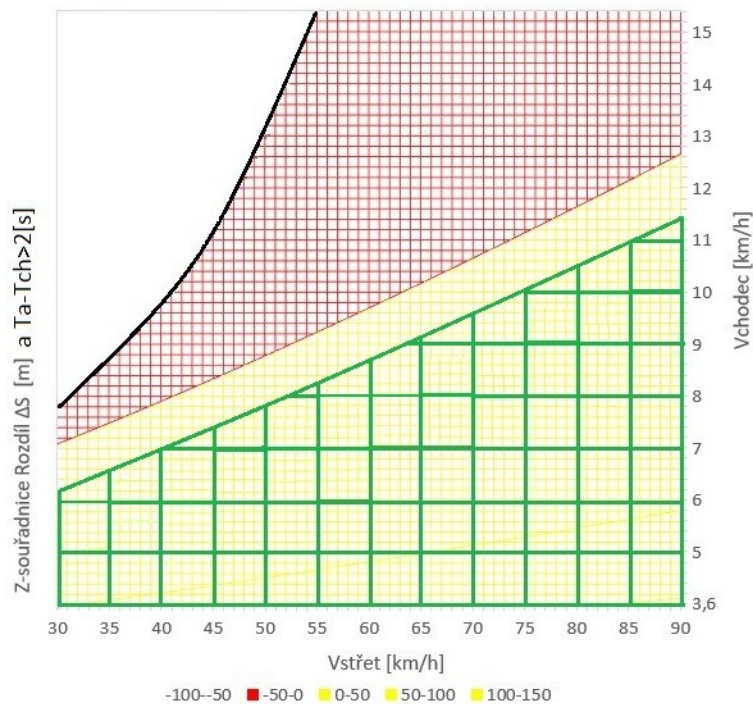
Jakým způsobem se mění možnosti minutí provozu o 2 s a zároveň řidič měl dostatečnou dispoziční dráhu, při zvyšování brzdného nenáhlého zpomalení znázorňují grafy na obrázcích 25. a 26., při jinak stejných podmínkách (rychlosti dovolené 50 km/h a intenzivního brzdění před střetem 8 m/s^2).

Překrytí grafů: Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z $V_{dov}=50[\text{km/h}]$; při intenzivním brzdění před střetem $A_b=8[\text{m/s}^2]$ a grafu Kritérium minutí provozu o 2s " $T_a-T_{ch}>2$ "; hodnoty výpočtu: $V_{dov}=50[\text{km/h}]$ a nenáhlé brzdění $A_{bnb}=2,9[\text{m/s}^2]$



Obrázek 25. Překrytí grafů – rozdíl DD a DZ, a kritéria minutí provozu o 2 s při nenáhlém brzdění $2,9 \text{ m/s}^2$ [autor]

Překrytí grafů: Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z $V_{dov}=50[\text{km/h}]$; při intenzivním brzdění před střetem $A_b=8[\text{m/s}^2]$ a grafu Kritérium minutí provozu o 2s " $T_a-T_{ch}>2$ "; hodnoty výpočtu: $V_{dov}=50[\text{km/h}]$ a nenáhlé brzdění $A_{bnb}=4,0[\text{m/s}^2]$



Obrázek 26. Překrytí grafů – rozdíl DD a DZ, a kritéria minutí provozu o 2 s při nenáhlém brzdění 4 m/s^2 [autor]

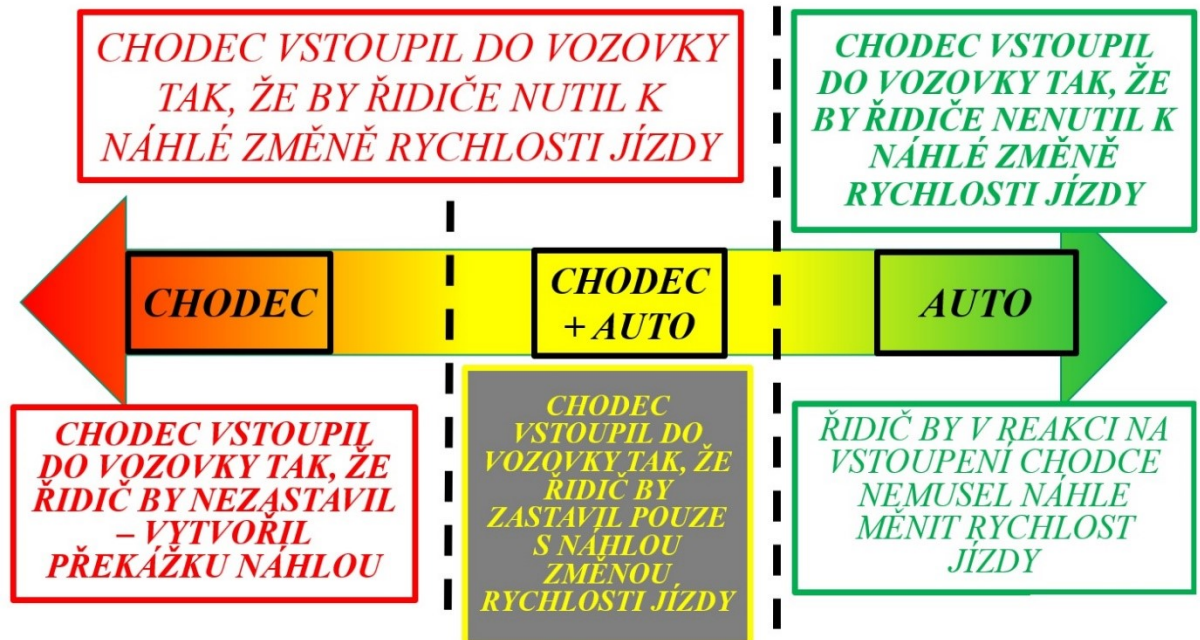
Z grafů na obrázcích 24., 25., a 26. je patrné, že s rostoucím nenáhlým brzdným zpomalením zužovalo pásmo, kdy řidič automobilu mohl zastavit a zvětšovala se oblast minutí provozů o 2 s. Překrytí grafů slouží k znázornění, že někdy není jednoznačně technická příčina nehody na jedné, či druhé straně, tím i úzce souvisí osa příčin na obrázku 32 dole v této kapitole. Z obrázku 24. je patrné, že nastávají situace, kdy řidič automobilu, při dodržení rychlosti dovolené nemusel náhle měnit rychlost jízdy, kdy chodec vstoupil do vozovky (zelená oblast). Naopak nastávají situace, kdy řidič automobilu nemohl zastavit, protože chodec mu svým vstoupením do vozovky vytvořil překážku náhlou, a i když byl řidič náhle donucen změnit rychlost jízdy, nemohl střetu zabránit (červená oblast). Hranice mezi těmito stavy nejsou ostré, je to jen aritmetický výpočet, skutečnost ovlivňuje mnoho faktorů při reálných nehodových dějích. Vypočtené hranice znázorňují pouze oblast pravděpodobnosti příčiny nehodového děje chodec/řidič. Čím dál jsem od těchto hranic, tím si můžu být jistější, že technická příčina nehodového děje je spíše buď na straně chodce nebo řidiče. Respektive čím jsem v grafu výše od hranice zastaví/nezastaví, tím je pravděpodobnější, že příčina nehodového děje je na straně řidiče. Čím jsem v grafu níže tím je spíše příčina nehodového děje na straně chodce. V této hranici jsou i situace, kdy chodec vstoupil do vozovky a řidič automobilu by dokázal zastavit, ale musel by brzdit náhle (žlutá oblast). V této oblasti překrytí, může být technická příčina nehodového děje, jak na straně chodce, tak na straně řidiče automobilu.

Při dodržení dovolené rychlosti 50 km/h a při rychlostech chodce do 6 km/h je takřka jedno, jak se řidič automobilu pohyboval, protože se provoz takřka vždy mine o více jak 2 s. Naopak při hodnotě rychlosti chodce 13 km/h, chodec vždy vytvořil překážku náhlou a řidič automobilu nemohl zastavit.

Z grafů lze vyčíst různě nadefinované situace. Při modelové situaci, kdy je dovolená rychlost 50 km/h, střetová rychlost vozidla 40 km/h a rychlost chůze chodce například 6,5 km/h je z grafů patrné, že při nenáhlém brzdění 4 m/s^2 může řidič automobilu zastavit a zároveň se bezpečně minou s chodcem o více jak 2 s, při nenáhlém brzdění $2,9 \text{ m/s}^2$ také může řidič automobilu zastavit, minutí provozu už je na hranici 2 s a už není tak jednoznačně vypovídající jako v předchozím případě vyššího nenáhlého brzdného zpomalení. A při hodnotě nenáhlého zpomalení 2 m/s^2 , řidič automobilu může pouze zastavit před místem střetu a provoz se nemine o více jak 2 s.

Názorné zobrazení plynulého překrytí barev zobrazuje osa příčin níže obrázek 27.:

OSA PŘÍČIN NEHODOVÉHO DĚJE – MIMO PŘECHOD



Obrázek 27. Osa příčin nehodového děje MIMO PŘECHOD [16]

Závěr

Cílem práce je sestavit systém výpočtu a závislostí veličin, které mají vliv na průběh nehodového děje a učinit závěry, jakým způsobem ovlivňují výpočet. Jednalo se tedy o citlivostní analýzu, kde se bral ohled na to, zda řidič automobilu brzdil nebo nebrzdil, zda chodec přecházel vozovku zleva nebo zprava a zda se dopravní nehoda stala při různých dovolených rychlostech a řidič automobilu byl nucen reagovat na vzniklou situaci různým nenáhlým brzděním. V závislosti na rychlosti chůze chodce a střetové rychlosti vozidla. V kapitole 5. Struktura výpočtu dopravní nehody automobilu s chodcem jsou průběžně psaná vyhodnocení vytvořených závislostí, ze kterých vyplývá následující.

S rostoucí rychlostí dovolenou se zhoršuje možnost zastavit před místem střetu. Tato možnost zastavení řidiče se výrazně zhorší při dovolené rychlosti 90 km/h, oproti dovolené rychlosti v obci 50 km/h, kdy měl řidič mnohem větší šanci zastavit. Protože při větší rychlosti dovolené, je řidiči automobilu ze zákona dovoleno jet rychleji, například při rychlosti dovolené mimo obec 90 km/h ujede automobil za jednu sekundu dráhu 25 m, tím se mu výrazně rychleji zkracuje dispoziční dráha. Oproti situacím v obci, kde je rychlost dovolená 50 km/h se dispoziční dráha za 1 s zkracuje o 14 m. Při nižší rychlosti dovolené je mnohem pravděpodobnější, že mezi příčiny nehodového děje se dostane technika jízdy řidiče (rychlost, opožděná reakce) než jak by tomu bylo v místě s vyšší rychlostí dovolenou (např. mimo obec).

Čím byla nastavována menší hodnota brzdného zpomalení až po situaci, kdy řidič automobilu před střetem vůbec nebrzdil, zhoršovala se možnost zastavení vozidla před místem střetu. Protože řidič měl na počátku reakce menší dispoziční dráhu než dráhu potřebnou na zastavení z rychlosti dovolené. Zvětšuje se oblast, kdy řidiči automobilu byla vytvořena překážka náhlá a nemohl zastavit před místem střetu.

Se zvyšující se rychlostí dovolenou, se zkracuje čas, za který řidič dosáhne úrovně koridoru pohybu chodce. Při vyšších rychlostech dovolených je šance minutí provozu o více než 2 s mnohem menší, než například při rychlosti dovolené 50 km/h. Z toho vyplývá, že technická příčina nehodové děje v obci je spíše na straně řidiče automobilu, kdežto u nehod mimo obec na straně chodce, jak již bylo řečeno.

S rostoucí hodnotou nenáhlého brzdění se zvětšuje šance minutí provozu o více než 2 s. Je tomu z důvodu, že při větším zpomalení roste čas, za který řidič dojde k místu střetu. Chodec má

tím pádem více času na bezpečné opuštění vozovky a množina situací, kdy se provoz mine o více než 2 sekundy roste.

Při přecházení chodce zleva je mnohem větší šance minutí provozu o více jak 2 s než při přecházení zprava. Minutí provozu o více jak 2 s při přecházení zprava nastává minimálně, spíše nastávají situace, že řidič automobilu stihne před chodcem zastavit. To však také velice zřídka, je tomu tak v případech, že chodec se pohyboval velmi pomalou chůzí, například chodec senior nebo pohybově omezený člověk. Proto bylo zapotřebí prověřit i tyto situace a rychlost chůze v těchto případech snížit až na hodnotu 1,8 km/h, což odpovídá hodnotě 0,5 m/s, kterou se takto pohybově omezení lidé mohou pohybovat. Při přecházení zleva má řidič automobilu podstatně delší čas na možnou reakci, proto zde nastává více situací, kdy se chodec s automobilem minul o více jak 2 s. Toto minutí mohlo nastat tak, že se automobil při nenáhlé brzdění stále pohyboval nebo dokonce stihl zastavit a tím jejich čas minutí byl nekonečně dlouhý. Z toho vyplývá, že při přecházení zleva je většinou spíše příčina nehodového děje na straně řidiče automobilu a při přecházení zprava na straně chodce.

Shrnutí, v situaci, kdy se nehoda odehrála v obci a chodec přecházel vozovku zleva je příčina nehodového děje pravděpodobně na straně řidiče automobilu. V situaci mimo obec a přecházení vozovky zprava je příčina nehodového děje nejspíše na straně chodce. Vytvořené závislosti v této práci popisují, jakou měrou vstupují do výpočtu již zmíněné zvolené vstupní veličiny. Respektive jak tyto hodnoty mohou ovlivnit hodnocení příčiny nehodového děje.

Použitá literatura

- [1] Zákon č. 361/2000 Sb. Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu). In: . Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361>
- [2] Policejní prezidium ČR. Statistika nehodovosti. *POLICIE ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. 2020-01 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx?fbclid=IwAR3d-IDalFyXnGXaVozaujo0oo6h5kAGix1_tRnNn_07vzRZDqTxKQmwQoo
- [3] Statistiky. *Bezpecneesty.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://www.bezpecneesty.cz/cz/dopravni-vychova/dopravni-vychova-ve-skolach/chodec/statistiky>
- [4] Přecházení vozovky. *Ibesip.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://www.ibesip.cz/Tematicke-stranky/Aktivni-pohyb-v-silnicnim-provozu/Pesky/Prechazeni-vozovky>
- [5] CIEPKA, Piotr, Adam REZA a Jakub ZEĀBALA. Rychlost chodců – výsledky výzkumu v současné populaci. In: *Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2015* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2015, s. 13-18 [cit. 2020-07-01]. ISBN 978-80-214-5100-1. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/42708>
- [6] BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: CERM, 1997. ISBN 80-720-4057-X.
- [7] ŠACHL, Jindřich. *Analýza nehod v silničním provozu*. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04638-8.
- [8] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
- [9] ŠACHL (ST.), Jindřich a Jindřich ŠACHL (ML.). *Adheze pneumatik v analýze silničních nehod* [online]. 1. Praha: ČVUT v Praze, 2008 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/projects/k622x1a/lecture/Adheze%20pneumatik.pdf>

- [10] PANÁČEK, Vladimír. *Zkoušení vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012. ISBN 978-80-214-4558-1.
- [11] ČERMÍN, Stanislav. *Kriminalistika - dopravní nehody*. Praha : SPN, 1968.
- [12] CHMELÍK, Jan. *Dopravní nehody*. 1. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2009. ISBN 978-80-7380-211-0.
- [13] SEMELA, Marek. *Analýza silničních nehod I*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012. ISBN 978-80-214-4548-2.
- [14] PORADA, Viktor. *Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi*. Praha: Linde, 2000. Vysokoškolská právnická učebnice. ISBN 80-7201-212-6.
- [15] PTÁČEK, Petr. *Znalecký posudek: Určení průběhu dopravní nehody*. 2011.
- [16] MRÁZEK, Zdeněk. *Nehody s chodci [prezentace]*. Pardubice: Dopravní fakulta Jana Pernera, 5. 11. 2019. [cit. 2020-06-18]

Přílohy

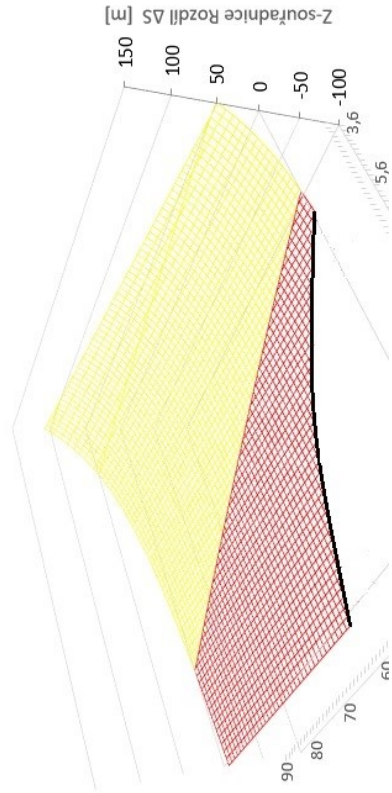
Příloha A Prostředí programu MS Excel (Rozdíl DD a DZ) [autor]

Příloha B Prostředí programu MS Excel (Kritérium minutí provozu o 2 s) [autor]

Příloha A Prostředí programu MS Excel (Rozdíl DD a DZ) [autor]

POWER	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Výchozí rovnice pro dispoziční dráhu automobilu:													
2	$S_a = (V_{stř} + A_b * (S_{ch} / V_{ch} - t_r)) * t_r + V_{stř} * (S_{ch} / V_{ch} - t_r) + 1/2 * A_b * ((S_{ch} / V_{ch} - t_r)^2)$; [m]													
3	Zadání hodnot pro výpočet:													
4	$t_r = [s]$	1	$A_b = [m/s^2]$	8	$V_{dov} = [km/h]$	50	$S_{ch} [m]$	3,5						
5	Sledované hodnoty v grafu:						$V_{stř} [km/h]$	$V_{ch} [km/h]$						
6	Rozdíl Dráhy $\Delta S = S_a - S_z$						$V_{stř} [km/h]$							
7														
8														
9														
10	$V_{ch} [km/h]$													
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														

Graf 1.: Rozdíl ΔS dispoziční dráhy automobilu a dráhy do zastavení z $V_{dov}=50$ [km/h]; při intenzivním brzdění před střetem $A_b=8$ [m/s²]



Příloha B Prostředí programu MS Excel (Kritérium minutí provozu o 2 s) [autor]

POWER	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
3		Zadání hodnot pro výpočet:															
4		t= (s)	Ab= (m/s ²)	Vdov=(km/h)	Sch= (m)	Sch= (km/h)	s ch	Vypočet pro hodnoty:	t=1s	Ab=8m/s ²	Vdov=50km/h	Sc1=3,5m	Abnb				
5		1	8	50	3,5	1,75							2				
6		Sledované hodnoty v grafu:	Vstř (km/h)	Vch (km/h)	Sch			Situace mimo přechod:	Chodec zleva.								
7		Ta-Tch															
8			Vstř (km/h)				7	Hodnota 6 v tabulce znamená nekonečno, že automobil zastavil (hodnotu 4 jsem zvolil aby graf byl									
9																	
10			Vch (km/h)														
11			3,6														
12		Informace o grafu:															
13		-chodec zleva															
14		-nenáhlé brzdění															
15		-Abnb=2,0m/s-2															
16		-VD OV=50km/h															
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	

KDYŽ(podmínka; [ano]; [ne])
KDYŽ((((DS9/3,6+SCS5*((\$F55/(\$C11/3,6)-\$B55))*3,6)>50;(KDYŽ(2*\$N55*@List4ID11:AK36>POWER((SD55/3,6);2);5);(\$B55+(\$G55/(\$C11/3,6))+@List6ID11:AK36)-(\$G58/(DS9/3,6)+SCS5*((\$F55/(\$C11/3,6)-\$B55))*3,6)>50;(KDYŽ(2*\$N55*@List4ID11:AK36>POWER((SD55/3,6);2);5);(\$B55+(\$G55/(\$C11/3,6))+@List6ID11:AK36)-(\$G58/(\$C11/3,6)))-4)

Graf 10.: Kritérium minutí provozu o 2s "Ta-Tch>2"; hodnoty výpočtu:
 Vdov=50[km/h] a různé nenáhlé brzdění Abnb=2; 2,9; 4[m/s²],
 referenční graf Abnb=2[m/s²]