



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Martin Scháno

Bezpečnost provozu na pozemních komunikacích

Diplomová práce

2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K622 Ústav soudního znalectví v dopravě

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Martin Scháno

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Bezpečnost provozu na pozemních komunikacích**

Název tématu (anglicky): Traffic Safety of the Road Infrastructure

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Dopravní nehodovost
- Pozemní komunikace a jejich bezpečnost
- Měření dopravních veličin
- Případová studie vybraného silničního úseku
- Návrh řešení situace ve vybraném silničním úseku



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího DP

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Šachl, J., Šachl, J., (ml.), Schmidt, D., Mičunek, T., Frydrýn, M.: Analýza nehod v silničním provozu, Praha, 2008

Jan Chmelík a kolektiv: Dopravní nehody, Plzeň, 2009

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Drahomír Schmidt, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **25. června 2016**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. května 2017**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.
vedoucí
Ústavu soudního znalectví v dopravě



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Martin Scháno
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 25. června 2016

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Drahomíru Schmidtovi, Ph.D., za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za jeho osobitý přístup během vypracovávání této práce. Dále bych rád poděkoval své rodině, která mi během celého studia dodávala motivaci, bez které bych se takto daleko jistě nedostal.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studie na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 30. května 2017

.....
podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní

Bezpečnost provozu na pozemních komunikacích

diplomová práce

květen 2017

Bc. Martin Scháno

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce „Bezpečnost provozu na pozemních komunikacích“ je analýza nehodového úseku na silnici I/15. S použitím dat o nehodách a radarem získaných dat o charakteristikách dopravního proudu v tomto úseku vypracovat řešení snižující riziko vzniku dopravních nehod.

Klíčová slova: Bezpečnost provozu, dopravní nehoda, analýza dat

ABSTRACT

The subject of the diploma thesis „Traffic Safety of the Road Infrastructure“ is analysis of the section of the road I/15 with higher chance of traffic accident. Using data about past traffic accidents and about current traffic flow measured by radar to introduce a solution to decrease the risk of traffic accident.

Key words: Traffic safety, traffic accident, data analysis

Obsah

Obsah	4
Seznam použitých zkratk	6
Úvod	7
1. Dopravní nehodovost	8
1.1. Dopravní nehoda.....	8
1.2. Vznik dopravních nehod.....	9
1.3. Faktory ovlivňující vznik dopravních nehod	10
1.4. Reakční doba	14
1.4.1. Měření reakční doby v reálném provozu.....	16
1.5. Pozornost.....	18
1.6. Řízení pod vlivem alkoholu.....	19
2. Pozemní komunikace a jejich bezpečnost.....	21
2.1. Poruchy vozovek.....	21
2.2. Údržba a opravy vozovek	25
2.3. Povrchové vlastnosti vozovek	26
2.4. Bezpečnostní protismykové úpravy povrchů vozovek.....	32
2.5. Záchytné systémy - svodidla	35
3. Měření dopravních veličin	39
3.1. Způsoby zjišťování parametrů dopravního proudu.....	42
3.2. Dopravní detektory	43
3.3. Zpracování dopravních dat.....	46
4. Případová studie vybraného silničního úseku.....	50
4.1. Popis vybrané lokality.....	50
4.1.1. Nehodové místo projektu INFOBESI	55
4.2. Vyhodnocení dopravních nehod	57
4.2.1. Vyhodnocení nehod ve směru staničení.....	60
4.2.1.1. Závěry z vyhodnocení nehod ve směru staničení.....	62
4.2.2. Vyhodnocení nehod proti směru staničení.....	62
4.2.2.1. Závěry z vyhodnocení nehod proti směru staničení.....	63
4.3. Aktuální měření parametrů dopravního proudu v řešené lokalitě	64
5. Návrh řešení situace ve vybraném silničním úseku	71
5.1. Zhodnocení momentální situace.....	71
5.2. Návrh řešení vybraného úseku.....	74
6. Závěr.....	81
7. Použité zdroje	83

7.1. Literatura.....	83
7.2. Internetové zdroje	83
7.3. Jiné zdroje.....	84
8. Seznam obrázků	85
9. Seznam tabulek	88
10. Seznam grafů.....	89

Seznam použitých zkratk

BPÚ	Bezpečnostní protismyková úprava
INFOBESI	Informační systém pro podporu rozhodování v oblasti bezpečnosti silničního provozu
JDVM	Jednotná dopravní vektorová mapa
SDZ	Svislé dopravní značení
TDZ	Třída dopravního zatížení
TNV	Těžké nákladní vozidlo
VDZ	Vodorovné dopravní značení

Úvod

Naše společnost je čím dál tím vyspělejší. Se stále lepší znalostí vědy a techniky se stává nyní náš život bezpečnější a pohodlnější než kdy dříve. V dnešní době se nemusíme bát, že nás napadne divoké zvíře a šance úmrtí na smrtelnou chorobu je také čím dál nižší. Lidé si zvykají na to, že svůj život dožijí až do stáří.

Nebezpečí spojená s provozem na pozemních komunikacích se stávají stále více diskutovaným tématem a jejich omezení narůstá na prioritě. Proto je naším nejlepším zájmem pochopit zákonitosti vzniku dopravních nehod, abychom mohli co nejefektivněji přecházet jejich vzniku.

Tato práce si dává za cíl jednoduchým způsobem popsat nejvýznamnější faktory vzniku dopravních nehod a nastínit komplikovanost procesu vedoucímu ke vzniku nebezpečné situace, která může potenciálně skončit dopravní nehodou.

Práce se zaměří především na popis chování člověka, jakožto nejčastějšího faktoru, zodpovědného za vznik dopravní nehody, a pozemní komunikaci, jež svým vedením, stavem povrchu, dopravním značením a dalšími prvky může značně ovlivnit riziko vzniku nehod na daném úseku komunikace

Na konec se práce zaměří na detailní analýzu vybraného nehodového úseku a za použití zmíněných informací spolu s výsledky této analýzy navrhnout řešení pro vybraný úsek, které bude mít za cíl snížení rizika vzniku dopravní nehody.

1 Dopravní nehodovost

Co je to vlastně dopravní nehoda? Co víme o faktorech, které ovlivňují bezpečnost provozu na pozemních komunikacích? Jak můžeme bezpečnostní rizika co nejefektivněji snížit? Jako u mnoha vědeckých odvětví je zkoumání zákonitostí dopravní nehodovosti tak komplikované, jak hluboko se do problematiky nahlíží. Tato kapitola se pokusí popsat jednoduchým způsobem, co vlastně považujeme za dopravní nehodu, a poté se zaměří na člověka, nejčastějšího viníka dopravních nehod.

1.1 Dopravní nehoda

Co je vlastně dopravní nehoda? Existuje mnoho definic avšak většina z nich má základní myšlenku podobnou této:

„Dopravní nehoda je nepředvídaná, ale zpravidla předvídatelná událost, která vznikla během provozu na dopravní cestě a měla za následek škodu na životě, zdraví nebo majetku či jiný, zvláště závažný následek.“ [lit. 1]

Tato definice dopravní nehody se snaží pokrýt celé spektrum dopravních nehod, nejen nehody silniční, nicméně my se budeme věnovat pouze dopravním nehodám silničním.

Tato definice obsahuje několik důležitých prvků. Zvláště zajímavá je tvrzení, že dopravní nehoda je nepředvídaná, ale zpravidla předvídatelná. Jedná se například o situaci, kdy se řidič rozhodne předjíždět na komunikaci s vysokou intenzitou v nepřehledném úseku. Řidič sice protijedoucí vozidlo zatím nevidí a tak započne předjížděcí manévr, avšak šance, že tam vozidlo bude, je tak vysoká, že se potenciální dopravní nehoda dá předvídat. Toto nepředvídaní se dá v jistých případech brát jako projev nedbalosti či lhostejnosti řidiče.

Dopravní nehody se z hlediska jejich analýzy dělí na srážky, havárie a jiné nehody (nehody, které nemohou být zařazeny do prvních dvou kategorií). Srážky jsou to, co si pod tímto pojmem představíme. Jedná se o srážky pohyblivých objektů, jako například dvou vozidel či vozidla s chodcem. Havárie je dopravní nehoda, při které nedochází ke střetu s jinými pohyblivými objekty, jedná se například o sjetí vozidla z komunikace a následné převrácení. Někdy se objevuje i třetí rozdělení na „jiné nehody“, které obsahují nehody nezapadající do

předchozích kategorií, jako například prudké zabrzdění vozidla městské hromadné dopravy při kterém se zraní cestující uvnitř vozu.

1.2 Vznik dopravních nehod

Bezpečné řízení dopravního prostředku požaduje po řidiči schopnost pozorovat velké množství okolních podnětů, které mohou nebo nemusí mít přímý vliv na pohyb daného prostředku. Od řidiče se očekává schopnost rychle a přesně identifikovat pro něho důležité podněty, zpracovat je a podle nich vyvodit správné závěry a podniknout správné kroky. Všechny tyto kroky jsou samozřejmě velice subjektivní a co je pro jednoho řidiče důležitá informace, může jiný shledat zcela za zbytečné. Každý řidič má navíc jiný styl řízení a některé styly sebou přinášejí vyšší riziko. Určité specifické reakce nebo selhání se u jednotlivých řidičů projevují opakovaně. Jedná se o náchylnosti k nehodám, agresivním řízením, nedostatku specifických dovedností apod. Existují zde však dva rozdílné důvody k takovýmto selháním. Jedním z nich je osobnost řidiče, který má například přirozenou tendenci jezdit rychleji či riskantněji. Druhý je nedokonalé osvojení řidičských dovedností, což je vázáno na především na nové řidiče. Mimo osobnost řidiče a jeho zkušenosti také proces řízení značně ovlivňuje řidičův stav. Stejný řidič by se rozhodl jinak či rychleji, kdyby nebyl například unaven, ovlivněn alkoholem apod.

Podstatnou roli v chování řidiče představuje smyslové vnímání, jež je základním procesem orientace člověka. Při řízení se podílí přibližně na 90-95% smyslových informací. Takovéto množství informací však není podstatné pouze vidět, ale i správně zpracovat. Oko nemá po celém svém zorném poli stejné rozlišovací schopnosti. Centrální vidění, ta část, ve které je docílena nejvyšší ostrost, je v průměru pouze přibližně 2-3°, zbytek tvoří periferní vidění, které má primární účel upozorovat v okolí zajímavé objekty. V této oblasti se zpracovává především změna kontrastu a výrazné pohyby. Na tyto zajímavé objekty je poté nutno přesunout centrální část vidění pro získání více informací. Oko běžně vykonává takovéto pohyby při řízení velice často a rychle pro získání maximálního množství informací o okolí vozidla. Frekvence těchto pohybů a tím potenciální množství získaných informací se zpravidla snižuje věkem či mentální zátěží, stejně jako se zvyšující se zátěží snižuje rozsah zorného pole.

Dalším důležitým zdrojem vjemů je sluch. Sluchové vnímání je rozdílné od zrakového především v tom, že je vnímáno podvědomě, bez úmyslu jej registrovat. Častým problémem u řidičů bývá podceňování váhy sluchových vjemů v procesu řízení úmyslným posloucháním hlasitého autorádia, přehrávače či dokonce používání sluchátek, což má za následek značné snížení množství informací, jež má řidič pro řízení k dispozici. Vysoká hladina hluku navíc neblaze působí na psychiku člověka a komplikuje zpracování jiných vjemů, jež mohou být v dané situaci důležitější.

1.3 Faktory ovlivňující vznik dopravních nehod

Předem je nutné zmínit, že dopravní nehody zpravidla nemají jednu jasnou příčinu. Jedná se o celou řadu jevů, jež se staly v daný okamžik, přičemž každý jeden z nich by samostatně nezpůsobil dopravní nehodu, avšak jejich působením dohromady k nehodě dojde. Pro představu můžeme použít fiktivní nehodu, kdy řidič srazí chodce jdoucího po krajnici. Nehoda se stane za šera, chodec bude oblečen v nevýrazném oblečení tmavé barvy a řidič bude během řízení telefonovat. Můžeme argumentovat, že pokud by nebyla snížena viditelnost, nehoda by se nestala. Pokud by byl chodec lépe vidět, stejně tak pokud by řidič věnoval veškerou pozornost řízení. Faktem ale zůstává, že až výsledkem působení všech těchto faktorů dohromady byla dopravní nehoda.

Dopravní nehoda bývá výsledkem spolupůsobení tří základních faktorů – člověka, vozidla a komunikace.

„Na základě dlouhodobého statistického sledování lze konstatovat, že z celkového počtu dopravních nehod zaviní např. řidič silničního motorového vozidla přes 90% všech dopravních nehod, zatímco silniční motorové vozidlo se na těchto nehodách podílí pouze 1% a závada pozemní komunikace je jako příčina dopravní nehody zaznamenávána dokonce výrazně méně než 0,5%“[lit.1]

Tomuto tvrzení odpovídají také nejčastější příčiny nehod řidičů motorových vozidel [lit.1]:

1. Řidič se plně nevěnoval řízení vozidla
2. Nedodržení bezpečné vzdálenosti za vozidlem
3. Nesprávné otáčení nebo couvání
4. Nepřízpůsobení rychlosti stavu vozovky

5. Nedání přednosti upravené dopravní značkou „Dej přednost v jízdě!“
6. Nezvládnutí řízení vozidla
7. Nepřizpůsobení rychlosti dopravně technickému stavu vozovky
8. Vyhýbání bez dostatečného bočního odstupu
9. Vjetí do protisměru
10. Nedání přednosti v jízdě při přejíždění z pruhu do pruhu

Z legislativního hlediska je důležitý koncept „přiměřené rychlosti“. Podle zákona o provozu na pozemních komunikacích musí řidič přizpůsobit rychlost jízdy zejména svým schopnostem, vlastnostem vozidla a nákladu, předpokládanému stavebnímu a dopravně technickému stavu pozemní komunikace, její kategorie a třídě, povětrnostním podmínkám a jiným okolnostem, které je možno předvídat; smí jet takovou rychlostí, aby byl schopen zastavit vozidlo na vzdálenosti, na kterou má rozhled. Zhodnotit své vlastní schopnosti je něco, co některým lidem dělá značné problémy.

Termín „zkreslení sloužící sobě“ (self-serving bias) se v psychologii používá pro popsání tendence člověka hodnotit vlastní jednání, znalosti a schopnosti jiným způsobem než hodnotí u ostatních. S největší pravděpodobností se jedná o ochranný mechanismus. Člověk chce sám sebe vyzdvihnout v očích ostatních i svých vlastních, má tendenci hodnotit vlastní jednání jako správné a být k němu méně kritický než u jednání ostatních. Vlastní úspěchy člověk přisuzuje svým schopnostem a neúspěchy omlouvá vnějšími faktory. Bohužel, i když takováto vlastnost může pomoci člověku se v životě lépe prosadit, za volantem má často tragické důsledky. Tendence neobjektivně hodnotit vlastní schopnosti a předem si neuvědomit, že může nastat situace, kterou řidič vlastními schopnostmi nebude moci odvrátit je důvodem mnoha dopravních nehod.

Dalším důležitým prvkem přiměřené rychlosti je předpokládaný stav pozemní komunikace. Pokud je možné předpokládat, že se na pozemní komunikaci objeví náledí, musí tomu řidič přizpůsobit rychlost jízdy. Bohužel například tvorba zmíněného náledí je poměrně komplikovaný proces, do něhož vstupuje řada faktorů jako například teplota povrchu vozovky a vzduchu, vlhkost vzduchu, rychlost větru apod. a předpověď vzniku náledí tak může být značně obtížná.

Otázka předpokládání vnějších vlivů je velice komplikovaná a tomu přispívá i fakt, že pravděpodobnost vzniku některých situací je tak malá, že to řidiči buď ignorují, nebo jednoduše „risknou“. Například vznik náledí při teplotách kolem nuly může být z pohledu

řidiče relativně nepravděpodobný, avšak lokální podmínky se mohou v některém místě silniční sítě sejít tak, aby k tomuto vzniku skutečně došlo. Kvůli nízké pravděpodobnosti vzniku náledí se může poměrně často stát, že řidič upřednostní rychlejší jízdu z důvodu např. spěchání do práce. Řidič si v takové situaci zhodnotí, že pozdní příjezd do práce pro něho bezpochyby bude znamenat problém, přičemž rychlejší jízda pro něho s největší pravděpodobností nebude znamenat nic a tak se často tomuto riziku úmyslně vystaví. Problematika náledí a jeho vzniku je detailněji rozebrána dále v této kapitole.

Vozidlo je příčinou dopravních nehod především zanedbáním jeho technického stavu. Ve většině případů si vlastník, uživatel či řidič vozidla nepřipouští nebo úmyslně zmírňuje riziko představované špatným technickým stavem vozidla ať už z hlediska drobných oprav a údržby jako například výměna žárovek, tak i celkovým stářím vozidla. Je sice pravda, že většina nehod způsobených technickým stavem vozidla je zapříčiněna závadou na brzdách, na řízení či poškozením pneumatik. Jen velmi malá část nehod má za příčinu stáří vozidla například únavou materiálu bez přičinění jiných faktorů.

V současné době jsou vozidla konstruována s nejen čím dál tím lepší znalostí materiálů a jejich vlastností, ale také za použití stále modernějších technologií uvnitř samotných vozidel. Jako zřejmě nejznámější systém pro zvládnutí krizových situací je ABS (Antiblockiersystem). Při prudkém brždění bez tohoto systému může dojít ke smýkání kol a tím ztratě jejich schopnosti přenést jak brzdnou sílu, tak i boční sílu, čímž se vozidlo stává neovladatelným. Tento systém zabraňuje blokování jednoho nebo více kol. Kolu na hranici blokování je na krátký okamžik snížena brzdná síla a tím zamezeno jeho zablokování. Tento proces se při prudkém brždění opakuje několikrát za sekundu. Zamezením zablokování kol ABS nejen snižuje brzdnou dráhu vozidla, ale především zabraňuje ztratě kontroly nad ním a tím dává řidiči více možností ovlivnění krizové situace. Mimo ABS se v dnešní době stává standardem jeho doplnění o další systémy jako např. systém regulace brzdného momentu, brzdový asistent či automatický protiskluzový systém. Popis všech takových systémů je však mimo rámec této práce.

Zmínění si však zaslouží systém AIRBAG – systém nafukovacích bezpečnostních vaků, jež elektronicky vyhodnocuje rychlost vozidla spolu s jeho reakcí na náhlé působení jiné hmoty na vozidlo. Systém při zjištění nárazu přitáhne bezpečnostní pásy a následně aktivuje nafukovací vaky. Tímto je dosaženo několika efektů. Především je zamezeno kolizi posádky s pevnými částmi vozidla a zároveň je zvýšena délka dráhy, na které se člen posádky zastaví, což snižuje zpomalení na něho působící.

Posledním zmíněným faktorem je pozemní komunikace. Pro účely této práce rozšíříme tento faktor i o vlivy prostředí, v němž se vozidlo pohybuje. Do tohoto faktoru můžeme zařadit vlivy

od poruch vozovky, jako například trhliny, deformace či ztrátu protismykových vlastností, přes špatnou zimní údržbu, špatně viditelné dopravní značení, meteorologické jevy, až po lesní či domácí zvířectvo.

Co se týče meteorologických jevů, se zaměříme především na jevy ovlivňující přilnavost a na jevy ovlivňující viditelnost. Snížená přilnavost znamená, že pneumatika má sníženou schopnost přenášet síly mezi vozidlem a komunikací, tedy snižující schopnost akcelarovat, brzdit či měnit směr jízdy vozidla. Při snížené přilnavosti vlivem například mokré vozovky se snižuje síla potřebná ke smýknutí kol a vozidlo se tak může stát neovladatelným při manévrech, které by na suché vozovce byly bezpečné.

Negativní vliv na přilnavost má například ledovka – „souvislá, zpravidla homogenní průhledná ledová usazenina s hladkým povrchem, která se tvoří zmrznutím přechlazených kapiček mrholení nebo dešťových kapek na předmětech, jejichž teplota je mírně pod 0°C.“ [lit.2] Ledovka se tvoří jak na vodorovných, tak i svislých plochách, čímž mimo nebezpečnost ledovky na povrchu vozovky vzniká také nebezpečí přetížení větví či celých stromů přítomností značné váhy vytvořené ledovky a tím riziko jejich pádu na vozovku či dopravní prostředek. Náledí vzniká nepřechlazenými dešťovými kapkami nebo kapkami mrholení, jež zmrznou na zemi, či zmrznutím vody nebo roztátého sněhu na zemi. Přitom je nutno, aby byla teplota povrchu nižší než 0°C. Námraza vzniká mrznutím vodních kapek mlhy nebo oblaku při kontaktu s povrchem. Podle rychlosti a teploty vznikají různé druhy námrazy s různými vlastnostmi.

Při teplotách již kolem nuly se při vhodných podmínkách začíná tvořit náledí. Vodní kapky při dopadu na povrch rychle ztrácejí skupenské teplo a téměř okamžitě mrznou. Tímto způsobem se může náledí již za 10 minut vytvořit v kritickém množství, kdy už je nebezpečné po něm vozidlem přejet. V případě ledovky dopadají přechlazené kapičky na povrch, který je mírně pod bodem mrazu. Je možné, že se vytvoří náledí pouhou kondenzací vodních par na vozovku, tento proces je však oproti zmíněným velice pomalý.

„Pro vznik onoho záludného mokrého náledí musí být tedy splněny tyto podmínky: konstrukce vozovky prochlazená pod teplotu mrznutí a k tomu buď mrholení (při relativní vlhkosti 100%) nebo vysoká relativní vlhkost vzduchu při teplotě klesající pod tzv. rosný bod, kdy přebytečná vlhkost kondenzuje na předmětech, jejichž teplota je nižší než rosný bod. Jde tedy o přesně definovatelný labilní stav, který při daném váhovém množství vody ve vzduchu vytváří podmínky ke kondenzaci. S ubývající výškou přibývá atmosférický (barometrický) tlak o ca +1,2 hPa na každých -10 m výšky. Ke kondenzaci může tedy docházet při proudění vlhkého vzduchu podél svahu terénu. Proto také při výškových rozdílech terénu bývá náledí omezeno jen na poměrně nízký pás výšek – například jen cca

20 m (jako sedmipatrový dům).“ [lit.2] Tento fakt sám o sobě přidává na nebezpečnosti tím, že řidič může jet velice dlouho po jedné komunikaci při venkovní teplotě okolo bodu mrazu a zcela správně určit, že na komunikaci skutečně není náledí. Tím si dodá pocit, že jede bezpečně i při vyšší rychlosti, ve které se dostane na ono jedno místo, kde se náledí vytvořilo. Zpozorovat takovéto místo s náledím na komunikaci před sebou je především za zhoršené viditelnosti prakticky nemožné.

Schopnost vidět či rozeznat předměty v okolí může být značně omezena řadou faktorů jako například denní doba, poloha slunce, oblačnost. Na druhé straně je samozřejmě schopnost pozorovatele rozeznat v daných podmínkách daný předmět. Ta je samozřejmě značně individuální pro každého řidiče. K tomuto se váže pojem dohlednost – „vzdálenost, v níž je kontrast daného objektu a jeho pozadí právě roven prahu kontrastové citlivosti oka pozorovatele.“ [lit.2] Zde je vhodné připomenout, že kontrast je rozdíl jasů (množství světla dopadajícího na plochu) různých ploch. Dalším důležitým pojmem je viditelnost – „pojem související s definicí meteorologické dohlednosti. Charakterizuje rozpoznatelnost objektu u horizontu bez umělého osvětlení, popř. rozlišení ojedinělého umělého světla ve dne nebo v noci v blízkosti horizontu. Přitom se uplatňují jak vlivy spojené se stavem atmosféry, tak psychofyzilogické faktory působící na pozorovatele.“ [lit.2]

Viditelnost je ovlivněna například mlhou. „Mlha je atmosférický aerosol, sestávající z velmi malých vodních kapek popř. drobných ledových krystalků rozptýlených ve vzduchu, který zmenšuje vodorovnou viditelnost při zemi třeba jen v jedno směru pod 1 km.“ [lit.2] Samozřejmě viditelnost je problematika daleko obsáhlejší. Schopnost zpozorovat potenciální riziko je klíčová v procesu reakce řidiče. V dopravě se setkáváme se snahou o zviditelnění či zvýšení kontrastu pomocí rozsvícených světel dopravních prostředků i během dne, osvětlením přechodů pro chodce, zvýrazněním dopravního značení retroreflexními a fluorescenčními prvky, použitím reflexních prvků u chodců a mnoha dalšími. Viditelnost chodců může být během noci zvýšena více než desetinásobně použitím reflexních materiálů, což dává řidiči mnohem více času na reakci.

1.4 Reakční doba

Reakční doba je čas od vjemu do uvedení zařízení v činnost naučeným způsobem. Důležitým prvkem zde je naučený způsob uvedení zařízení v činnost, jelikož čas na uvedení v činnost nenaučeným způsobem je zásadně delší. Reakční dobou souhrnně označujeme

dobu reakce jak řidiče, tak i vozidla. U řidiče se jedná součet časů optické reakce, psychické reakce a svalové reakce. Tedy zpozorování nebezpečí, zaostření pohledu, zhodnocení nebezpečí a reakce na něho, což může být sešlápnutí brzdového pedálu či vyhnutí se překážce. Odezva vozidla je prodleva brzd a jejich náběh, tedy čas potřebný od sešlápnutí brzdového pedálu přes kontakt třecích ploch brzd až po zanechávání stop pneumatik na vozovce. Reakční doba je samozřejmě specifická pro každého řidiče, pro většinu řidičů se však pohybuje mezi 0,5 a 0,7 sekundy pokud člověk sleduje danou překážku či její okolí. V případě, že se řidič dívá významně jiným směrem, stoupá tato hodnota na průměrně 1,0 sekundy. Během života člověka se samozřejmě reakční doba může měnit a to jak prodlužovat například stárnutím očí a pomalejším zaostřením, tak i zkracovat zejména získáváním řidičských zkušeností a schopností předpokládat případná rizika, což zrychluje psychickou reakci, tedy zhodnocení rizika a vybrání adekvátní reakce. Dalším faktorem je charakter pohybu, jakým se nebezpečný objekt přibližuje a zda je na první pohled jasné, že se jedná o objekt nebezpečný.

„Podle toho, kde se tento nebezpečný objekt ve výhledu řidiče nachází a jak se tento pohybuje vzhledem ke zdánlivému budoucímu místu střetu, probíhá proces rozpoznání a proces reakce „s“ a nebo „bez“ doby vyhledání objektu.“ [lit.3]

Nebezpečný objekt, který se objeví v oblasti ostrého vidění, nevyžadující žádnou výraznější korekci směru pohledu, nebude znamenat nárůst reakční doby, jelikož ihned po jeho objevení se na něho pohled fixuje a začíná probíhat reakční doba.

„Prvním úsekem reakční doby je doba pro postřehnutí (resp. vnímání) objektu. Vnímání rozdílů jasů na sítnici oka může nastat jen tehdy, když jsou současně splněny 3 předpoklady a to: viditelnost, nadprahový rozdíl jasů a nápadnost objektu (objekt je na optickém pozadí něčím zajímavý). Minimální doba pro postřehnutí objektu lidským zrakem činí 1/18 vteřiny, tedy cca 50 ms (nejkratší doba pro zpracování optické události).

Na dobu pro postřehnutí navazuje doba potřebná k rozpoznání (včetně doby pro rozhodnutí). Během této fáze jsou opticky vnímané informace porovnány a ztotožňovány s obrazy objektů uloženými v lidské paměti. Z toho vyplývá, že doba rozpoznání se může znatelně lišit mezi případy identifikace častěji se vyskytujících objektů a zřídka se vyskytujících objektů. Také při sdružování vjemů se může znatelně lišit doba rozpoznání vzhledem k jednoduchým (dopravním) situacím.“ [lit.3]

Po době pro rozpoznání začíná doba pro svalovou reakci. Pokud se jedná o nouzové brzdění, jde o čas nutný pro přemístění nohy z plynového pedálu na pedál brzdový (doba přemístění). Po době přemístění následuje doba odezvy, která zahrnuje neúčinnou část

dráhy brzdového pedálu do okamžiku, kdy skutečně nastává nárůst tlaku v brzdovém systému.

Počátek nárůstu tlaku v brzdovém systému zajišťuje začátek zpomalení vozidla. To uvádí fázi náběhu brzd, která pokrývá dobu od začátku zpomalení v podélném směru do dosažení maximálního dosažitelného zpomalení. „V automobilovém průmyslu je často považován za konec fáze náběhu brzd stav, kdy naměřený vzestup brzdného tlaku dosahuje právě 90% jeho maximální hodnoty. V oboru analýzy dopravních nehod nás však spíše zajímá podélné zpomalení vozidla a nikoli tlak v brzdě soustavě.

Vzhledem k tomu, že dosud nejsou dostatečně prozkoumány zákonitosti vzniku počátku brzdných stop, bylo prosazeno a zachováno, aby stanovení okamžiku počátku vzniku brzdných stop bylo kladeno do poloviny intervalu náběhu brzd. Tento způsob se uplatňuje při zpětném propočtu rychlosti vozidla. K počátku zanechávání brzdných stop však většinou dochází, až když vozidlo dosáhne maximálního zpomalení.

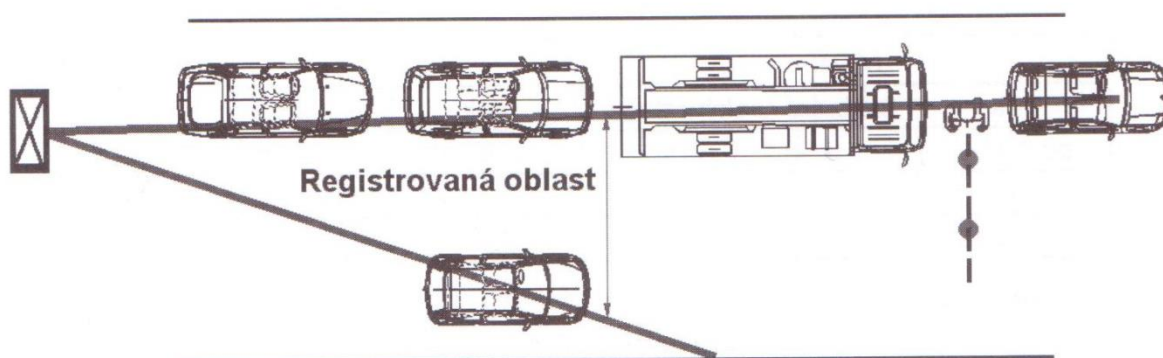
Množina jednotlivých časových intervalů až do okamžiku poloviny fáze náběhu brzd je označována jako celková doba prodlev. Během této doby prodlev je uvažováno, že vozidlo není v podélném směru zpomalováno, tzn. že valivý a aerodynamický odpor jsou zanedbány, stejně jako případné zrychlení vozidla během doby reakce.“ [lit.3]

Aby reakční doba mohla začít, musí být dán podnět. Pro analýzu dopravních nehod je důležité určit přesně počátek reakční doby, to však může být v jistých situacích těžší, než se zdá. Podnětem pro začátek kritického brzdění bývá obvykle objekt, jehož pozice nebo směr pohybu hrozí kolizí s vozidlem. Kdy však pohyb začíná hrozit kolizí, může být sporné, a určení okamžiku, kdy se situace stává kritickou, bývá značně individuální. Pokud letí míč do vozovky před vozidlem, dá se předpokládat, že za ním může následovat dítě. V takovém případě je situace jasná, ale pokud například jede cyklista při pravém okraji vozovky a pomalu začíná najíždět směrem doprostřed jízdního pruhu. Někdo může takové chování připisovat nezkušenosti cyklisty, který směr jízdy jistě brzy znovu vyrovná. V jaké chvíli se situace stává kritickou, je otázkou. Pointou je, že ne každý podnět má stejnou váhu a ne každý podnět se při prvním pohledu jeví jako kritický.

1.4.1 Měření reakční doby v reálném provozu

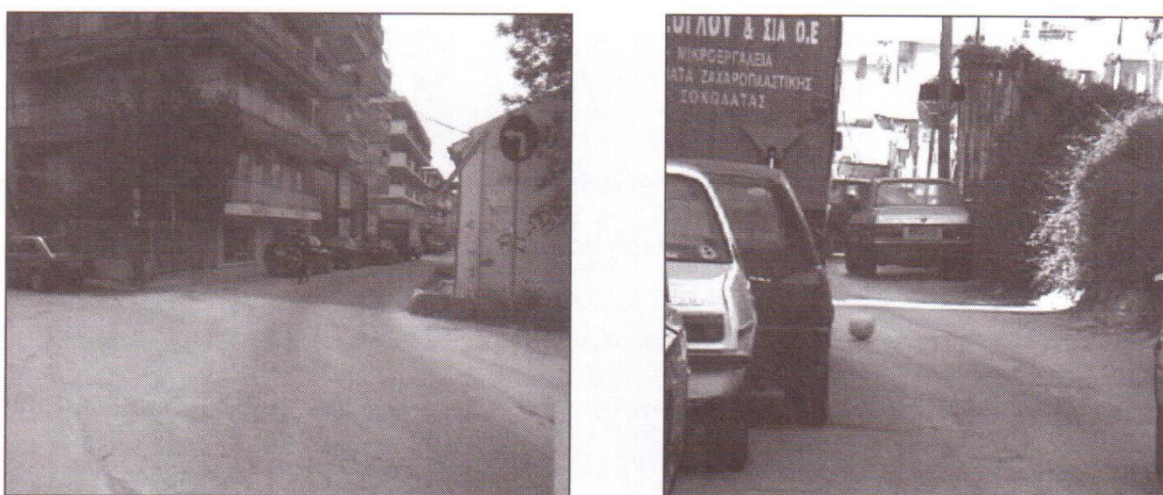
Sborník „Vnímání a rozhodování účastníků silničního provozu – denní doba“ obsahuje překlad experimentu k zjištění reakční doby v běžném provozu. Tento experiment probíhal

ve velkém řeckém městě. Za využití digitální videokamery byly nahrávány reakce projíždějících řidičů na neočekávaný podnět. Tímto podnětem byl fotbalový míč odvalující se mezi zaparkovanými vozidly kolmo na dráhu vozidla. „Za počátek měření reakce byl považován okamžik, kdy míč byl již viditelný na dráze 0,5 m.“ [lit.3] Konec měření reakční doby bylo rozsvícení brzdových světel (časová prodleva spínače brzdových světel byla zanedbána). „Měření byla provedena s 1241 osobami, které se svým vlastním osobním vozidlem náhodně projížděly místem, ve kterém bylo prováděno dané měření. Řidiči, kteří byli podrobena měření byli následně zastaveni a byli dotazováni na osobní údaje. Podíl žen v tomto vzorku řidičů přitom činil 15%.“ [lit.3] Experiment je ilustrován obrázky 1 a 2 a výsledky shrnuje tabulka 1.



Obrázek 1: Geometrické uspořádání pokusu

Zdroj: lit.3



Obrázek 2: Pohled do ulice, kde byla prováděna měření, bližší pohled na fotbalový míč, který byl podnětem k reakci

Zdroj: lit.3

Tabulka 1: Shrnutí výsledků ohledně základní reakční doby osob u pokusů prováděných v běžném provozu

Zdroj: lit.3

Muži		Ženy	
Věk	Základní reakční doba	Věk	Základní reakční doba
do 40 let	0,50 s – 0,60 s	do 40 let	cca. 0,7 s
40 – 60 let	cca. 0,6 – 0,7 s	40 – 60 let	cca 0,7 s – 0,8 s
přes 60 let	cca. 0,75 s – 0,85 s	přes 60 let	0,85 s – 0,90 s

1.5 Pozornost

Pozornost je psychická schopnost zaměřenosti a soustředěnosti vědomí. Pozornost se dělí na neúmyslnou, úmyslnou a poloúmyslnou a dále na vnější a vnitřní. Z prvního dělení je pro řízení důležitá pozornost úmyslná. Jedná se o úmyslné zaměření pozornosti na vybrané podněty. Toho se týká kapacita neboli rozsah pozornosti, jež určuje množství podnětů, které je člověk schopen najednou vnímat. Druhé dělení je na vnitřní a vnější. Vnější pozornost je pozornost, kterou člověk věnuje svému okolí, tedy vnějším podnětům. Pro řízení vozidla je to nutná vlastnost, jelikož řidič musí vyhodnocovat během jízdy řadu potenciálních rizik a to zvláště v intenzivním městském provozu, kde je vnější pozornost zatěžována nejvíce. Opak je například na dálnicích či monotónních úsecích silnic a zvláště v nízkém provozu, kde je vnější pozornost zatěžována nejméně. V takových případech může dojít k výpadku pozornosti, což značně navyšuje reakční dobu řidiče.

Další faktor ovlivňující úbytek vnější pozornosti je únava, které existuje několik typů. Jedním z nich je únava fyzická. Ta se dostavuje řidiči po dlouhém sezení za volantem, jež unavuje především svaly držící hlavu a trup ve vzpřímené poloze, mohou se objevovat bolesti zad, pocit strnulosti a únava nervových reflexů, což dohromady vede k celkovému zhoršení pohybových funkcí. Dalším typem únavy je duševní, která se projevuje především obtížnou koncentrací řidiče na více dějů okolo něho, sníženou schopností předvídání a přehnanými reakcemi na slabé podněty. Únavou však mohou trpět i naše smyslové orgány. Nejdůležitější je v případě řízení vidění. Jak bylo řečeno, oči jsou zdrojem naprosté většiny informací, které řidič k řízení využívá, a při dlouhém namáhání tohoto smyslu může dojít ke snížení zrakové ostrosti, poruchám hloubkového vidění a sníženou schopností rozlišovat objekty za horší viditelnosti, jako například při mlze, dešti či sněžení.

1.6 Řízení pod vlivem alkoholu

Podle zákona řidič nesmí požit alkoholický nápoj během jízdy, nesmí však také řídit dopravní prostředek nebo jet na zvířeti po požití alkoholického nápoje nebo v době, kdy by mohl být pod vlivem takového nápoje.

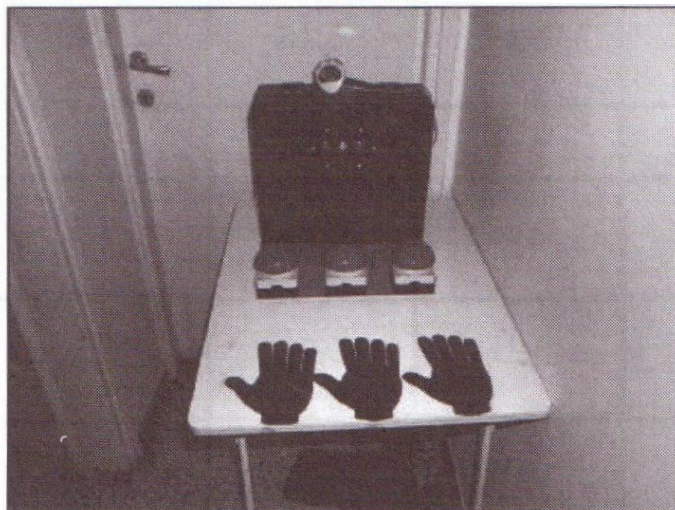
Alkohol je za volantem zvláště nebezpečný. Projevuje se zpočátku zpomalením převodu impulzů nervovými vlákny, dále pocitem euforie, která je vyvolána tlumivým efektem alkoholu především na rozumové a kontrolní funkce mozku. Dochází ke snížení pozornosti, zvláště schopnosti obrátit pozornost k novým či nečekaným situacím, snižuje se koncentrace. Mimo to dochází k poruchám sensorických a motorických funkcí, nejvýrazněji k poruchám zraku, kdy je snížena schopnost adaptace na světlo a tmu, značně se prodlužuje doba nutná pro příjem zrakových vjemů. Dochází k poruchám jemnější a složitější motorické činnosti, při vyšší konzumaci může být zasažena i hrubá motorická sféra, dále dochází k poruchám rovnováhy. Celkově konzumace alkoholu snižuje rychlost vykonávání potřebných úkonů a především jejich přesnost. Alkohol zhoršuje rozumové funkce, především přesnost, ale i rychlost. Osoby ovlivněné alkoholem mají tendenci k volbě riskantnějších řešení. Objevuje se zvýšená odolnost proti bolesti, stejně jako psychické zátěži. Kombinace těchto faktorů je na silnicích extrémně nebezpečná.

Sborník „Vnímání a rozhodování účastníků silničního provozu – denní doba“ obsahuje překlad experimentu k zjištění závislosti reakční doby na hladině ovlivnění požitím alkoholických nápojů. Jedná se o laboratorní pokus a proto je aplikování uvedených výsledků do reálného provozu značně problematické, ale postačí pro ilustraci řešené problematiky.

„Jedna ze tří různobarevných světelných diod byla vedoucím zkoušek zapnuta, a současně s tím došlo k zapnutí digitálních hodin.“ „Testovaná osoba musela stisknout příslušné tlačítko. V okamžiku tohoto stisku došlo k zastavení hodin a odečtení reakční doby. Primárně byla provedena řada „předpokusů“, aby bylo možno stanovit v jaké výchozí pozici na stole (v určité vzdálenosti vedle tlačítka) se má vlastně ruka nacházet. Tato výchozí pozice ruky byla optimalizována na základě zjištěné reakční doby v běžném silničním provozu. Díky této metodě měření byla zjištěna základní reakční doba, která zahrnuje i svalovou reakci, tak jak tomu bylo při měření provedených v silničním provozu.

U těchto zkoušek a jejich výsledků je alespoň přibližně rozlišováno foveální a periferní vidění určité události (scény), přičemž podněty pro reakci jsou umístěny vpravo. Tabulky 2-2 a 2-3

uvádějí souhrn výsledků shromážděných při tomto výzkumu.“ Zmíněné tabulky jsou tabulka 2 a tabulka 3. Zkušební aparatura je na obrátku 3.



Obrázek 3: Zkušební aparatura pro zjištění závislosti reakční doby na hladině ovlivnění požitím alkoholických nápojů

Zdroj: lit.3

Tabulka 2: Základní reakční doba v závislosti na míře ovlivnění požitím alkoholických nápojů při přibližně foveálním (ostrém) vidění

Zdroj: lit.3

Muži		Ženy	
Hladina alkoholu (‰)	Základní doba reakce (s)	Hladina alkoholu (‰)	Základní doba reakce (s)
0,2 – 0,5	zvýšení min. o 10 %	0,2 – 0,5	zvýšení min. o 17 %
od 0,5 – 0,8	zvýšení až do 37 %	od 0,5 – 0,8	zvýšení až do 41 %
od 0,8 – 1,2	zvýšení až do 47 %	od 0,8 – 1,1	zvýšení až do 60 %
od 1,2 – 1,8	zvýšení až do 105 %	od 1,1 – 1,4	zvýšení až do 98 %

Tabulka 3: Základní reakční doba v závislosti na míře ovlivnění požitím alkoholických nápojů při periferním vidění

Zdroj: lit.3

Muži		Ženy	
Hladina alkoholu (‰)	Základní doba reakce (s)	Hladina alkoholu (‰)	Základní doba reakce (s)
0,2 – 0,5	zvýšení min. o 10 %	0,2 – 0,5	zvýšení min. o 17 %
od 0,5 – 0,8	zvýšení až do 37 %	od 0,5 – 0,8	zvýšení až do 41 %
od 0,8 – 1,2	zvýšení až do 47 %	od 0,8 – 1,1	zvýšení až do 60 %
od 1,2 – 1,8	zvýšení až do 105 %	od 1,1 – 1,4	zvýšení až do 98 %

2 Pozemní komunikace a jejich bezpečnost

Pozemní komunikace má svým charakterem potenciál značně zvýšit riziko vzniku dopravních nehod. Od pevné překážky v dráze vozidla, přes špatné rozhledy kvůli okolní vegetaci, výtluky či jiné poruchy povrchu, až po specifické parametry jako součinitel tření mezi povrchem vozovky a pneumatikou vozidla. Chytrým návrhem výškového a směrového vedení, vhodným návrhem konstrukčních vrstev, vhodnou volbou a odpovídající údržbou povrchu i okolí komunikace se dá znatelně snížit riziko vzniku dopravních nehod. Stejně tak znalostí těchto prvků je možné označit různé oblasti komunikace za více či méně rizikové.

2.1 Poruchy vozovek

Vozovky jsou během své životnosti namáhány a je zákonité, že se na nich dříve nebo později začnou vyskytovat poruchy. Poruchy vozovek jsou velice obsáhlé téma, jelikož existuje značné množství různých příčin a důsledků poruch. Některé jsou nevyhnutelné v jisté fázi života komunikace, některé jsou spojeny se špatným postupem při výstavbě či údržbě. Některé poruchy se vyskytují pouze na povrchu vozovky, některé postupují hlouběji, nebo naopak postupují odspodu k povrchu. Někdy se jedná o izolované poruchy, jindy o plošný problém. Kvůli komplexnosti problému se tato práce zaměří především na poruchy asfaltových (netuhých) vozovek. Jedná se mimo jiné o ztrátu protismykových vlastností, ztrátu hmoty, trhliny a deformace.

Ztráta protismykových vlastností vzniká ztrátou mikrotextury a ztrátou makrotextury. Ztráta mikrotextury znamená, že zrna kameniva, která se dostávají do kontaktu s pneumatikami, jsou příliš hladká. Tato porucha je důsledkem použití nekvalitního, snadno ohladitelného kameniva v obrusné vrstvě vozovky, nebo vystoupením asfaltového pojiva nebo tmelu, které překryje zrna kameniva. Zpozorovat se dá lesklým, hladkým povrchem vozovky a má za následek výrazný pokles protismykových vlastností vozovky, zvláště za mokra. Ztráta makrotextury se objevuje především z důvodu přebytku asfaltového pojiva u nátěrů nebo přebytku asfaltového tmelu u asfaltových směsí. Výsledkem toho je povrch vozovky, který je příliš uzavřený, hladký a kluzký. Často je to způsobeno nevhodnou skladbou směsi, nadměrným použitím asfaltu nebo použitím asfaltu s vysokou penetrací. Ztráta makrotextury většinou znamená i ztrátu mikrotextury.

Ztráta hmoty je kategorie poruch, do které se zařazuje problematika ztráty kameniva z nátěru, výtluky, rozpad konstrukčních vrstev, ztráta asfaltového tmelu a řada dalších. Takzvané kaverny v povrchu vozovky jsou malé jamky, které na povrchu zůstávají po chybějícím kamenivu. Ztráta tohoto kameniva je důsledkem dopravního zatížení, vlhkosti a mrazu v kombinaci s výskytem nekvalitních zrn v kamenivu. Tato nekvalitní zrna se vyznačují vysokou otlukovostí či nízkou odolností proti zmrazování a rozmrazování. Pokud je množství těchto nekvalitních zrn vysoké, dochází k postupnému rozpadu celé vrstvy a vzniku hloubkové koroze. „Hloubková koroze je pokračováním poruchy ztráty asfaltového tmelu, kdy již dochází postupně k uvolňování zrn asfaltové směsi do stále větší hloubky. U penetračního makadamu je porucha pokračováním ztráty kameniva z nátěru, kdy se nakonec objevuje hrubá kamenná kostra a začne docházet ke ztrátě výplňového kameniva. Příčina poruchy je tedy stejná jako při ztrátě asfaltového tmelu.“ [lit.] Pokud hloubková koroze není zastavena včas, dochází ke ztrátě hmoty v takové míře, že se začnou vytvářet výtluky. Jejich tvorba je zrychlena klimatickými podmínkami, především průnikem vody do vnitřních vrstev a její zamrznání a rozmrazování, čímž se mění objem vodou zasažených vrstev a dochází k jejich porušení a oddělení. V případě, že výtluky nejsou opraveny, dochází k postupnému zvětšení jejich plochy do takové míry, kdy se spojují a dochází k postupnému rozpadu celých vrstev a jejich postupnému zániku. Výtluky a rozpad konstrukčních vrstev lze vidět na obrázku 4.



Obrázek 4: Výtluky (vlevo), Rozpad konstrukčních vrstev (vpravo)

Zdroj: lit.4

Trhliny jsou poruchy vozovky, které rozdělují vozovku na více částí, což zabraňuje optimálnímu roznášení zatížení do podloží, to zvyšuje namáhání v určitých částech podloží, což celkově snižuje jeho únosnost. Mimo to trhliny umožňují průnik vody do vnitřních vrstev.

Trhliny se dělí na mozaikové, síťové, příčné a podélné. Mozaikové trhliny zasahují pouze obrusnou vrstvu komunikace, jedná se o zprvu úzké, nepravidelně dlouhé trhliny, které se postupně spojují a rozrůstají. Jsou zapříčiněny předčasným zestárnutím pojiva spolu s vysokou mezerovitostí obrusné vrstvy, nebo jejím nedokonalým spojením. Umožnění přístupu vody pod obrusnou vrstvu a jejím rozdělením vznikají rychle výtluky a dochází k jejímu celkovému rozpadu. Síťové trhliny jsou přirozeným prvkem procesu životnosti komunikace, jsou důsledkem únavy konstrukce vozovky opakovaným namáháním dopravním zatížením. Vznik může být od spodních vrstev nahoru, stejně jako od povrchu směrem dolů. V prvním stádiu se objevují tenké trhlinky, které se však rychle rozrůstají do spletité sítě. Opět dochází k fyzickému oddělení jednotlivých „ostrůvků“ sítí trhlín a tím narušení optimálního rozložení zatížení. Jak bylo řečeno, síťové trhliny se objevují přirozeně na konci životnosti vozovky. Pokud se objeví dříve, jedná se zpravidla o poddimenzovanou konstrukci vozovky. Příčné a podélné trhliny jsou většinou zprvu nerozvětvené, dlouhé trhliny, zasahující hlouběji do vozovky. Trhlina příčná může zasahovat do poloviny nebo do šířky celé komunikace. Vzniká ze dvou příčin: mrazová a reflexní. „Mrazová (nízkoteplotní) trhlina vzniká z důvodu ztráty viskoelastických vlastností asfaltové směsi obsahující příliš tvrdý asfalt (o nízké penetraci) při velmi nízkých teplotách obvykle v zimním období. Příčinou je použití nevhodného asfaltu, nebo se jedná o asfalt, který ve vozovce vlivem působení vody a vzdušného kyslíku významně zestárнул. Vývoj mrazové trhliny jde od povrchu obrusné vrstvy směrem do hloubky.“ [lit.4] Reflexní trhlina působí na pohled jako trhlina mrazová, jedná se však o trhlínu vzniklou prokopírováním smršťovacích trhlín nebo spár z podkladních vrstev stmelěných hydraulickými pojivy do krytu vozovky. Za reflexní trhlínu považujeme také trhlínu vzniklou v opravené vozovky položením nové asfaltové vrstvy nad příčnou či podélnou trhlínou, která se rychle přenesla i do nově položené vrstvy. Podélná trhlina je ve směru komunikace až stovky metrů dlouhá trhlina vznikající řadou různých vlivů, jako např. zmíněnou reflexní trhlínou překrytou novou vrstvou, nevhodně provedenou studenou podélnou pracovní spárou s následnou ztrátou hmoty a rozpadem, mrazovou trhlínou spojenou s tahovými napětími vznikajícími podél jízdny těžkých nákladních vozidel, nerovnoměrnými mrazovými zdvihy způsobenými různou vlhkostí podloží nebo nerovnoměrným promrznutím, poklesem okrajů vozovky, nerovnoměrným sedáním nebo deformací zemního tělesa či únavou konstrukce vozovky. Mozaikové a síťové trhliny lze vidět na obrázku 5.



Obrázek 5: Mozaikové trhliny (vlevo) a síťové trhliny (vpravo)

Zdroj: lit.4

Deformací je myšlena nevratná změna tvaru vozovky zejména vlivem působení podkladních vrstev či nadměrným dopravním zatížením vůči dané konstrukci vozovky. Mezi deformace patří olamování okrajů vozovky, puchýře v litém asfaltu, nepravidelné hrboly, plošná deformace vozovky, místní hrboly a poklesy a vyjeté koleje. Olamování okrajů vozovky je způsobeno jejich vyšším namáháním, které bývají navíc vystaveny dešťové vodě, jež stéká z vozovky na její okraj a částečně může pronikat do vnitřních vrstev. Na zvláště úzkých komunikacích kde jízdní stopy nákladních vozidel zasahují k jejich okraji nebo v okolí vpustí či poklopů je tento jev velice častý. Puchýře v litém asfaltu se objevují z důvodu nahromadění vodních par v obrusné vrstvě, které při vysokých letních teplotách zvyšují svůj objem a v případě, že nemají jak uniknout, zvedají vrstvu nad sebou, čímž vytvářejí vyvýšeninu tvaru puchýře. Nepravidelné hrboly jsou nerovnosti na povrchu vozovky vznikající převážně opakovaným prováděním vysrávek různými druhy asfaltových směsí na komunikacích za hranicí jejich životnosti, přičemž opravené poruchy se objevují stále znovu a častěji. Plošná deformace vozovky je charakteristická nepravidelným střídáním zvýšených a snížených ploch. Důvodů může být celá řada, například poddimenzování vozovky, nehomogenita vrstev a podloží, nedostatečné nebo nerovnoměrné zhutnění či zvýšená vlhkost podkladní vrstvy a podloží. Největší deformace se objevují v místech nejvyššího zatěžování, často jsou doprovázeny jinými poruchami. Obrázek 6 ukazuje olamování okrajů vozovky a plastické přetváření asfaltového krytu.



Obrázek 6: Olamování okrajů vozovky (vlevo) a plastické přetváření nekvalitního asfaltového krytu (vpravo)

Zdroj: lit.4

Beze sporu nejčtenější deformací vozovky jsou vyjeté koleje. Vyjetí kolejí v asfaltových vozovkách úplně zabránit nelze, ale v případě správně navržené, vyrobené a položené asfaltové směsi se dá jejich hloubka omezit. Nejvíce se koleje vyjíždějí v místech s vyšší dopravní zátěží nebo v místech pomalé jízdy či zastavování dopravy, jako například křižovatky nebo autobusové zastávky, kde se přenášejí brzdné síly.

2.2 Údržba a opravy vozovek

Údržba komunikace je důležitá činnost, jelikož i dobře navržená komunikace ve špatném stavu představuje zvýšení rizika vzniku dopravních nehod. Do údržby komunikace jsou zahrnuty i krajnice, příkopy, propustky, směrové sloupky, svodidla, dopravní značení, světelná signalizace, silniční vegetace apod.

„Každá silniční komunikace je vhodným způsobem průběžně monitorována za účelem sběru aktuálních informací o jejím celkovém stavu. Získané informace pak slouží k plánování, navrhování a provádění její údržby a oprav. Pokud tento proces probíhá systematicky s cílem dosáhnout technicky a ekonomicky optimálního řešení, nazývá se systém hospodaření s vozovkou (SHV), v zahraničí známý jako Pavement Management System (PMS). Systém hospodaření s vozovkou zajišťuje příslušný správce komunikace ve dvou odlišných úrovních.“ [lit.4]

Ty dvě zmíněné úrovně jsou síťová a projektová. Síťová úroveň slouží pro dlouhodobé a průběžné sledování sítě, na kterou se dívá jako na celek. Projektová úroveň řeší návrhy údržby či oprav úseků vybraných v síťové úrovni.

Poruchy vozovek se odstraňují třemi různými procesy – údržba, oprava a rekonstrukce. Údržba odstraňuje poruchy povrchu vozovky nejčastěji nátěry, emulzní kalovými zákryty, mikrokoberci prováděnými za studena či tenkými asfaltovými vrstvami pro zlepšení protismykových vlastností. Oprava odstraňuje poruchy v jedné či více konstrukčních vrstvách. Jedná se o odstranění a nahrazení celých vrstev. Pokud se jedná o nahrazování konstrukčních vrstev ve větším rozsahu, vrstev podkladních nebo i podloží, jedná se o rekonstrukci.

V síťové úrovni jde především o disponování údaji o komunikační síti, jako např. délka, šířka, směrové vedení komunikací apod., získávání údajů o dopravním zatížení, dopravních nehodách, protismykových vlastnostech, nerovnostech a dalších poruchách, vyhodnocování všech zmíněných údajů a stanovení časového plánu údržby nebo oprav úseků nesplňujících provozní způsobilost.

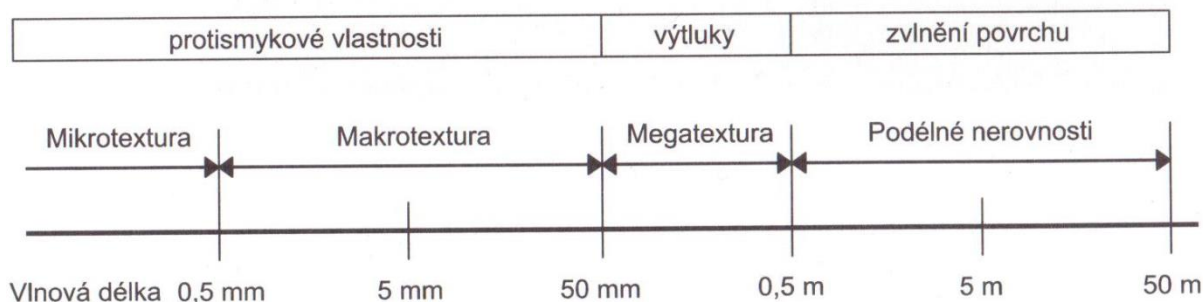
Pro získávání informací o stavu dané komunikace se používá tzv. diagnostický průzkum, ten zkoumá stav a vlastnosti komunikace a navrhuje potřebné opravy a jejich způsob. Diagnostický průzkum obsahuje vizuální prohlídku (identifikování viditelných poruch, fotozáznam), měření únosnosti (rázovým zařízením, stanovení zbytkové životnosti, výpočet potřebného zesílení), jádrové vývrty, vrtané nebo kopané hloubené sondy, měření georadarem, laboratorní zkoušky (na odebraných vzorcích), stanovení příčin poruch (spolu s celkovým zhodnocením stavu vozovky), variantní návrhy opravy a ověření nově navržené konstrukce podle návrhové metody.

Cílem všech těchto procesů je zjistit stav komunikace, její vlastnosti, identifikovat poruchy a navrhnout její případnou opravu tak, aby byla technicky a ekonomicky co nejefektivnější s konečným cílem udržet se zdroji, které jsou k dispozici, celou silniční síť v co nejlepším a nejbezpečnějším stavu.

2.3 Povrchové vlastnosti vozovek

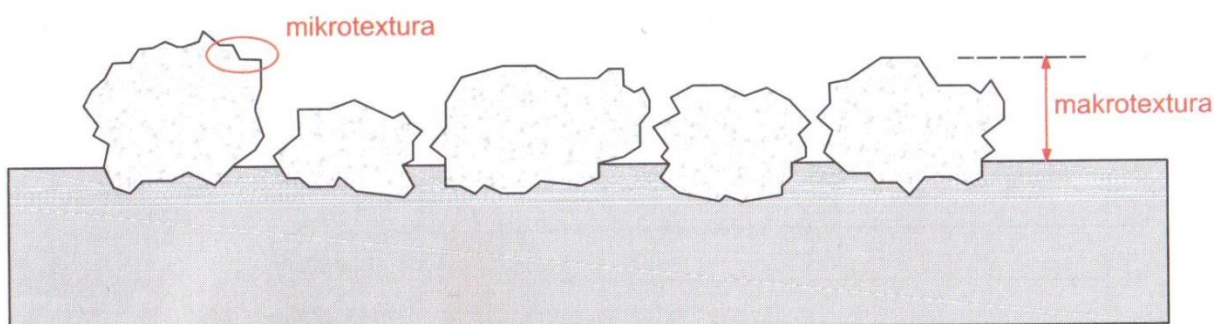
Povrchové vlastnosti vozovek zahrnují protismykové vlastnosti povrchu, nerovnosti povrchu a hlukové emise. Jsou to z hlediska dopravní nehodovosti bezesporu nejdůležitější vlastnosti

vozovky a jejich stav přímo ovlivňuje šanci na vznik dopravní nehody na dané vozovce. Základní parametry ovlivňující protismykové vlastnosti vozovky je její mikro- a makrotextura. Mimo to se na vozovce hodnotí megatextura a podélné nerovnosti, které společně charakterizují nerovnosti povrchu vozovky. Ilustraci lze vidět na obrázcích 7 a 8.



Obrázek 7: Názvosloví z hlediska délky vlny

Zdroj: lit.4



Obrázek 8: Charakteristiky protismykových vlastností povrchu vozovky

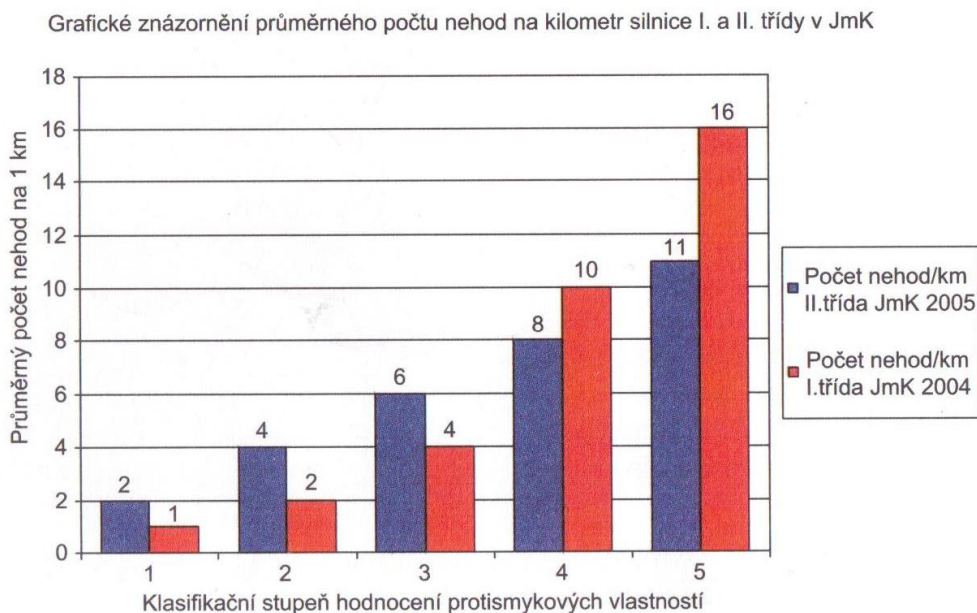
Zdroj: lit.4

Mikrotextura je vlastnost popisovaná velikostí a tvarem výstupků jednotlivých zrn kameniva, zatímco makrotextura je popsána především frakcemi a stavem kameniva na povrchu vozovky. Megatextura popisuje na povrchu vozovky mnohem větší „nerovnosti“ (rozdíl od ideální roviny). V takovémto měřítku se již jedná především o deformace vozovky či jiné poruchy povrchu.

„Největší vliv na bezpečnosti silničního provozu mají protismykové vlastnosti povrchu vozovky, což je vidět na grafu 1. Graf znázorňuje počet nehod ročně přepočtených na 1 km

silnic I. a II. třídy Jihomoravského kraje v závislosti na hodnocení protismykových vlastností povrchu vozovky, kdy klasifikační stupeň vyjadřuje:

- 1 – velmi dobré protismykové vlastnosti,
- 2 – dobré protismykové vlastnosti,
- 3 – vyhovující protismykové vlastnosti,
- 4 – nevyhovující protismykové vlastnosti,
- 5 – havarijní stav.“ [lit.4]

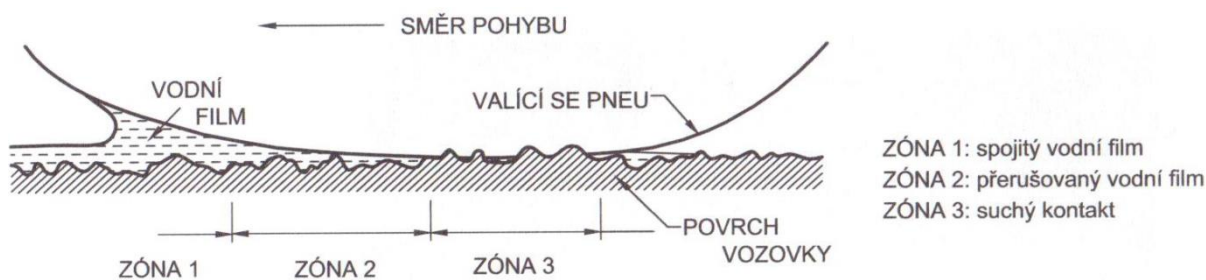


Graf 1: Vliv hodnocení protismykových vlastností na počet nehod

Zdroj: lit.4

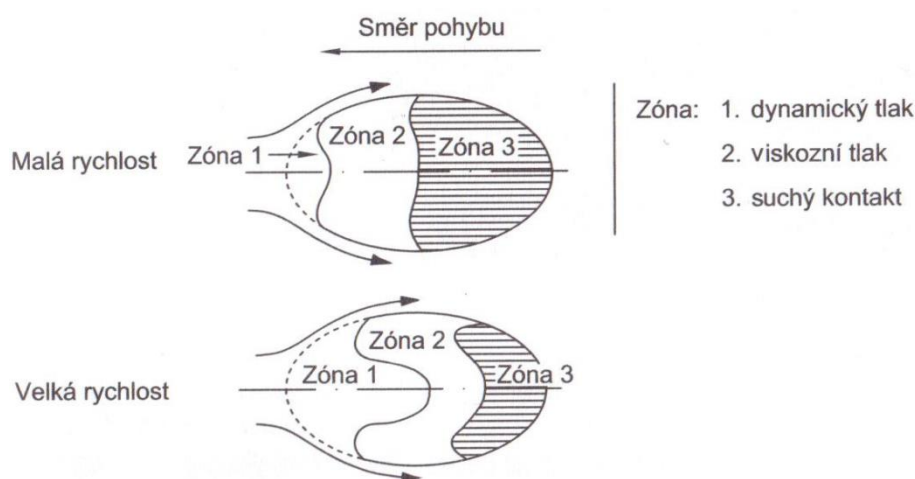
„Protismykové vlastnosti jsou definovány jako schopnost povrchu vozovky zatíženého dopravou zajišťovat prostřednictvím tření spolupůsobení mezi pohybující se pneumatikou a povrchem vozovky. Tření je odolnost proti relativnímu pohybu mezi dvěma tělesy, u dynamických metod jde o pohyb mezi povrchem vozovky a pneumatikou měřícího kola, které je přitěžováno předepsanou svislou silou a brzděno na předepsaný poměr skluzu. Vyvozená třecí síla působí na kontaktní ploše podélně, nebo bočně. Protismykové vlastnosti posuzujeme na základě součinitele podélného tření f_p , nebo bočního tření f_b .“ [lit.4]

Textura povrchu vozovky má dvě důležité funkce a to zajistit tření na kontaktu mezi kolem a povrchem vozovky a odvádět především dešťovou vodu pod pohybující se pneumatikou. První zmíněná funkce se vyjadřuje zmíněnými součiniteli tření a druhá takzvanými drenážními vlastnostmi. Následující obrázek ilustruje proces odvádění vody z kontaktu pneumatika – vozovka v závislosti na rychlosti jízdy. Plocha kontaktu se dělí na tři zóny: 1. zóna obsahuje spojitý vodní film. Voda se hromadí v ideálním případě před pneumatikou. V této zóně není žádný přímý kontakt mezi pneumatikou a vozovkou a tudíž se nepřenášejí žádné síly. 2. zóna obsahuje přerušovaný vodní film. Zde probíhá proces odvedení vody jak texturou vozovky, tak i dezénem pneumatiky. 3. zóna je suchý kontakt, zde probíhá přenášení sil a vzhledem k tomu je tato zóna kritická pro ovládání vozidla. Při vyšších rychlostech se zvyšuje plocha zón 1 a 2 na úkor zóny 3 a tím se snižuje schopnost včasného odvedení vody a následkem toho se snižuje schopnost přenášet podélné a boční síly. Obrázky 9 a 10 ilustrují tyto jevy.



Obrázek 9: Zóny interakce mezi pneumatikou a povrchem vozovky

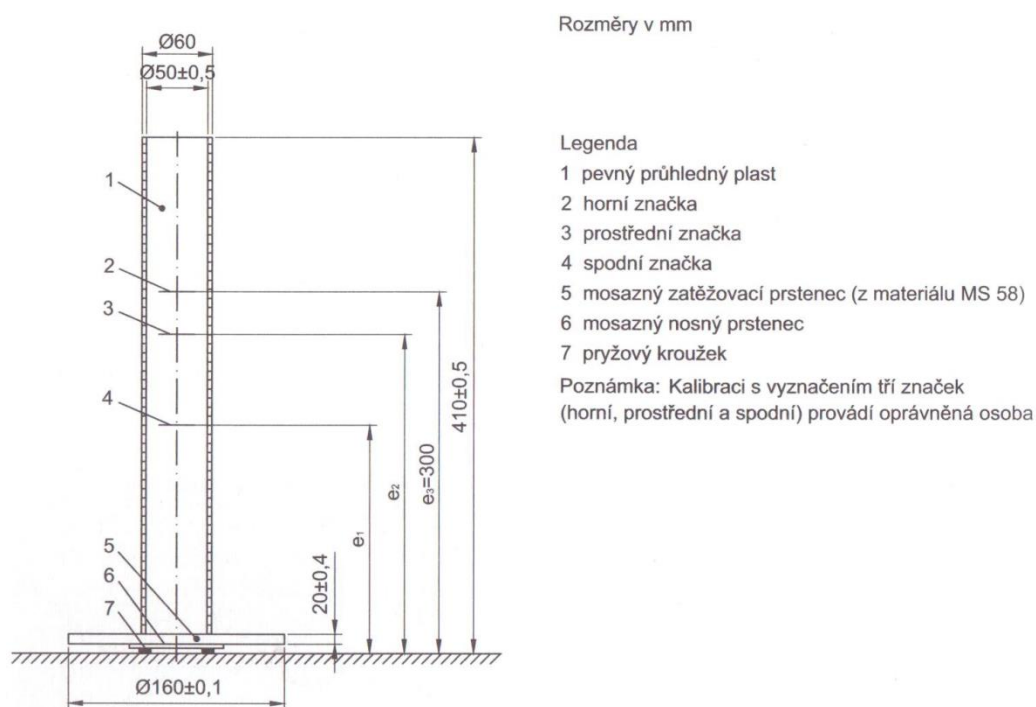
Zdroj: lit.4



Obrázek 10: Zóny dotykové oblasti pneumatiky a vozovky

Zdroj: lit.4

Vodorovné drenážní vlastnosti povrchu vozovky popisují schopnost vody z kontaktní plochy mezi pneumatikou a vozovkou. Tato vlastnost se popisuje pomocí stacionárního výtokoměru časem vytékání definovaného množství vody na vozovce nebo v laboratoři. Přístroj se používá na hladkých neporézních površích o průměrné hloubce profilu menší než 0,4 mm. Obrázek 11 popisuje výtokoměr, skládající se z průhledného válce, ve kterém je voda. Na tomto válci jsou vyznačeny tři značky. Po umístění výtokoměru na povrch se s přesností 0,5 s měří čas, za který klesne hladina z horní značky na spodní. Pokud trvá tento proces více než 3 minuty, použije se doba dosažení prostřední značky. Válec je zatížen zatěžovacím prstencem a přiléhá k vozovce pryžovým kroužkem.



Obrázek 11: Výtokoměr

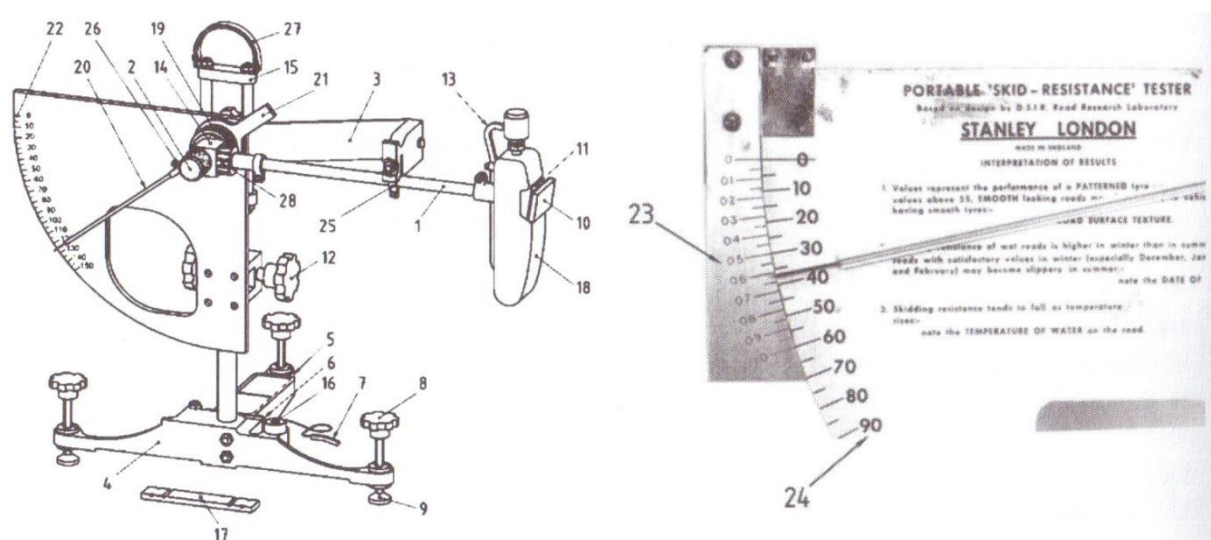
Zdroj: lit.4

Střední hloubka profilu povrchu vozovky „je vypočítaná z podrobného podélného profilu makrotextury snímaného pomocí laserových systémů na filtrované délce od 0,5 – 50 mm.“ [lit.4]

Součinitel tření se dá měřit několika způsoby. Pro příklad jsou uvedeny postupy zjištění součinitele tření kyvadlem a dynamickým měřícím zařízením. Zmíněnými způsoby zjištěné

součinitele tření však nemohou být mezi sebou porovnávány z důvodu rozdílné technologie použité pro jejich zjištění.

Součinitel tření zjištěný kyvadlem reprezentuje ztrátu kinetické energie. Obrázek 12 popisuje jednotlivé části kyvadla. Základním principem je pohyb kyvadla, na jehož konci je připevněna třecí patka. Výška kyvadla je nastavena tak, aby byla třecí plocha předepsané délky. Pomocí jednotkové stupnice je zjištěno, kolik energie bylo třením odebráno. Tato metoda má výhodu rychlého a jednoduchého postupu zjištění součinitele tření, avšak nevýhodu malé plochy zkoušeného povrchu (pouze přibližně 0,01 m²). Toto je nutné zohlednit počtem měřených míst a pečlivým výběrem míst reprezentujících celkový stav povrchu vozovky.



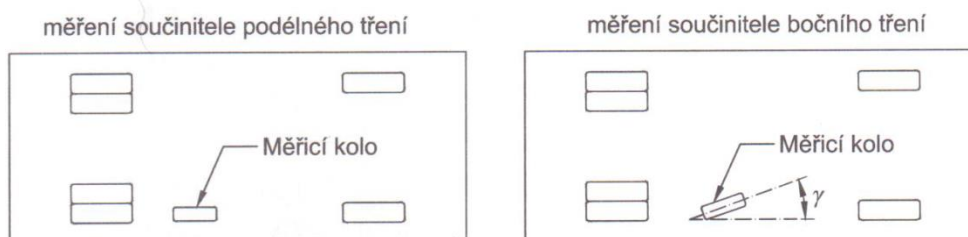
Obrázek 12: Kyvadlo

Zdroj: lit.4

Součinitel podélného a bočního tření povrchu vozovky f_p a f_b zjištěný dynamickým měřicím zařízením vyjadřují poměry mezi podélnou (boční) silou a svislou silou v místě dotyku měřicího kola podle následujícího vzorce:

$$\text{Součinitel tření} = \left(\frac{\text{podélná (boční) síla v místě dotyku pneumatiky s vozovkou [N]}}{\text{svislá síla působící v místě dotyku pneumatiky s vozovkou [N]}} \right)$$

Výhodou této metody je komplexnost měření, jelikož se zkoumá úsek kontinuálně, spolu s ostatními faktory, jako například směrové vedení komunikace, znečištění či měřicí rychlost. Cílem zkoušky je zjistit poměr tření při dané kombinaci rychlosti a poměru skluzu nebo odklonu měřicího kola. Měřená síla je vždy rovnoběžná s osou pohybu měřicího zařízení. V případě součinitele podélného tření se měřicí kolo a měřicí zařízení pohybují stejným směrem. Měřicí kolo je blokováno na požadovaný poměr skluzu, většinou 15% nebo 25%, modernější zařízení mají možnost tuho hodnotu plynule měnit v rozmezí od 0 do 100%. Poměr skluzu se nazývá poměr mezi rychlostí skluzu měřicího kola a měřicí rychlostí. Měřicí zařízení se většinou pohybuje rychlostí 60 či 80 km/h, rychlost však může být podle místních poměrů snížena, tato rychlost se nazývá měřicí rychlostí. V případě měření součinitele bočního tření je měřicí kolo blokováno odklonem od osy měřicího zařízení. Odklon je zpravidla 20°. „Protože u bočního tření není přesně známa rychlost skluzu ani poměr skluzu, které se ve směrových obloucích mění, je u tohoto způsobu měření součinitele tření platnost dat omezena ve směrových obloucích o malém poloměru.“ [lit.4] Schéma zařízení pro měření součinitele tření lze vidět na obrázku 13.



Obrázek 13: Schéma zařízení pro měření součinitele podélného a bočního tření

Zdroj: lit.4

2.4 Bezpečnostní protismykové úpravy povrchů vozovek

Pokud jsou požadavky na protismykové vlastnosti na daném úseku komunikace vyšší, než může standardní povrch vozovky poskytnout, přichází na řadu bezpečnostní protismykové úpravy povrchu. „Bezpečnostní protismykové úpravy (zkráceně BPÚ) povrchů vozovek poskytují díky použité technologii a kvalitním materiálům vysoké hodnoty součinitele tření a zároveň jsou schopné odolávat velkému dopravním zatížení a udržet tak velmi dobré protismykové vlastnosti po celou dobu své životnosti.“ [lit.6]

BPÚ vozovek zahrnují za studena nebo za horka pokládané tenké vrstvy kameniva a speciálních pojiv či jiných zdrsňujících materiálů, poskytujících vysoké hodnoty součinitele tření. Používají se pouze v malých plochách kvůli nutnosti největší část pokládky provádět ručně.

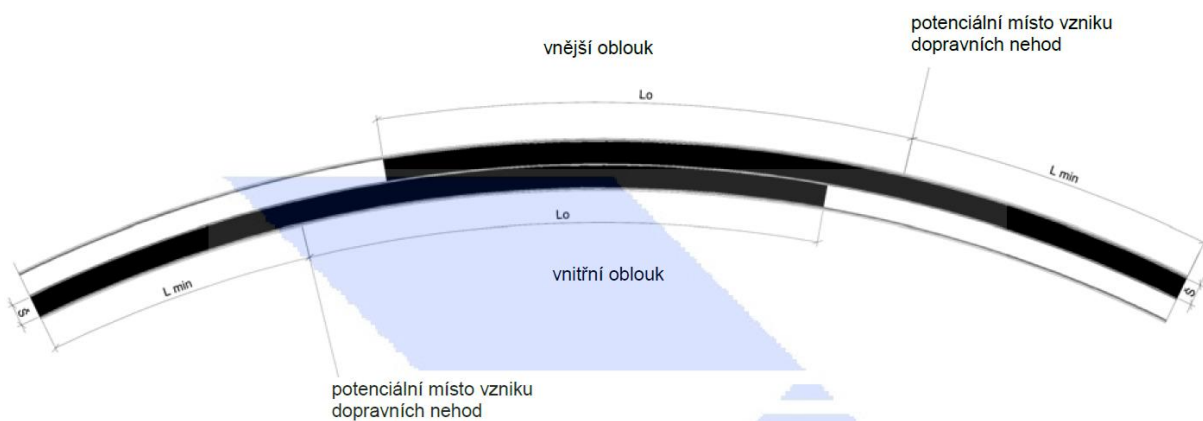
Mimo zvýšení součinitele tření, čímž se značně zkracuje brzdná dráha a snižuje se riziko ztráty kontroly nad vozidlem během agresivnějších manévřů, se zklidňuje doprava především na místních komunikacích, zvláště pak za použití barevně odlišené úpravy, jenž na první pohled dává řidiči na vědomí, že se blíží k nestandardnímu místu a měl by zvýšit pozornost. Jedná se tedy o úpravu snižující množství dopravních nehod, stejně jako snižující jejich potenciální následky. Jakožto sekundární benefit se dá brát také estetický efekt použití barevného povrchu vozovky, namísto povrchu základního.

BPÚ se používají především v místech a před místy častého namáhání vodorovnými silami, jako například před přechody pro chodce, úroňovými křižovatkami, úroňovými železničními přejezdy, ve směrových obloucích o nízkém poloměru nebo s neodpovídajícím sklonem či v úsecích s delším větším stoupáním a klesáním. Obrázky 14 a 15 ilustrují použití BPÚ.



Obrázek 14: Příklad umístění BPÚ před přechodem pro chodce

Zdroj: TP 213 Bezpečnostní protismykové úpravy povrchů vozovek



Obrázek 15: Příklad umístění BPÚ ve směrovém oblouku

Zdroj: TP 213 Bezpečnostní protismykové úpravy povrchů vozovek

Pro BPÚ se využívají pojiva s dostatečnou tahovou přilnavostí, která lépe odolávají dopravnímu zatížení. „Pro BPÚ pokládané za studena se používají termosetová pojiva, která se po přidání iniciátoru vytvrzují chemickou reakcí (např. polyuretanová pojiva, epoxidová nebo akrylová pryskyřičná pojiva, příp. jiná). Pro BPÚ pokládané za horka se používají termoplastická pojiva, která při zvýšené teplotě měknou a tečou a po ochlazení přicházejí zpět do původního pevného skupenství (např. pryskyřičná pojiva na bázi esterů, příp. jiná).“ [lit.6] Pokládka se provádí na suchý povrch za teploty vzduchu a povrchu mezi 5-35°C za studena nebo 0-35°C za horka. Při kontrolních zkouškách ověřujících splnění požadavků na nově položenou vrstvu se očekává součinitel tření zjištěný dynamickým zařízením podle ČSN 73 6177 s měřicí rychlostí 60 km/h $\geq 0,60$. Hodnota součinitele tření zjištěná kyvadlem podle ČSN EN 13036-4 musí být ≥ 70 . Tyto požadavky zůstávají do konce záruční doby, která se stanovuje standardně na 4 roky.

Předpokládaná doba životnosti BPÚ samozřejmě závisí na dopravním zatížení a zvláště na intenzitě těžkých nákladních vozidel. „Při TDZ S (> 7500 TNV) je předpokládaná minimální doba životnosti BPÚ 5 let při TDZ I (3501-7500 TNV) je minimální doba životnosti BPÚ 8 let. Pokud je třída dopravního zatížení vozidly nižší, je předpokládaná minimální doba životnosti BPÚ vyšší než 8 let.“ [lit.6]

2.5 Záchytné systémy - svodidla

Povrch pozemní komunikace samozřejmě není jediný její prvek starající se o bezpečnost provozu. Pozemní komunikace je komplexní systém zahrnující mimo samotné vozovky a jejích konstrukčních vrstev také krajnice a zeleň komunikaci obklopující, příkopy, propustky, směrové sloupky, dopravní značení a mnoho dalších prvků. Různé prvky komunikace mají různé funkce, například dopravní značení má funkci informativní. Jsou zde i prvky specificky navržené ke zmírnění následků dopravních nehod. Zdaleka nejviditelnějším z těchto prvků jsou svodidla. Ta mají za primární funkci „zadržet a přesměrovat neovladatelné vozidlo při zajištění přiměřené bezpečnosti cestujících ve vozidle a jiných uživatelů pozemní komunikace.“ [lit.7] Tímto se ochraňuje nejen osádka neovladatelného vozidla, ale i další účastníci provozu na pozemní komunikaci. Vozidlu je navíc zabráněno pokračovat v potenciálně nebezpečném směru a například narazit do pevné překážky či do osob v okolí pozemní komunikace. Svodidla se umísťují na krajnici nebo do středního dělicího pásu pozemní komunikace na silnicích a mostech. Nutnost umístění svodidel určují ČSN 73 6101, ČSN 73 6201 a ČSN 73 6110. Mimo míst specifikovaných normami je možno svodidla umístit i na jiných odůvodněných místech.

TP 114 rozděluje úrovně zadržení, což je „ověřená velikost bočního nárazu vozidlem, kterému je schopno svodidlo vzdorovat, aniž by došlo k jeho překonání vozidlem, při zajištění požadované hodnoty prudkosti nárazu a přijatelnosti chování svodidla.“ [lit.7]

Z hlediska zákona (č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobu a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů) se svodidla dělí na „schválená“ a „jiná“. „Schválená“ svodidla jsou vyráběna pro opakované použití na pozemních komunikacích, podléhají povinnému posuzování shody, jsou k nim vydány technické podmínky výrobce/dovozce/zplnomocněného zástupce a vyhovují základním požadavkům na stavby dle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011. Kategorie svodidel „jiná“ obsahuje kusovou výrobu individuálně vytvořený podle projektové dokumentace. Zatížení „jiných“ svodidel se určuje jinak, než u „schválených“ svodidel a to podle zatěžovací třídy.

Tabulka 4: Úrovně zadržení svodidel "schválených"

Zdroj: TP 114 Svodidla na pozemních komunikacích

Rozdělení úrovní zadržení	Úroveň zadržení	Požadované testy	Úroveň zadržení	Požadované testy
Nízké úhlové zadržení	T1	TB 21	-	-
	T2	TB 22	-	-
	T3	TB 41 a TB 21	-	-
Běžné zadržení	N1	TB 31	-	-
	N2	TB 32 a TB 11	-	-
Vyšší zadržení	H1	TB 42 a TB 11	L1	TB 42 a TB 32 a TB 11
	H2	TB 51 a TB 11	L2	TB 51 a TB 32 a TB 11
	H3	TB 61 a TB 11	L3	TB 61 a TB 32 a TB 11
Velmi vysoké zadržení	H4a	TB 71 a TB 11	L4a	TB 71 a TB 32 a TB 11
	H4b	TB 81 a TB 11	L4b	TB 81 a TB 32 a TB 11

Tabulka 4 obsahuje úrovně zadržení a jejich požadované testy. Co obsahují jednotlivé testy, popisuje následující tabulka 5. Jedná se o parametry nárazů, kterými jsou svodidla během testování zkoušena.

Tabulka 5: Zatížení svodidel "schválených"

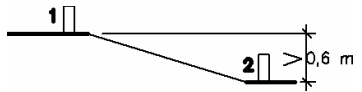
Zdroj: TP 114 Svodidla na pozemních komunikacích

Označení nárazu (test č.)	Nárazová rychlost [km/h]	Úhel nárazu [stupně]	Celková hmotnost vozidla [kg]	Kinetická energie E_k [J]
TB 11	100	20	900	40,6
TB 21	80	8	1300	6,2
TB 22	80	15	1300	21,5
TB 31	80	20	1500	43,3
TB 32	110	20	1500	81,9
TB 41	70	8	10000	36,6
TB 42	70	15	10000	126,6
TB 51	70	20	13000	287,5
TB 61	80	20	16000	462,1
TB 71	65	20	30000	572,0
TB 81	65	20	38000	724,6

Minimální úroveň zadržení svodidel na jednotlivých úsecích se určuje především podle nebezpečnosti daného úseku jak z hlediska množství nehod, tak i jejich následků. Pro příklad pokud z důvodu následků nehody hrozí kontaminace zdroje pitné vody, je nutno použít vyšší úroveň zadržení pro vyšší ochranu zmíněného zdroje. Dalším faktorem je intenzita těžkých motorových vozidel, jelikož ta představují pro svodidla svou několikanásobnou hmotností i při nižších rychlostech mnohem větší problém. Následující tabulka 6 určuje nejčastější příklady nebezpečných úseků a pro ně minimální požadované úrovně zadržení vzhledem k intenzitě těžkých motorových vozidel a míře nebezpečí daného úseku. Následující tabulka neodpovídá přesně tabulce z TP 114, jedná se o zjednodušenou verzi bez poznámek.

Tabulka 6: Minimální úroveň zadržení na silnicích z hlediska ochrany jejího okolí a z hlediska nebezpečných úseků silnic

Zdroj: TP 114 Svodidla na pozemních komunikacích

Řádek č.	Intenzita provozu těžkých motorových vozidel I	< 1000		>1000 a < 5000		> 5000	
		N	V	N	V	N	V
1	Zdroj pitné vody v blízkosti silnice	H2	H3	H2	H3	H3	H4
2	Dráha železniční nebo tramvajová, souběžná se silnicí, umístěná v blízkosti silnice	H1	H2	H2	H3	H2	H3
3	Veřejná prostranství s velkou frekvencí chodců	H1	H2	H2	H3	H2	H3
4	Pozemní stavby	H1	H2	H1	H2	H2	H3
5	Střední dělicí pás směrově rozdělené silnice	H2		H2	H3	H3	
6	Mezi souběžnými silnicemi, je-li alespoň jedna z nich kat. D, R a MR	H1	H2	H2	H2	H2	H3
7	Pro oddělení dopravy vedené v různých úrovních při výškovém rozdílu nad 0,60 m (např. ve středním dělicím pásu nebo mezi souběžnými silnicemi)	H2	H3	H3		H3	
							
8	Postranní dělicí pás mezi průběžnou trasou a kolektorem	H1	H2	H2		H2	
9	Vodní tok nebo nádrž s hl. normální vody přes 2 m	N2	H1	H1	H2	H2	H3
10	Strmý skalní sráz nebo násyp výšky nad 3 m se sklonem 1:1,5 a strmějším	N2	H1	H1	H2	H1	H2
11	Mostní podpěry a portály (včetně poloportálů)	H2					
12	Jiná nebezpečná místa (netýká se podpěr mostů, portálů a poloportálů dle řádku 11), např. stromořadí, vnější strany oblouků o poloměru menším než 300 m v delším klesání nad 4 % u silnic I. třídy (neplatí pro větve křižovatky)	N2	H1	H1	H2	H1	H2
13	Protihluková stěna neuzpůsobená jako záchytné zařízení	N2	N2	N2	N2	N2	N2

Pro případy, které nejsou uvedeny v předchozí tabulce, se navrhuje úroveň zadržení z hlediska typu silnice (tabulka 7).

Tabulka 7: Úroveň zadržení na silnicích z hlediska typu silnice

Zdroj: TP 114 Svodidla na pozemních komunikacích

Řádek	Typ (kategorie) silnice	Úroveň zadržení
1	Vnější okraje silnic I. třídy, rychlostních a směrově rozdělených silnic (kat. D, R, MR)	min. N2
2	Ostatní	N1 až N2

3 Měření dopravních veličin

Měření dopravních veličin poskytuje zásadní zdroj informací pro většinu, ne-li všechny činnosti spojené s dopravou. V každé vědecké disciplíně je nutné systém nejprve poznat, správně pochopit jeho fungování, a až poté ho začít úmyslně ovlivňovat. Od stanovení návrhové kategorie nově budované silniční komunikace, přes testování programu pro řízení křižovatky dopravními modely, až po komplikované telematické systémy, všude hrají základní roli kvalitní, věrohodná dopravní data.

Doprava může být podle toho, jak detailně ji chceme studovat, velice komplikovaný systém, skládající se z řady prvků více či méně známých a více či méně poznatelných. Chování vozidla z mechanického hlediska při pohybu na pozemní komunikaci je komplikované, avšak při nynější úrovni znalostí je do jisté míry předpokladatelné. Chování řidiče, jakožto faktoru ovlivňujícího chování vozidla, je vlivem „náhody“ mnohem komplikovanější předpovědět. Slovo „náhoda“ je v tomto smyslu použito jako neznalost daného faktoru. V kritické situaci může být za volantem protijedoucího vozidla zkušený řidič, začátečník, řidič ovlivněn únavou či alkoholem. Avšak existují i další faktory, které dopravu ovlivňují, a dá se s nimi ještě hůře počítat. Příkladem může být porыв větru, vstup lesní zvěře na vozovku apod. To je dlouhý způsob jak říci, že doprava je komplikovaný systém a to nejen z hledisek, které byly vyjmenovány, ale také jednoduše množstvím vozidel a rozsahem sítě. Pokud popisujeme momentální stav dopravy, většinou se omezujeme na malé množství nejdůležitějších informací, které jsou rozumně získatelné. Základními parametry dopravního proudu se většinou rozumí intenzita, rychlost a hustota. Mimo popis těchto veličin přidáme ještě vzhledem k tématice práce mezery.

Intenzitou se rozumí množství vozidel na jednotku času. V praxi se zjišťuje počítáním vozidel projíždějících bodem za definovaný čas a značí se podle následujícího vzorce:

$$q = \frac{N}{T} [\text{voz}/h]$$

V tomto vzorci q představuje intenzitu, N představuje množství vozidel a T čas. Intenzita se obvykle uvádí za 5-15 minut, popřípadě 1-24 hodin podle následného využití. Například pro systémy automatické identifikace nehod se však zaznamenávají intenzity v intervalu pouze 20-30 sekund.

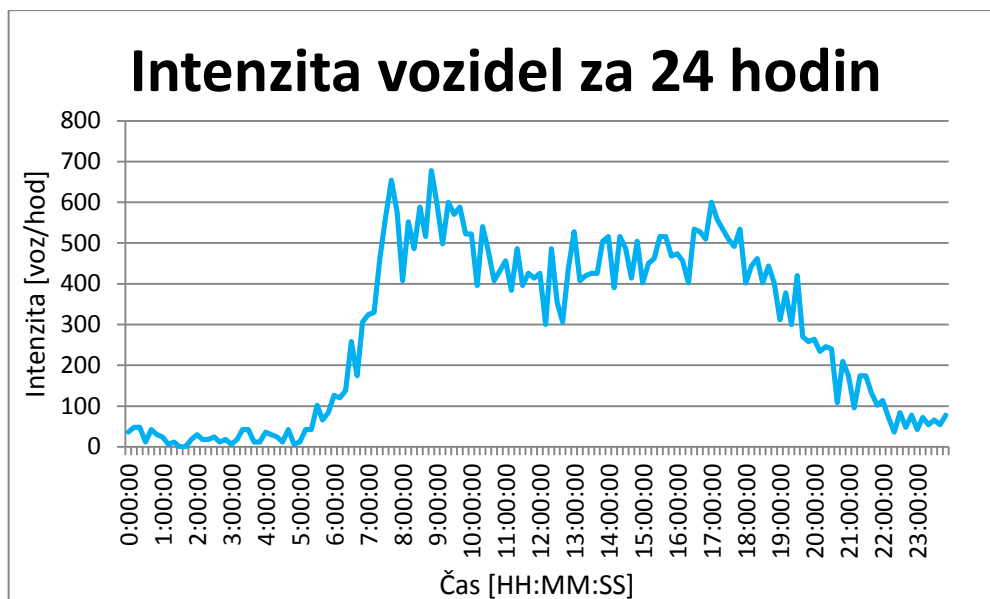
Rychlost jako fyzikální veličina je jednoduše definovaná jako dráha za čas. Pod pojmem rychlost se však v dopravě může skrývat řada různých definic. Jelikož je často potřeba

pojmout touto veličinou celý dopravní proud, používají se statistické veličiny jako průměrná hodnota, střední hodnota apod. Dá se tedy uvést rychlost takzvaná střední profilová, což je parametr získaný z bodového měření a vyjadřuje sumu rychlostí vozidel dělenou počtem vozidel v profilu za určenou dobu. Střední momentální rychlost se získává z měření podél komunikace a vyjadřuje sumu rychlostí dělenou počtem vozidel na definovaném úseku komunikace v jednom časovém okamžiku.

Hustota je definována jako počet vozidel na definovaném úseku komunikace v jednom časovém okamžiku. Tato veličina je v praxi velice těžko získává. Pro její získání by bylo nutno v jednom okamžiku spočítat množství vozidel na daném úseku komunikace a vydělit tuto hodnotu délkou úseku. Jedná se tedy ve většině případů o čistě teoretickou veličinu. Pro představu se dá vypočítat ze vztahů pro rychlost a pro intenzitu, ale výsledná hodnota je pouze teoretická.

Pod názvem mezera se skrývají dvě definice a to prostorová mezera, znamenající vzdálenost mezi dvěma za sebou jedoucími vozidly a časová mezera, neboli doba mezi průjezdy stejných bodů (většinou předních nárazníků) na dvou za sebou jedoucích vozidlech jedním bodem.

Dopravní proud má charakter pseudo-stochastický. Tímto pojmem je vyjádřena tendence dopravního proudu být do jisté míry předvídatelný, avšak vždy s jistou náhodnou složkou. Na příkladu intenzity (graf 2) je možno tento koncept snadno vysvětlit. Na jednom měřicím místě vypadá každý den svým charakterem intenzity velmi podobně. Přes noc jezdí málo vozidel, ráno se vždy opakuje špička, odpoledne následuje další špička se sedlem mezi nimi a až do večera ubývá vozidel.

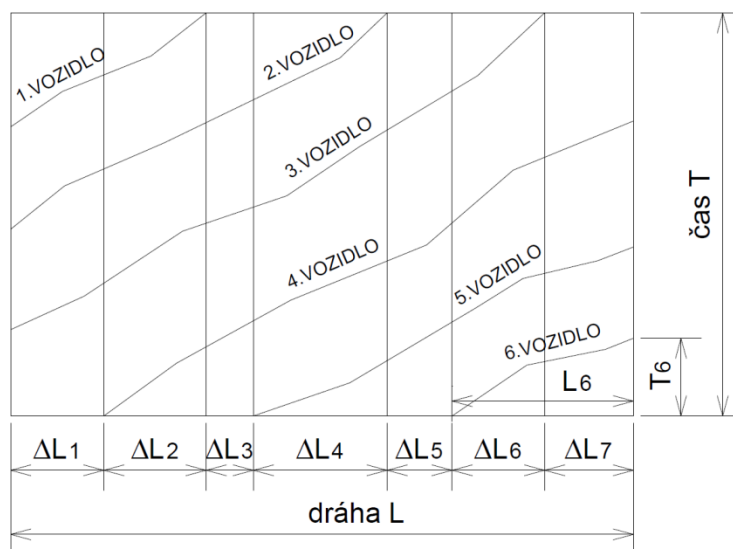


Graf 2: Intenzita vozidel za 24 hodin

Tento charakter je více či méně přítomný na většině míst dopravní sítě. To však není jediný „trend“, který se periodicky objevuje. Dalším z takovýchto předpokládatelných jevů je pokles dopravy ve volných dnech oproti dnům pracovním. Tento jev není patrný výhradně v intenzitě, ale také ve skladbě dopravního proudu značným poklesem těžkých nákladních vozidel oproti pracovním dnům. Pokud oddálíme pohled ještě více, můžeme si všimnout poklesu intenzit v zimních měsících a nárůstu v letních. Pokud se podíváme přes roční cyklus, můžeme sledovat postupný nárůst intenzit s růstem automobilizace a motorizace. Do celkového obrazu dopravy se však samozřejmě připojují i složky náhodné, jako například stav počasí či stav dopravy. Většina lidí má přístup k dostatečně věrohodné předpovědi počasí a na základě získaných informací se může rozhodnout na silnici nevyjet či zvolit jiný způsob dopravy než osobní automobil. Stejný efekt mají na řidiče mimo počasí i jiné informace, které může před jízdou či během jízdy získat. Informace o tvorbě kolon může řidiče odradit od jízdy, donutit ho změnit plánovanou trasu či změnit plánovaný dopravní prostředek. Jaké množství řidičů tyto informace dostane, kteří podle nich budou jednat a jak podle nich budou jednat, tvoří do jisté míry náhodnou složku dopravního proudu.

3.1 Způsoby zjišťování parametrů dopravního proudu

Měřit parametry dopravního proudu je možné řadou způsobů. Vyjmenovány a popsány budou ty nejčastější jako například měření v jednom bodě nebo měření v krátké sekci komunikace. Rozdílné metody měření vracejí rozdílné parametry a proto je při měření nutno vybrat nejen správné místo, ale také správný způsob měření. Následující prostorově-časový diagram (obrázek 16) pomůže ilustrovat rozdíly jednotlivých způsobů.



Obrázek 16: Prostorově-časový diagram

Zdroj: Výukové materiály předmětu Teorie provozu na pozemních komunikacích

Měření v jednom bodě je, jak již název napovídá, měření, při kterém je místo měření neměnné. V prostorově-časovém diagramu je takovéto měření reprezentováno horizontálními liniemi (v čase se pohybuje, v prostoru stojí). Takovéto měření nabízí vždy získání intenzit a časových mezer nejčastěji formou indukčních smyček. Pro měření rychlosti je nutno používat aktivní detektor, jako například mikrovlnný nebo infračervený, který detekcí odražených vln vyhodnotí rychlost detekovaného vozidla.

Měření v krátké sekci znamená měření ve dvou bodech vzdálených od sebe řádově v jednotkách metrů. Oproti měření v jednom bodě nabízí měření rychlosti vypočtené z rozdílu časů detekce jednoho vozidla oběma detektory, mezi nimiž je známá vzdálenost. V případě identifikace jednotlivých vozidel (např. rozpoznáním SPZ pomocí video-detekce) lze vzdálenost mezi detektory prodloužit, čímž vzniká úsekové měření, které v kombinaci

s viditelným označením měřeného místa bývá řidiči dobře respektovaný způsob „vynucení“ snížení rychlosti.

Měření plovoucími vozidly využívá vybraná vozidla v provozu (vybavená pozičním GPS systémem a způsobem komunikace) k získání komplexního obrazu o stavu dopravy. Parametry pohybu plovoucích vozidel jako rychlost pohybu v provozu či počet a doba zastavení kombinované s větším množstvím takto komunikujících vozidel umožňuje rychle detekovat dopravní nehody či kongesce.

3.2 Dopravní detektory

Dopravní detektor je zařízení sledující okolní prostředí a transformující jeho vybrané prvky nejčastěji do elektronické formy, ve které je takto měřená veličina ukládána. Dopravní detektor může využívat pro zjištění měřené veličiny a její předání řadu různých technologií. Následující výčet nemá být seznamem všech používaných technologií, ale spíše výběr populárnějších zařízení a vysvětlení jejich funkce.

Dopravní detektory se dělí dle řady kritérií podle účelu samotného dělení. Nejdůležitější dělení pro přehlednost bývá dělení dle práce s energií, dle formy styku s prostředím a dle fyzikálního principu. Dělení dle práce s energií rozděluje detektory podle toho, zda zařízení samo vysílá energii, či pouze měří tu, která se k němu dostane. Aktivní detektor vysílá vlastní formu energie (různou podle použité technologie), jako například ultrazvukový detektor vysílá energii ve formě ultrazvuku a měří čas do jeho návratu zpět. Oproti tomu pasivní detektor pracuje pouze s energií z prostředí, jako například pasivní infračervený, který snímá tepelnou energii vyzařovanou ve formě elektromagnetického záření v infračervené části spektra. Aktivní detektory většinou vyžadují větší přísun energie, jelikož část energie musí vysílat do okolí. Oproti tomu pasivní detektory většinou vyžadují přesnější zařízení popřípadě nějakou formu zesilovače, jelikož přijímaný signál je slabší a jeho získání i zpracování je komplikovanější.

Podle formy styku s měřeným prostředím se dělí detektory na neintrusivní, kontraktní a detektory narušující vozovku. Detektory narušující vozovku jsou takové, jejichž instalace vyžaduje zásah do vozovky, předním představitelem této kategorie je indukční smyčka, jež bude detailněji popsána dále v této kapitole. Kontaktní detektory jsou v kontaktu s měřeným prostředím. Jedná se například o pneumatické detektory, jež měří změnu vnitřního tlaku při přejetí vozidlem, tedy přímým kontaktem. Neintrusivní tento kontakt nevyžadují, pracují

pouze pozorováním z dálky jako například video-detekce či zmíněný infračervený detektor, jež vyhodnocuje elektromagnetické záření ať již aktivně vysílané či pouze pasivně přijímané.

Indukční smyčka je bez sporu nejběžnějším typem dopravního detektoru. Pracuje na principu měření indukčnosti. Průjezd vozidla se na výstupním signálu projeví změnou amplitudy a kmitočtu. Indukční smyčka je detektor aktivní, skládající se ze smyčky (závity z metalického vodiče), propojovací skříně a řídicí jednotky. Jedná se o osvědčený (již téměř 75 lety používání) detektor, jež poskytuje spolehlivá a věrohodná data za relativně nízkou pořizovací cenu. Nevýhodou je nutnost zásahu do vozovky při instalaci a tím komplikovaná údržba a snížení životnosti vozovky. Smyčka poskytuje intenzitu, obsazenost, rozlišení směru a klasifikaci vozidel. Měření rychlosti bylo zprvu možno kombinací dvou detektorů, v poslední době se však rozšiřuje způsob analýzou rychlosti (strmosti) náběhu signálu.

Video-detekce je další z rozšířených způsobů detekování parametrů dopravního proudu. Jedná se o flexibilní detektor, který nevyžaduje zásah do vozovky a jeho instalace je relativně jednoduchá. Veliké rozlišení obrazu s sebou však přináší náročnost na přenos velkého množství dat a komplikovanost analýzy obrazu vyžaduje propracovaný software. Mimo to je detektor náchylný na projevy okolí ovlivňující viditelnost, jako například odlesky slunce, déšť, sněžení, mlha apod. Prostředí jako například tunel je pro video-detekci ideální, jelikož neměnnost viditelnosti a světelných podmínek poskytuje možnost jednoduššího rozpoznání vozidel. Obraz se vyhodnocuje řadou způsobů jako například změnami kontrastu, průjezdem vozidel označenými oblastmi (virtuální smyčky) nebo sledováním jednotlivých vozidel dosažením virtuálního modelu přes vozidlo. Touto formou detekce je možno získat intenzitu, hustotu, mezery, rychlost, kategorii vozidla a detekovat kongesce či nehody. Video-detekce má další významnou výhodu tím, že nevrací pouze dopravní parametry, ale celý obraz, který může sloužit k dalším účelům jako například bezpečnost, identifikace požárů v tunelech apod.

Infračervené (infrared = IR) detektory jsou další z řady neintrusivních detektorů. Pracují na principu detekce a analýzy příchozího elektromagnetického vlnění v infračervené části spektra. Dělí se podle práce s energií na aktivní infračervené a pasivní infračervené detektory. Aktivní vysílá infračervený paprsek a detekuje odražený. Výhodou tohoto typu je silnější přijímaný paprsek a tím menší nároky na přesnost detektoru. Nevýhodou je mimo jiné že ne všechny povrchy mají stejnou odrazivost a přijímaný paprsek tak má podle povrchu, od kterého se odrazil, značně rozdílnou sílu. To může vést k tomu podílu odraženého paprsku tak malému, že detekce nebude možná. Naštěstí všechna vozidla disponují značně velkou částí přední plochy pokrytou čelním sklem, které tento problém řeší. Pasivní infračervené detektory využívají toho, že všechny předměty (mimo předmětů mající teplotu rovnou

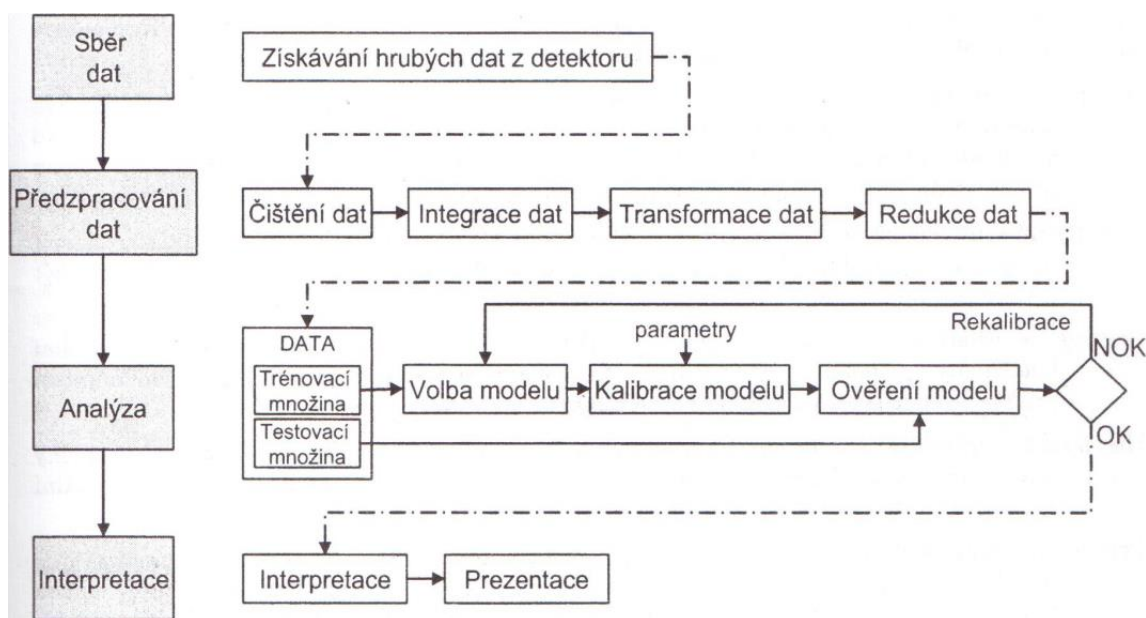
absolutní nule $-273,15^{\circ}\text{C}$ nebo 0 K) vyzařují tepelnou energii ve formě infračerveného záření, které je možno detekovat. Rozdílem teplot mezi vozovkou a projíždějícím vozidlem se změní množství vyzařované energie a to je detekováno jako průjezd vozidla. Množství takto vyzařované energie je však velice malé a je proto nutno velmi přesný přístroj pro detekci této změny. Dalším problémem je kalibrace takového přístroje, jelikož tepelné podmínky se mohou značně měnit. Detekce vozidla v zimě, kdy je teplota povrchu vozovky blízko 0°C je zcela rozdílná detekci v létě, kdy povrch vozovky dosahuje například 50°C . Teplota povrchu se mění i během dne kdy rozdíl nočních a denních teplot může dosahovat několika desítek stupňů a přístroj na to musí reagovat.

Mikrovlnná technologie pracuje také v elektromagnetickém spektru, jen v delších vlnových délkách. Tato technologie byla prvně během druhé světové války ve formě radaru – přístroje pro zjištění přítomnosti vzdálených objektů, jejich identifikaci, určení směru a vzdálenosti. V dopravě se jedná o aktivní detektor, který vysílá mikrovlny a analyzuje vlny odražené. Z dopravních veličin dokáže přístroj zjistit rychlost vozidla (pomocí Dopplerova efektu), směr jízdy, délku, kategorii (odhadnutou podle délky) a mezery. Přístroj je méně citlivý k počasí a není ovlivněn denním cyklem (změna světla, teploty). Nevýhodou je, že pro měření více pruhů bývá přístroj umístěn vedle komunikace a může tak docházet k překrytí vozidel jedoucích ve vzdálenějších pruzích. Z toho plyne jeho nevhodnost pro spolehlivé měření intenzity v této konfiguraci. Mikrovlnná technologie je u nás mimo měření dopravních parametrů použita například i pro mýtný systém formou komunikace krátkého dosahu (DSRC).

3.3 Zpracování dopravních dat

„Analýza dat je základní metodou výzkumu v mnoha oblastech, od vědy a inženýrské aplikace až po management či řízení procesů. Pomocí analýzy dat získáváme informace o vlastním procesu (systému), který tato data generuje. Porozumění těmto procesům nám umožňuje jejich modelování, řízení či podporu v rozhodování při vzájemní interakci.“ [lit.5]

Pokud chceme kvalitní výsledky analýzy dat, nebude žádným překvapením, že na začátku potřebujeme kvalitní data. Analýza dat pracuje s daty, upravuje je a připravuje na jednodušší interpretaci či následovné zpracování, avšak výsledky tohoto procesu mohou být pouze tak spolehlivé, jako byla na začátku poskytnutá data. Ta bývají často neúplná, s chybějícími částmi způsobenými například výpadky měřicího zařízení nebo jinak poškozená. Následující obrázek (obrázek 17) přehledně popisuje dlouhou cestu „hrubých“ dat až po jejich interpretaci. Tento proces může být značně komplexní, a proto je obrázek rozdělen do dvou částí, kde levá část shrnuje obecné „téma“ daného bloku, který je detailněji rozepsán v pravé části obrázku. Ve většině případů není nutné používat všechny nástroje, které jsou zde uvedeny, je však potřeba vědět, kdy které použít.

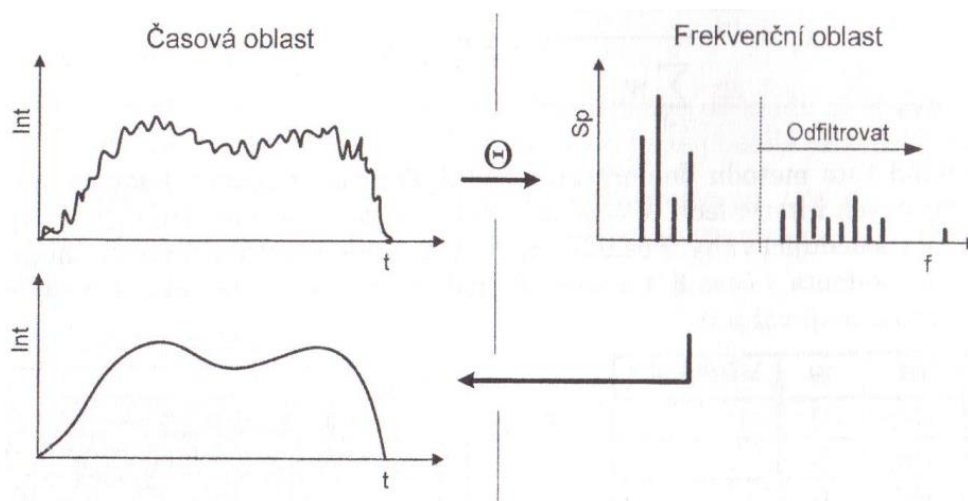


Obrázek 17: Základní postup při zpracování dat

Zdroj: lit.5

Cílem předzpracování je příprava dat pro následné použití jako vstupy do následných algoritmů či modelů nebo pro zjednodušení jejich interpretace. Prvním krokem předzpracování je čištění dat, jehož cílem je identifikovat „nečistá“ data jako například extrémní výchyly způsobené chybou detektoru či komunikace a takováto data nahradit či odstranit. Identifikace takovýchto chyb je kritickým faktorem v tomto kroku. Používá se pro ni například kontrola oboru přípustných hodnot. Přípustné hodnoty daného měření je však nutné dobře zvážit. Dalším příkladem může být porovnání s typickými hodnotami, pokud je máme k dispozici. Tím se dá identifikovat „atypické“ záznamy, které nejspíše vznikly chybou. Odstraněná data mohou být zcela ignorována, nahrazena globální konstantou, vyplněna střední hodnotou či vygenerována použitím matematického modelu. V případě čištění dat z časové řady je možné data nahradit poslední hodnotou, průměrem hraničních hodnot, lineární spojnici či nahrazením dle statického modelu.

Filtrace dat je dalším krokem předzpracování. Jejími základními funkcemi jsou čištění dat (viz předchozí odstavec) a odstranění náhodné složky neboli šumu. Filtrace se obvykle rozděluje do časové oblasti a frekvenční. Filtrace v časové oblasti bývá jednoduše provedena plovoucím průměrem, který nahrazuje následující hodnotu průměrem několika posledních hodnot (označováno k , většinou mezi 2 až 10) nebo váženým plovoucím průměrem, pokud chceme změnit váhu jednotlivých měření (např. čím starší záznam, tím má v počítaném průměru menší váhu). Pro rychle se měnící hodnoty však průměry nejsou vhodné a je potřeba použít komplikovanější algoritmy, jako například Kalmanův filtr. Filtrace ve frekvenční oblasti nejprve transformuje data do oblasti frekvenční a následně odebere vysokofrekvenční složky, čímž odfiltruje šum (obrázek 18).



Obrázek 18: Princip filtrace ve frekvenční oblasti

Zdroj: lit.5

Integrace dat je spojení dat z několika zdrojů. V tomto bloku se především řeší situace, kdy data z různých zdrojů mohou přenášet stejnou informaci, ať již daty stejnými či odvozenými. Například nemá cenu přenášet sloupec tabulky „věk“ pokud máme z jiného zdroje „datum narození“. Dalším velkým problémem při integraci může být situace, kdy dvě měřící místa měřící stejnou veličinu vracejí rozdílné hodnoty. Takováto situace většinou končí nutností výběru věrohodnějšího z těchto zdrojů informací a data z ostatních zdrojů nepoužít.

Transformace dat je dalším krokem předzpracování. „Obecně se transformací rozumí aplikace nějaké definované matematické funkce (typicky se jedná o logaritmus, odmocninu, kvadrát, exponenciální funkci, sigmoidální funkci a další) na danou proměnnou. Transformace může daný problém zlinearizovat či zdůraznit část jeho oboru hodnot. Například kvadratická funkce se často používá pro větší penalizaci odchylek.“ [lit.5]

Redukce dat má za cíl co největší snížení množství dat při minimální ztrátě informace, kterou tato data nesou. Například v případě, že máme k dispozici větší množství měřících míst na jedné komunikaci, není nutné, aby každé z těchto míst zaznamenávalo intenzitu, jelikož se dá předpokládat, že bude velmi podobná. Pokud máme tři takováto měřící místa, musíme přenášet třikrát více dat, avšak informace o intenzitě v nich obsažená bude stejná nebo velmi podobná informaci o intenzitě z jednoho z těchto detektorů a pokud zpracování či přenos velkého množství dat je v řešené úloze limitujícím faktorem, můžeme data z 2. a 3. detektoru „vynechat“ s minimální ztrátou přenášené informace. Data se dají redukovat například za použití hierarchické agregace, snížení dimenze, komprese dat, redukce počtu vzorků či diskretizace signálu. Hierarchická agregace využívá hierarchické struktury dat. Příkladem lze uvést data o intenzitě dopravy. Pokud je naším úkolem řízení dopravy, je nutné mít k dispozici aktuální hodnoty intenzit, což je veliké množství dat (např. při sběru intenzity za každých 60s). Pokud však řešíme plánování dopravy, vystačíme si s hodnotami intenzity za 24 hodin (pracujeme s 1/1440 dat bez ztráty relevantní informace). Snížením dimenze snižujeme množství atributů přenášených dat. Pokud máme z každého měření několik atributů, ne každý z nich bude mít pro řešenou úlohu stejnou váhu. Metodou dopředného výběru postupně identifikujeme atributy nesoucí nejvíce informace a s těmi pracujeme. Metodou zpětné eliminace postupně odstraňujeme atributy nesoucí pro řešenou úlohu nejméně informace. Komprese dat se používá nejvíce u zpracování obrazu, kdy je sníženo množství přenášených dat bezztrátově (bez ztráty informace) či se ztrátami (za vyšší kompresi platíme menším množstvím přenášené informace). Za zmínění stojí například metoda ZIP či JPEG. Redukce počtu vzorků nahrazuje celé množiny dat pouze analytickým vyjádřením či charakteristickými vlastnostmi jako například použitím lineární regrese, kdy množinu dat nahradíme pouze koeficienty lineárního modelu nebo shlukováním, kdy celý shluk dat je nahrazen třeba i jediným objektem reprezentujícím střed daného shluku.

Diskretizace dat je známým nástrojem transformujícím spojitou veličinu jejím rozdělením podle intervalů na veličinu diskrétní, někdy nazývaným analogo/digitální převod.

Hlavním cílem předzpracování dat je úprava dat takovým způsobem, aby byla lépe zpracovatelná, čitelná či interpretovatelná bez ztráty nebo s minimální ztrátou přenášené informace.

Analýzou dat se rozumí použití matematických modelů, jejich návrh, kalibrace a ověření, pro analyzování dat. Výstupem této analýzy bývá model pro predikci, klasifikaci či shlukování dat. Tyto modely bývají značně specifické u každé řešené úlohy a jejich problematika je komplexností mimo rámec této práce.

„Posledním a často opomíjeným bodem v oblasti dolování znalostí je jejich interpretace a prezentace. Různé analytické nástroje poskytují výstup v různých formátech. Obvykle se jedná o nějakou skupinu čísel, která popisují výsledek (například koeficienty regresního modelu). Ovšem pro zákazníka, který si takovou analýzu objednal může být význam těchto koeficientů nesrozumitelný. Proto je nezbytné tyto koeficienty interpretovat do srozumitelného jazyka. Je zřejmé, že tato interpretace se bude lišit dle toho, komu je určena. Proto je třeba se této otázce věnovat od začátku.

Totéž platí pro prezentování výsledků. Je velmi důležité, komu je tato prezentace určena.

Možností prezentace je celá řada, například:

- Poskytnutí komplexního výstupu statistického SW
- Vypracování technické zprávy
- Popis výsledků pro vyšší management společnosti či městské zastupitele

Každá z těchto úrovní bude mít odlišné požadavky. Pokud půjde o zprávu pro technicky zaměřené publikum, mělo by se jednat o detailní a přesný popis podmínek, použitých metod, výsledků a jejich interpretaci. Pokud se jedná o prezentaci starostovi města, který má zájem o určitý produkt, obvykle je nejvhodnější použít jeden názorný graf, který demonstruje přínosy tohoto produktu.“ [lit.5]

4 Případová studie vybraného silničního úseku

Tato kapitola má za cíl komplexní analýzu nehodové lokality a stanovení priorit pro její následné řešení. První je na místě seznámení s řešenou lokalitou, to znamená umístění, vedení komunikace, její okolí, charakter dopravního proudu, stávající prvky pro snížení rizika vzniku dopravních nehod, rozbor dopravních nehod, které se v řešené lokalitě staly apod. Z těchto informací budou vyvozeny výsledky, které budou v následující kapitole aplikovány pro vytvoření úprav „na míru“ pro tento úsek a omezení problémů, které se zde nejvíce podílí na zvýšeném riziku vzniku dopravních nehod.

4.1 Popis vybrané lokality

Vybraná lokalita se nachází v Ústeckém kraji na silnici I/15. Silnice I/15 začíná u města Most v západní části Ústeckého kraje a vede na východ před Lovosicemi a Litoměřicemi téměř do České Lípy. Na svém začátku svádí dopravu z okolí Mostu, Chomutova a Loun do východní části kraje do měst Ústí nad Labem, Lovosice, Litoměřice, Roudnice nad Labem a dále do Libereckého kraje (obrázky 19 a 20).

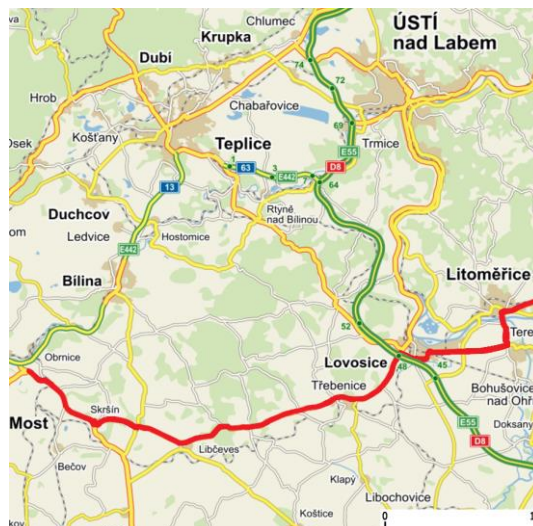
Z významných komunikací propojuje v Mostě silnici číslo 13 (spojující Karlovarský kraj přes Ústecký s Libereckým), v Lovosicích dálnici D8 (spojující Prahu přes Ústecký kraj s Německem) a silnici 9 (spojující Prahu přes Liberecký kraj s Německem).

Podle Celostátního sčítání dopravy z roku 2010 (CSD) je na této silnici v řešeném úseku roční průměr denních intenzit (RPDI) za všechny dny 4826 vozidel, z toho 3638 osobních vozidel a 1168 těžkých motorových vozidel. V pracovní dny tyto hodnoty rostou na 5326 vozidel, z toho 3839 osobních vozidel a 1469 těžkých motorových vozidel. Jednostopých motorových vozidel je podle RPDI za všechny dny pouze 20 voz/den a cyklistická doprava je v daném úseku minimální (4 cyklo/den).



Obrázek 19: Silnice I/15

Zdroj: <https://www.google.cz/maps/>



Obrázek 20: Detail silnice I/15

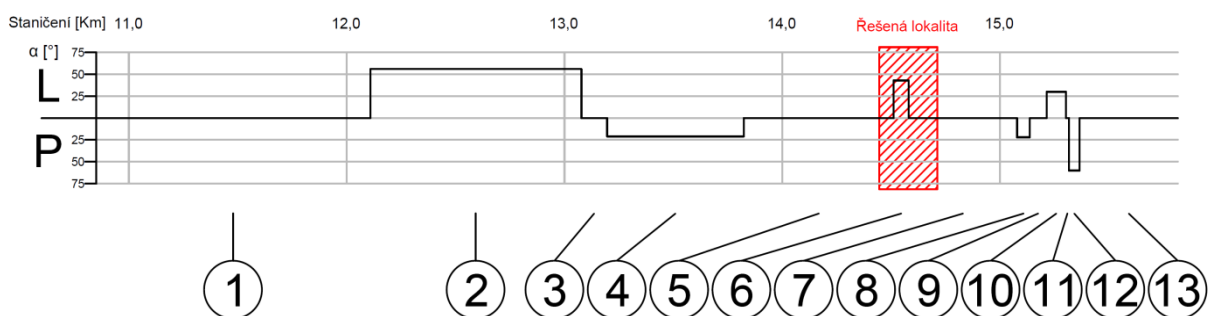
Zdroj: <https://mapy.cz>

Řešený úsek se nachází na 14,5. kilometru silnice I/15 v úseku mezi obcemi Libčeves a Želkovice. Okolí komunikace je proti směru staničení (na západ) velmi otevřené, prochází mezi rozsáhlými poli s nebráněným rozhledem na všechny strany. Mimo rozhledu je tato část silnice charakteristická velmi velkorysým vedením a tím umožňuje pocit bezpečí i při rychlejší jízdě. Po směru staničení je okolí komunikace převážně zalesněné, nabízí pouze krátké rozhledy a často přes něho přechází lesní zvěř. Vedení trasy je v tomto úseku mnohem skromnější, směrové oblouky jsou o menším poloměru, přímé úseky jsou kratší. Po přibližně jednom kilometru přechází silnice do obce Želkovice. Popsané širší okolí je možno vidět na obrázku 21.



Obrázek 21: Širší okolí řešené lokality

Zdroj: mapy.cz



Obrázek 22: Směrové vedení okolí řešené lokality

Obrázek 22 a tabulka 8 popisují okolí řešeného úseku. Autor bohužel nemá k dispozici dokumentaci řešeného úseku. Všechny zmíněné hodnoty jsou pouze přibližné a jejich účel je poukázat především na rozdíl mezi poloměry směrových oblouků a délkami přímých úseků mezi nimi. Řešená oblast je vyznačena červenou barvou.

Tabulka 8: Směrové vedení okolí řešené lokality

Č. úseku	Úsek	Délka [m]	Směr oblouku	Poloměr [m]	Úhel [°]
1	Přímá	1258			
2	Oblouk	969	Levý	1000	56
3	Přímá	118			
4	Oblouk	628	Pravý	1700	21
5	Přímá	689			
6	Oblouk	68	Levý	80	43
7	Přímá	498			
8	Oblouk	58	Pravý	150	22
9	Přímá	78			
10	Oblouk	88	Levý	125	30
11	Přímá	14			
12	Oblouk	49	Pravý	40	60
13	Přímá	450			

Následují fotografie řešeného úseku a jeho okolí číselně označeny podle obrázku 22 a tabulky 8. Všechny fotografie jsou pořízeny autorem.



Obrázek 23: Přímý úsek č. 1 focen proti směru staničení



Obrázek 24: Směrový oblouk č. 2 focen po směru staničení



Obrázek 25: Směrový oblouk č. 2 focen proti směru staničení



Obrázek 26: Směrový oblouk č. 4 focen proti směru staničení



Obrázek 27: Přímý úsek č. 5 focen proti směru staničení



Obrázek 28: Řešená oblast, směrový oblouk č. 6 focen po směru staničení



Obrázek 29: Řešená oblast, směrový oblouk č. 6 focen proti směru staničení



Obrázek 30: Řešená oblast, směrový oblouk č. 6 focen po směru staničení



Obrázek 31: Řešená oblast, směrový oblouk č. 6 focen proti směru staničení



Obrázek 32: Pohled na řešený úsek ve směru proti staničení, přímý úsek č. 7



Obrázek 33: Směrové oblouky č. 8 (bližší) a č. 10 (vzdálenější) foceno po směru staničení



Obrázek 34: Směrové oblouky č. 10 (bližší) a č. 8 (vzdálenější) foceno proti směru staničení



Obrázek 35: Směrový oblouk č. 12 focen po směru staničení



Obrázek 36: Směrový oblouk č. 12 focen proti směru staničení

Obrázky 23 až 27 ilustrují směrové a rozhledové poměry přilehlého úseku na západ, z východní strany ukazují podmínky obrázky 32 až 36. Samotný řešený úsek je na 28 až 31. Jak je vidět na obrázku 36, v celé oblasti od řešené lokality až po směrový oblouk č. 12 je nejvyšší povolená rychlost 50 km/h. Na obrázku 28 lze vidět opticko-psychologickou brzdu, ta je však pouze ve směru staničení, nikoliv proti němu. Na obrázku 28 je také vidět svislé dopravní značení B20a Nejvyšší povolená rychlost 50 km/h. Přibližně 80 m před touto se nachází B20a Nejvyšší povolená rychlost 70 km/h. Na obrázku 30 můžeme vidět 2x vodící tabuli Z3, avšak opět pouze ve směru staničení, jak lze vidět na obrázku 29, ve směru proti staničení žádné výstražné prvky nejsou. Dříve se nacházely vodící tabule Z3 v každém směru minimálně 3x, avšak mezi lety 2012 a 2015 byly nejspíše při dopravní nehodě poškozeny a znovu již instalovány nebyly. Všechny jmenované prvky jsou přehledně umístěny v mapě v kapitole 5.


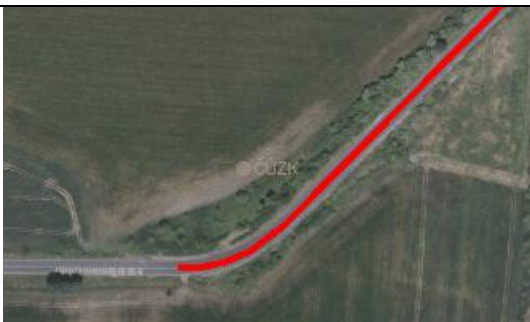


4.1.1 Nehodové místo projektu INFOBESI

Projekt výzkumu a vývoje Ministerstva dopravy ČR Informační systém pro podporu rozhodování v oblasti bezpečnosti silničního provozu (INFOBESI) poskytuje prostřednictvím aplikace Nehodová místa možnost získání základních informací o nehodových místech po celé České republice. Jako nehodové lokality označují místa na základě následujících kritérií:

- nejméně 3 nehody s osobními následky za 1 rok nebo
- nejméně 3 nehody s osobními následky stejného typu za 3 roky
- nejméně 5 nehod stejného typu za 1 rok.

Tabulka 9: Tabulka označení nehodových lokalit v aplikaci Nehodová místa

Zdroj: <http://infobesi.dopravniinfo.cz/app/Main>

2012	2013
	
2014	2015
	

Modrá = obsahuje nehodu s lehkým zraněním, červená = obsahuje nehodu se smrtelnými následky

Na základě těchto kategorií je řešená oblast na silnici I/15 vyznačena jako nehodová lokalita od roku 2008 do roku 2015, což byl poslední řešený rok (tabulka 9). V každém roce se mění hranice této nehodové lokality podle aktuálních nehod, kterých bylo celkově mezi lety 2008 a 2015 v hranicích definovaných touto aplikací 65 s 1 usmrceným, 1 těžce zraněným, 17 lehce zraněnými a ekonomickou ztrátou v hodnotě 51 259 274 Kč (obrázek 37).



Obrázek 37: Umístění dopravních nehod v aplikaci Nehodová místa

Zdroj: <http://infobesi.dopravniinfo.cz/app/Main>

4.2 Vyhodnocení dopravních nehod

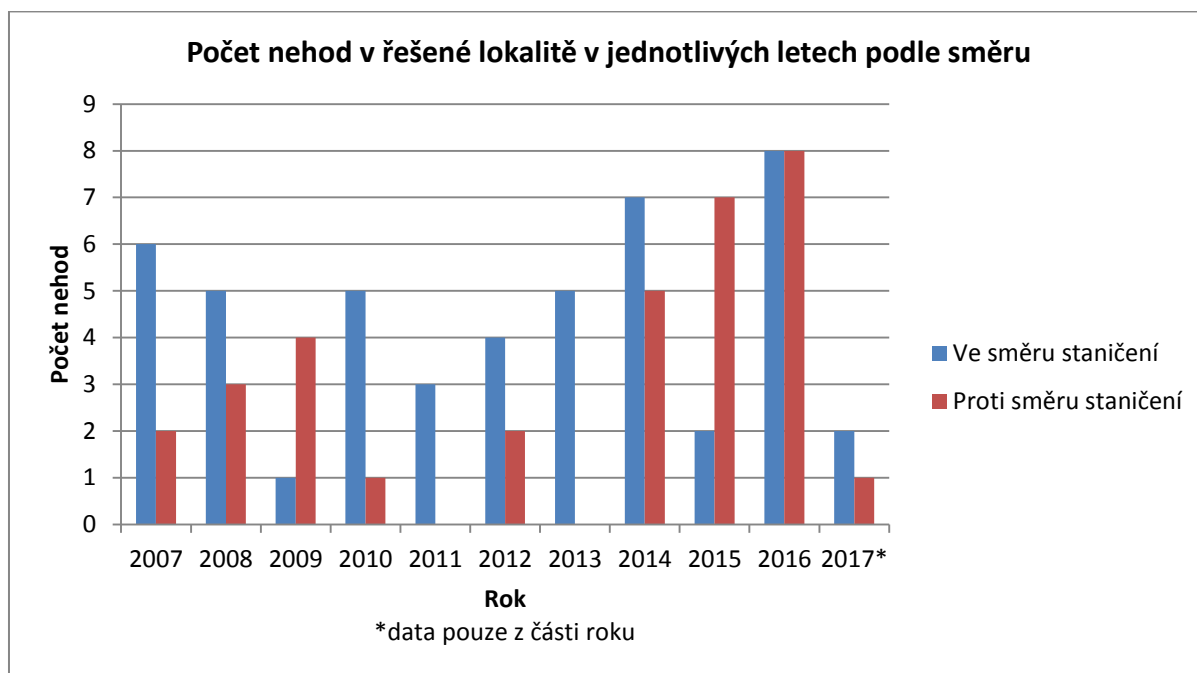
Pro účely tohoto vyhodnocení byla sesbírána data o dopravních nehodách mezi 1. 1. 2007 a 22. 3. 2017 v oblasti o celkové délce 250 metrů zahrnující směrový oblouk a jeho blízké okolí za pomoci statistiky nehod jednotné dopravní vektorové mapy. Celkově bylo v řešené oblasti zjištěno 82 dopravních nehod, z čehož 27 mělo následky na zdraví. Celkové následky všech nehod byly 1 usmrcený, 3 těžce zranění a 40 lehce zraněných s celkovou škodou 12 404 000 Kč. Na následujícím obrázku (obrázek 38) jde vidět umístění všech dopravních nehod rozdělených podle následků: účastník usmrcen (černá), těžce zraněn (modrá), lehce zraněn (žlutá) a hmotná škoda (šedá).



Obrázek 38: Situace řešeného úseku s vyznačenými místy všech nehod

Zdroj: <http://maps.jdvm.cz>

Jelikož se podmínky na příjezdech do této lokality tak významně liší, dá se předpokládat, že se i příčiny dopravních nehod (a jejich případné řešení) bude také lišit. Z toho důvodu budou dopravní nehody v tomto úseku vyhodnocovány rozděleně podle směru jízdy. Staničení silnice jde od města Most ve směru do města Lovosice (ze západu na východ).



Graf 3: Počet nehod v řešené lokalitě v jednotlivých letech podle směru

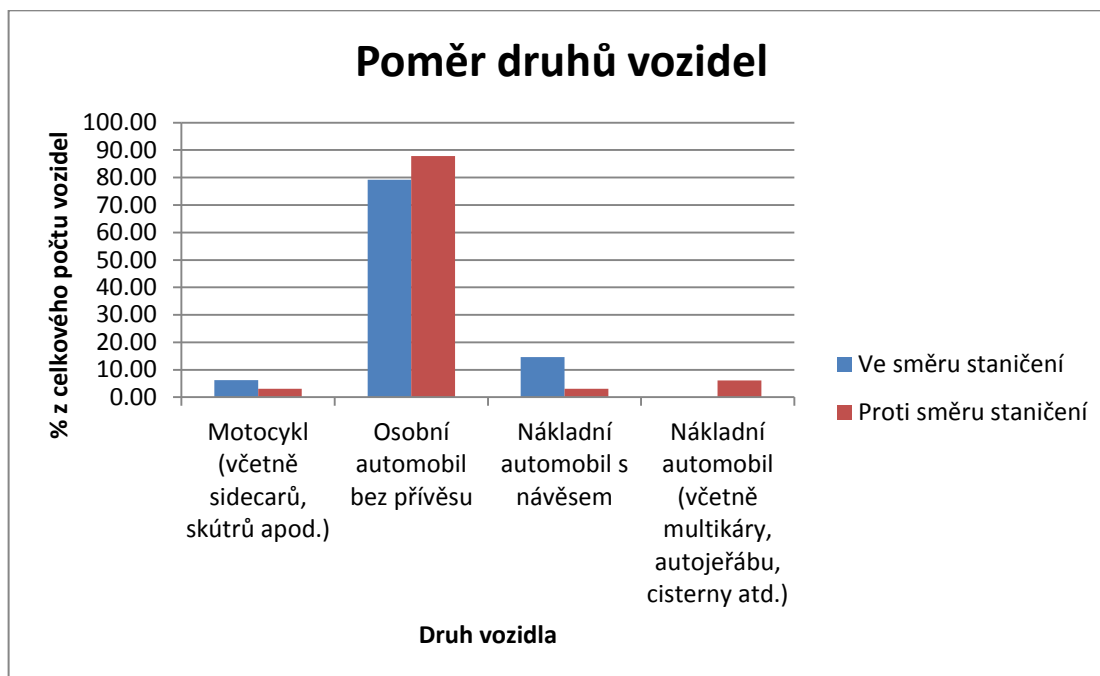
Na předchozím grafu (graf 3) je vidět počet nehod rozdělených podle let a směrů. V první řadě lze vidět postupný nárůst nehod v obou směrech. Dále lze vidět, že ve směru staničení se objevuje více nehod než proti staničení.

Tabulka 10: Přehled následků dopravních nehod v řešené lokalitě podle směru

	Ve směru staničení	Proti směru staničení
Počet nehod	48	33
Úmrtí [osob]	1	0
Těžké zranění [osob]	1	2
Lehké zranění [osob]	16	24
Šance na zranění / úmrtí při nehodě [%]	37,5	78,8
Hmotná škoda [Kč]	9 505 000	2 819 000
Hmotná škoda na jednu nehodu [Kč]	198 021	85 424
Únik provozních, přepravovaných hmot [%]	27,1	24,2

Tabulka 10 obsahuje počet nehod v jednotlivých směrech s rozdělením jejich následků. I přes vyšší počet nehod ve směru staničení lze pozorovat více nehod s následky na zdraví či životě, především zastoupených lehkými zraněními, ve směru proti staničení. Šance na zranění či úmrtí je taktéž ve směru proti staničení znatelně odlišná. Oproti tomu celková

škoda i škoda na jednu nehodu jsou více než dvakrát vyšší ve směru staničení. U 25,9% nehod došlo k úniku provozních či přepravovaných hmot.



Graf 4: Poměr druhů vozidel při nehodách v řešené lokalitě rozdělené podle směrů

Graf 4 by mohl vysvětlovat tak rozdílný poměr škody mezi oběma směry, avšak není tomu tak. Průměrná hmotná škoda na jednu nehodu je v této lokalitě 94 100 Kč u nákladních vozidel a 160 324 Kč u osobních vozidel. Nicméně i tak je zde vidět značný nepoměr nákladních vozidel v obou směrech.

Tabulka 11: Nejčastější příčiny dopravních nehod v řešené lokalitě podle směru

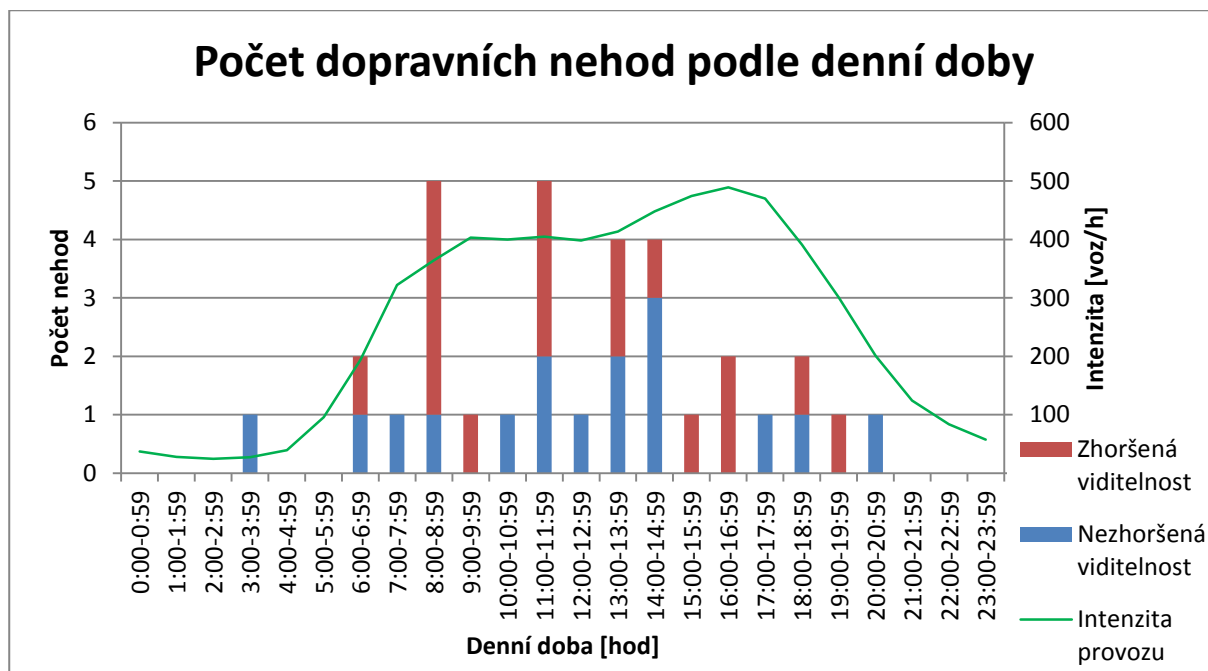
Ve směru staničení	
Srážka s pevnou překážkou	48 %
Havárie	33 %
Srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	17 %
Proti směru staničení	
Srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	48 %
Havárie	40 %
Srážka s pevnou překážkou	9 %

Tabulka 11 poukazuje zřetelný rozdíl v charakteru nehod v jednotlivých směrech. Ve směru staničení převažují srážky s pevnou překážkou a havárie, přičemž srážky s vozidly jsou

zastoupeny minimálně, opak je pravdou ve směru proti staničení. Zde převažují srážky s ostatními vozidly. Autor se domnívá, že se spolu s nižším množstvím dopravních nehod ve směru proti staničení dá tento jev vysvětlit tím, že směr proti staničení je na vnitřním jízdním pruhu ve směrovém oblouku a tudíž pokud dojde ke ztrátě kontroly nad vozidlem, přechází vozidlo do protisměru. V případě, že v protisměru nejede žádné vozidlo, existuje možnost, že se nehodě ještě předejde, avšak pokud v protisměru vozidlo jede, dochází ke srážce. Tomuto tvrzení se zdá odpovídat nepoměr v procentu zraněných osob ve směru proti staničení. Pokud řidič ztratí kontrolu nad vozidlem ve vnějším jízdním pruhu, tedy po směru staničení, následuje téměř jistě srážka se svodidly. To s největší pravděpodobností má za následek nižší pravděpodobnost zranění ve směru staničení a relativně malé procento srážek s jiným vozidlem.

4.2.1 Vyhodnocení nehod ve směru staničení

Ve směru staničení přijíždějí řidiči do řešené lokality z oblasti s velmi velkorysým vedením. Oblast je dobře přehledná a směrové oblouky jsou mírné. Po této oblasti následuje prudká levotočivá zatáčka za táhlým vrcholovým zaoblením.



Graf 5: Počet dopravních nehod podle denní doby s rozdělenou viditelností

Tabulka 12: Tabulka druhů dopravních nehod podle četnosti

Druh nehody	Počet nehod
Srážka s pevnou překážkou	23
Havárie	16
Srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	8
Srážka s lesní zvěří	1

Graf 5 poukazuje na výskyt dopravních nehod podle denní doby, rozdělených podle stavu viditelnosti. Graf je pro ilustraci doplněn intenzitou provozu, získanou z měření dopravním detektorem, které je řešeno v kapitole 4.3.

Podle předchozí tabulky 12 jde vidět, že v tomto směru převažují srážky s pevnou překážkou a havárie, tedy nehody jednoho vozidla jedoucího způsobem neodpovídajícím podmínkám v daném úseku. To ilustruje tabulka 13, ze které vyplývá, že většina dopravních nehod v tomto směru je skutečně způsobena nepřizpůsobením rychlosti. Z těchto informací lze udělat závěr, že se jedná o úsek, o kterém řidiči buď nejsou dostatečně informováni a tudíž do něho přijíždí nepřipraveni, nebo přijíždějí s vědomím změny podmínek jízdy, ale podcení její vážnost. Dále vezmeme v potaz, že při 29 nehodách došlo ke smyku (60,4%).

Tabulka 13: Tabulka příčin dopravních nehod podle četnosti

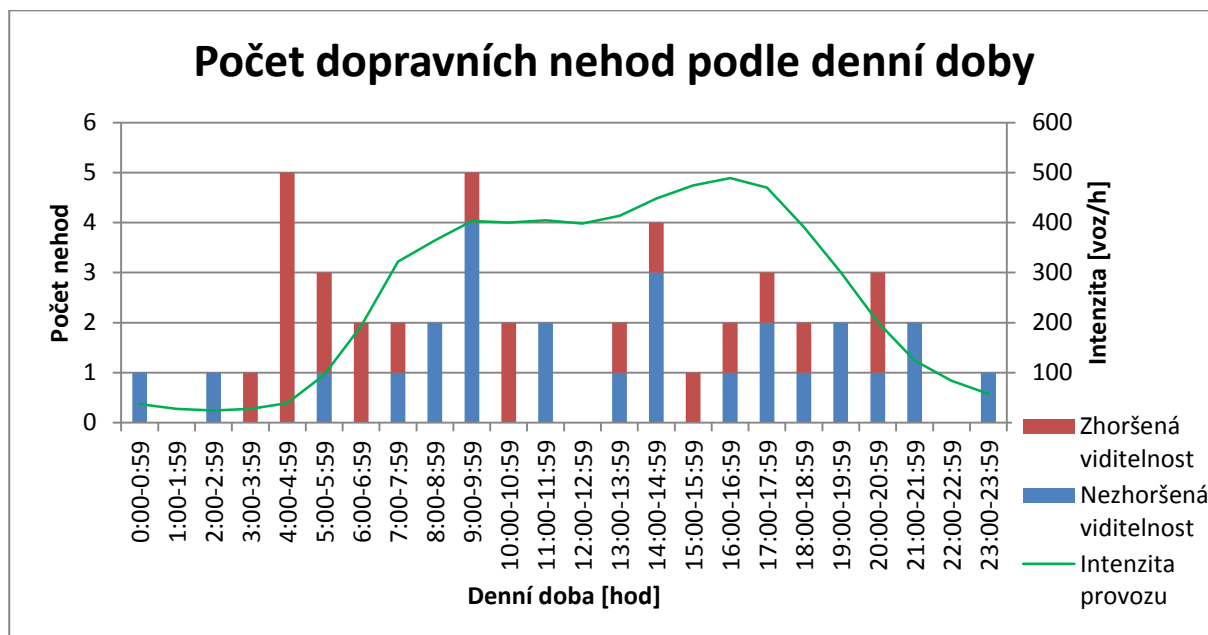
Příčina nehody	Počet nehod
Nepřizpůsobení rychlosti dopravně technickému stavu vozovky (zatáčka, stoupání, klesání, šířka apod.)	24
Nepřizpůsobení rychlosti stavu vozovky (náledí, výtluky, bláto, mokry povrch apod.)	14
Nepřizpůsobení rychlosti viditelnosti (mlha, soumrak, jízda na tlumená světla apod.)	3
Řidič se plně nevěnoval řízení vozidla	2
Nezvládnutí řízení vozidla	2
Nezaviněná řidičem	1
Nepřizpůsobení rychlosti vlastnostem vozidla a nákladu	1
Vjetí na nezpevněnou krajnici	1

4.2.1.1 Závěry z vyhodnocení nehod ve směru staničení

Druh a příčina nehod v tomto směru poukazují na nedostatečné uvedení změny dopravního režimu, neuvedení závažnosti této změny a jako následek smyk či vyjetí z jízdního pruhu, popřípadě srážka se svodidly. Nepřizpůsobení rychlosti stavu vozovky či viditelnosti je převažující příčinou nehod a následkem toho převažuje srážka s pevnou překážkou či havárie.

4.2.2 Vyhodnocení nehod proti směru staničení

Ve směru proti staničení projíždějí řidiči do řešeného úseku nejprve zalesněnou oblastí se směrovými oblouky nedovolujícími vyšší rychlost (oblast s nejvyšší povolenou rychlostí 50 km/h) a následně kombinací údolnicový – vrcholový – údolnicový oblouk (trasa stoupá nahoru, poté přes horizont klesá a opět se narovná) a přibližně 130 metrů přímým úsekem před řešeným směrovým obloukem, za nímž končí omezení nejvyšší povolené rychlosti. Na rozdíl od protějšího směru, zde vyvýšená část trasy při dobrém počasí nabízí dostatečný výhled na přicházející směrový oblouk.



Graf 6: Počet dopravních nehod podle denní doby s rozdělenou viditelností

Tabulka 14: Tabulka druhů dopravních nehod podle četnosti

Druh nehody	Počet nehod
Srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	16
Havárie	13
Srážka s pevnou překážkou	3
Srážka s lesní zvěří	1

Graf 6 opět ukazuje množství dopravních nehod podle denní doby a viditelnosti. Pro ilustraci je opět doplněna intenzita.

V tomto směru převažuje srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem, jak ukazuje tabulka 14. To se dá částečně vysvětlit pravotočivým směrovým obloukem (vozidlo jede po vnitřní straně a při nezvládnutí řízení přejíždí do protisměru). To také vysvětluje horší následky na zdraví a životě. Tabulka 15 ukazuje prakticky všechny nehody zapříčiněny nepřizpůsobením rychlosti. Menší množství dopravních nehod lze také připsat směru směrového oblouku, jelikož nezvládnutí řízení, které by v protějším směru znamenalo srážku se svodidly, se dá v tomto směru (pokud je protisměrný pruh volný) zvládnout bez vzniku dopravní nehody. Smyk nastává v tomto směru v 87,9% nehod.

Tabulka 15: Tabulka příčin dopravních nehod podle četnosti

Příčina nehody	Počet nehod
Nepřizpůsobení rychlosti stavu vozovky (náledí, výtluky, bláto, mokrá povrch apod.)	20
Nepřizpůsobení rychlosti dopravně technickému stavu vozovky (zatáčka, stoupání, klesání, šířka apod.)	11
Nezaviněná řidičem	1
Nepřizpůsobení rychlosti viditelnosti (mlha, soumrak, jízda na tlumená světla apod.)	1

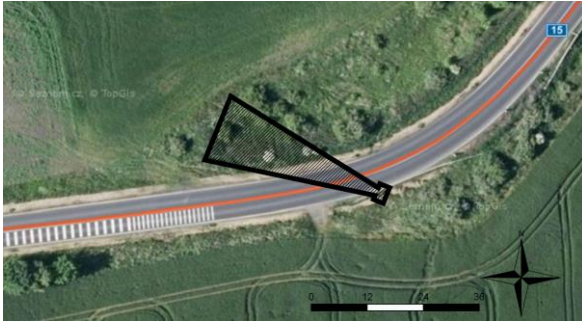
4.2.2.1 Závěry z vyhodnocení nehod proti směru staničení

Dopravní nehody v tomto úseku jsou zapříčiněny téměř vždy nepřizpůsobením rychlosti. Následky těchto nehod jsou horší, jelikož je výsledkem často srážka s jiným vozidlem, namísto srážky se svodidly. To je s největší pravděpodobností způsobeno jízdou ve vnitřní části směrového oblouku, která nabízí možnost vjezdu do protisměrného jízdního pruhu.

Více dopravních nehod se stává za snížené viditelnosti a ve většině nehod dochází ke smyku.

4.3 Aktuální měření parametrů dopravního proudu v řešené lokalitě

Měření parametrů dopravního proudu probíhalo celkem 32 dní a to mezi 17. 2. 2017 a 23. 4. 2017. Za tuto dobu bylo zaznamenáno celkem 162 524 vozidel. Měřeno bylo na výjezdu ze zatáčky ve směru proti staničení, jak lze vidět na obrázku 39. Obrázky 40,41 a 42 ukazují použitou měřicí techniku, dopravní detektor Sierzega SR4. Tento dopravní detektor měří každé projeté vozidlo a zaznamenává o něm datum a čas průjezdu, délku vozidla, rychlost, kategorii, odstup od předchozího vozidla a směr průjezdu. Kategorie je odvozena z délky vozidla. Problémem tohoto způsobu měření je, že při vyšší intenzitě dochází k takzvanému překryvu vozidel, kdy vozidlo v bližším pruhu zakryje vozidlo jedoucí v protějším směru, které pak nemůže být přesně zaměřeno. Informace o intenzitě tedy nejsou zcela věrohodné. Pro toto měření je však důležitější informace o rychlosti a odstupu vozidel.



Obrázek 39: Umístění radaru v mapě

Zdroj: mapy.cz



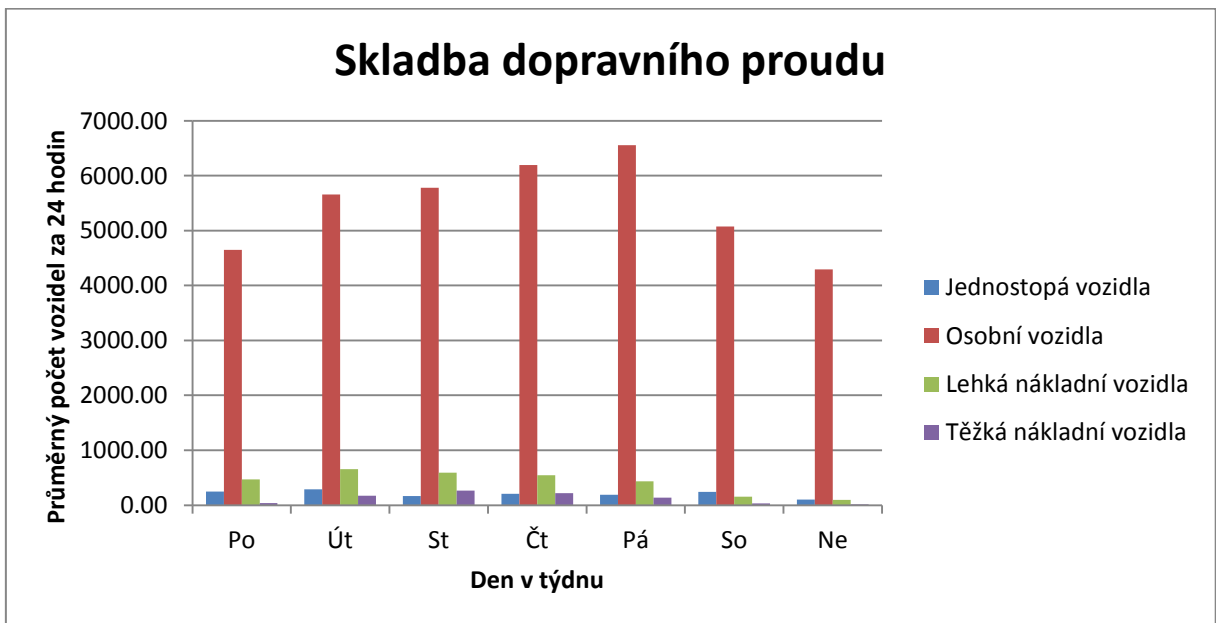
Obrázek 40: Směr měření



Obrázek 41: Dopravní detektor Sierzege SR4 uzavřený

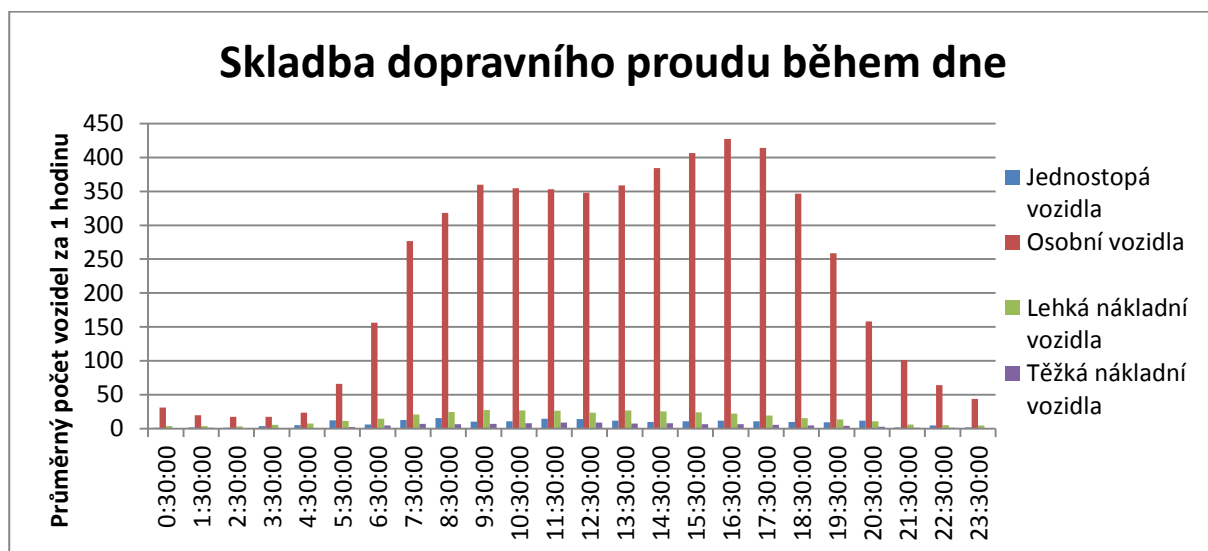


Obrázek 42: Dopravní detektor Sierzege SR4 otevřený

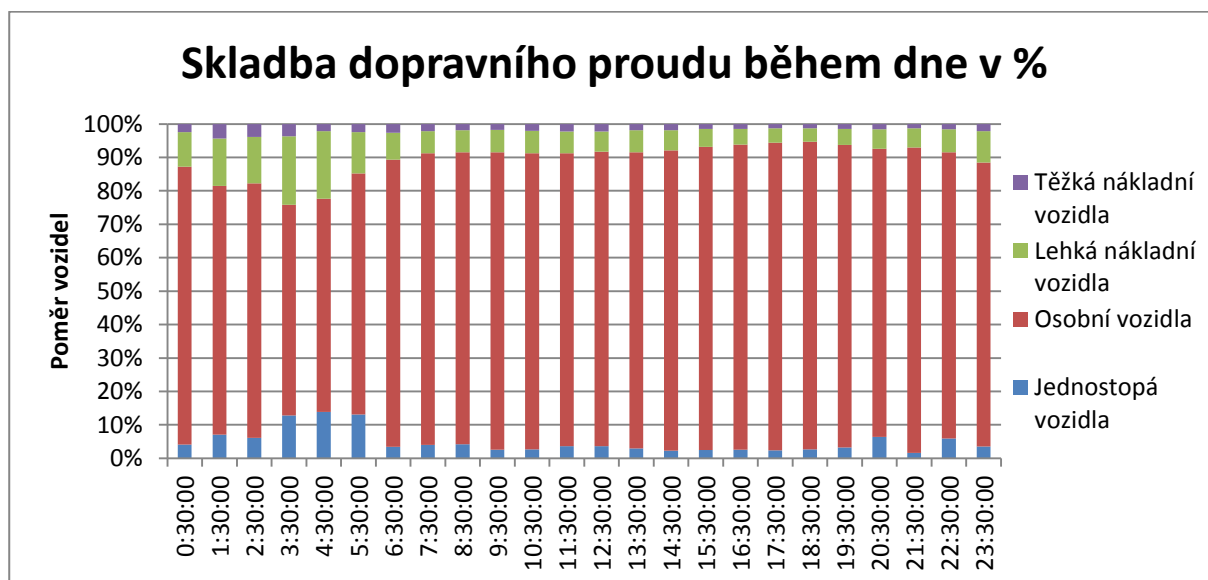


Graf 7: Skladba dopravního proudu

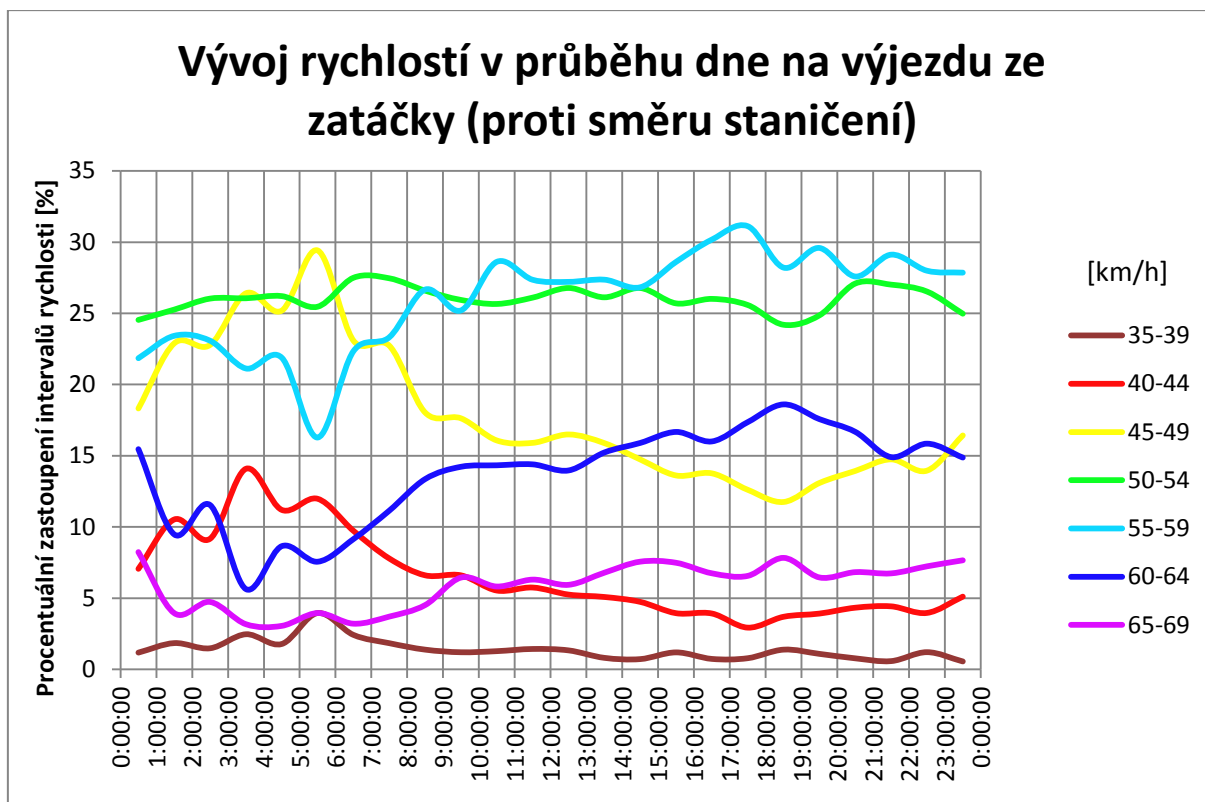
Jak lze vidět na grafu 7, převážné množství vozidel v řešené lokalitě tvoří vozidla osobní. Graf 9 poukazuje na zvýšené množství nákladních vozidel v brzkých ranních hodinách, nicméně v tomto případě se jedná spíše o nízké množství osobních vozidel, než o zvýšené množství vozidel nákladních, jak lze vidět z grafu 8.



Graf 8: Skladba dopravního proudu během dne



Graf 9: Skladba dopravního proudu během dne v procentech

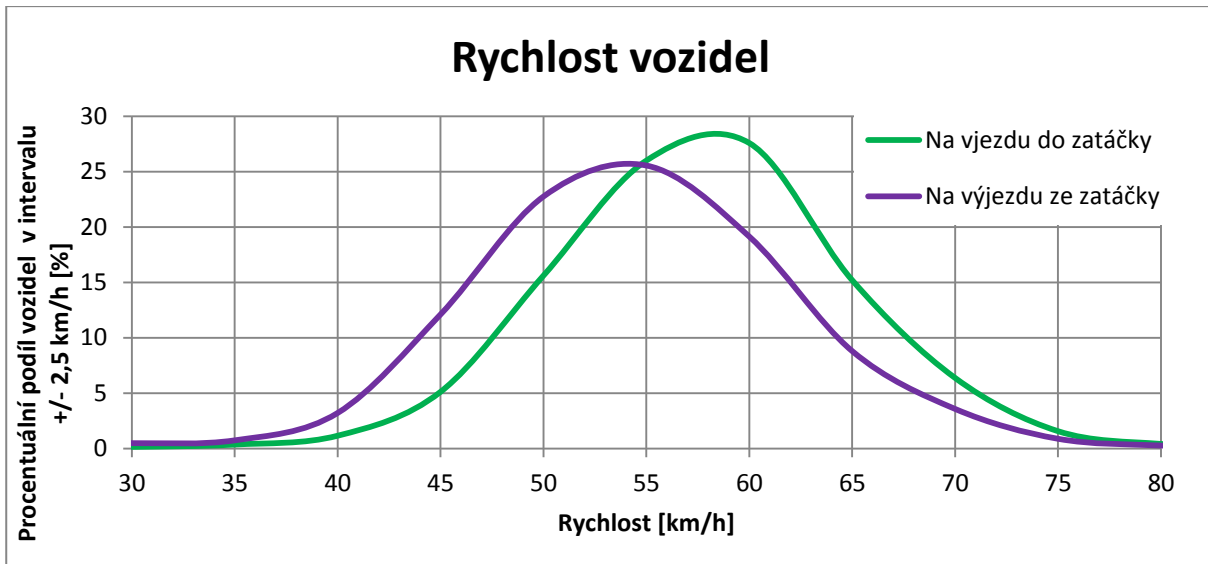


Graf 10: Změny rychlostí v průběhu dne

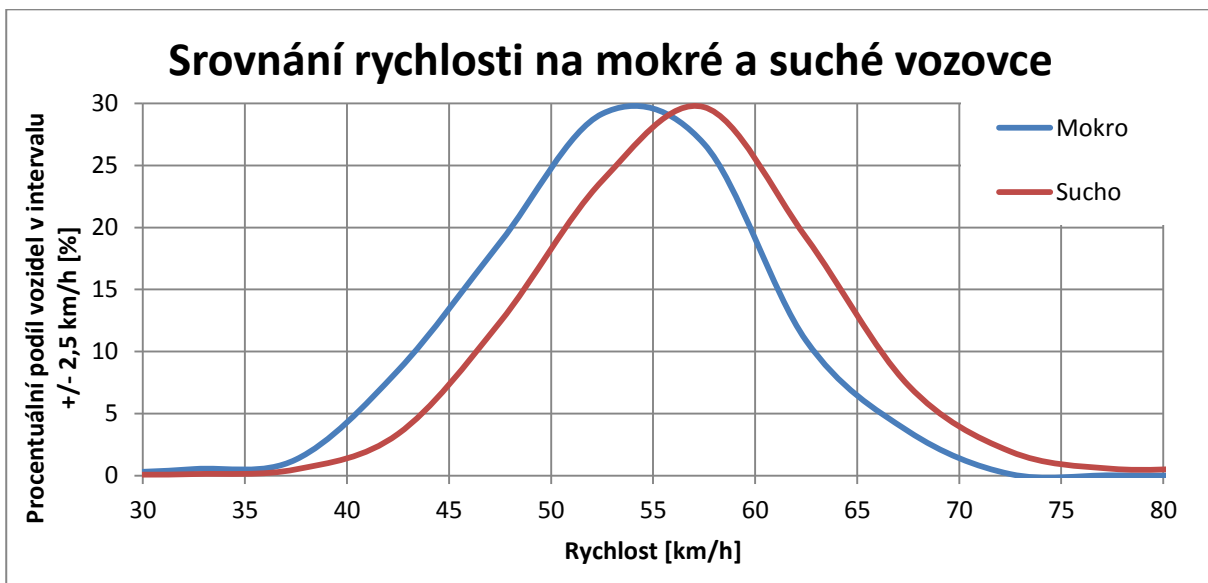
Graf 10 detailně ukazuje podíl intervalů rychlosti v průběhu dne. Jedná se o soubor všech dat, tedy nehledě na počasí a jiné faktory. Lze vypožorovat, že v ranních hodinách převládá rychlost mezi 45 a 49 km/h. Poměr vozidel jedoucích 55 km/h a více během noci výrazně ubývá, oproti tomu zvláště 40 až 49 km/h značně narůstá. Interval 50-54 km/h, kterým během celého dne místem projede 26% vozidel, je hraniční, intervaly nad ním během noci ubývají a během dne přibývají, intervaly pod ním se chovají obráceně.

Následující grafy 11 a 12 ukazují rozdíly v rychlostech na vjezdu do a výjezdu ze zatáčky v případě grafu 11 a rychlost na suché a na mokré vozovce v případě grafu 12. Pro účely grafu 12 byly vybrány dva dny, a to sobota 18. 3. 2017 jako reprezentant mokrého počasí a sobota 25. 3. 2017 za suché počasí. Jedná se o stejné dny v týdnu po sobě následující, kdy celý den byla vozovka suchá v případě 25. a mokrá v případě 18.

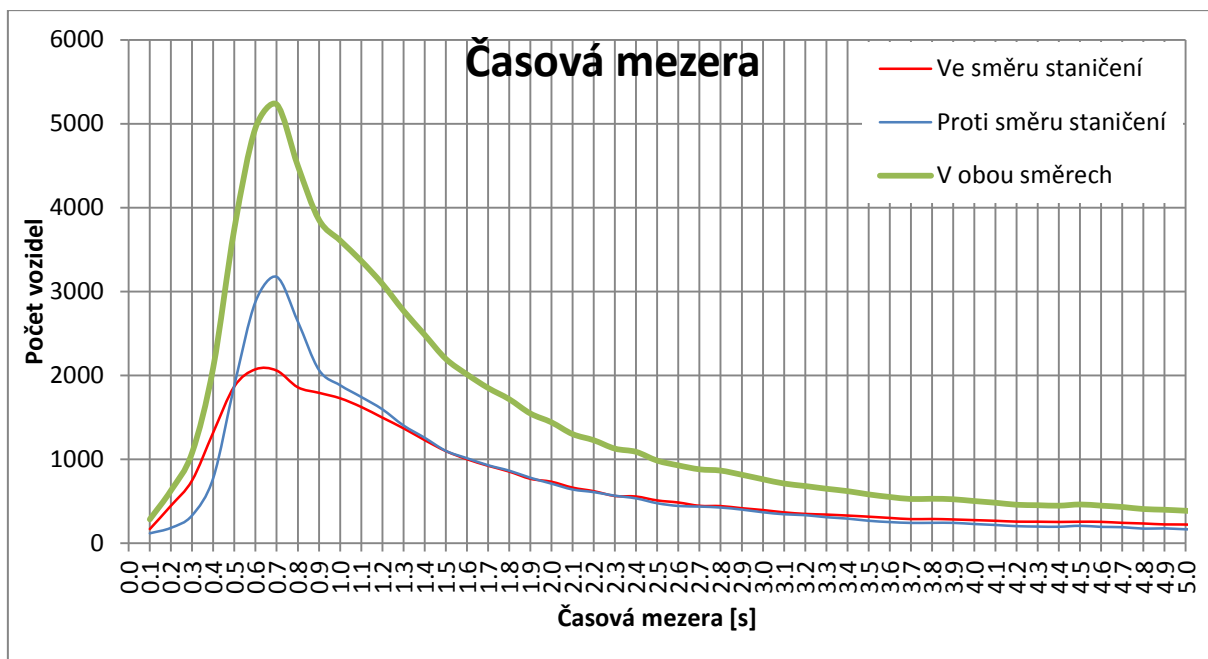
Na všech třech grafech můžeme pozorovat vrchol okolo 55-60 km/h, což je rychlost, ve které se dá zatáčka pohodlně projet.



Graf 11: Srovnání rychlosti vozidel na vjezdu a výjezdu ze zatáčky

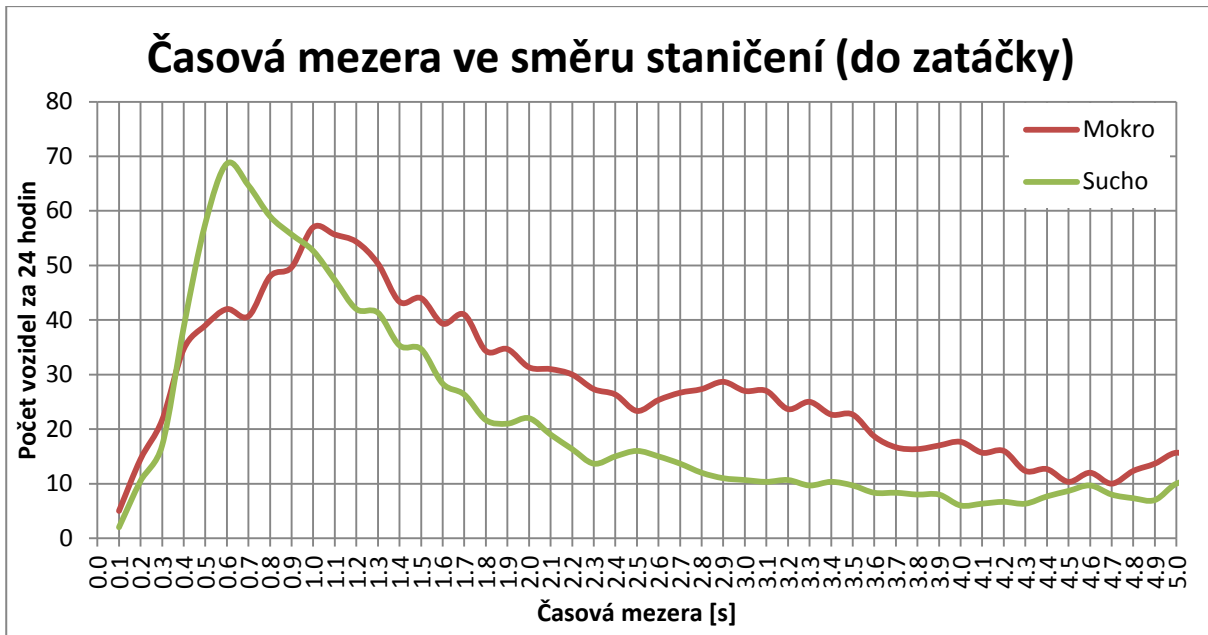


Graf 12: Změny rychlostí na suché a mokré vozovce



Graf 13: Časová mezera během celého měření

Graf 13 ukazuje časové mezery za dobu celého měření. Detektor vrací hodnoty mezer s přesností na jedno desetinné místo, a proto nebyly použity intervaly, ale každá hodnota mezery byla vynesena zvláště. Nejčastější mezera je v okolí 0,6-0,8 s, což je vzhledem k místním podmínkám mezera značně nízká. Graf 14 používá stejný soubor dat jako graf 12. Hodnoty jsou ze stejných dnů v týdnu s rozdílem, že celý jeden den byla vozovka mokrá a druhý suchá. Nejčastější mezera se v tomto případě posunula na mnohem bezpečnější hodnotu 1,0 s.

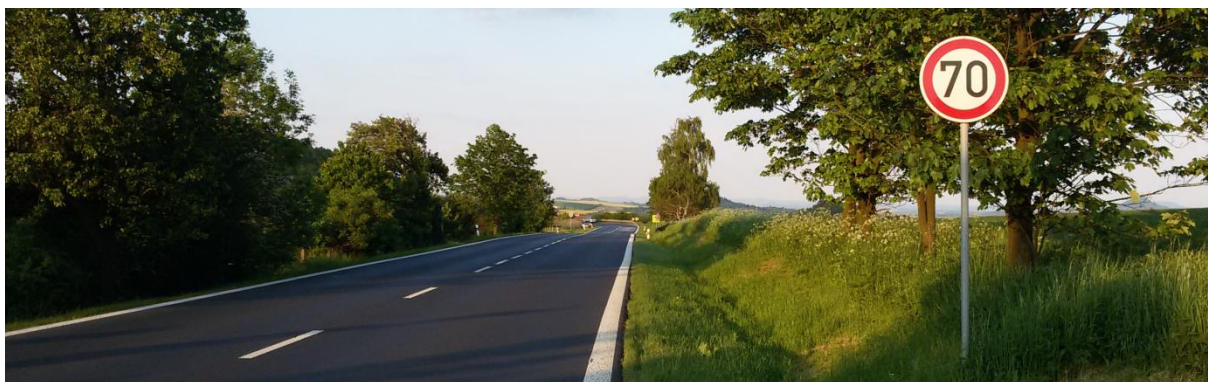


Graf 14: Časová mezera za mokra a za sucha

5 Návrh řešení situace ve vybraném silničním úseku

5.1 Zhodnocení momentální situace

Ve směru staničení se nachází první svislé dopravní značení (SDZ) 170 metrů před řešenou zatáčkou. Jedná se o B20a Nejvyšší povolená rychlost 70 km/h, jak lze vidět na obrázku 43. Toto místo se nachází pod horizontem tvořeným výškovým obloukem a není jednoznačně patrné, z jakého důvodu jsou řidiči nuceni snížit na přímém úseku rychlost.



Obrázek 43: SDZ B20a Nejvyšší povolená rychlost 70 km/h, pohled ve směru staničení



Obrázek 44: SDZ A02b + E04, B20a (50 km/h v retroreflexní úpravě)

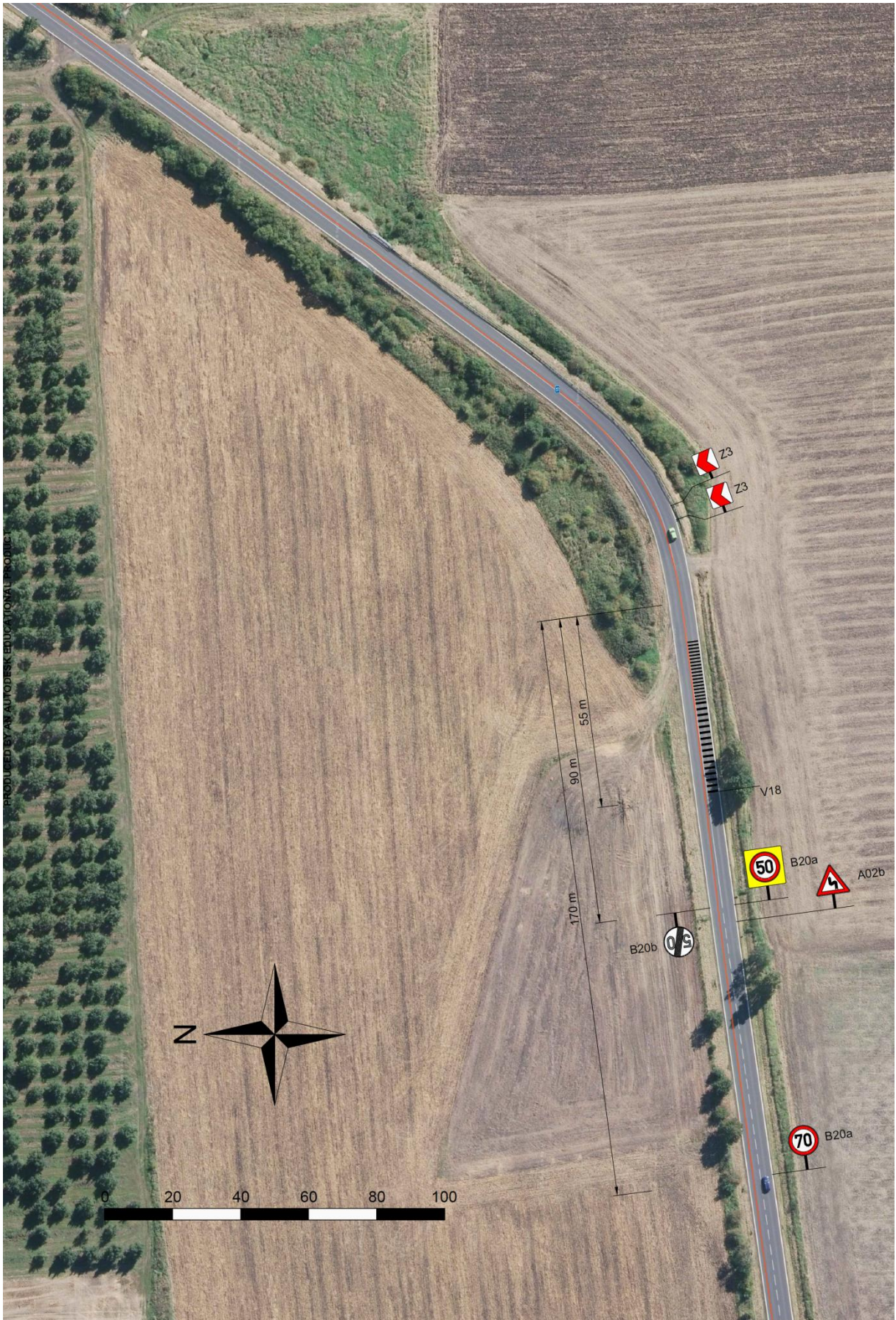
Na obrázku 44 lze vidět následující SDZ 90 metrů před řešenou zatáčkou A02b „Dvojitá zatáčka, první vlevo“ spolu s E04 „Délka úseku“. S použitím tohoto značení nemohu souhlasit, jelikož zde se jedná o izolovanou zatáčku, za kterou následuje téměř 500 metrů

dlouhý přímý úsek. Vedle lze vidět SDZ B20a „Nejvyšší povolená rychlost“ 50 km/h v retroreflexní úpravě. Před zatáčkou se nachází vodorovné dopravní značení (VDZ) V18 „Optická a psychologická brzda“. Uvnitř zatáčky se nachází 2x Z3 „Vodící tabule“, z nichž jedna je ohnutá a tudíž hůře viditelná. V protějším směru (proti staničení) se nenachází žádné vodorovné ani svislé dopravní značení, jak lze vidět na obrázku 45.



Obrázek 45: Příjezd k řešené lokalitě proti směru staničení

Je jasné, že proti směru staničení zcela chybí jakékoliv upozornění, že vozidlo vjíždí do úseku se zvýšeným rizikem vzniku dopravní nehody a je nutno řidiče na tuto skutečnost upozornit. Ve směru staničení je na přímém úseku řidiči nejprve dána informace, že má snížit rychlost na 70 km/h, avšak z tohoto místa není vidět důvod pro snížení rychlosti a je tedy na místě předpokládat nižší respektování ze strany řidičů. 90 metrů před zatáčkou se nachází první znamení upozorňující na to, že řidič vjíždí rizikového úseku. Jedná se o retroreflexní provedení SDZ B20a. Od tohoto místa se stále dá osobním vozidlem bezpečně zabrzdít z rychlosti 120 km/h do rychlosti, ve které je možný bezpečný průjezd. Přibližně ve vzdálenosti 55 metrů od zatáčky se nachází optická a psychologická brzda s akustickým efektem, která je velice účinná v zajištění pozornosti řidiče. Přehledné umístění současného značení je na obrázku 46.



Obrázek 46: Současný stav značení řešeného úseku

5.2 Návrh řešení vybraného úseku

Analýza řešeného úseku ve 4. kapitole ukázala na několik prvků podílejících se vyšší mírou na nehodovosti v tomto úseku a to je především: nepřizpůsobení rychlosti, zvýšené riziko za snížené viditelnosti, častý výskyt smyku při nehodách a krátká časová mezera mezi vozidly.

Nepřizpůsobení rychlosti může být výsledkem řady faktorů. V případě jízdy ve směru staničení míjí řidič v současném stavu dvakrát svislé dopravní značení snižující povolenou rychlost, jednu z nich v retroreflexní úpravě, a SDZ „Dvojitá zatáčka, první vlevo“. Dá se tedy předpokládat, že toto není případ, kdy by řidič přehlédl dopravní značení. V tomto případě bylo v návrhu řešení dbáno na zvýšení důležitosti daného značení použitím dvou B20a „Nejvyšší povolená rychlost“ v retroreflexní úpravě na obou stranách komunikace. Všechna SDZ typu B20a jsou doplněna A01a „Zatáčka vpravo“ nebo A01b „Zatáčka vlevo“. Pointou této úpravy je to, že řidiči mají vyšší tendenci respektovat dopravní značení, pokud je vysvětleno, proč je od nich dané chování požadováno. Cílem je tedy dosažení vyšší nutnosti snížení rychlosti v očích řidiče. SDZ A02a „Dvojitá zatáčka, první vlevo“ bylo posunuto za řešený úsek ve směru staničení a před zatáčkou bylo nahrazeno SDZ A01b „Zatáčka vlevo“, jelikož na novém místě lépe vystihuje charakter nadcházejícího úseku, tedy prudké zatáčky s krátkými přímými úseky. Na druhé straně A01b na místě před řešenou zatáčkou rázněji předává informaci, že před řidičem je jedna důležitá zatáčka, kterou by neměl ignorovat.

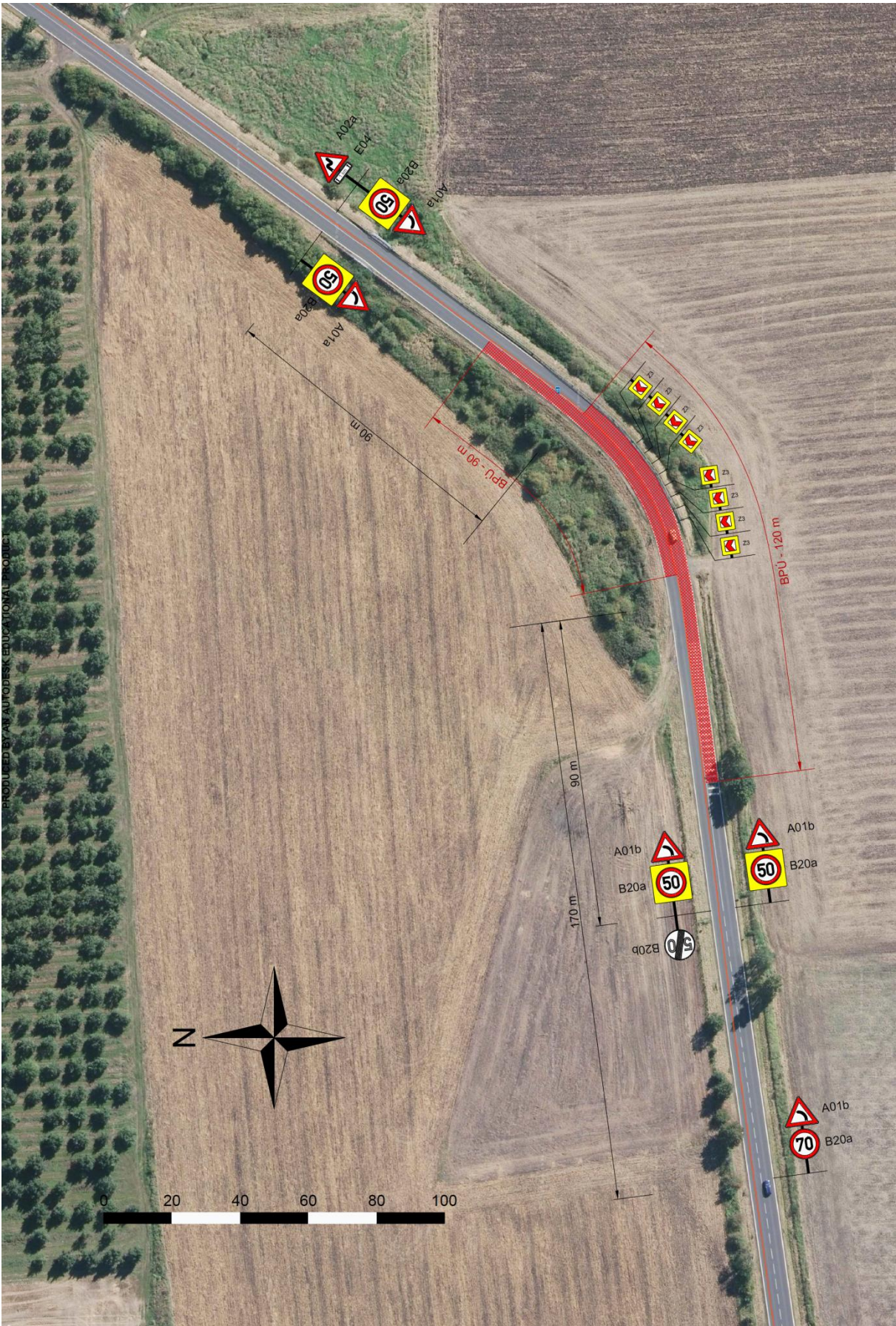
Na vjezdu z druhé strany, proti směru staničení, je umístěna stejná kombinace SDZ a to B20a + A01a/b na obou stranách komunikace. Umístění svislého značení na obou stranách komunikace má v tomto případě dva primární účely a to zvýšení důležitosti předávané informace a tím dosažení nižšího počtu řidičů ignorujících dané značení a také lepší viditelnost značení v případě, kdy jede řidič za větším vozidlem, které mu brání ve výhledu. To by mohlo mít za důsledek přehlédnutí jak SDZ, tak i samotné zatáčky. B20a jsou v tomto směru použity pro připomenutí nejvyšší povolené rychlosti a opět s odůvodněním, proč tomu tak je, pomocí SDZ A01a.

Uvnitř zatáčky je v každém směru 4x SDZ Z3 „Vodící tabule“ v retroreflexní úpravě. Důvod využití této úpravy v takové míře je snaha snížit riziko především za zhoršené viditelnosti, což bývá častým faktorem při nehodách v tomto úseku.

V každém směru byl povrch komunikace vybaven bezpečnostní protismykovou úpravou v úseku před směrovým obloukem a ve značné části samotného směrového oblouku. Počítačová simulace byla použita pro určení míst s nejvyšší pravděpodobností smyku projíždějícího vozidla uvnitř směrového oblouku. Úseky před směrovým obloukem jsou dostatečně dlouhé pro bezpečné snížení rychlosti při agresivnější jízdě. Proti směru staničení je úsek dlouhý pro snížení rychlosti osobního vozidla ze 100 km/h na 70 km/h, což je rychlost, ve které se dá úsek bezpečně projet. Ve směru staničení je úsek dostatečně dlouhý pro snížení rychlosti osobního vozidla ze 120 km/h na 70 km/h, jelikož svým charakterem úsek předcházející řešenému úseku v tomto směru dovoluje jízdu mnohem vyšší rychlostí.

Návrh řešení vybraného úseku lze vidět na obrázku 47.

Hranice úseků s bezpečnostní protismykovou úpravou uvnitř zatáčky byly odvozeny z počítačové simulace v programu Virtual Crash, ten nabízí virtuální prostředí pro řešení například dynamiky jízdy vozidla či vyhodnocení dopravních nehod. Obrázky průjezdů vozidel v obou směrech ilustrují obrázky 48 a 49. Jedná se o průjezd osobního vozidla rychlostí, jež je na hranici mezi průjezdem úseku a kolizí se svodidly případně vyjetí ze silnice. Podle výstupů z této simulace byla vybrána délka úseku, která optimálně pomáhá vozidlům při průjezdu úsekem.



Obrázek 47: Návrh řešení vybraného úseku



Obrázek 48: Brzdné stopy vozidla jedoucího proti směru staničení, výstup ze simulace v programu Virtual Crash 2.2



Obrázek 49: Brzdné stopy vozidla jedoucího ve směru staničení, výstup ze simulace v programu Virtual Crash 2.2

Tabulka 16: Použité svislé dopravní značení

Obrázek	Název	Počet	Cena za kus [Kč]	Celková cena [Kč]
	A01a „Zatáčka vpravo“	2	1 077,-	2 154,-
	A01b „Zatáčka vlevo“	3	1 077,-	3 231,-
	A02a „Dvojitá zatáčka, první vpravo“	1	1 077,-	1 077,-
	B20a „Nejvyšší povolená rychlost“	0	1 077,-	0
	B20a „Nejvyšší povolená rychlost“ na retroreflexním podkladu	3	5 099,-	15 297,-
	Z3 „Vodící tabule“ na retroreflexním podkladu	8	4 235,-	33 880,-
Celkem				55 639,-

Všechny značky v tabulce 16 jsou uvedeny cenou s DPH. Nutné příslušenství pro instalaci zmíněného značení popisuje tabulka 17. Počítá se s použitím dopravního značení, které se již na řešeném úseku nachází a není poškozeno. Takovéto značení tedy není zahrnuto ve výpočtu ceny.

Tabulka 17: Příslušenství k použitému svislému dopravnímu značení

Zdroj: <http://www.adoz-znaceni.cz>

Počet	Výrobek	Cena s DPH [Kč]	Celková cena
11	Sloupek Ø 70 mm, délka 3,5 m	699,-	7 689,-
11	Plastové víčko Ø70	30,-	330,-
22	Objímka na trubku Ø70	2x91,-	2 002,-
Celkem			10 021,-

Ceny jsou pouze orientační, převzaty byly pro účely přibližného určení ceny úpravy z online obchodu www.adoz-znaceni.cz.

Tabulka 18: Cena bezpečnostní protismykové úpravy povrchu

	Směr	Rozměr [m]	Cena s DPH [Kč]
Bezpečnostní protismyková úprava povrchu vozovky	ve směru staničení	120 x 3,5 = 420	319 200
	proti směru staničení	90 x 3,5 = 315	239 400,-
Celkem			558 600,-

Na základě dvou smluv o dílo na provedení protismykového bezpečnostního povrchu mezi objednatelem Správa a údržbou silnic Jihomoravského kraje a zhotovitelem Stavba a údržba silnic s.r.o. z roku 2016 byla stanovena cena protismykového bezpečnostního povrchu na 760 Kč/m². Tato cena byla použita pro výpočet odhadované ceny v tabulce 18.

Tabulka 19: Celkové náklady

Název	Cena [Kč]
Svislé dopravní značení	55 639,-
Příslušenství SDZ	10 021,-
Bezpečnostní protismyková úprava povrchu vozovky	558 600,-
Celkem	624 260,-

Celková cena navržené úpravy tedy vyšla podle tabulky 19 na 624 260 Kč. Jedná se pouze o zlomek částky 51 259 274 Kč ekonomické ztráty vyčíslené systémem INFOBESI pouze za léta mezi 2008 a 2015. Na základě toho se dá konstatovat, že se jedná o ekonomicky přijatelnou investici.

6. Závěr

Tato práce si dala za cíl jednoduchým způsobem popsat vybrané zákonitosti vzniku dopravních nehod a tyto znalosti aplikovat na reálnou situaci. Výsledkem je návrh řešení nehodové lokality, který pokrývá všechny aspekty, které byly shledány v analýze tohoto úseku jako nebezpečné.

První kapitola se zaměřila nejprve na základní charakteristiky dopravní nehody, rozebrala vybranou definici a poté se zaměřila na člověka, jakožto faktor dopravního proudu, nejvíce zodpovědný za vznik dopravních nehod. Detailně byla rozebrána reakční doba, a co ji ovlivňuje, stejně jako vjemy řidiče a jejich ovlivnění, pozornost a nakonec ovlivnění alkoholem. Tato kapitola zmínila dva experimenty. První na zjištění reakční doby v reálném provozu, což je nejen užitečné pro analýzu dopravních nehod v soudním znalectví, ale také pro další účely, jako například určení vhodné vzdálenosti výstražného dopravního značení apod. Druhý experiment byl na určení míry ovlivnění délky reakční doby řidiče požitím alkoholických nápojů. Alkohol jako takový je velmi diskutované téma a to do jisté míry oprávněně, jelikož je nesmírně nebezpečný nejen za volantem.

Druhá kapitola se zaměřila na pozemní komunikace, ta má mnoho prvků, které se musí pečlivě navrhovat, stavět a udržovat, aby komunikace plnila svou roli. Směrové a výškové vedení, povrch komunikace, stav okolní zeleně, dopravního značení a další řada prvků přímo ovlivňují pohyb vozidla a pochopitelně i bezpečnost tohoto pohybu. Specifickými kombinacemi těchto prvků se může vytvořit místo na komunikaci, které je znatelně bezpečnější, než okolní komunikace, ale stejně tak místo, které je výrazně nebezpečnější. Důvod nehody „řidič nepřizpůsobil rychlost stavu vozovky“ znamená mimo fakt, že řidič měl stavu vozovky přizpůsobit rychlost, také to, že vozovka byla ve stavu, který vyžadoval upravení rychlost. Dalo by se tedy argumentovat, že pozemní komunikace jakožto faktor vzniku dopravních nehod by si zasloužil daleko více „zásluh“, než je jí v dnešní době dán. Mimo poruch vozovek se kapitola zaměřuje také na jejich údržbu, hodnocení stavu, zvláště povrchových vlastností, zlepšení těchto vlastností bezpečnostními protismykovými úpravami povrchu a dále svodidly, jako zástupci záchytných systémů, pomáhajících zmírňovat následky dopravních nehod.

Třetí kapitola se zaměřila na zpracování dat. Jelikož analýza řešeného úseku obsahovala velké množství dat jak při zpracování nehod, tak také při zpracování dat o dopravním proudu. Různé způsoby zpracování, stejně jako různé způsoby filtrace, mohou značně ovlivnit samotný výsledek a proto je potřeba data zpracovat tak, aby byla vhodná pro

interpretaci, ale aby neztratila informaci, kterou předávají. Tato kapitola udělala tedy rychlý pohled na cestu dat od měření až po interpretaci.

Čtvrtá kapitola se zaměřila na samotný nehodový úsek. Prvním bodem bylo seznámení se s řešeným úsekem a jeho základními charakteristikami. Kde se nachází, co spojuje a řada dalších prvků může ovlivnit, jak se na řešenou lokalitu dívat. Následovala analýza dopravních nehod v tomto úseku. Tato analýza měla za cíl vybrat z dostupných dat o nehodách to, co v tomto úseku má za následek vznik takového množství nehod a tím pádem na co se má návrh řešení této lokality zaměřit, aby efektivně zmírnil riziko vzniku dopravních nehod. Následovala analýza parametrů dopravního proudu. Ta měla za cíl zjistit, zda se v nich nevyskytuje něco, co by mělo za následek větší sklon k vzniku dopravních nehod, nebo co by v kombinaci s dosud známými informacemi mohlo vést k tomuto riziku.

Pátá kapitola zhodnotila nynější stav dopravního značení a jeho adekvátnost. Následoval návrh řešení vybraného úseku za účelem snížení rizika vzniku dopravních nehod. Byla odhadnuta finanční náročnost takového řešení a konstatovalo se, že vzniklý návrh je ekonomicky i technicky přijatelný.

7. Použité zdroje

7.1 Literatura

[lit.1] Jan Chmelík a kolektiv: *Dopravní nehody*, Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2009

[lit.2] – Šachl, J., Šachl, J., (ml.), Schmidt, D., Mičunek, T., Frydrýn, M.: *Analýza dopravních nehod v silničním provozu*, Praha, 2008

[lit.3] – Ing. Vlastimil Rábek, Ph.D: *Vnímání a rozhodování účastníků silničního provozu – denní doba*, Olomouc: (Herausgeber) PROPERUS s.r.o., 2014

[lit.4] – Jan Zajíček a kolektiv: *Technologie stavby vozovek*, Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2014

[lit.5] – Prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.: *Inteligentní dopravní systémy a dopravní telematika II*, Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007

[lit.6] – TP 213 Bezpečnostní protismykové úpravy povrchů vozovek

[lit.7] – TP 114 Svodidla na pozemních komunikacích

7.2 Internetové zdroje

Celostátní sčítání dopravy 2010: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/map/default.aspx>

Aplikace Nehodová místa: <http://portal.dopravniinfo.cz/nehodova-mista>

Ceny dopravní značení: <http://www.adoz-znaceni.cz/e-shop>

Google Maps: <https://www.google.cz/maps/>

Mapy.cz: <https://mapy.cz>

7.3 Jiné zdroje

Výukové materiály předmětu Teorie provozu na pozemních komunikacích (12TEPR), vyučované na Fakultě dopravní ČVUT

8. Seznam obrázků

Obrázek 1: Geometrické uspořádání pokusu	17
Obrázek 2: Pohled do ulice, kde byla prováděna měření, bližší pohled na fotbalový míč, který byl podnětem k reakci	17
Obrázek 3: Zkušební aparatura pro zjištění závislosti reakční doby na hladině ovlivnění požitím alkoholických nápojů	20
Obrázek 4: Výtlučky (vlevo), Rozpad konstrukčních vrstev (vpravo)	22
Obrázek 5: Mozaikové trhliny (vlevo) a síťové trhliny (vpravo)	24
Obrázek 6: Olamování okrajů vozovky (vlevo) a plastické přetváření nekvalitního asfaltového krytu (vpravo).....	25
Obrázek 7: Názvosloví z hlediska délky vlny	27
Obrázek 8: Charakteristiky protismykových vlastností povrchu vozovky	27
Obrázek 9: Zóny interakce mezi pneumatikou a povrchem vozovky	29
Obrázek 10: Zóny dotykové oblasti pneumatiky a vozovky	29
Obrázek 11: Výtokoměr	30
Obrázek 12: Kyvadlo.....	31
Obrázek 13: Schéma zařízení pro měření součinitele podélného a bočního tření	32
Obrázek 14: Příklad umístění BPÚ před přechodem pro chodce	33
Obrázek 15: Příklad umístění BPÚ ve směrovém oblouku	34
Obrázek 16: Prostorově-časový diagram	42
Obrázek 17: Základní postup při zpracování dat	46
Obrázek 18: Princip filtrace ve frekvenční oblasti	47
Obrázek 19: Silnice I/15.....	51
Obrázek 20: Detail silnice I/15	51

Obrázek 21: Širší okolí řešené lokality	51
Obrázek 22: Směrové vedení okolí řešené lokality.....	52
Obrázek 23: Přímý úsek č. 1 focen proti směru staničení.....	53
Obrázek 24: Směrový oblouk č. 2 focen po směru staničení.....	53
Obrázek 25: Směrový oblouk č. 2 focen proti směru staničení	53
Obrázek 26: Směrový oblouk č. 4 focen proti směru staničení	53
Obrázek 27: Přímý úsek č. 5 focen proti směru staničení.....	53
Obrázek 28: Řešená oblast, směrový oblouk č. 6 focen po směru staničení	53
Obrázek 29: Řešená oblast, směrový oblouk č. 6 focen proti směru staničení	54
Obrázek 30: Řešená oblast, směrový oblouk č. 6 focen po směru staničení	54
Obrázek 31: Řešená oblast, směrový oblouk č. 6 focen proti směru staničení	54
Obrázek 32: Pohled na řešený úsek ve směru proti staničení, přímý úsek č. 7	54
Obrázek 33: Směrové oblouky č. 8 (bližší) a č. 10 (vzdálenější) foceno po směru staničení	54
Obrázek 34: Směrové oblouky č. 10 (bližší) a č. 8 (vzdálenější) foceno proti směru staničení	54
Obrázek 35: Směrový oblouk č. 12 focen po směru staničení.....	55
Obrázek 36: Směrový oblouk č. 12 focen proti směru staničení	55
Obrázek 37: Umístění dopravních nehod v aplikaci Nehodová místa.....	56
Obrázek 38: Situace řešeného úseku s vyznačenými místy všech nehod.....	57
Obrázek 39: Umístění radaru v mapě	65
Obrázek 40: Směr měření.....	65
Obrázek 41: Dopravní detektor Sierzega SR4 uzavřený	65
Obrázek 42: Dopravní detektor Sierzega SR4 otevřený	65
Obrázek 43: SDZ B20a Nejvyšší povolená rychlost 70 km/h, pohled ve směru staničení.....	71
Obrázek 44: SDZ A02b + E04, B20a (50 km/h v retroreflexní úpravě)	71

Obrázek 45: Příjezd k řešené lokalitě proti směru staničení	72
Obrázek 46: Současný stav značení řešeného úseku.....	73
Obrázek 47: Návrh řešení vybraného úseku	76
Obrázek 48: Brzdné stopy vozidla jedoucího proti směru staničení, výstup ze simulace v programu Virtual Crash 2.2.....	77
Obrázek 49: Brzdné stopy vozidla jedoucího ve směru staničení, výstup ze simulace v programu Virtual Crash 2.2.....	77

9. Seznam tabulek

Tabulka 1: Shrnutí výsledků ohledně základní reakční doby osob u pokusů prováděných v běžném provozu	18
Tabulka 2: Základní reakční doba v závislosti na míře ovlivnění požitím alkoholických nápojů při přibližně foveálním (ostrém) vidění.....	20
Tabulka 3: Základní reakční doba v závislosti na míře ovlivnění požitím alkoholických nápojů při periferním vidění	20
Tabulka 4: Úrovně zadržení svodidel "schválených"	36
Tabulka 5: Zatížení svodidel "schválených"	37
Tabulka 6: Minimální úroveň zadržení na silnicích z hlediska ochrany jejího okolí a z hlediska nebezpečných úseků silnic	38
Tabulka 7: Úroveň zadržení na silnicích z hlediska typu silnice.....	38
Tabulka 8: Směrové vedení okolí řešené lokality	52
Tabulka 9: Tabulka označení nehodových lokalit v aplikaci Nehodová místa	56
Tabulka 10: Přehled následků dopravních nehod v řešené lokalitě podle směru.....	58
Tabulka 11: Nejčastější příčiny dopravních nehod v řešené lokalitě podle směru	59
Tabulka 12: Tabulka druhů dopravních nehod podle četnosti	61
Tabulka 13: Tabulka příčin dopravních nehod podle četnosti.....	61
Tabulka 14: Tabulka druhů dopravních nehod podle četnosti	63
Tabulka 15: Tabulka příčin dopravních nehod podle četnosti.....	63
Tabulka 16: Použité svislé dopravní značení	78
Tabulka 17: Příslušenství k použitému svislému dopravnímu značení	79
Tabulka 18: Cena bezpečnostní protismykové úpravy povrchu.....	79
Tabulka 19: Celkové náklady	80

10. Seznam grafů

Graf 1: Vliv hodnocení protismykových vlastností na počet nehod	28
Graf 2: Intenzita vozidel za 24 hodin	41
Graf 3: Počet nehod v řešené lokalitě v jednotlivých letech podle směru	58
Graf 4: Poměr druhů vozidel při nehodách v řešené lokalitě rozdělené podle směrů	59
Graf 5: Počet dopravních nehod podle denní doby s rozdělenou viditelností	60
Graf 6: Počet dopravních nehod podle denní doby s rozdělenou viditelností	62
Graf 7: Skladba dopravního proudu	65
Graf 8: Skladba dopravního proudu během dne.....	66
Graf 9: Skladba dopravního proudu během dne v procentech	66
Graf 10: Změny rychlostí v průběhu dne	67
Graf 11: Srovnání rychlosti vozidel na vjezdu a výjezdu ze zatáčky	68
Graf 12: Změny rychlostí na suché a mokré vozovce.....	68
Graf 13: Časová mezera během celého měření.....	69
Graf 14: Časová mezera za mokra a za sucha	70