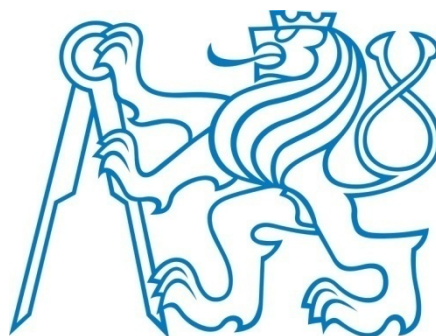




ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ



PŘEMYSL JUNEK

ANALÝZA ROZHLEDOVÝCH PODMÍNEK ŘIDIČE  
S VYUŽITÍM SIMULAČNÍCH PROSTŘEDÍ

Diplomová práce

**2012**

## Zadání diplomové práce





### **Poděkování**

Na tomto místě chci poděkovat především svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, již se mi od nich dostávalo po celou dobu studia.

Dále děkuji všem pedagogům, kteří se výrazně podíleli na mém vzdělávacím i morálním růstu.

Za odborné vedení diplomové práce, připomínky a cenné rady bych chtěl poděkovat především panu Ing. Drahomíru Schmidtovi, PhD. a všem ostatním pracovníkům Ústavu soudního znalectví v dopravě.

### **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

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.

Nemám závažné námitky proti užití 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).

V Praze dne 7. května 2012

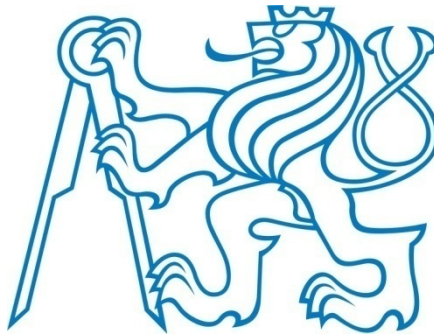
.....

Bc. Přemysl Junek

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

## Analýza rozhledových podmínek řidiče s využitím simulačních prostředí



Diplomová práce

květen 2012

Bc. Přemysl Junek

### **ABSTRAKT**

Předmětem teoretické části diplomové práce je zpracování statistiky o nehodovosti, dále formulování teoretického základu o viditelnosti a rozhledových podmínkách na komunikaci, metodách zaměřování a dokumentování míst pro účely simulací, CA systémech, modelování a simulacích. Předmětem praktické části je tvorba digitálního modelu a nalezení postupů jeho přenositelnosti do simulačního prostředí, vytvoření reálného modelu dopravní situace a řešení rozhledových podmínek.

### **ABSTRACT**

The theoretical part of my Dissertation provides statistic processing of accident frequency, formulation of theoretical base of visibility and sight conditions at the communication, survey methods and location documentation for the purpose of simulation, CA systems, modelling and simulations. The practical part shows developed digital model and finding of process it's transmission into the simulation setting, formation of the real model of traffic situation and solutions of sight conditions.

***„Máme víru v možnosti jiných, v možnosti vlastní a v možnosti lidstva do té míry, do níž jsme sami zažili růst vlastních možností, sílu vlastní moci, rozumu a lásky...“***

*Erich Seligmann Fromm (1900 – 1980), německý a americký psycholog, humanistický filosof a sociolog*

**Obsah**

Seznam odborných termínů a jejich definice .....	- 10 -
Seznam použitých zkratk .....	- 11 -
Úvod .....	- 12 -
1 Statistika nehodovosti .....	- 14 -
1.1 Pojem nehodovost .....	- 14 -
1.2 Sledování nehodovosti .....	- 15 -
1.2.1 Ukazatelé dopravní nehodovosti .....	- 16 -
1.2.1.1 Ukazatel relativní nehodovosti .....	- 17 -
1.2.1.2 Integrovaný ukazatel relativních ztrát .....	- 17 -
1.3 Vývoj dopravní nehodovosti od vzniku samostatné České republiky .....	- 18 -
1.4 Nehodovost v ČR od roku 1980 .....	- 20 -
1.5 Dopravní nehodovost v ČR ve srovnání se zahraničím .....	- 23 -
1.5.1 Vývoj nehodovosti v Evropě .....	- 23 -
2 Viditelnost a rozhledové podmínky .....	- 26 -
2.1 Návrhové prvky dle ČSN 736101 [12], [24], [25] .....	- 26 -
2.1.1 Všeobecně .....	- 26 -
2.1.2 Návrhová rychlost .....	- 26 -
2.1.3 Směrodatná rychlost .....	- 27 -
2.1.4 Délka rozhledu pro zastavení a předjíždění .....	- 27 -
2.1.5 Rozhled ve směrovém oblouku .....	- 29 -
2.2 Návrhové prvky dle ČSN 736102 [13] .....	- 33 -
2.2.1 Připojovací pruh .....	- 33 -
2.2.2 Odbočovací pruh .....	- 33 -
2.2.3 Rozhled na mimoúrovňových křižovatkách .....	- 34 -
3 Současný stav dokumentování místa pro zaměření a účely simulace .....	- 36 -
3.1 Pořízení dokumentace [2] .....	- 36 -

3.1.1	Topografická dokumentace:.....	- 36 -
3.1.1.1	Náčrtek .....	- 36 -
3.1.2	Fotografická dokumentace .....	- 37 -
3.2	Současné metody dokumentování místa pro zaměření a sběr dat pro účely simulace [2] .....	- 37 -
3.2.1	Geodetické metody zaměřování .....	- 37 -
3.2.1.1	Jednoduché polohové měření .....	- 38 -
3.2.1.2	Polohové měření pomocí přístrojů .....	- 38 -
3.2.1.3	Speciální měření polohopisné.....	- 38 -
3.2.1.4	Fotogrammetrie .....	- 39 -
3.2.1.5	Technologie GPS [17] .....	- 39 -
3.2.1.6	Prostorové laserové skenování [10], [14] .....	- 39 -
3.3	Zhodnocení a výběr metody.....	- 40 -
3.4	Sběr dat pro účely simulace .....	- 41 -
3.4.1	Dynamika vozidla [11].....	- 41 -
3.4.2	Měření dynamiky jízdy automobilu .....	- 43 -
4	CA systémy [29], [37], [38], [39], [15], [22] .....	- 44 -
4.1	Historie a vývoj CA systémů .....	- 44 -
4.2	Rozdělení CA systémů.....	- 45 -
4.3	CAD systémy .....	- 48 -
4.3.1	Přehled vývojářů CAD/CAE software a jejich produktů:.....	- 49 -
4.3.2	Obecné CAD systémy .....	- 49 -
4.3.3	Specializované CAD systémy pro liniové stavby .....	- 50 -
4.3.4	Specializované CAD systémy pro strojírenství (CAE) .....	- 51 -
4.3.5	Specializované CAD systémy pro stavitelství .....	- 51 -
4.3.6	Specializované CAD systémy pro design .....	- 51 -
4.3.7	Ostatní podpůrné aplikace .....	- 52 -

4.3.8	Reprezentace prostorového modelu v CAD systémech .....	- 52 -
4.3.8.1	Drátový model .....	- 52 -
4.3.8.2	Plošný model .....	- 52 -
4.3.8.3	Objemový model .....	- 53 -
4.3.9	AutoCAD .....	- 54 -
5	Modelování a simulace .....	- 55 -
5.1	Systém a model [18] .....	- 55 -
5.2	Simulace [22] .....	- 57 -
5.3	Softwarové prostředky pro simulaci a analýzu DN [23] .....	- 59 -
5.3.1	PC Crash .....	- 60 -
5.3.2	Virtual Crash .....	- 62 -
6	Praktická část diplomové práce .....	- 63 -
6.1	Zadání úlohy .....	- 63 -
6.2	Použité měřicí přístroje .....	- 64 -
6.3	Měření jízdních vlastností automobilu pomocí akcelerometrů .....	- 64 -
6.3.1	Informace o provedení měření .....	- 64 -
6.3.2	Postup měření .....	- 65 -
6.3.3	Vlastní zpracování .....	- 65 -
6.3.4	Závěr .....	- 68 -
6.4	Měření rychlosti na R46 v km 33, Olšany u Prostějova .....	- 69 -
6.4.1	Informace o provedení měření .....	- 69 -
6.4.2	Postup měření .....	- 69 -
6.4.3	Vlastní zpracování .....	- 69 -
6.4.4	Závěr .....	- 74 -
6.5	Zaměření MÚK Olšany pomocí geodetického přístroje .....	- 77 -
6.5.1	Informace o provedení měření .....	- 77 -
6.5.2	Postup měření .....	- 77 -

6.5.3	Vlastní zpracování.....	- 78 -
6.5.4	Závěr .....	- 82 -
6.6	Simulace.....	- 85 -
6.6.1	Informace o provedení simulace .....	- 85 -
6.6.2	Popis modelové situace:.....	- 85 -
6.6.3	Teoretický základ .....	- 86 -
6.6.4	Vlastní zpracování.....	- 89 -
6.6.5	Závěr .....	- 101 -
	Závěr.....	- 102 -
	Seznam použité literatury .....	- 104 -
	Seznam použitých internetových stránek .....	- 106 -
	Seznam tabulek.....	- 107 -
	Seznam grafů .....	- 107 -
	Seznam obrázků.....	- 109 -
	Seznam příloh.....	- 111 -

## Seznam odborných termínů a jejich definice

**Celospolečenské ekonomické ztráty:** jde o průměrnou sumu v korunách, o kterou státní pokladna přijde při lehkém či těžkém zranění nebo úmrtí ekonomicky aktivního člověka. Jde o investici, kterou stát vložil do výchovy, kterou člověk v důsledku svého poškození není schopen svou činností vrátit společnosti.

Pozn.: V roce 2009 toto číslo činilo odhadem něco kolem 11 mil. Kč.

**Nehoda se zraněním:** nehoda obsahující nejméně jedno silniční vozidlo pohybující se na veřejné komunikaci nebo soukromé komunikaci s právem přístupu veřejnosti, která má za následek nejméně jednu zraněnou nebo usmrcenou osobu.

**Usmrcená osoba:** osoba, která zemřela na místě nebo do 30 dnů jako následek nehody se zraněním.

**Zraněná osoba:** osoba, která nebyla usmrcena, ale utrpěla zranění jako následek nehody se zraněním, pro něž je nutné lékařské ošetření.<sup>1</sup>

**Kritický časový odstup:** minimální časový odstup mezi vozidly hlavního proudu, který je daný řidič vozidla ve vedlejším proudu ochoten přijmout pro realizaci svého manévru, tj. k zařazení do hlavního proudu nebo k jeho překřížení (střední hodnota). Závisí nejen na dané křižovatce a jejím uspořádání, na zamýšleném manévru a na dalších vnějších faktorech, ale především se v principu liší pro různé řidiče.

---

<sup>1</sup> Používané mezinárodní definice jednotlivých sledovaných proměnných - nehoda se zraněním, usmrcená osoba a zraněná osoba, jsou čerpány z [6]



**Seznam použitých zkratk**

<i>CDV</i>	Centrum dopravního výzkumu
<i>CSD</i>	Celostátní sčítání dopravy
<i>ČR</i>	Česká republika
<i>DN</i>	Dopravní nehoda
<i>Kč</i>	Korun českých
<i>MDS</i>	Ministerstvo dopravy a spojů
<i>mil.</i>	Milion
<i>OECD</i>	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj ( <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> )
<i>PK</i>	Pozemní komunikace
<i>Sb.</i>	Sbírka
<i>VBM</i>	Výchozí bod měření
$D_{z(p)}$	Délka rozhledu pro zastavení (předjíždění) v m
$R_0$	Poloměr směrového oblouku vztažený k příslušné ose, jízdní stopě apod.
$R_{v(u)}$	Poloměr vypuklého (vydutého) výškového oblouku
$v_{n(s)}$	Návrhová nebo směrodatná rychlost v km/h
<i>SSZ</i>	Světelně signalizační zařízení
<i>SGS</i>	Studentská grantová soutěž ČVUT

## Úvod

Už v bakalářské práci s názvem *Chování řidičů při použití různých výstražných značek*, byla oblast modelování věnována celá praktická část práce, která obsahovala kompletní zpracování cca 1km komunikace. Jejím výstupem byl digitální model komunikace s fotorealistickými výstupy, se simulací průjezdu sledovaného úseku. Stejnými způsoby dochází doposud na Ústavu soudního znalectví v dopravě – 16122 (K622) k vytváření modelů sloužících pro analýzu dopravních nehod. Při takovémto zpracování modelů však dochází k velkému časovému nepoměru mezi fází zpracování modelu a samotnou analýzou dopravní nehody, neboť fáze modelování je časově velmi náročná. Mimo stanovené cíle této práce byla provedena i k hlubší analýza výše uvedeného problému, její závěry a doporučení by měly proces modelování urychlit. Tato analýza se opírá hlavně o předešlé zkušenosti z bakalářské práce, jejíž téma je zde také uvedeno.

V dnešní době existuje velké množství sofistikovaných softwarových nástrojů, které nám umožňují provádět simulace a experimenty různých složitostí, s jejichž použitím se můžeme za pomoci modelů přiblížit reálnému světu. Práce obsahuje i multikriteriální analýzu, zabývající se přenositelností souboru a objektů mezi vybranými softwarovými nástroji.

Metodický přístup ke zpracování této práce je takový, že je přiblížena problematika nehodovosti, následuje formulování teoretického základu problematiky a nakonec je provedeno konkrétní zpracování řešené problematiky.

Cílem této diplomové práce je:

- podrobné zpracování statistických údajů v České republice a porovnání nehodovosti se vzorkem vyspělých států Evropské unie, aby mohl být posouzen skutečný stav
- vymezení a zaměření se na konkrétní problematiku viditelnosti a rozhledových podmínek, vzhledem k řešené oblasti
- popsat současný stav dokumentování místa pro zaměření a nástroje, pomocí nichž lze provádět sběr dat pro účely modelování a simulací
- popis CA systémů a segmentace softwarových nástrojů, pomocí nichž bude vytvořen digitální model na základě zaměřeného reálného povrchu komunikace
- teoretický popis, objasnění a celkové přiblížení procesu modelování a simulace

- praktická část, ve které bude vytvořen reálný model dopravní situace v simulačním prostředí pro analýzu dopravních nehod a řešení rozhledových podmínek

## 1 Statistika nehodovosti

*Ti, kteří chybují, chybují z nedostatku vědění. O chybném jednání víte patrně i sami, že se koná z nevědomosti bez vědění.*

*Platón (427 – 347 př. n. l.), řecký filosof, pedagog a matematik*

V odborné literatuře se uvádí, že první nehoda motorového vozidla v silničním provozu, která skončila smrtí účastníků, se stala 17. srpna 1896 v Londýně. Od té doby se ukazuje, že provoz motorových vozidel, nezbytný v současné době pro život společnosti i jednotlivce, nezůstává bohužel bez následků pro jejich uživatele i ostatní účastníky silničního provozu. Velmi často a velmi mnoho za tuto potřebu spoluvytvářející synonymum konce 2. a začátku 3. tisíciletí platíme tím nejcennějším – lidskými životy nebo, v tom šťastnějším případě, zraněním. Přestože se doprava považuje za velmi důležitý prvek pro prosperitu společnosti a každého jednotlivce, je ve stále větší míře postupně vnímána jako potenciální nebezpečí.

Každým rokem na evropských silnicích zahyne okolo 100 000 osob. Takovýto jev se dá přirovnat k vymazání středně velkého města z mapy. Od počátku 90. let můžeme zaznamenat pokles v počtu usmrcených osob při dopravní nehodě. Absolutní čísla ovšem zůstávají stále ještě vysoká. Úmrtí nebo zranění, jako následek silničních dopravních nehod, vyjde společnost každoročně na desítky miliard eur. Náklady na lidské ztráty jsou ale nevyčísitelné. Cena, která se platí za mobilitu v Evropě, je stále ještě vysoká. [8]

### 1.1 Pojem nehodovost

Bezpečnost silničního provozu, také známá pod názvem BESIP, je jedním z nejdůležitějších a nejfrekventovanějších termínů v silniční dopravě. Problematiku dopravní bezpečnosti, přesněji nehodovosti, v ČR řeší Policie ČR, která spadá pod Ministerstvo vnitra ČR. Policie ČR dokumentuje a šetří skutečné dopravní nehody.

Zájmem každého vyspělého státu, odborných institucí a organizací je snaha o sledování:

- vývoje počtu dopravních nehod i jejich následků
- analyzování jejich průběhu a frekvence
- vedení statistických údajů

Z takto získaných údajů vznikají databáze pro prezentování různých celostátních ukazatelů a na základě nich se potom navrhuje bezpečnostní opatření na místech s největší nehodovostí, dále systémová technická a legislativní opatření. Tyto databáze jsou také velice důležité při posuzování investic do preventivních opatření s cílem zabránit ztrátě lidských životů a celospolečenským ekonomickým ztrátám.

Mezi nejzávažnější rizikové faktory, ovlivňující zásadním negativním způsobem nehodovost, uváděné [31], patří zejména:

- nepřiměřená rychlost
- nedání přednosti v jízdě (křižovatky, přechody pro chodce, železniční přejezdy)
- požití alkoholu a jiných drog
- nepoužití zádržných systémů
- nízká ochrana zranitelných účastníků

Dopravní nehoda ve vztahu k provozu na pozemní komunikaci, jakožto údaj zapsaný ve statistice nehodovosti, je definována ustanovením § 47 odst. 1 zákona č. 361/2000 Sb., zákon o silničním provozu, takto:

*„Dopravní nehoda je událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu.“*

## 1.2 Sledování nehodovosti

Statistické rozbory nehodovosti je nutno zpracovávat za delší období, aby bylo možno vysledovat trend vývoje a pak také účinnost jednotlivých aplikovaných opatření pro snížení dopravní nehodovosti. Provedeme-li potom hloubkovou analýzu nějaké problematiky za pomocí kvalitních a ověřených dat, dostaneme pravdivý obraz příčin. [31]

Jako nástroje k hodnocení bezpečnosti silničního provozu nám slouží přímé a nepřímé ukazatele. Přímé ukazatele bezpečnosti silničního provozu přímo reflektují bezpečnost silničního provozu na základě počtu a závažnosti následků dopravních nehod.

Základní sledované ukazatele dopravní nehodovosti jsou:

- počet nehod celkem

- počet nehod s osobními následky (usmrcení nebo zranění)
- počet usmrcených do 1 dne po nehodě (24 hodin) - pro účely statistiky ČR
- počet usmrcených do 30 dnů po nehodě - pro účely mezinárodního srovnání (standard)
- počet těžce zraněných
- počet lehce zraněných (rozdělení mezi těžkým a lehkým zraněním je dáno posouzením lékaře podle vážnosti zranění)

Dalším sledovaným přímým ukazatelem bezpečnosti silničního provozu je hodnota ekonomických ztrát. Informace o finanční ztrátě z dopravní nehodovosti je důležitá pro formulaci opatření a zhodnocení jejich efektivity. Celkové roční ztráty z nehodovosti se pohybují ve výši zhruba 50 miliard Kč.<sup>2</sup>

Nepřímé ukazatele bezpečnosti silničního provozu operují s okolnostmi či jevy, pomocí kterých lze posuzovat bezpečnost provozu na pozemních komunikacích a odhadovat její další vývoj, aniž by bylo nutné mít k dispozici údaje o dopravní nehodovosti. Vycházejí z experimentálně ověřených vztahů mezi chováním a bezpečností provozu. V ČR jsou sledovány následující nepřímé ukazatele: rychlost vozidel, ochranné systémy, denní svícení vozidel, bezpečnostní odstupy atd. Jsou sledovány na celkem 91 referenčních bodech základní sítě. Referenční body jsou umístěny v intravilánu a extravilánu na komunikacích I. a II. třídy, viz elektronická příloha č. 2. 1.

Vzájemná souvislost mezi přímými a nepřímými ukazateli je dobře dokumentovatelná u rychlosti a počtu nehod, resp. smrtelných zranění. Tato souvislost umožňuje sledování nepřímých ukazatelů s cílem zjištění stavu bezpečnosti silničního provozu v daném místě. [31]

### 1.2.1 Ukazatelé dopravní nehodovosti

Níže uvedené vzorce, které jsou čerpány z literatury [5], slouží k porovnání dopravní nehodovosti a vytváření kritérií, s jejich pomocí můžeme porovnávat nehodovost na mezikřižovatkovém nebo křižovatkovém úseku. Jsou to ukazatele, které rozšiřují možnosti hodnocení základních výběrových kritérií, podle kterých se vybírají místa častých dopravních nehod.

---

<sup>2</sup> Tato hodnota, kterou uvádí [5], vychází z grafu č. 3. Jedná se o průměrnou roční hodnotu, viz elektronická příloha č. 2. 2.

### 1.2.1.1 Ukazatel relativní nehodovosti

Pro mezikřižovatkový úsek platí:

$$R_m = \frac{N_o}{365 * I * L * t} * 10^6 \quad [\text{počet osobních nehod/mil. vozkm a rok}] \quad (1.1)$$

Pro křižovatku platí:

$$R_k = \frac{N_o}{365 * I * t} * 10^6 \quad [\text{počet osobních nehod/mil. voz a rok}] \quad (1.2)$$

kde  $N_o$  – celkový počet (osobních) nehod ve sledovaném období

pozn.: osobní nehody jsou nehody se zraněním

$I$  – průměrná denní intenzita provozu [voz / 24 hod]

$L$  – délka úseku [km]

$t$  – sledované období [roky]

Ukazatele relativní nehodovosti  $R_m$  a  $R_k$  slouží pro stanovení bezpečnosti nebo nebezpečnosti PK. Jedná se o relativní ukazatele, jejich vypovídací schopnost je velmi dobrá. Jejich nevýhodou je, že nerozlišují závažnost dopravních nehod. Je-li relativní ukazatel roven 0, znamená to, že sledovaný úsek nebo křižovatka je bez nedostatků a bezpečně vyhovující. Překročí-li tato hodnota velikost 1, tak tento úsek signalizuje zásadní nedostatek. Údaje o intenzitě dopravy se dají vyčíst z map intenzit sestavených na základě CSD. Kdybychom chtěli zachovat zásadu systémového přístupu a zohlednit tak závažnost dopravních nehod, museli bychom hledat integrální ukazatele<sup>3</sup>, abychom se více přiblížili skutečnosti.

### 1.2.1.2 Integrální ukazatel relativních ztrát

$$R_e = \frac{E}{365 * I * L * t} \quad [\text{Kč/vozkm a rok}] \quad (1.3)$$

kde  $R_e$  – ukazatel relativních ztrát

$E$  – ekonomické ohodnocení ztrát z následků dopravních nehod [Kč]  
(celospolečenská ekonomická ztráta)

<sup>3</sup> Více o integrálním ukazateli závažnosti následků nehod v [5]

Každou dopravní nehodu je možné ohodnotit z hlediska ekonomických ztrát. Závažnost následků nehod je ve vzorci (1. 3) vyjádřena ekonomickým ohodnocením ve smyslu metodiky ekonomického oceňování následků dopravních nehod. Parametr E představuje součet ohodnocených lehkých, těžkých a smrtelných zranění a součet vzniklých hmotných škod.

Známe-li ekonomické ohodnocení ztrát z následků dopravních nehod, můžeme považovat tuto metodu za velmi efektivní, objektivní, s nejlepší vypovídací schopností.

### 1.3 Vývoj dopravní nehodovosti od vzniku samostatné České republiky

Základní vrcholová fakta ze statistiky dopravních nehod za dobu existence samostatné České republiky (1993 – 2011) jsou uvedena v tabulce č. 1 (viz další strana). Tabulka zachycuje, jak se vyvíjela úmrtnost a počet dopravních nehod na PK v závislosti na tom, jaké legislativní opatření, kampaně a programy byly realizovány.

Celkový počet nehod (včetně nehod s hmotnou škodou) není z historického hlediska příliš relevantním ukazatelem, neboť pravidla pro jejich registraci Policií ČR se časem mění. K poslední změně došlo v souvislosti s novelizací zákona 361/2000 Sb., která vešla v platnost od 1. 1. 2009, kde § 47, zabývající se dopravní nehodou, zvyšuje povinnou hranici pro nahlášení nehody na 100 000 Kč. Dlouhodobým a zároveň věrohodným ukazatelem jsou statistická čísla ukazující počet usmrcených osob při DN. Dne 28. 4. 2004 schválila vláda jednáním č. 394 Národní strategii bezpečnosti silničního provozu. Hlavním cílem Strategie bylo do roku 2010 snížit počet usmrcených v silničním provozu na padesátiprocentní úroveň roku 2002. Z tabulky je zřejmé, že od roku 2002 do roku 2010 počet usmrcených klesl jen o 37,96 % a tento plán se nepodařilo splnit.

Z tabulky je patrné, že nejvíce dopravních nehod bylo v roce 1999, a to 225 690. Bylo to dva roky před tím, než byla v roce 2001 zvýšena povinná hranice pro nahlášení nehody na 20 000 Kč, od 1. 7. 2006 na 50 000 Kč. Je patrné, jak se v závislosti na těchto změnách mění i počet nehod v daném roce. Nejvíce usmrcených osob bylo v roce 1994, a to 1 473 usmrcených do 24 hodin. Počet usmrcených osob do 30 dnů bývá vždy vyšší. Nejméně usmrcených bylo v roce 2009, a to 832 usmrcených do 24 hodin.

Aby čísla počtu usmrcených osob měla lepší vypovídací schopnost, je v tabulce pro každý rok uveden i počet registrovaných vozidel v ČR, omezený na osobní vozidla kat. M1<sup>4</sup>, jelikož tato kategorie jako jediná zaznamenává cca od 70. let minulého století

---

<sup>4</sup> Vývoj registrací osobních automobilů (kat. M1) viz elektronická příloha č. 2.4.



téměř lineární nárůst vozidel. Jen od roku 1993 (počet registrovaných vozidel = 100 %) do roku 2011 je tento rozdíl 165,6 %. U ostatních kategorií vozidel dochází spíše k pozvolnému narůstání nebo dokonce ke kolísání počtu vozidel, jak je vidět v grafu Vývoje celkového počtu registrovaných vozidel (ČR, 1950 až 30. 6. 2011), viz elektronická příloha č. 2. 3. Kat. M1 představuje, podle údajů vycházejících ze souhrnné registrace k 30. 6. 2011, znázorněné v tabulce č. 2 (viz strana č. 19), cca 61 % složení vozového parku v ČR.

Tabulka č. 1 - Dopravní nehodovost od počátku samostatné ČR

Rok	Počet usmrcených do 24 hod	Počet nehod	Při kolikáté dopravní nehodě došlo k usmrcení	Počet registrovaných osobních automobilů (kat. M1)	Hlavní opatření
1993	1 355	152 157	112,29	2 748 866	
1994	1 473	156 242	106,07	2 887 263	
1995	1 384	175 520	126,82	3 113 478	
1996	1 386	201 697	145,52	3 348 008	
1997	1 411	198 431	140,63	3 486 077	Snížení rychlosti v obci z 60 na 50 km/h (novelizační vyhláška č. 223/1997 Sb.). Zákon č. 12/1997 Sb., o bezpečnosti a plynulosti provozu na pozemních komunikacích – „Překlenovací zákon“.
1998	1 204	210 138	174,53	3 484 001	
1999	1 322	225 690	170,72	3 431 481	
2000	1 336	211 516	158,32	3 431 673	Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů, dále mimo jiné: <ul style="list-style-type: none"> <li>dětské zádržné systémy</li> <li>vyšší tresty za dopravní přestupky</li> </ul>
2001	1 219	185 664	152,31	3 623 277	Zvýšení povinné hranice pro nahlášení nehody na 20 000 Kč. Stanovena maximální dovolená rychlost na PK (§ 18 zákona č. 361/2000 Sb.).
2002	1 314	190 718	145,14	3 848 806	
2003	1 319	195 851	148,48	3 708 012	
2004	1 214	196 484	161,85	3 816 647	Národní strategie bezpečnosti silničního provozu. <ul style="list-style-type: none"> <li>kampaň The Action</li> <li>kampaň Close to</li> </ul>
2005	1 127	199 262	176,81	3 868 708	<ul style="list-style-type: none"> <li>pokračování kampaní</li> </ul>
2006	956	187 965	196,62	4 108 810	Zákon č. 411/2005 Sb. Novelizující zákon č. 361/2000 Sb. Zvýšení povinné hranice pro nahlášení nehody na 50 000 Kč. <ul style="list-style-type: none"> <li>celodenní svícení (§32 odst. 1 zákon č. 411/2005 Sb.)</li> <li>bodový systém hodnocení řidičů</li> <li>vyšší tresty za dopravní přestupky, zákaz držení mob. Telefonu, atd.</li> </ul>

Year	...	...	...	...	...
2007	1 123	182 736	162,72	4 280 081	<ul style="list-style-type: none"> <li>kampaň „Domluvme se!“</li> <li>pokračování kampaní</li> </ul>
2008	992	160 376	161,67	4 423 370	<ul style="list-style-type: none"> <li>pokračování kampaní</li> <li>kampaň „Nemyslíš, zaplatíš!“ spolu s projektem (Ne)zvrtné osudy</li> <li>pokračování kampaní</li> </ul>
2009	832	74 815	89,92	4 436 062	Zvýšení povinné hranice pro nahlášení nehody na 100 000 Kč. Změna v oblasti postihu trestných činů spáchaných v silničním provozu (zákon č. 40/2009 Sb.). <ul style="list-style-type: none"> <li>pokračování kampaní</li> </ul>
2010	753	75 522	100,29	4 488 232	<ul style="list-style-type: none"> <li>pokračování kampaní</li> </ul>
2011	707	75 137	106,28	4 552 158	<ul style="list-style-type: none"> <li>pokračování kampaní</li> </ul>

Tabulka č. 2 - Složení vozového parku v ČR

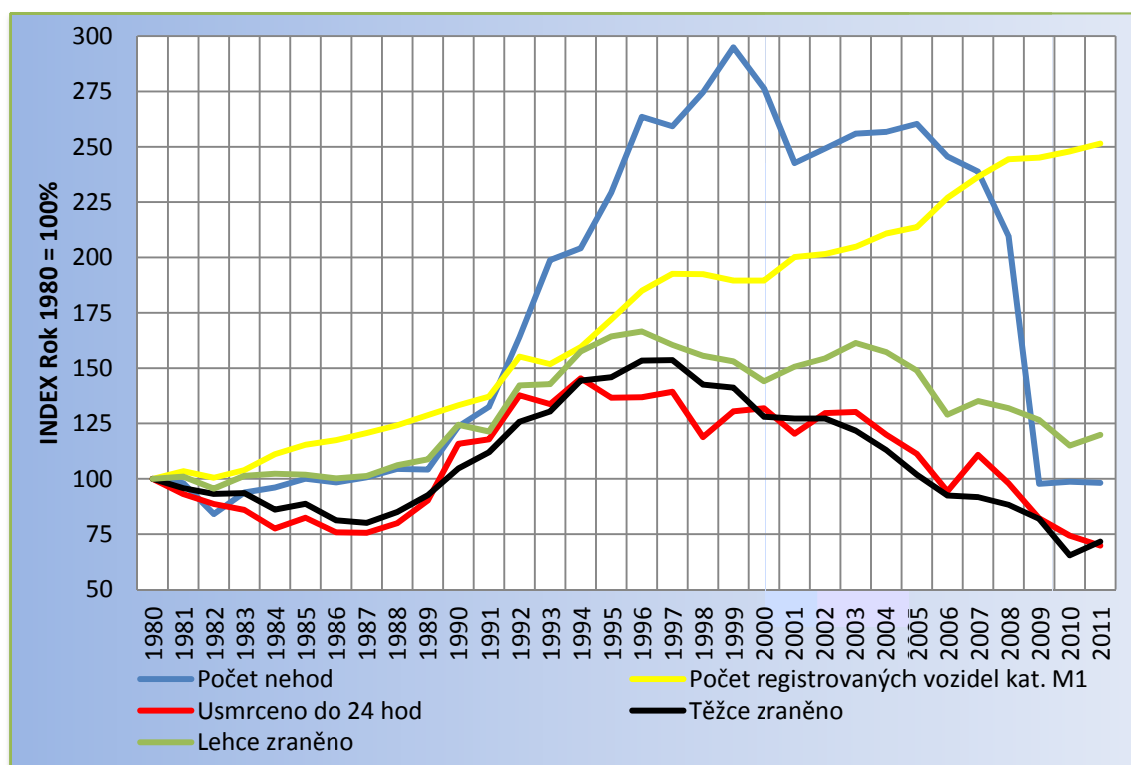
Kategorie <sup>5</sup>	Počet registrací	Průměrný rok výroby	Průměrné stáří
<b>Osobní (kat. M1)</b>	<b>4 552 158</b>	1 997,74	13,76
<b>Užitková vozidla (kat. N1 až N3 celkem)</b>	689 754	2 000,46	11,04
<b>Motocykly (kat. L)</b>	943 140	1 979,60	31,90
<b>Autobusy (kat. M2 až M3)</b>	19 955	1 996,97	14,53
<b>Přívěsy (kat. O1 až O4)</b>	964 115	1 989,98	21,52
<b>Návěsy (kat. O1 až O4)</b>	55 686	2 002,21	9,29
<b>Traktory</b>	154 510	1 981,89	29,61
<b>Jiná (dosud nezařazeno)</b>	52 482	?	?
<b>Celkem:</b>	<b>7 431 800</b>		

## 1.4 Nehodovost v ČR od roku 1980

Na grafu č. 1 je znázorněn vývoj nehodovosti v ČR od roku 1980 – 2011. Pro každou sledovanou hodnotu v následujícím roce představuje rok 1980 index = 100 %. Graf zachycuje vývoj počtu nehod a jejich následky spolu s rostoucím počtem registrovaných vozidel kat. M1. Dopravní nehodovost na PK je v ČR (tehdy jako ČSR) sledována už od 50. let minulého století. Od počátku 60. let počet usmrcených začínal

<sup>5</sup> Rozdělení vozidel podle uvedených kategorií, jejich průměrný rok výroby a průměrné stáří jsou uvedeny v podrobnější tabulce, viz elektronická příloha č. 2. 7.

prudce narůstat spolu s postupným nárůstem úrovně motorizace. Historické maximum (1 758 usmrcených do 24 hodin) bylo dosaženo v roce 1969. Po tomto roce se situace začala postupně zlepšovat, a to až do roku 1986 (768 usmrcených do 24 hodin), resp. roku 1987 (766 usmrcených do 24 hodin – historické minimum). V 80. letech byla úroveň bezpečnosti silničního provozu (počet usmrcených na 1 obyvatele) srovnatelná s vyspělými západoevropskými státy. Od roku 1987 do poloviny 90. let však docházelo k prudkému nárůstu nehodovosti. Maximálních hodnot bylo dosaženo v roce 1994 (1 473 usmrcených do 24 hodin, resp. 1 637 do 30 dnů). Příčinou tohoto dramatického nárůstu byl rychlý nárůst motorizace, nové ekonomické a jiné společenské aktivity. Další faktory, které zavinily obrovský nárůst počtu usmrcených v silničním provozu po „sametové revoluci“ bylo zapříčiněno např. poklesem policejního dohledu a snížením počtu zaměstnanců u Policie ČR, dovozem rychlých ojetých vozidel ze zahraničí atd. To všechno vedlo k zhoršení kázně řidičů. V době dosažení maximální hodnoty úmrtnosti při dopravních nehodách se ČR propadla mezi státy s nejnižší úrovní bezpečnosti silničního provozu. Teprve po tomto propadu se projevily snahy o přijetí konkrétních opatření, jež by vedla k zlepšení nežádoucí situace. Tyto snahy byly podporovány i z nejvyšších vládních míst. V následujících letech se vývoj stabilizoval a docházelo k pozvolnému poklesu

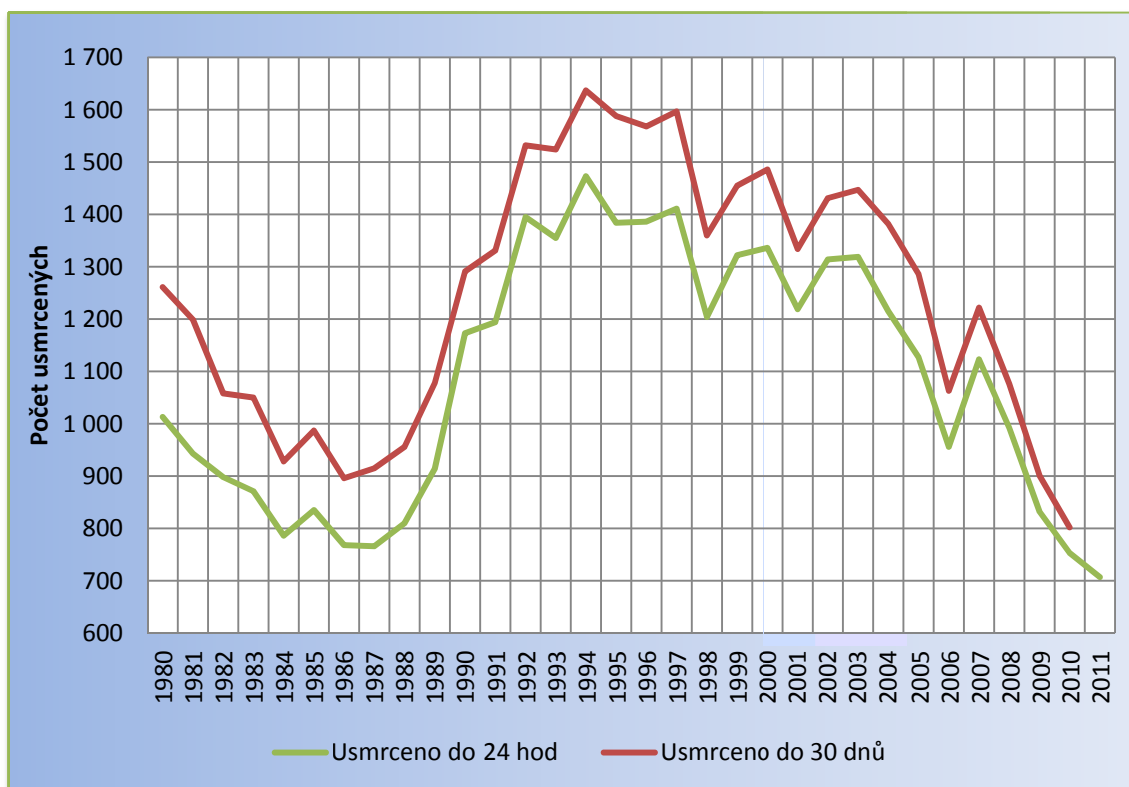


nehodovosti, jež byl doprovázen určitými výkyvy.

Graf č. 2 znázorňuje období od roku 1980 až do roku 2011 s vývojem následků nehodovosti, usmrcení do 24 hodin a do 30 dnů (viz následující strana).

Hlavní opatření, v jejichž důsledku došlo ke snížení nehodovosti po druhé polovině 90. let, jsou:

- 1. 10. 1997 – snížení rychlosti v obcích na 50 km/hod
- 1. 1. 2001 – Zákon 361/2000 Sb.
- 28. 4. 2004 – Národní strategie bezpečnosti silničního provozu
- 1. 7. 2006 – Platnost bodového systému
- dále se jedná o kampaně



Žádné z výše uvedených opatření nepřináší trvalé pozitivní výsledky a brzy dochází k jeho vyčerpání, i když jeho zavedení má za následek pokles počtu usmrcených. V důsledku schválení Národní strategie bezpečnosti silničního provozu došlo během následujících několika let k poklesu nepříznivé situace. V roce 2006 byl

zaznamenán opětovný nárůst počtu usmrcených, i když byl v tomto roce zaveden bodový systém. Účinnost bodového systému, jakožto komplexního opatření, přinesla výrazné, i když krátkodobé zlepšení parametrů nehodovosti. V roce 2007 došlo oproti roku 2006 k nárůstu počtu usmrcených o 14,96 %. V roce 2011 dosáhl počet usmrcených osob do 24 hodin, poprvé od roku 1980, nejnižší hodnoty. Pro rok 2011 nejsou doposud zpracována data údaje o počtu usmrcených osob do 30 dnů, ale z předchozího vývoje lze aproximovat, že tato hodnota nepřesáhne hranici 800 usmrcených do 30 dnů.

Policie České republiky v období leden až únor letošního roku šetřila 12 479 nehod na pozemních komunikacích. Při těchto nehodách bylo 76 osob usmrceno, 355 osob těžce zraněno a 2 945 osob zraněno lehce. Hmotná škoda odhadnutá dopravní policií na místě nehody je 810,9 mil. Kč. Porovnání hodnot základních ukazatelů se stejným obdobím roku 2011 je takový, že nárůst je zaznamenán v kategorii – počet nehod, počet lehce zraněných a odhad hmotné škody; pokles je zaznamenán v kategorii – počet usmrcených a počet těžce zraněných. [40]

Tabulka dat, z kterých vychází graf č. 1 a 2, viz elektronická příloha č. 2. 5.

## 1.5 Dopravní nehodovost v ČR ve srovnání se zahraničím

Ke srovnání následků nehodovosti v mezinárodním měřítku se používají následující ukazatele počtu usmrcených na:

- milion obyvatel
- milion motorových vozidel
- miliardu najetých vozokm

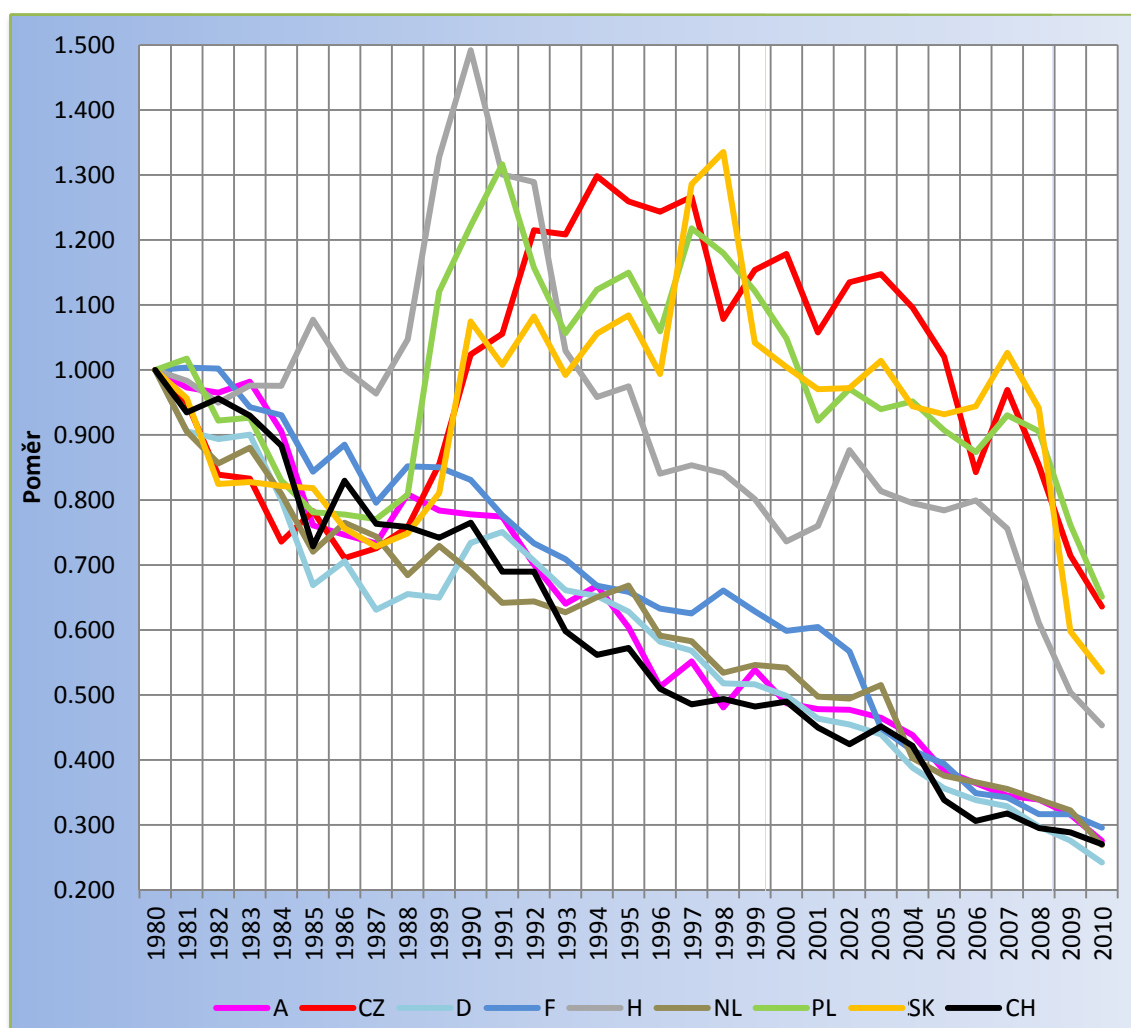
### 1.5.1 Vývoj nehodovosti v Evropě

Ve vyspělých zemích se počet usmrcených snižuje pravidelně už od počátku 70. let, a to i přes výrazný nárůst dopravních výkonů na pozemních komunikacích. Poněkud opožděně následují tento vývoj státy střední a východní Evropy (včetně ČR), ale řada zemí jižní Evropy (Španělsko, Portugalsko, Řecko), kde bylo dosaženo maxima počtu usmrcených teprve v první polovině 90. let. Přesto i při tomto pozitivním trendu existují určitá období, kdy je vývoj opačný.

Vývoj nehodovosti v ČR vykazuje, i přes určité odlišnosti dané specifickými národními sociálněekonomickými a historickými podmínkami, řadu shodných rysů

s vývojem v EU. Úroveň bezpečnosti silničního provozu v ČR se postupně přibližuje vyspělým zemím západní Evropy. Tento proces sblížení a začlenění ČR do skupiny nejvyspělejších zemí v oblasti bezpečnosti dopravy lze však odhadnout na poměrně dlouhodobý. Dále je možno říci, že ČR (stejně jako další relativně vyspělé státy) není uchráněna ve svém vývoji před určitými negativními obdobími, nicméně celkový dlouhodobý trend se zdá být stále pozitivní. Srovnání s vyspělými evropskými zeměmi na základě relativních údajů, vztažených k počtu obyvatel, motorových vozidel nebo dopravnímu výkonu (ujeté vozokm) však ukazují, že úroveň bezpečnosti silničního provozu v ČR stále zůstává poměrně daleko za těmito zeměmi. [5]

Současné postavení ČR mezi vybranými státy OECD zobrazuje graf č. 3, který znázorňuje usmrcení na PK v letech 1980 až 2010, kde rok 1980 = 1. Pro rok 2011 nejsou doposud zpracovány údaje o počtu usmrcených osob do 30 dnů.



Pro porovnání byl do grafu zařazen vzorek států (Rakousko, Německo, Francie, Nizozemsko a Švýcarsko) s pozitivním vývojem dopravní nehodovosti spolu se vzorkem států (Česká republika, Maďarsko, Polsko a Slovensko) bývalých postkomunistických zemí střední a východní části Evropy.

Z grafu je zřejmé, že po změnách společenského zřízení v druhé polovině roku 1989 se ve všech postkomunistických státech obecně zhoršily prakticky všechny parametry a ukazatele bezpečnosti silniční dopravy. U těchto států je znatelný pokles nehodovosti v následujících letech. Důvody, proč tomu tak bylo, jsou popsány výše.

U 5 západních států je prokazatelné, jak se u nich pozitivně vyvíjela bezpečnost na PK po celé sledované časové období. Reprezentativním státem by mohla být Francie. Od roku 1980 do roku 2010 klesla nehodovost na PK na 29,57 % hodnotu. V reakci na silnou politickou vůli, která byla vyvolána v důsledku boje proti nebezpečí na silnicích, byla zavedena soustava postupů umožňující vymáhání práva při překročení nejvyšší dovolené rychlosti. Vznikl tak nový systém registrace dopravních přestupků a placení pokut za ně. Výsledkem je snížení nehodovosti a nárůst efektivity vymáhání práva. Ostatní státy dokázaly nehodovost na PK snížit na hodnoty, které se pohybují v rozmezí od 24,24 % (Německo), 26,90 % (Nizozemsko), 27,05 % (Švýcarsko) do 27,56 % (Rakousko).

Tabulka dat, z kterých vychází graf č. 3, viz elektronická příloha č. 2. 6. Data, z kterých byly vytvořeny grafy č. 1 – 3, poskytl CDV Brno a Policejní prezidium České republiky.

## 2 Viditelnost a rozhledové podmínky

*V silničním provozu je obecně nebezpečné všechno to, co je špatně vidět.*

Projektování pozemních komunikací podléhá Českým technickým normám ČSN. Od roku 2000 jsou tyto normy pouze doporučené. Původní závaznost byla ukončena podle zákona. Zajištění závaznosti je dáno smlouvou o dílo a stavebním povolením. Nejvýznamnější ČSN pro projektování pozemních komunikací jsou:

- ČSN 736101 – Projektování silnic a dálnic
- ČSN 736102 – Projektování křižovatek na silničních komunikacích
- ČSN 736110 – Projektování místních komunikací
- ČSN 736425 – Autobusové, trolejbusové a tramvajové zastávky

Co se týče viditelnosti a rozhledových podmínek, tak se touto problematikou zabývá ČSN 736101 a ČSN 736102, z kterých jsou čerpány i následující stručné informace týkající se této oblasti.

### 2.1 Návrhové prvky dle ČSN 736101 [12], [24], [25]

#### 2.1.1 Všeobecně

V normě jsou hodnoty návrhových prvků uvedeny v nejnižších nebo nejvyšších přípustných hodnotách a tyto hodnoty jsou voleny tak, aby byly zajištěny co nejlepší provozní podmínky. Z bezpečnostních důvodů je třeba, aby použití návrhových prvků bylo pokud možno jednotné, resp. aby přechod na nejnižší nebo nejvyšší hodnotu návrhového prvku byl pozvolný. Volba návrhových prvků má vycházet ze skutečných místních podmínek a pokud možno především z podmínek územních. Návrhové prvky  $R_0$ ,  $R_v$ ,  $R_u$ ,  $D_z$ ,  $D_p$  odvozené z rychlosti se navrhuje na návrhovou rychlost ( $v_n$ ) a posuzují, zda vyhovují směrodatné rychlosti ( $v_s$ ).

#### 2.1.2 Návrhová rychlost

Návrhová rychlost pro projektování silnic a dálnic se volí na dálnicích a rychlostních silnicích 120 až 80 km/h. Volba rychlosti je závislá na územních a dalších podmínkách. Na ucelených tazích dálnic a rychlostních silnic má být zajištěna jednotná hodnota návrhové rychlosti. Změna návrhové rychlosti musí být provedena s ohledem



na zachování bezpečnosti a plynulosti jízdy na vhodném místě (křižovatka, okraj obce, změna počtu jízdních pruhů apod.)

### 2.1.3 Směrodatná rychlost

Směrodatná rychlost  $v_s$  je veličina pro posouzení návrhu směrových poměrů silnice a dálnice v situaci a přizpůsobení návrhových prvků osy a podélného profilu jízdně dynamickým podmínkám vytvářeným navrženou trasou. Největší hodnota směrodatné rychlosti je omezena nejvyšší dovolenou rychlostí podle zvláštního předpisu, a to zákonem č. 361/2000 Sb. Obecně platí, že  $v_s \geq v_n$ .

Návrhové prvky, které mají základní vliv na bezpečnost silničního provozu a které je potřebné posoudit, zda vyhovují směrodatné rychlosti, jsou mimo jiné:

- délky rozhledu  $D_z$ ,  $D_p$
- poloměry směrových oblouků  $R_0$  se základním příčným sklonem
- poloměry výškových oblouků  $R_v$ ,  $R_u$  pro zaoblení lomů nivelety

### 2.1.4 Délka rozhledu pro zastavení a předjíždění

Při brzdění se zmenšuje kinetická energie automobilu, jehož rychlost se zpomaluje na délce brzdné vzdálenosti. V závislosti na bezpečnosti silničního provozu je nutno zajistit rozhled pro zastavení z návrhové nebo směrodatné rychlosti tak, aby mohlo vozidlo v bezpečné vzdálenosti zastavit před překážkou. Délka rozhledu pro zastavení se vypočte podle následujícího vztahu:

$$D_z = \frac{1,5 * v_{n(s)}}{3,6} + \frac{v_{n(s)}^2}{2 * g_n * 3,6^2 * (f_v \pm 0,01 * s)} + d_{v1} \quad (2.1)$$

kde  $b_{v1}$  - značí odstup vozidla před pevnou překážkou po zastavení

- $v_s < 80 \text{ km/h} \dots b_{v1} = 5 \text{ m}$
- $v_s \geq 80 \text{ km/h} \dots b_{v1} = 10 \text{ m}$

$f_v$  - výpočtová hodnota součinitele podélného smykového tření pro mokrou vozovku a hloubku dezénu pneumatiky 1,6 mm

$v_{n(s)}$ (km/h)	130	120	110	90	80	70	60	50	40	30
$f_v$	0,32	0,34	0,36	0,40	0,43	0,46	0,51	0,56	0,62	0,68

Obrázek 1 - Výpočtové hodnoty  $f_v$  na mokré vozovce při hloubce dezénu pneumatiky 1,6 milimetrů [12]

$g_n$  - normální tíhové zrychlení ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )

$s$  - sklon nivelety v %

$(1,5 * v_{n(s)})/3,6$  – vzdálenost ujetá vozidlem za dobu od spatření překážky do začátku brzdění (za dobu reakce 1,5 s)

Hodnoty  $D_z$  podle ČSN 736101 pro vybrané sklony:

Podélný sklon jízdniho pásu v %		$D_z$ v m při návrhové/směrodatné rychlosti $v_s$ v km/h											
		130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	25 až 20
klesání	- 9	-	-	-	-	-	-	-	-	45	30**)	20**)	15**)
	- 8	-	-	-	-	-	-	-	60	45			
	- 7	-	-	-	-	-	-	-	60	45			
	- 6	-	-	-	-	130	110	80	60	45			
	- 5	-	-	-	-	130	110	80	60	45			
	- 4,5	-	-	190	160	130	100	80	60	40			
	- 4	270	220	180	160	130	100	75	60	40			
	- 3	260	220	180	160	130	100	75	55	40			
	- 2	260	210	180	160	120	100	75	55	40			
	- 1	250	210	170	150	120	100	75	55	40			
	0	240	200	170	150	120	100	75	55	40			
stoupání	1	240	200	170	150	120	100	75	55	40			
	2	230	190	160	140	120	90	70	55	40			
	3	230	190	160	140	120	90	70	55	40			
	4	220	190	160	140	110	90	70	55	40			
	4,5	-	-	160	140	110	90	70	55	40			
	5	-	-	-	-	110	90	70	55	40			
	6	-	-	-	-	110	90	70	50	40			
	7	-	-	-	-	-	-	-	50	40			
	8	-	-	-	-	-	-	-	50	40			
	9	-	-	-	-	-	-	-	-	40			

<sup>\*)</sup> Způsob výpočtu viz přílohu B.  
<sup>\*\*)</sup> Platí pro stoupání a klesání do 12 %.

Redukovaná délka rozhledu pro zastavení  $D_{zr}$ <sup>6</sup>:

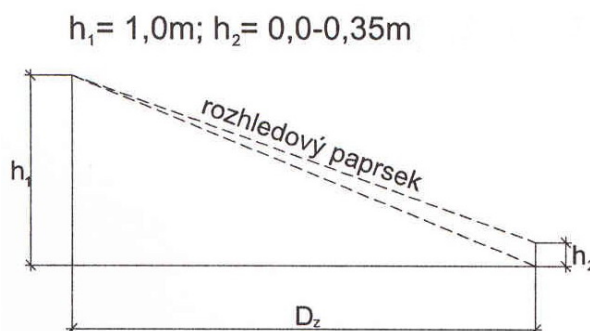
$$D_{zr} = \frac{h_1 - h_2}{h_1} * D_z \quad (2.2)$$

kde  $h_1$  – výška oka řidiče nad vozovkou = 1 m

$h_2$  – předpokládaná výška překážky

<sup>6</sup> Redukovaná délka rozhledu pro zastavení je čerpána z [19]

Návrhová/směrodatná rychlost $V_{n(s)}$ (km/h)	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30
$h_2$ (m)	0,35		0,10				0,00				

Obrázek 3 - Nejmenší výška viditelné překážky  $h_2$  ve vzdálenosti  $D_z$  [12]Obrázek 4 - rozhledové paprsky při zajišťování  $D_z$  [12]

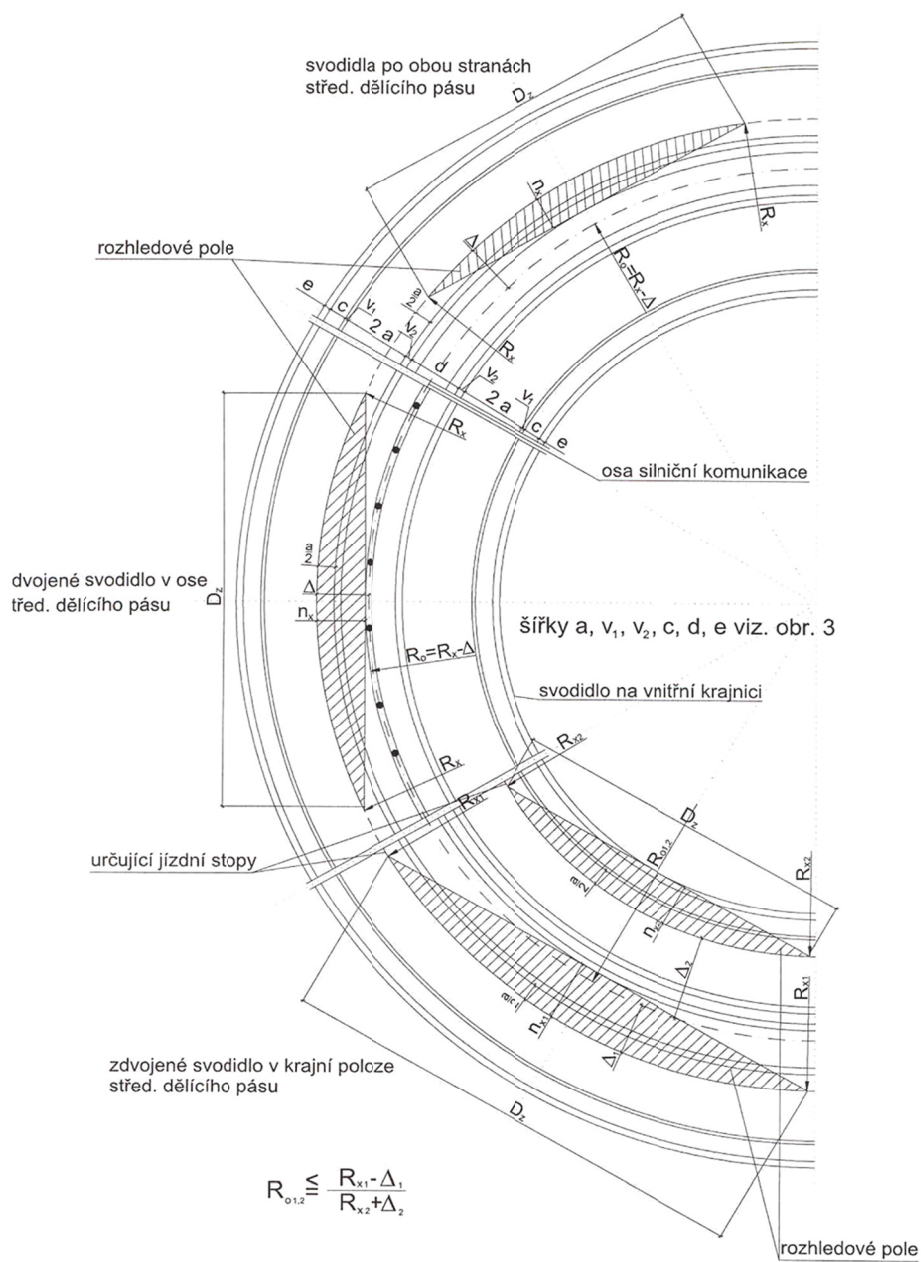
Zajištění délky rozhledu pro předjíždění  $D_p$  je nutné jen na dvoupruhových komunikacích. Na čtyřpruhových komunikacích postačuje rozhled pro zastavení.

### 2.1.5 Rozhled ve směrovém oblouku

Předepsaná délka rozhledu pro zastavení musí být ve všech případech zachována i při jízdě směrovým obloukem. Potřebná rozhledová pole jsou vymezena obalovými křivkami těliv určujících jízdních stop v délce  $D_z$  (viz obrázek č. 2) a zajišťují se:

- na směrově rozdělených silnicích a dálnicích v prostoru:
  - středního dělicího pásu
  - nezápevněné části krajnice

Délka rozhledu pro zastavení musí být zachována v celé délce trasy. Pro směrově rozdělenou komunikaci se středním dělicím pásem a nezápevněnou částí krajnice (vlivem osazení svodidla) platí následující obrázek č. 5.



Ily [12]

Délka rozhledu pro zastavení se pak považuje za zajištěnou, neprotíná-li se spojnice řidičova oka a horního okraje překážky ležící ve vzdálenosti  $D_z$  (tzv. rozhledový paprsek, obrázek č. 4) s žádnou mezilehlou překážkou během postupného posunování půdorysného průmětu rozhledového paprsku jako tětivy k určující jízdní stopě vyznačené na obrázku č. 5 a 8.

Poloměr směrového oblouku nesmí být menší než hodnota poloměru zjištěná ze vztahu návrhové/směrodatné rychlosti k dostřednému sklonu (viz obrázek č. 6) a musí vyhovovat i hledisku největšího dovoleného výsledného sklonu.

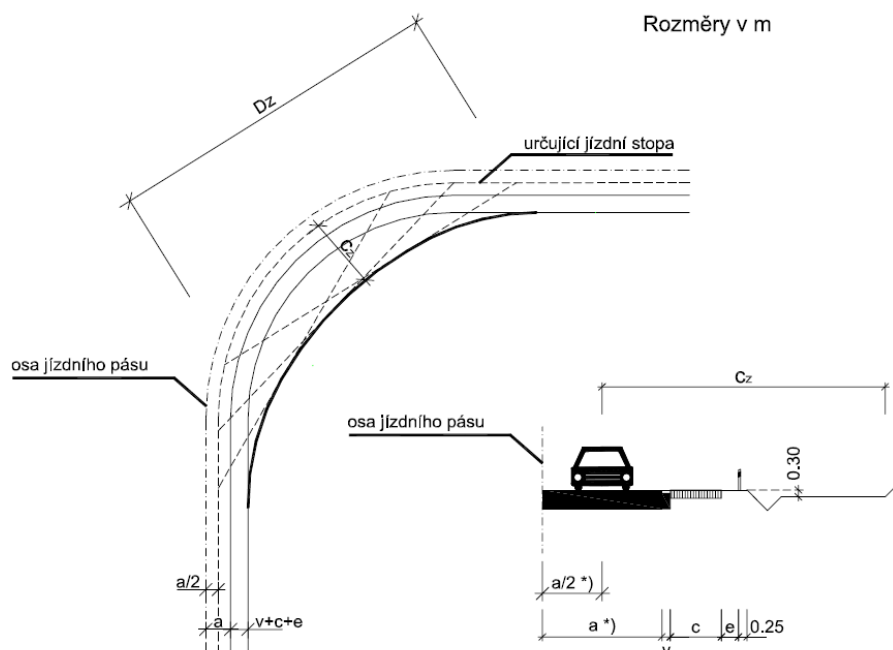
Návrhová/ směrodatná rychlost v km/h	Poloměr kružnicového oblouku v metrech										se základním příčným sklonem 2,5 % <sup>*)</sup>
	při dostředném sklonu vozovky v %										
	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	
130	2450	2050	1750	1525	1350	1225	1125	1025	-	-	4500
120	2075	1750	1500	1300	1150	1050	950	850	-	-	3800
110	1750	1450	1250	1100	925	825	800	725	-	-	3200
100	1450	1200	1050	900	800	720	650	600	-	-	2700
90	1200	1000	850	750	650	600	550	500	-	-	2200
80	775	650	550	500	450	400	350	325	-	-	1700
70	600	500	425	375	330	300	270	250	-	-	1300
60	450	375	325	270	240	220	200	180	170	-	950
50	300	250	220	190	170	150	140	125	120	110	700
40	200	160	140	120	110	100	90	80	75	70	450
30	110	90	80	70	60	55	50	45	40	35	250

<sup>\*)</sup> Způsob výpočtu je uveden v příloze C (vztah poloměru  $R_0$  k dostřednému sklonu) a v příloze D (poloměry oblouků bez dostředného sklonu). Hodnoty pro větve křižovatek jsou uvedeny v ČSN 73 6102.

<sup>\*\*)</sup> Příčný sklon opačného smyslu než příčný sklon dostředný.

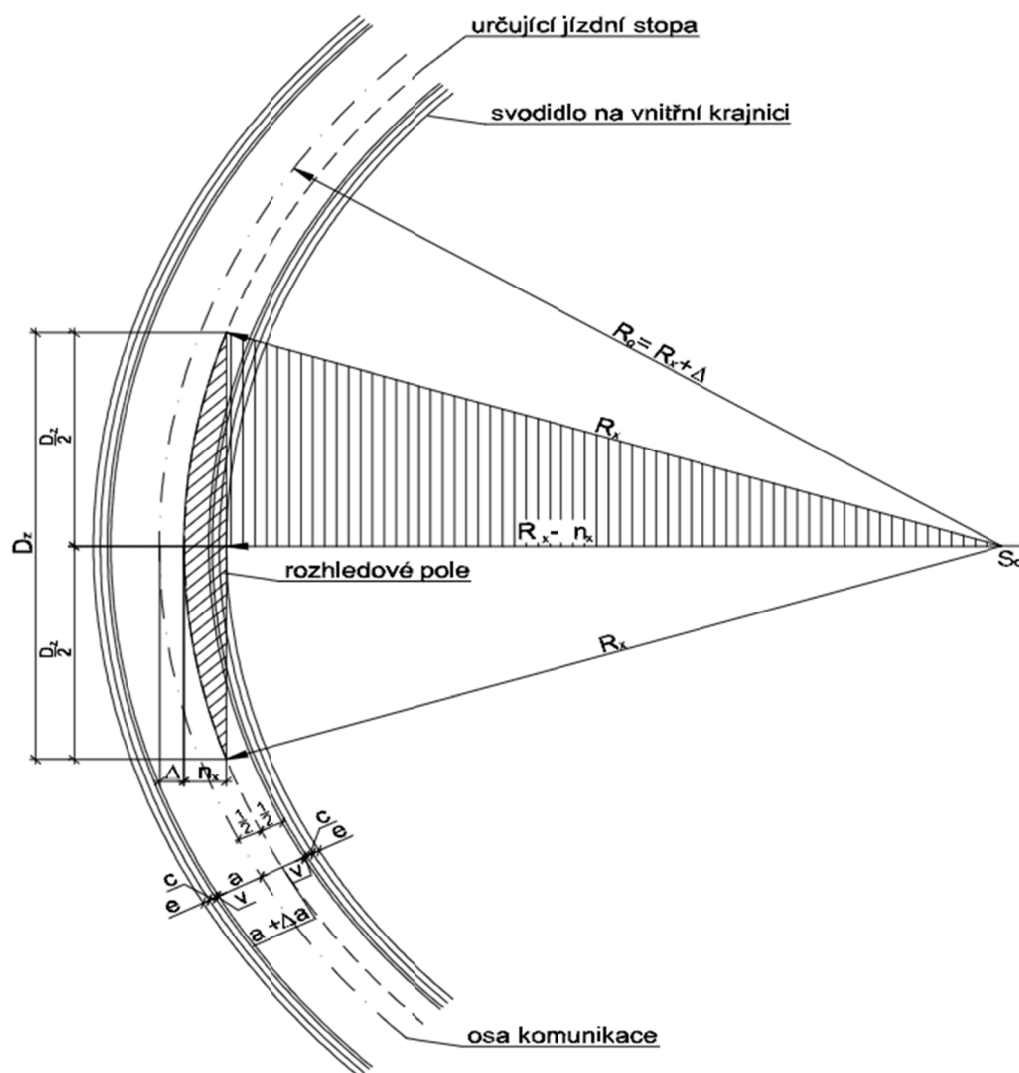
Obrázek 6 - Nejmenší dovolené poloměry směrových oblouků ve vztahu k uvažované rychlosti a dostřednému sklonu [12]

Pro zajištění rozhledu přes území mimo těleso silnice nebo dálnice se navrhne rozhledové pole pro zastavení 0,30 m pod hranu koruny silnice nebo dálnice. Rozhledové pole pro zastavení je znázorněno na obrázku č. 7. Hranice nutného uvolnění bočního rozhledu je dána obalovou čarou rozhledových tětív.



Obrázek 7 - Rozhledové pole pro zastavení [12]

Způsob výpočtu nejmenšího poloměru směrového oblouku je naznačen na obrázku č. 8. Nejmenší poloměr směrového oblouku zajišťující rozhled pro zastavení z hlediska půdorysného se vypočítá ze základního vztahu (vzorec 2. 3).



$$R_x = \frac{\frac{D_{z(p)}^2}{4} + n_x^2}{2n_x} \quad (2.3)$$

kde  $R_x$  – minimální poloměr směrového oblouku v m, vztážený k příslušné určující jízdní stopě (viz obrázky č. 5 a 8)

$D_{z(p)}$  – délka rozhledu pro zastavení a předjíždění (viz obrázek č. 2) v m

$n_x$  - vzezptí úseče směrového oblouku o poloměru  $R_x$  v m.

Délka rozhledu pro zastavení a předjíždění se uplatňuje při návrhu výškového a směrového řešení silniční trasy:

- v rozhledových polích pro zastavení, resp. předjíždění je potřeba v případě nově budované trasy zajistit volný výhled a nebudovat žádné překážky
- úseky komunikace, kde nelze zajistit rozhled pro předjíždění, je nutné označit dopravní značkou „Zákaz předjíždění“



Obrázek 9 - Svislé dopravní značky B21a a B21b [29]

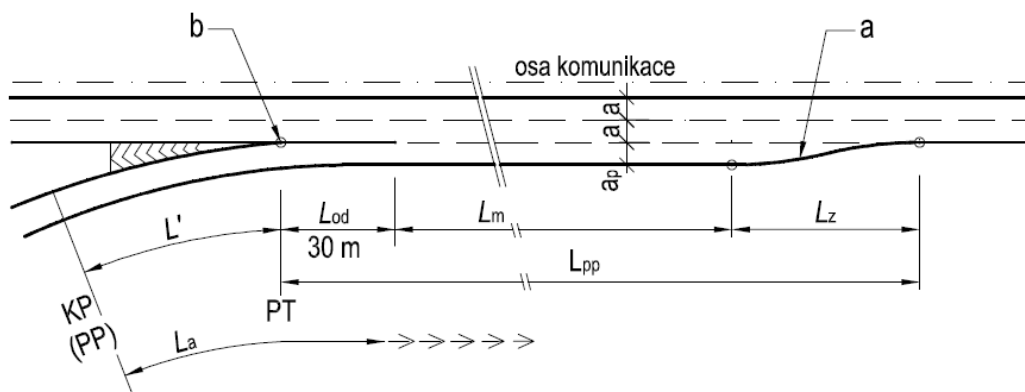
## 2.2 Návrhové prvky dle ČSN 736102 [13]

### 2.2.1 Připojovací pruh

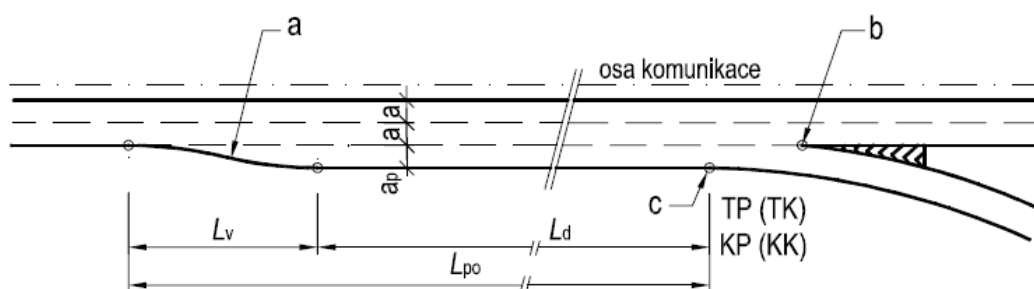
Navrhují se na všech mimoúrovňových křižovatkách dálnic, rychlostních silnic, rychlostních místních komunikacích a na silnicích směrově rozdělených navrhovaných s návrhovou rychlostí  $v_n \geq 80$  km/h. Slouží ke zvýšení rychlosti vozidel vyjíždějících z větve křižovatky na rychlost, která jim umožní zařadit se v manévrovacím úseku připojovacího pruhu do průběžného dopravního proudu. Umisťují se na výjezdové části paprsku křižovatky vpravo. Uspořádání připojovacího pruhu je zobrazeno na obrázku č. 10.

### 2.2.2 Odbočovací pruh

Umožňuje odbočení vozidel bez podstatného snižování jejich rychlosti na průběžném jízdním pruhu. Uspořádání odbočovacího pruhu je zobrazeno na obrázku č. 11.

**Legenda**

- $L_{pp}$  Délka přídatného pruhu pro připojování (připojovacího pruhu)
- $L_m$  Délka manévrovacího úseku
- $L_z$  Délka zařazovacího úseku
- $L_a$  Zrychlovací úsek
- $L'$  Délka od hrotu jazyka větve křižovatky k začátku přechodnice
- $L_{od}$  Oddělovací úsek

Obrázek 10 - Připojovací pruh  $L_{pp}$  na mimoúrovňových křižovatkách [13]**Legenda**

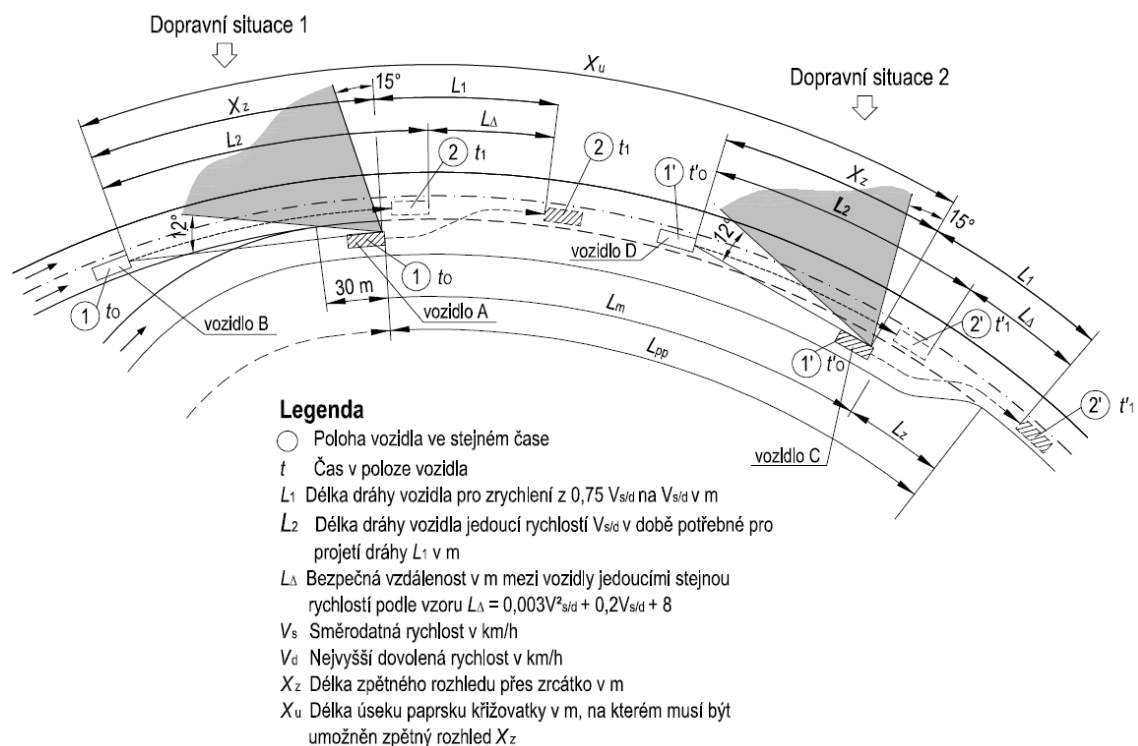
- $L_{po}$  Délka přídatného pruhu pro odbočování vpravo (odbočovacího pruhu)
- $L_v$  Délka vyřazovacího úseku
- $L_d$  Délka zpomalovacího úseku
- $a_p$  Šířka přídatného pruhu

Obrázek 11 - Odbočovací pruh  $L_{po}$  na mimoúrovňových křižovatkách [13]**2.2.3 Rozhled na mimoúrovňových křižovatkách**

Na odbočovacích pruzích musí být rozhled nejméně pro zastavení na vzdálenost pro 0,85 a na připojovacích pruzích 0,75 násobek rychlosti uvažované pro zastavení na průběžných jízdnicích.



Směrový a výškový návrh paprsků křižovatky, ke kterému přiléhá připojovací pruh, musí umožňovat zpětný rozhled z vozidla na připojovacím pruhu v celé délce manévrovacího úseku prostřednictvím zrcátka na přilehlý jízdní pruh paprsků křižovatky (viz obrázek č. 12) na délku podle obrázku č. 13. Rozhledový bod vozidla na manévrovacím pruhu se umísťuje do výšky 1 m nad povrchem vozovky. Rozhled se zajistí zpět na příď vozidla na hlavní komunikaci ve výšce 0,5 m nad osou přilehlého jízdního pruhu.



Obrázek 12 - Zajištění rozhledu z připojovacího pruhu [13]

Směrodatná/dovolená rychlost komunikace v km/h	130	120	110	100	90	80	70	60
Délka zpětného rozhledu $X_z$ v m	240	220	195	170	130	110	85	60

Obrázek 13 - Zpětný rozhled z manévrovacího úseku připojovacího pruhu na přilehlý jízdní pruh  $X_z$  v metrech [13]

Problematika rozhledů a viditelnosti na pozemní komunikaci je složitá a každá situace musí být speciálně posouzena dle ČSN 736101 a ČSN 736102, jedná-li se o rozhledové podmínky v křižovatce. Pro tuto kapitolu byly vybrány jen takové informace, které úzce souvisí s místem a problematikou a jsou dále řešeny v kapitole č. 6.

### 3 Současný stav dokumentování místa pro zaměření a účely simulace

Dokumentace musí zabezpečit podchycení věrného obrazu jak celkové situace, tak i jednotlivých charakteristických částí nebo znaků a musí umožňovat názornou představu všech fixovaných okolností subjektu, který ji bude studovat. [2]

#### 3.1 Pořízení dokumentace [2]

Při zaměřování vybraného povrchu nebo předmětu by měla současně vznikat kvalitní dokumentace. Ani nejkvalitnější popis však nemůže poskytnout přesný obraz situace. Aby byly tyto nedostatky odstraněny, provádí se dokumentace pomocí:

- topografické dokumentace
- fotografické dokumentace (náčrtek)

##### 3.1.1 Topografická dokumentace:

Topografická dokumentace slouží ke zvýšení názornosti slovního popisu a skládá se např. z těchto částí:

- náčrtek
- schéma
- plánek

Ani nejdůslednější vykonaný nákras nemůže vystihnout všechny detaily zobrazeného objektu. Autor náčrtku - plánu omezuje svůj výběr na informace, které se v danou dobu jeví jako významné pro další potřebu.

Topografická dokumentace je zpracována metodami vyměřování, znázorňování a grafického zobrazování části zemského povrchu, trvalých a umělých předmětů. Poskytuje technické informace o rozměru, tvaru a vzájemném umístění jednotlivých objektů a předmětů.

##### 3.1.1.1 Náčrtek

Náčrtek je půdorysný obraz místa zaměřování a je opatřen kótami. Do něj se zakresluje situace, polohy objektů, předměty, stopy atd., jak jsou zjišťovány při zaměřování.

Zásady pro zpracování náčrtku z místa zaměřování:

- zvolit výchozí bod měření, popř. pomocný bod měření (relativně trvalého charakteru)
- zvolit nejvhodnější způsob zaměřování (popř. jejich kombinaci)
- kreslí se na papír formátu A4
- všechny naměřené vzdálenosti se kótuji

### 3.1.2 Fotografická dokumentace

Ani nejvýstižnější zpráva nemůže všechny okolnosti ukázat tak přesně a jednoznačně jako kvalitní fotografie. Také při zpracování dalších písemných materiálů lze odkázat v řadě případů na příslušnou fotografii. Fotografie by měla podat věrný a ucelený obraz zaměřovaného místa.

K zdokumentování zaměřeného místa lze také použít videozáznam, který zachycuje situaci v její dynamice, a při správném ovládní kamery je ze záznamu zřejmá i prostorová návaznost jednotlivých záběrů apod.

## 3.2 Současné metody dokumentování místa pro zaměření a sběr dat pro účely simulace [2]

Jsou to tyto metody:

- geodetické metody zaměřování
- další metody, které k nim patří
- dynamika jízdy vozidla

### 3.2.1 Geodetické metody zaměřování

Základní požadavek měření je zjištění rozměrů dokumentovaných objektů, jejich geometrického tvaru, vzájemných poloh a vzdáleností. Zjištěné údaje mohou být zachyceny buď písemně (popis), anebo graficky (náčrtek). Vzhledem k tomu, že se mohou dokumentovat objekty a situace, které nebude možné trvale uchovat, je nutno měření vykonat velmi přesně. Podklady získané měřením patří mezi objektivně zjištěné informace.

Geodetické metody představují:

- jednoduché polohové měření
- polohové měření pomocí přístrojů

- speciální měření polohopisné
- fotogrammetrie
- technologie GPS
- prostorové laserové skenování

### 3.2.1.1 Jednoduché polohové měření

Poloha bodu se dokumentuje v rovině (resp. v jeho průmětu do vodorovné roviny), a to buď jeho souřadnicemi, anebo ve vztahu k jiným bodům. V praxi se vyžaduje vazba na pevný bod – VBM. VBM tvoří relativně trvalý bod (např. telefonní sloup s číslem, kilometrovník, nároží domu, průsečík v místě, v němž se sbíhají hrany vyvýšených chodníků, okraj mostu apod.).

### 3.2.1.2 Polohové měření pomocí přístrojů

Jde o měření polohopisu pomocí geodetických přístrojů, přičemž jsou hodnoty udávány v polárních souřadnicích (naměřen úhel a vzdálenost od pevného bodu).

Používané přístroje:

- teodolit a pásma
- teodolit a dálkoměrná lať
- teodolit s elektronickým dálkoměrem
- laserové dálkoměry a jiná progresivní geodetická měřicí zařízení

### 3.2.1.3 Speciální měření polohopisné

V praxi je někdy třeba ověřovat jen jednu hodnotu potřebnou pro výpočet. V některých případech mohou být s výhodou použity dále uvedené metody:

- zjištění poloměru oblouku pásmem
- měření a vytyčování úhlu – kompasem, buzolou, úhломěrem apod.
- měření výšky (pentagonální hranol, barometrické měření, trigonometrické měření, nivelace)
- měření sklonu (sklonoměry)

S využitím všech uvedených geodetických metod je možné zabezpečit úplný a s dostatečnou přesností vyhotovený podkladový materiál.

### 3.2.1.4 Fotogrammetrie

Fotodokumentaci v kombinaci s topografickou dokumentací je možné použít i pro zaznamenávání objektů v trojrozměrném zobrazení. Tuto aplikaci zaznamenává fotogrammetrie.

Fotogrammetrie se dělí na:

- leteckou jednosnímkovou a dvousnímkovou
- pozemní stereofotogrammetrii
- pozemní jednosnímkovou a vícesnímkovou

### 3.2.1.5 Technologie GPS [17]

Jedná se o vojenský globální družicový polohový systém, který je tvořen ze sítě družic obíhajících kolem země po přesně daných drahách. Tento systém provozuje Ministerstvo obrany USA. Jen pro informaci je zde uvedeno, že se nejedná pouze o jediný fungující systém. Vedle družicové navigace GPS existuje ještě ruský systém GLONASS.

Družicové systémy lze používat nejen pro navigaci, ale i pro obecné určování polohy, např. geodetická měření. S jeho pomocí je možno určit 3D souřadnici bodů kdekoliv na Zemi nebo nad Zemí s přesností do 10 metrů. Při použití dalších metod, lze zvýšit přesnost až na jednotky centimetrů. Geodetické zaměřování 3D bodů se provádí pomocí GPS přijímačů, které zachycují signály z družic.

### 3.2.1.6 Prostorové laserové skenování [10], [14]

Je možné definovat dva základní principy funkce:

- laserové skenery
- triangulační skenery

Laserové skenery měří horizontální a vertikální úhel a počítají prostorovou vzdálenost buď na základě známé doby letu paprsku laseru, nebo porovnáním fáze vyslaného a přijatého paprsku. Častější je využití technologie doby letu paprsku. Při této metodě je laserový puls vyslán na měřený objekt a vzdálenost je následně počítána z doby mezi vysláním a příjmem odraženého signálu. Laserové skenery využívají malý rotační skenující segment, který postupně odchyluje vyslaný paprsek. Díky tomu je možné změřit prakticky celé okolí skeneru. Dosah a přesnost jsou dány kvalitou použitého laseru. Je měřeno velké množství 3D souřadnic podrobných bodů ve velmi krátkém čase.

Triangulační skenery jsou konstruovány na základě známé základny uvnitř přístroje. Využívá se laserové ukazovátka na jedné straně a digitální kamera pro záznam stopy laseru na druhé straně základny nebo lze využít dvou kamer a projektoru strukturovaného světla na objektu. V prvním případě se prostorové souřadnice bodů na odražejícím povrchu počítají z trojúhelníku, v druhém případě se využívá laserové korelace. Triangulační skenery jsou na krátké vzdálenosti a pro menší objekty přesnější než laserové skenery, jejich dosah ale nepřekračuje 25m.

Důležité části objektu jako rohy a formové linie nejsou přímo měřeny. Je třeba je vytvořit modelováním z mračna bodů.

Skenovací systémy lze dělit podle různých kritérií. Jedním z nich je umístění skeneru při skenování. Je-li skener umístěn pevně na Zemi, jedná se o statický systém, je-li umístěn na pohybujiícím se nosiči (autu, drezíně, vrtulníku, letadle, atd.), jedná se o kinematický systém.

### 3.3 Zhodnocení a výběr metody

Nejlepší metodou, která by se z výše popsaných možností dala použít pro účely zaměření prostorového objektu, by byla bezesporu metoda laserového 3D skenování. Při jejím využití, za pomoci statického nebo kinematického systému, bychom za krátký čas dokázali zaměřit dostatečný počet bodů, z nichž by potom bylo možné vytvořit velice přesný prostorový model zaměřovaného povrchu a jeho okolí. Počet zaměřených bodů závisí na druhu skeneru a rychlosti skenování. Např. skenery s velmi vysokou rychlostí R1 dokážou zaměřit více jak 50 000 bodů za sekundu. V době sběru dat na rychlostní komunikaci R46 (viz kapitola č. 6. 3 a 6. 5) byl v rámci projektu SGS pomocí kinematického systému zaměřen část úseku R46. Sběr dat proběhl za pomoci pracovníků, doktorandů a studentů Ústavu soudního znalectví K622 ČVUT v Praze Fakulty dopravní.

V technologii skenování zůstává však ještě řada otevřených otázek, jako je např. problematika filtrace dat, decimace bodů, problematika spojování několika skenů, působení prostředí na měření a problematika mobilních mapovacích prostředků.

Z výše uvedených nedostatků vyplývá, proč byla pro zaměření bodů volena metoda polohového měření pomocí geodetického přístroje. Tato metoda byla použita i v bakalářské práci *Chování řidičů při použití různých výstražných značek*. Touto metodou lze zaměřit přesnou polohu bodů pomocí hranolového a bezhranolového zaměřování. Čas pro získání těchto bodů lineárně roste s množstvím zaměřovaných bodů. Jelikož má

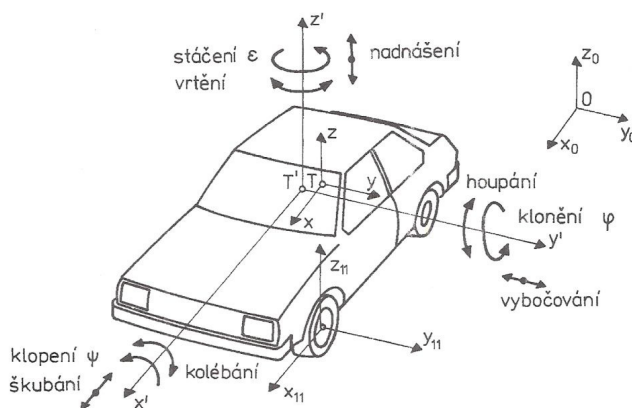
komunikace jasně definovanou geometrií, lze za pomoci interpolace z naměřených dat docílit zvýšeného počtu bodů a tím podrobnějšího modelu. Tato metoda se dodnes používá např. i v soudním znalectví. Rozměry objektů v nízkých a snadno dostupných polohách byly měřeny nivelační latí.

### 3.4 Sběr dat pro účely simulace

#### 3.4.1 Dynamika vozidla [11]

Dynamika se obecně zabývá příčinami pohybu těles a změnami jejich pohybového stavu. Zkoumá pohyb z hlediska působení sil. Chceme-li popisovat dynamiku vozidla, je potřeba definovat souřadný systém, ve kterém se vozidlo pohybuje. Tento souřadný systém je znázorněn na obrázku č. 14. Souřadný systém může být pevný globální  $(0, x_0, y_0, z_0)$  – spojený s vozovkou, nebo lokální – zpravidla spojený s vozidlem. Jeho počátek leží buď v těžišti odpružené části vozidla, nebo těžišti vozidla celého, včetně neodpružených částí  $(T', x', y', z')$ . Těžiště celého vozidla  $T$  je počátkem dalšího souřadného systému  $x, y, z$ . Kromě orientace hlavních směrů ( $x'$  – podélný,  $y'$  – příčný,  $z'$  – svislý směr) se určuje i pohyby kolem takto definovaných os:

- úhel  $\psi$  – klopení, jako pohyb kolem osy  $x'$
- úhel  $\varphi$  – klonění, jako pohyb kolem osy  $y'$
- úhel  $\varepsilon$  – stáčení, jako pohyb kolem osy  $z'$



Obrázek 14 - Globální a lokální souřadný systém vozidla [11]

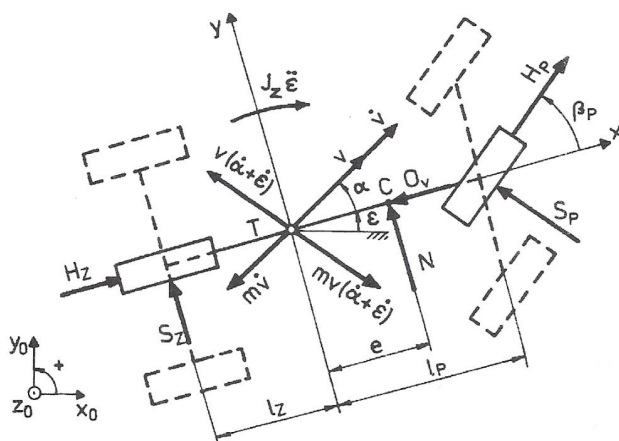
Na základě definovaného souřadného systému rozlišujeme dynamiku ve třech směrech, a to dynamiku:

- podélnou
- příčnou (směrovou)
- svislou

Při vyšetřování jízdní dynamiky odděleně pro jednotlivé směry dochází k jistému stupni zjednodušení. Na základě sledovaných hodnot, které jsou prezentovány dále v kapitole, postačuje se dále zabývat pouze podélnou a příčnou dynamikou.

Podélná dynamika vyšetřuje pohyb v přímém směru osy  $x$ . Vysvětluje akceleraci a deceleraci automobilu, jízdní odpory a výkon. Příčná dynamika šetří pohyb ve směru osy  $y$ , která může při překročení kritické hodnoty destabilizovat jedoucí vozidlo. Jedná se o působení příčné gravitační složky sil, síly od bočního větru a síly vzniklé nerovnoměrným zatížením vozidla.

Při sestavování vhodného matematického modelu automobilu, kdy dochází k vyšetřování říditelnosti a stability automobilu, dochází k určitému zjednodušení. Pro teoretické řešení vlivu polohy těžiště a jízdní vlastnosti automobilu se s výhodou používá rovinný dynamický model automobilu, který je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 15 - Jednostopý rovinný dynamický model automobilu [11]

Boční vzdušná síla  $N$  a vzdušný odpor  $O_v$  působí v aerodynamickém středě  $T_{ac}$ , který je od těžiště  $T$  vzdálen o vzdálenost označenou  $e$ . V těžišti pak působí setrvačná síla  $ma$ , kde  $a$  je tečné zrychlení těžiště a odstředivá síla  $F_0 = mv(\dot{\alpha} + \dot{\epsilon})$ , kde  $v(\dot{\alpha} + \dot{\epsilon})$  je



dostředivé zrychlení těžiště,  $\varepsilon$  je hodnota úhlové rychlosti otáčení vozidla kolem svislé osy – neboli stáčivá rychlost,  $\dot{\alpha}$  vyjadřuje úhlovou rychlost směrové úchyly těžiště. Na automobil dále působí setrvačný moment  $J_{zz}\ddot{\varepsilon}$ , kde  $J_{zz}$  je hmotnostní moment setrvačnosti kolem osy  $z$  procházející těžištěm.

Dle obrázku č. 15 je možné sestavit soustavu tří lineárních diferenciálních pohybových rovnic (3. 1) vyjadřující rovnováhu sil ve směru podélném (osa  $x$ ), rovnováhu sil ve směru příčném (osa  $y$ ) a momentovou větu kolem osy  $z$ , šetřící stáčivý pohyb. Za předpokladu malých úhlů ( $\sin(x) = 0$  a  $\cos(x) = 1$ ) lze napsat:

$$\begin{aligned} -ma_x + H_p + H_z - O_v &= 0 \\ -mv(\dot{\alpha} + \varepsilon) + S_p + S_z - N &= 0 \\ -J_{zz}\ddot{\varepsilon} + S_p l_p - S_z l_z + Ne &= 0 \end{aligned} \quad (3.1)$$

kde  $m$  – hmotnost vozidla [kg],  $a_x$  - zrychlení těžiště ve směru osy  $x$  [ $\text{m.s}^{-2}$ ],  $v$  – okamžitá rychlost těžiště vozidla [ $\text{m.s}^{-1}$ ],  $H_{p,z}$  – obvodové hnací síly [N],  $O_v$  – vzdušný odpor [N],  $\dot{\alpha}$  - úhlová rychlost směrové úchyly [ $\text{rad.s}^{-1}$ ],  $\varepsilon$  - stáčivá rychlost [ $\text{rad.s}^{-1}$ ],  $\ddot{\varepsilon}$  - stáčivé zrychlení [ $\text{rad.s}^{-2}$ ],  $S_{p,z}$  – boční vodící síly pneumatik [N],  $N$  – boční vzdušná síla [N],  $J_{zz}$  – hmotnostní moment setrvačnosti kolem osy  $z$  [ $\text{kg.m}^2$ ],  $l_{p,z}$  – vzdálenost těžiště od přední resp. zadní nápravy [m],  $e$  – vzdálenost aerodynamického středu od těžiště [m]. Index  $p$  označuje přední nápravu a index  $z$  označuje zadní nápravu.

### 3.4.2 Měření dynamiky jízdy automobilu

Pro měření dynamiky jízdy vozidla se používají akcelerometry a senzory. Jejich poloha by se při měření měla nacházet v těžišti vozidla, což je v praxi těžko realizovatelné. Tyto přístroje jsou schopny za jízdy vozidla vyhodnocovat všechny pohyby, které jsou znázorněny na obrázku č. 14, a síly, které na automobil působí vzhledem k lokálnímu souřadnému systému. Polohu automobilu v čase, lze pomocí senzoru GPS zaznamenávat vzhledem ke globálnímu souřadnému systému.

Pomocí těchto dat můžeme např. šetřit bezpečnostní parametry komunikace, jako je klopení komunikace, příčný a podélný sklon vozovky, ale i kritickou rychlost při průjezdu obloukem apod.

## 4 CA systémy [29], [37], [38], [39], [15], [22]

*Máme nejlepší nástroje a prostředky, jaké kdy člověk vlastnil, ale nezastavíme se  
a neptáme, k čemu vlastně jsou.*

*Erich Seligmann Fromm*

V úvodu této kapitoly budou nejprve obecně popsány a segmentovány CA systémy, aby bylo pochopitelné, ve které oblasti se CAD systémy nacházejí. Dále budou popsány jednotlivé generace CAD systému. Představen bude i AutoCAD, ve kterém byl vytvořen digitální model, který je součástí praktické části této diplomové práce a který slouží jako podklad pro simulační prostředí (viz kapitola č. 6. 5. 3).

Tyto CA systémy jsou určeny na podporu inženýrských činností, které se používají v různých odvětvích průmyslu. Umožňují urychlit a zjednodušit tzv. inženýrské činnosti, jako je kreslení, konstruování, dimenzování, projektování, výroba, atd. Mezi nejznámější počítačem podporované systémy patří CAD a CAD/CAM. Představují důležitý nástroj pro zvyšování produktivity, efektivity a racionalizace práce, jakož i zvyšování přesnosti a snižování nákladů na výrobu.

Požadavky, na základě kterých došlo k nasazení CA systémů, byly následující:

- snížení výrobních nákladů a zásob ve skladech
- zvýšení produktivity, jakosti a flexibility výroby, časového a výkonného využití výrobních zařízení
- zkrácení doby vývoje a výroby
- zlepšení přehledu o stavu výroby
- odstranění příčin vzniku chyb

### 4.1 Historie a vývoj CA systémů

V 50. letech byl navržen koncept číslicově řízených strojů. V polovině 60 let se začínají objevovat malé počítače (odlišení od sálových počítačů). Koncem 60. let vznikly první systémy počítačové podpory kreslení (CAD), protože vznikla potřeba racionalizovat činnosti při vyhotovování konstrukční dokumentace. V roce 1970 vznikla koncepce CNC (číslíkové řízení obráběcích strojů pomocí počítače) a to lze považovat za první pokus o počítačem podporovanou výrobu (CAM). Začátkem 70. let se objevily počítačové systémy

pro podporu tvorby technologické dokumentace (CAPP). V 90. letech vznikl koncept CAD/CAM systémů, které umožňují v rámci jednoho systému výrobek namodelovat, navrhnout technologii pro konkrétní typ stroje a řídit výrobní strojní zařízení.

## 4.2 Rozdělení CA systémů

I když existuje celá řada počítačem podporovaných CA systémů, budou zde uvedeny jen ty nejvýznamnější z nich.

### **CAD (Computed Aided Design) systémy:**

Představuje počítačový návrh resp. počítačem podporovaný návrh součástky nebo počítačovou podporu tvorby konstrukční dokumentace. Jedná se o programové vybavení pro matematické modelování součástek a jejich vlastností. Patří sem úlohy interaktivního konstruování, vytváření grafických modelových objektů, práce s modely a jejich transformace do digitální podoby. Kromě grafických činností umožňují realizovat CAD systémy i inženýrské výpočty, které se někdy nazývají jako CAE (Computer Aided Engineering - počítačem podporované inženýrské práce)

Zpočátku byl počítač při konstrukčním návrhu využíván jen při kreslení. Postupně tyto systémy umožňovaly modelovat i fyzikální vlastnosti, analyzovat a simulovat navrhnuté vlastnosti. Tímto způsobem došlo k přechodu od dvojrozměrného 2D modelování na objemové 3D modelování a parametrické modelování.

### **CAPP (Computer Aided Process Planning):**

Představuje počítačovou podporu při návrhu technické dokumentace. Na základě konstrukční dokumentace se navrhuje technologická dokumentace. Technologická dokumentace obsahuje informace, které určují, co se bude vyrábět, jak (jaké výrobní metody), kde (na jakém strojním vybavení) a za jakých podmínek. CAPP systémy umožňují vyrábět NC programy pro NC a CNC stroje, ale i řídicí programy pro průmyslové roboty. Výstupem těchto systémů je technologická dokumentace, která slouží pro operativní plánování a řízení výroby. Většinou jsou CAPP systémy vytvářeny v databázových systémech. CAPP systémy tvoří důležité propojení mezi CAD a CAM systémy.

### **CAM (Computer Aided Manufacturing):**

Představují počítačem podporovanou výrobu. CAM systémy zahrnují počítačové číslicové řízení CNC výrobní techniky, robotů, mezioperační dopravy výrobků,

polotovarů, náradí apod. Patří sem automatizované operativní řízení výroby na dílenské úrovni, číslicově řízené výrobní systémy, automatizované dopravníky, automatizované sklady apod.

CAM systémy podmínily rozšíření CN techniky. Proto jejich vývoj souvisel s vývojem CN a CNC techniky a systémů. Postupně se začaly integrovat CAD, CAPP a CAM systémy do jednoho systému, který je známý pod názvem CAD/CAM. Tyto systémy integrují modelování součástky a její konstrukční návrh, návrh technologické dokumentace ve formě NC programů a operativního řízení výroby do jednoho počítačového systému. Jejich výhodou je, že dokážou řešit komplexnější a složitější úlohy. Integrovanou částí CAD/CAM systému je model výrobku.

#### **CAE (Computer Aided Engineering):**

Počítačová podpora inženýrských prací. Speciální aplikace dovolující testování a analýzu navržené konstrukce podle požadovaných kritérií (analýza je často již součástí větších CAD aplikací, ale existují také nezávislé systémy CAE), simulace různých podmínek, aby bylo možno zjistit, jak se konstrukce chovají v reálných podmínkách. Zahrnuje v sobě systémy jako CAD, CAD/CAM a CAPP.

#### **CAQ (Computer Aided Quality):**

Počítačem podporovaná kvalita nebo počítačem řízená kvalita. Jsou propojené skrze veškeré CA systémy, protože řízení kvality se nechápe jen jako „výstupní“ kontrola, ale jako neustálý proces ovlivňování kvality na veškerých stupních výroby součástek. To znamená v konstrukci, technologii, v samotné výrobě, ale i při montáži a jiných činnostech. Jedná se o zabezpečení kontroly výroby a řízení kvality výrobků. Kromě sledování parametrů vyráběných součástek slouží i pro sledování parametrů výrobních strojů a nástrojů. Základem jsou statistické metody. Jde o komplexní péči o kvalitu výrobku.

#### **PPS (Production Planning System):**

PPS systémy mají za úkol plánování a řízení výroby tak, aby byla optimální z kapacitního, ekonomického a časového hlediska. Jedná se o úlohy ekonomických kalkulací, vytváření optimálních ročních, měsíčních, denních výrobních plánů s ohledem na výrobní kapacity výrobních zařízení apod.

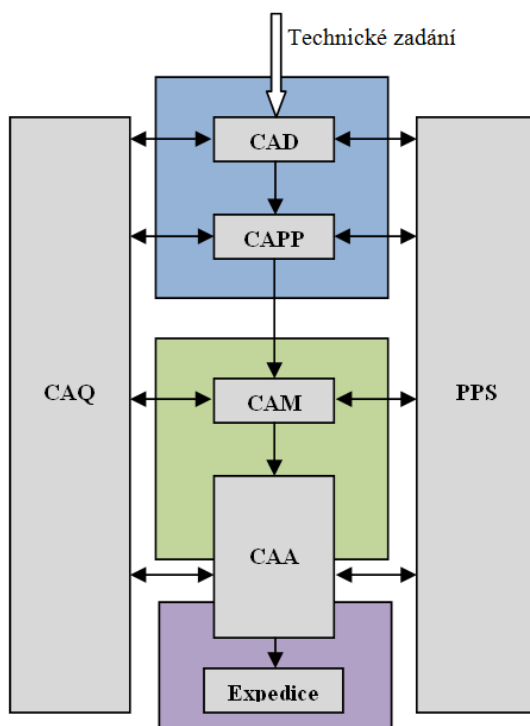
**CIM (Computer Integrated Manufacturing):**

Nepředstavuje systém, ale integraci systémů, zúčastňujících se přímo nebo nepřímo na realizaci výrobku. CIM tedy můžeme chápat jako komplex navzájem integrovaných systémů, které se podílejí na realizaci výrobku. Jedná se o integraci počítačem podporovaných systémů v předvýrobních a výrobních etapách. Jako základ pro širší integraci CA systémů v podniku se uvažují systémy CAD, CAD/CAM, CAM, CAPP, CAQ a PPS systémy.

**CAPE (Computer Aided of Production Engineering):**

Jedná se o subsystém počítačem integrované výroby CIM a zahrnuje v sobě počítačovou podporu všech činností spojených s realizací samotné výroby výrobku. Tato etapa počítačové podpory plynule navazuje na aplikaci počítačové podpory v technické přípravě výroby a je nevyhnutelná pro zabezpečení podmínek souběžného inženýrství. CAPE je širší pojmenování CA systémů podporujících technicko-realizační etapu. Proto se CAPE chápe jako počítačová podpora výrobního inženýrství.

Na dalším obrázku je pro představu znázorněno schéma CA systému ve strojařském podniku.



Obrázek 16 - Schéma CA systému ve strojařském podniku

Existuje ještě velké množství počítačem podporovaných systémů. Mezi další využívané systémy jsou např.:

- CAA (Computer Aided Assembly) – montáž
- CAT (Computer Aided Testing) – testování
- CAL (Computer Aided Logistic) – logistika
- CAL (Computer Aided Layout) – rozmístění výrobních strojů apod.

### 4.3 CAD systémy

Současný CAD software je možné rozdělit podle rozsahu a účelu do následujících skupin jako malé, střední a velké.

#### **Malé (I. generace):**

Relativně levný software umožňující skicování a kreslení, ale není určen pro konstrukci. Jde o program, který nezachází za hranice 2D a má omezené možnosti doplňování systému. Jedná se o software typu EasyCAD, DesingCAD, Autosketch, Corell Draw, AutoCAD LT a mnoho jiných. Jsou nejlevnější a jejich cena představuje jen zlomek obstarávací ceny středních nebo velkých CAD softwarů.

#### **Střední (II.generace):**

Do skupiny středního CAD software je možno zařadit také software, který podporuje úplný 2D a částečně 3D design, např. MicroStation, FastCAD ale i AutoCAD, Autodesk Mechanical Desktop apod. Pracují v rovině a mají na vysoké úrovni propracované 2D kreslicí nástroje, uchopovací režimy, editovací nástroje, možnost práce v hladinách, velké množství typů čar a barev. Podporují i některé 3D nástroje, jako je vytvoření 3D modelu z vytvořené křivky rotací či posunutím, práci se spline křivkami a plochami, promítnutí křivky na určenou rovinu, konstrukci spirálové plochy a jiné. Prostředí umožňuje tvorbu nadstavbových modulů. S možnostmi těchto softwarů rostou i jejich nároky na hardware a zvyšuje se i jejich cena.

#### **Velké (III.generace):**

Pod velkým CAD software rozumíme software pracující v prostředí 3D, umožňující parametrizaci s návazností na CAM a CAE. Mají analogické kreslicí a uchopovací nástroje, editovací režimy jako předcházející, ale s tím rozdílem, že se jedná o nástroje pracující plně ve 3D prostředí. Modulární systémy zahrnují celé spektrum činností

ve strojnictví. Příkladem může být software Autodesk Inventor, Autodesk Mechanical Desktop, Pro/ENGINEER, CATIA a jiné.

Obory, ve kterých se pracuje s CAD systémy, se dají rozdělit do následujících skupin:

- potrubní systémy a technické vybavení budov (TZB)
- územní plánování a geografie (GIS)
- design a koncepční navrhování
- stavebnictví a architektura
- strojírenství
- liniové a dopravní stavby

#### 4.3.1 Přehled vývojářů CAD/CAE software a jejich produktů:

- **Autodesk**
  - AutoCAD, Inventor, 3dsMax
- **Dassault Systems**
  - Catia, Simulia, 3Dvia
- **Parametric Technology Corporation (PTC)**
  - ProEngineer
- **Bentley Systems**
  - Microstation
- **Siemens PLM Software**
  - Solid Edge
- **McNeel**
  - Rhinoceros
- **SolidWorks Corporation**
  - dnes dceřiná společnost Dassault Sys.

#### 4.3.2 Obecné CAD systémy

- **MicroStation:**
  - Poměrně rozšířená aplikace zvláště v oblasti kartografie (katastrální úřady). Výstupem jsou soubory ve formátu DGN.

- **SketchUp:**
  - Jednoduchý CAD software vyvinutý společností Google. Slouží k vytváření 3D modelů a jejich texturování. Jeho hlavní předností je možnost umístit model přímo do mapy pomocí Google Earth.
- **DoubleCAD XT:**
  - Aplikace vzhledem i funkcemi připomínající AutoCAD. Její hlavní výhodou je, že je zcela zdarma, a to i pro komerční využití. Neprodukuje nativní (přirozený, původní) DWG formát.
- **AutoCAD:**
  - Univerzální CAD aplikace firmy Autodesk. Prodává se ve dvou variantách - AutoCAD LT a plný AutoCAD. V roce 2012 byl představen AutoCAD WS pro mobilní zařízení.

### 4.3.3 Specializované CAD systémy pro liniové stavby

- **AutoCAD Civil 3D:**
  - Vychází z jádra AutoCADu. Software zaměřený na územní plánování, návrh inženýrských a liniových staveb, jejich analýzu, optimalizaci, atd. Pomocí programu 3dsMax a nadstavby Civil view (dříve Dynamite VSP) lze navržené řešení vizualizovat.
- **InRoads Suite:**
  - Bentley MXURBAN – parametrický software pro projektování vozovek ve městech a městských oblastech
  - Bentley MXROAD - vyspělý nástroj pro 3D (prostorové) modelování všech možných typů silnic
- **TES (Traffic Engineering Software):**
  - software pro správu a analýzu dopravních dat vyvinutý dopravními inženýry
- **Urban Circus:**
  - software pro vizualizaci infrastruktury podporující množství datových formátů



#### 4.3.4 Specializované CAD systémy pro strojírenství (CAE)

- **CATIA:**
  - Nejstarší aplikace (1970) pro vývoj ve 3D. Nejlepší v oblasti práce s plochami.
- **Inventor:**
  - Relativně mladý, ale o to dravější produkt z dílny Autodesku. Slabší v simulačních modelech, na druhou stranu vyniká intuitivním ovládáním.
- **SolidWorks:**
  - Aktuálně součást produktů Dassault Systems. Používán mj. v lékařství.
- **Pro/Engineer**
  - druhý nejstarší produkt na trhu (1980)
- **Solid Edge:**
  - uplatnění především v automatizačních a řídicích procesech

#### 4.3.5 Specializované CAD systémy pro stavitelství

- **Revit:**
  - Kompletní řešení pro návrh a správu budov. Podporuje simulaci stavby budov, slunečního osvětlení, atd.
- **AutoCAD Architecture:**
  - Aplikace určená pro architekty. Umožňuje efektivní návrh budov a jejich dokumentaci.
- **ArchiCAD**
- **Nemetschek**

#### 4.3.6 Specializované CAD systémy pro design

- **Alias:**
  - Aplikace pro návrh, vývoj a inovaci produktů. V současné době používána především v automobilovém průmyslu.
- **3Ds max:**
  - používá se především ve filmovém a zábavním průmyslu
- **Maya:**
  - platí totéž co pro 3Ds Max

- **CATIA – Freestyle Sketch:**
  - tvorba modelů modifikací sítí a tažením křivek
- **Rhino, Blender, Cinema 4D, ZBrush** atd.

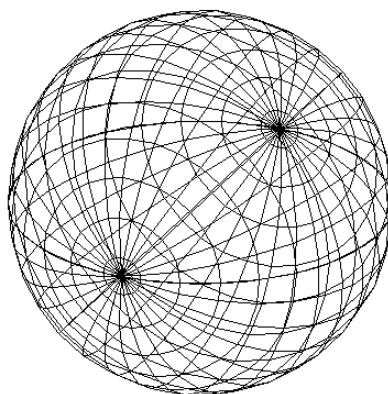
#### 4.3.7 Ostatní podpůrné aplikace

Tyto aplikace pomáhají zefektivnit práci v CAD systémech. Slouží jako podpora práce s 3D daty (**Photoshop**), nástroj pro tvorbu manuálu dokumentace a prezentačních animací (**3DVIA Composer**), prostředek pro prezentaci výrobku (**3D tiskárny, Rapid prototyping** – výroba prototypů pomocí 3D tisku), zařízení pro přesný a snadný pohyb v prostoru (**3D myš**), pomůcka při kreslení a skicování ve 2D a pro modelování a navrhování v oblasti 3D (**tablet**). Dále se jedná o nástroj umožňující nahrávání pohybu skutečného objektu a jeho převedení na digitální model (**Motion capture – snímání pohybu**), **virtuální kamera, Simul-cam** apod.

#### 4.3.8 Reprezentace prostorového modelu v CAD systémech

##### 4.3.8.1 Drátový model

Je tvořen body, které jsou spojeny křivkami. Model je úsporný, avšak pro praktické účely omezující a příliš zjednodušující – chybějí údaje o stěnách mezi křivkami a o prostoru (objemu) ohraničeném stěnami.

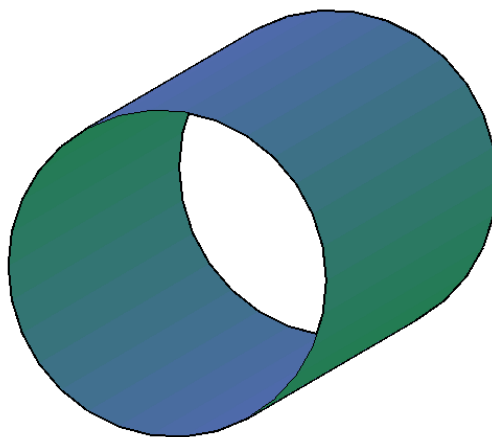


Obrázek 17 - Prezentace prostorového modelu drátovým modelem

##### 4.3.8.2 Plošný model

Je tvořen body (vrcholy), hranami a stěnami. Systémy pracující s plošnými modely umožňují konstrukci ploch. Postup konstruování je totožný jako u drátových modelů,

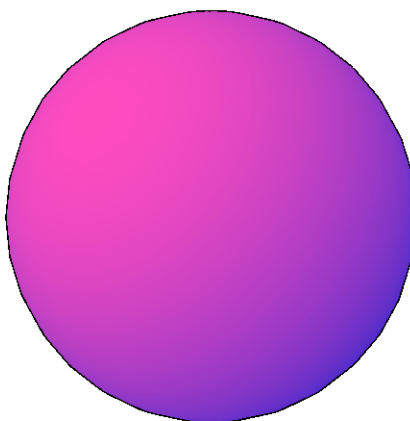
tj. tvorba vrcholů, hran a nakonec definice ploch. Precizně definuje tvar ploch, ale chybějí informace jako objem (prostor uvnitř objektu), hmotové vlastnosti (moment setrvačnosti, poloha těžiška) atd.



Obrázek 18 - Prezentace prostorového modelu plošným modelem

#### 4.3.8.3 Objemový model

Překonává uvedená omezení reprezentace trojrozměrných těles charakteru modelů objektů v počítači. Umožňuje provádět spojování těles, jejich průnik či rozdíl, je možné provádět řezy těles rovinou či jinými plochami, modelovat hmotnostní vlastnosti těles jako moment setrvačnosti, těžiště apod. Další velkou předností objemového modelu je názorná vizualizace či animace trojrozměrné scény na obrazovce včetně simulace vjemu různých typů povrchů objektů v prostoru osvětleném různými typy světel včetně "realistických" stínů.



Obrázek 19 - Prezentace prostorového modelu prostorovým modelem

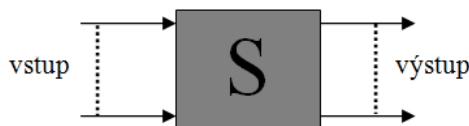
### 4.3.9 AutoCAD

Výrobce je Autodesk Inc., Kalifornie, USA. Jedná se o profesionální grafický počítačový systém pro podporu konstruování. Tento CAD systém patří mezi nejpoužívanější, používá ho přes tři milióny registrovaných uživatelů ve více než 150 zemích celého světa. První verze vyšla v roce 1982 a pracovala pod MS-DOS (AutoCAD Release 1). Jednalo se o první CAD systém běžícím na PC. AutoCAD je používán např. v architektuře, chemii, elektronice, stavebnictví, geodézii, kartografii a dalších oborech. Pomocí AutoCAD byl například konstruován vůz Tyrell Yamaha 022 formule 1. Vývoj softwaru AutoCAD byl postupně až do verze 14, dále se obchodně značí podle letopočtu (2000, 2002, 2004, 2005, 2006, ..., 2012). Podporuje několik programovacích jazyků, od jednoduchých skriptových (posloupnost příkazů AutoCAD psaná v textovém souboru kódovaným ASCII) až po C++, Visual Basic for Applications a další. Je v něm integrován vlastní programovací jazyk AutoLISP, resp. VisualLISP. Je možné tvořit sdružené objekty do skupin a vytvářet tak komplexní objekty, které se pak chovají jako jednotlivé objekty.

## 5 Modelování a simulace

### 5.1 Systém a model [18]

Pod pojmem systém si můžeme představit část prostředí, které lze od jeho okolí oddělit fyzickou nebo myšlenkovou hranicí. Každý systém má své vstupy a výstupy.



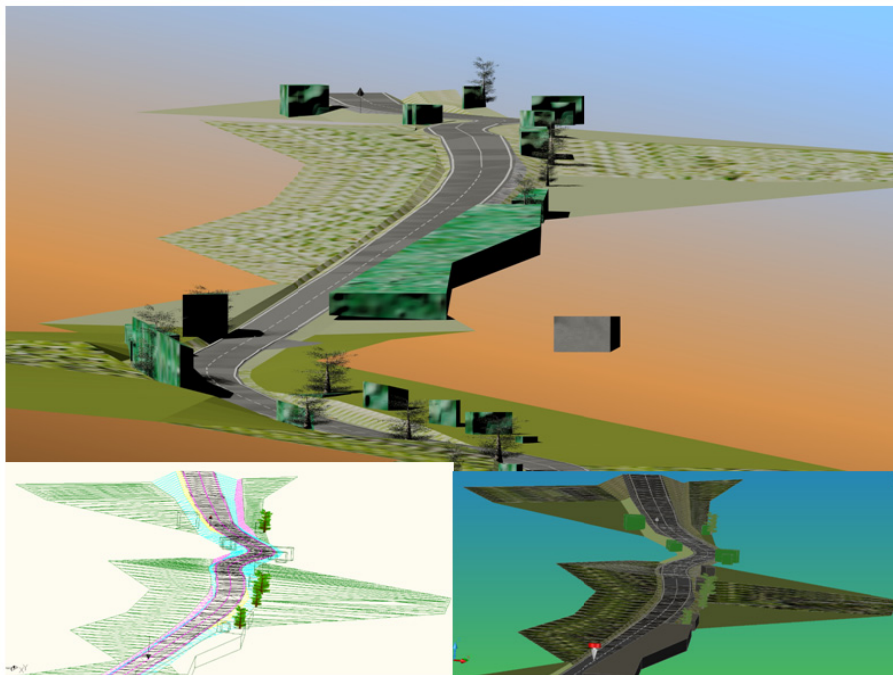
Obrázek 20 - Schéma zobrazení systému

Systémem může být například:

- podnik (z ekonomického hlediska)
- oblast města (z dopravního hlediska)
- křižovatky (řízené, neřízené)
- parkoviště
- vozidlo
- tlumení u vozidel
- řidič

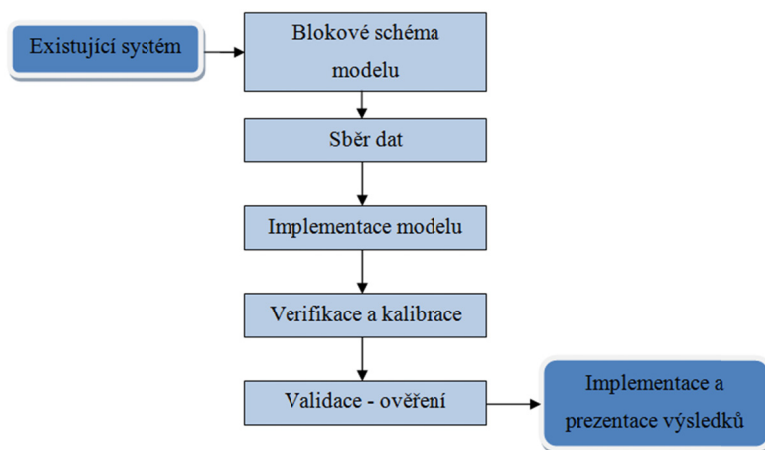
Model je zjednodušený obraz skutečnosti (systému). Přejít od reality k modelu bývá obvykle velmi obtížný. Vždy je potřeba stanovit míru podobnosti, tj. míru abstrakce, s níž model tvoříme, tak aby v rámci této míry model přesně reflektoval realitu, resp. aby formulace problému v termínech modelu odpovídala formulaci v termínech reality. Tato míra nemůže být nikdy stoprocentní shodou, neboť potom bychom museli dospět k poznání, že „nejlepším modelem kočky je kočka“. Proto se často používá k modelování reálného světa teorie pravděpodobnosti a k určování parametrů modelu výsledky statistického pozorování modelovaného reálného objektu. [16]

Při vytváření modelu musíme vždy hledat kompromis mezi nejvěrnějším obrazem reality na straně jedné a mezi jednoduchostí modelu na straně druhé. Na následujícím obrázku je ukázka rendrovaného modelu reálného úseku komunikace. Tento model byl výstupem praktické části bakalářské práce a celý model byl vytvořen v AutoCAD.



ie

Při vytváření modelů by měly být obecně dodrženy určité postupy. Ty jsou zachyceny na následujícím obrázku.



V části implementace modelu dochází k vytváření modelu za účelem jeho dalšího použití. Tomuto kroku předchází analýza zadání, definování postupů a očekávaných výsledků. V části verifikace a kalibrace ověřujeme, zdali výsledky dávají smysl. V procesu validace se model uznává za platný.

Modely můžeme rozdělit do několika kategorií:

- fyzikální – např. maketa automobilu v aerodynamickém tunelu

- matematické
  - analytické
  - simulační – nástroj hrubé síly pro komplexní systémy
- deterministické – exaktně popisují danou simulaci, např. rovnicí (př. srážka vozidel popsanou rovnicemi, produkce výrobní linky)
- stochastické – vstupní parametry modelu jsou vyjádřeny jako náhodné veličiny. Stochastický model dává při stejných parametrech různé výsledky na výstupu (př. vstup zákazníků, zpoždění, chyba měření).

Výhody simulačních modelů:

- analýza systémů, pro které neexistují analytické modely
- neobvyklé situace
- studium systémů v reálném čase
- experimenty i v případě zvýšených požadavků na investice, či bezpečnost
- modelování systémů může pomoci porozumět skrytým procesům

Nevýhody simulačních modelů:

- časová a finanční náročnost
- množství požadovaných vstupních dat
- občas je lidé vnímají jako „black box“ - musíme porozumět jejich principům a předpokladům
- musíme použít vhodné metody kalibrace a validace

## 5.2 Simulace [22]

Simulace a počítačové modelování je jednou z velmi významných oblastí využití výpočetní techniky. Původní motivace pro vývoj počítačů vycházela právě z oblasti modelování.

Simulační systémy slouží v zásadě k tomu, abychom s nimi prováděli experimenty. Simulace můžeme chápat jako modelování na počítači.

V některých oblastech bychom se přitom bez simulačních experimentů neobešli, a to zejména z libovolného následujícího důvodu:

- simulační experiment je levnější než reálný pokus (drahý materiál)
- pokus v reálu není možný (je nad technické možnosti)
- originál simulovaného systému neexistuje nebo je nedostupný (simulace pochodů v kosmickém prostoru)
- skutečné pokusy jsou neetické (jaderné zbraně)
- pomocí simulování mimořádných situací jsou trénováni zaměstnanci a jejich reakce na tyto situace (jaderné elektrárny, letecké simulátory)

Při tvorbě simulačního systému zpravidla uplatníme tyto fáze:

- sledování původního (reálného) systému
- popis činnosti systému – vytvoření modelu, obrázků, rovnic
- formální popis systému
- návrh simulačního programu
- ladění a verifikace programu
- simulační experimenty
- aplikace výsledků.

Zjišťujeme přitom, že vzor má svoji vnitřní strukturu, může se nacházet v určitých stavech, existují v něm rozlišitelné situace, a probíhají v něm jisté děje, které jej převádí z jedné situace do jiné. Přitom soubor všech situací systému je uzavřen vůči dějům (tedy je schopen reagovat na každou situaci).

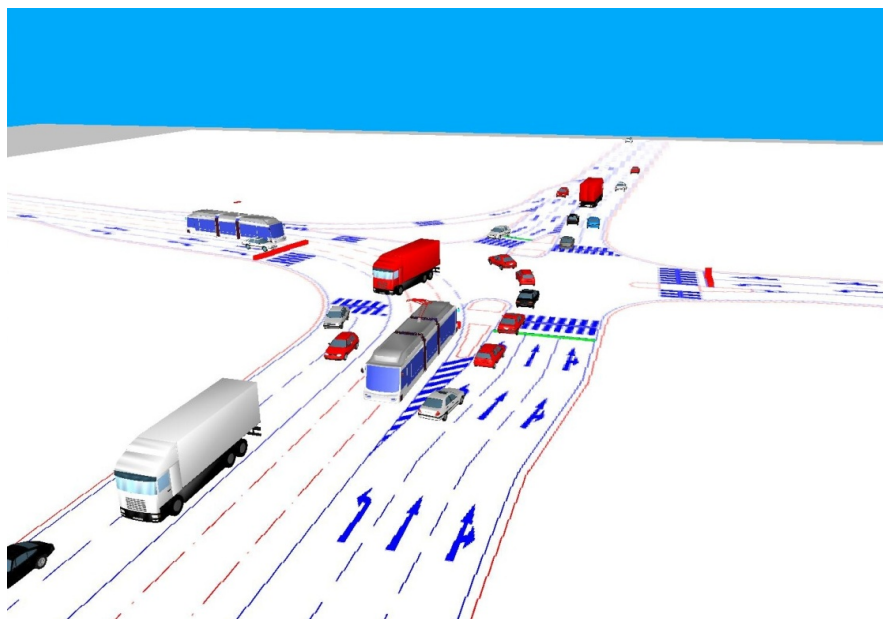
Simulace je tedy výzkumná metoda, která spočívá v tom, že zkoumaný dynamický systém nahradíme modelem a provádíme na něm pokusy s cílem získat informaci o původním zkoumaném objektu.

Jako příklady simulací uvádím následující:

**Křižovatka** – na křižovatku přijíždějí auta z různých směrů, a také do různých směrů odjíždějí. Simulací proudů vozidel můžeme např. ověřovat, zdali křižovatka kapacitně vyhovuje dané intenzitě vozidel na vstupu, nebo můžeme porovnávat stejnou křižovatku řízenou SSZ a bez řízení. Na základě vytvořeného modelu lze sledovat různé inženýrské



dopravní průzkumy (zdržení vozidel v křižovatce, délka kolony na vjezdu a mnoho dalších).



Obrázek 23 – Simulace modelu čtyřramenné průsečné křižovatky se SSZ v prostředí PTV VISSIM

**Fronty** - systémy hromadné obsluhy, ke kterým postupně v čase přicházejí požadavky, které pak linka obsluhuje.

### 5.3 Softwarové prostředky pro simulaci a analýzu DN [23]

Razantní vývoj hardwaru a softwaru, který je možné pozorovat v posledních letech, umožňuje nasazení složitých matematických postupů na osobních počítačích. Programy používané pro analýzu dopravních nehod lze dělit dle mnoha vlastností.

Potenciální uživatelé softwaru se zaměřením na vyhodnocení DN a crash testů:

- automobilový průmysl – koncerny (zajímají je především možnosti vývoje, zlepšování bezpečnosti, ověřování použitých technologií – výrobní tajemství, snaha o uzavřenost)
- soudní znalci – uzavřená komunita (vyhotovování posudků, společnost zvyšuje tlak na používání simulačních softwarů)
- vzdělávací a výzkumný sektor – univerzity, ústavy

V současné době se v Evropě v oblasti soudního znaleství k dopřednému řešení střetů a pohybu vozidel, střetu vozidel s chodci, motocykly, jízdními koly používají nejčastěji programy: [21]

- PC Crash
- Virtual Crash
- CARAT (Computer Aided Reconstruction of Accidents in Traffic)
- SMART
- Analyzer Pro
- Impulz Expert
- SMAC (Simulation Model of Automobile Collisions)
- HVE
- SIMON
- V-SIM
- Madymo
- apod.

Na FD ČVUT v Praze jsou k dispozici licence softwarových produktů PC Crash, Virtual Crash, Impulz Expert, Madymo a Simpack. V současné znalecké praxi patří k nepoužívanějším programům PC Crash v kombinaci Impulz Expert.

Simulace v praktické části této diplomové práce (viz kapitola č. 6. 6), bude vytvořena alespoň v jednom níže uvedeném simulačním prostředí.

### 5.3.1 PC Crash

PC Crash je software určený pro rekonstrukci dopravních nehod. Jeho využití je zcela zásadní v oblasti soudního znaleství pro automobilovou dopravu.

Rekonstrukce dopravní nehody je díky množství parametrů (3D modely, reálné výpočty reakce těles) přesná.

Software umožňuje použití vícetělosového systému pro zdokonalení výpočtů a přiblížení se tak realitě. Databáze vozidel je aktualizována a jsou připraveny i šablony posádky, chodců, jezdců na motocyklech apod.

Jedna z nejdůležitějších vlastností PC Crash je v použití různých matematických modelů. Přitom je možné z jednoduché kinematické simulace kdykoli přejít

ke komplikovanějšímu modelu. Všechny předtím uskutečněné definice se v tomto případě automaticky převezmou. Všechny výsledky se okamžitě, po vypočtení simulace, zobrazí v grafické i číselné podobě.

System podporuje import modelů z CA modelářů, což je důležité pro možnost modelování prostorového terénu a vlastních modelů vozidel. U složitých simulací umožňuje spolupráci se systémem MADYMO.

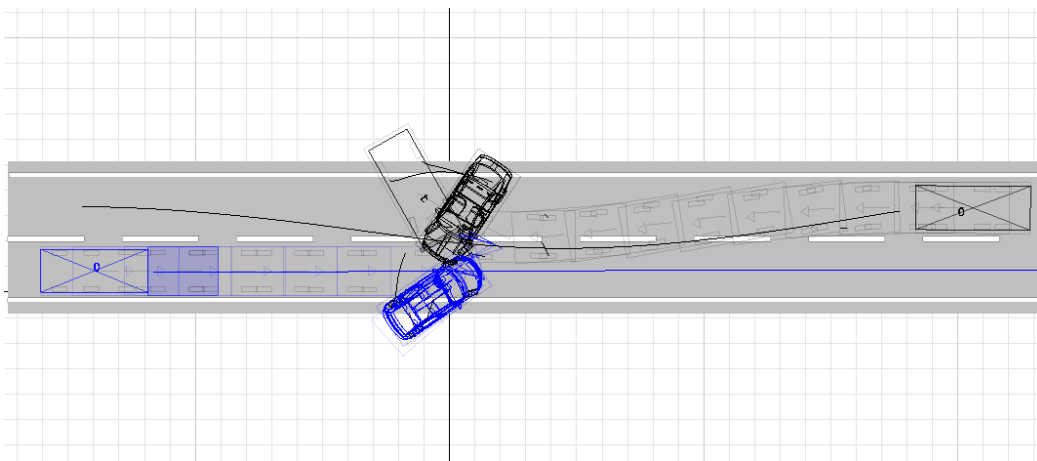


### 5.3.2 Virtual Crash

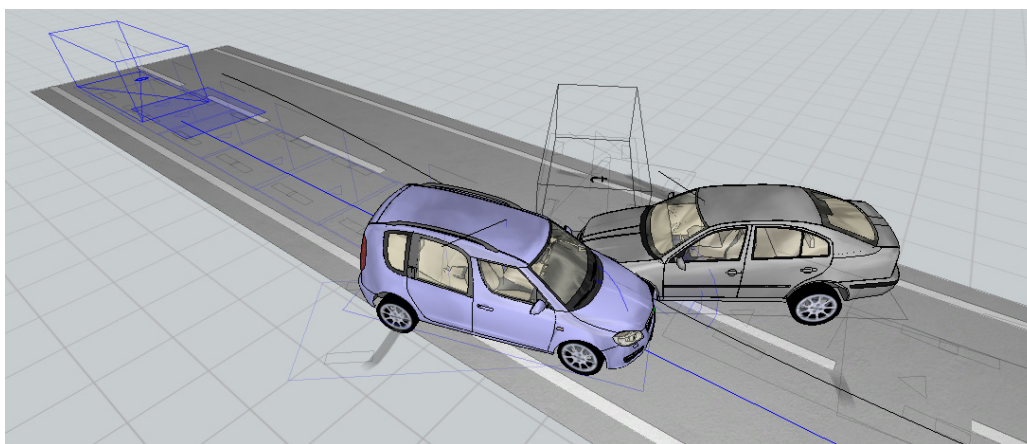
Virtual CRASH je program nové generace pro simulaci dopravních nehod. Mimo samotné simulace umožňuje Virtual CRASH zobrazit výsledky v technických plánech, 3D perspektivních pohledech, v diagramech a tabulkách. Samozřejmostí jsou i videosekvence.

Program je určen zejména pro:

- výpočet deformace vozidel v reálném čase
- výpočet deformační energie
- podporuje plně modelování jak kinematických tak dynamických řešení



Obrázek 26 – 2D zobrazení simulačního prostředí Virtual CRASH



Obrázek 27 – 3D zobrazení simulačního prostředí Virtual Crash

## 6 Praktická část diplomové práce

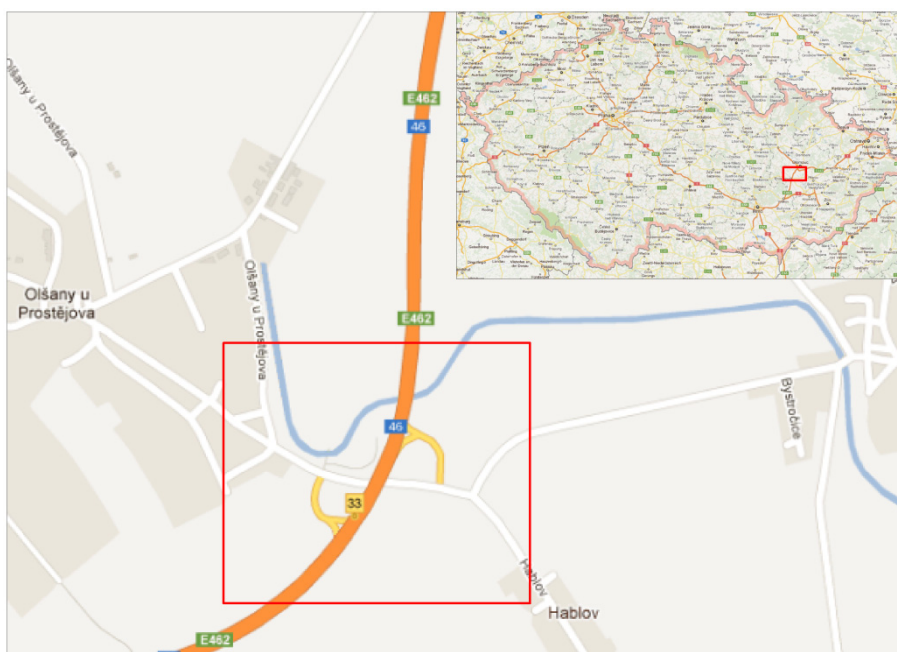
### 6.1 Zadání úlohy

Cíl:

- navrhnout metodu, jakým způsobem se ze zaměřených dat vytvoří reálný model dopravní situace v simulačních prostředích pro analýzu dopravních nehod
- řešit rozhledové podmínky modelované situace

Ke splnění těchto cílů bylo využito geodetického zaměření reálné situace povrchu, měření dynamiky jízdy vozidla a statistického průzkumu chování dopravního proudu na rychlostní komunikaci R46.

Pro praktickou část této diplomové práce, v rámci výzkumu SGS, došlo k zaměření mimoúrovňové křižovatky (MÚK) Olšany, která se nachází na 33. kilometru rychlostní komunikace R46 u obce Olšany u Prostějova a Hablov, viz obrázek č. 28. Stavba Olšany – hr. okr. Prostějov/Olomouc: km 30,659 – 34,010 (3,351) je projektována v kategorii S 21,5/100 a byla uvedena do provozu v roce 1975. R46 začíná mimoúrovňovou křižovatkou u Vyškova s dálnicí D1 a vede přes Prostějov do Olomouce, kde se napojuje na rychlostní komunikaci R35. Celková délka R46 je 37 km.



Obrázek 28 - Mimoúrovňové křížení rychlostní komunikace R46 [35]

## 6.2 Použité měřicí přístroje

Pro účely sběru dat byly použity přístrojové pomůcky, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 3 - Použité měřicí přístroje

Název přístroje	Typ
Akcelerometr	Xsens – MTI – G - 00501494
Radar	Statický radar Sierzega SR4
Totální stanice	GPT 7003i
Fotoaparát	Canon Powershot S5 IS

## 6.3 Měření jízdních vlastností automobilu pomocí akcelerometrů

### 6.3.1 Informace o provedení měření

- datum: pondělí 15. 8. 2011
- čas: 8:45 – 16:05
- prováděl: Michal Frydrýn

Pro potřeby tvorby simulace bylo třeba změřit dynamiku jízdy vozidla sledovaným úsekem. Byla provedena měření pouze těch hodnot, které je možno měřit za jízdy (viz obrázek č. 14). Pro vytváření simulací je však nutno znát i jiné veličiny. Tyto jsou buď zanedbávány (odpor vzduchu  $O_v$ ), nebo jsou v simulačním prostředí nahrazeny přibližnými hodnotami. Jedná se například o:

- vlastnosti pružení a tlumení
- hmotnostní model vozidla, patří sem i moment setrvačnosti
- adheze

Výše uvedené veličiny jsou samozřejmě také měřitelné, a to za pomoci zkoušení automobilu, čímž se výrazně zvyšují celkové náklady na pořízení dat, ale i co se týče časového hlediska. Všechny výše uvedené hodnoty mohou sloužit při vytváření modelu a k jeho validaci (viz kapitola č. 5. 1).



### 6.3.2 Postup měření

Sběr dat se realizoval ve dvou etapách. V první etapě bylo provedeno měření úseku Praha – Olomouc – Olšany u Prostějova. V druhé etapě bylo provedeno měření úseku Olšany u Prostějova – Prostějov – Olomouc – Praha. V průběhu těchto měření byl proveden sběr dat na MÚK Olšany.

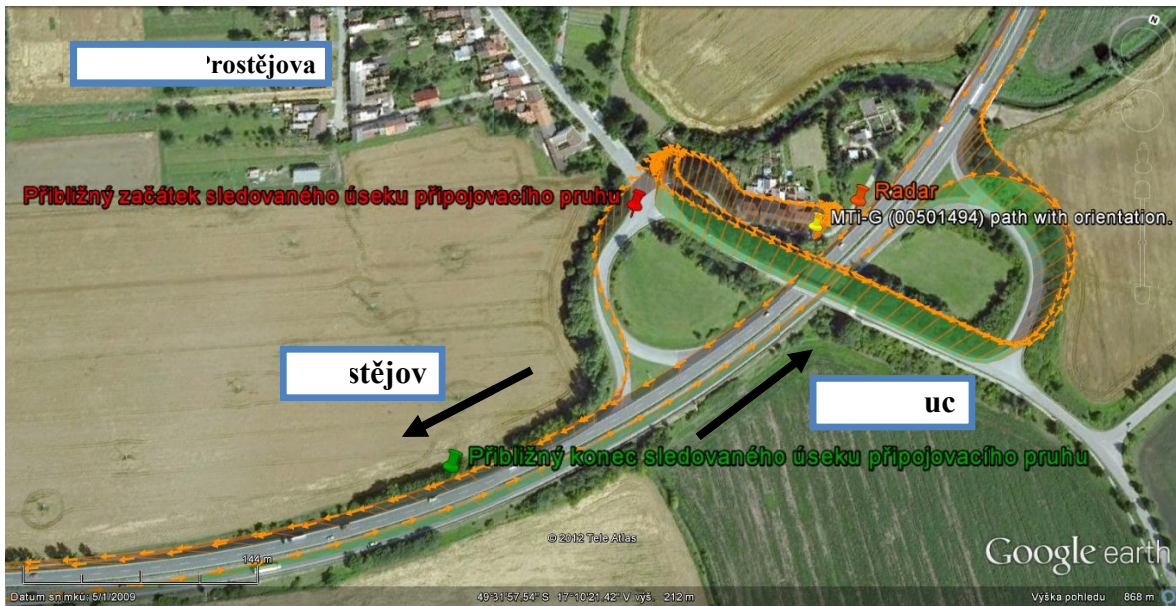
Pozornost bude dále věnována přípojovacímu pruhu této mimoúrovňové křižovatky (viz obrázek č. 29), ve směru na Prostějov a Vyškov, a to z toho důvodu, že tento úsek bude tvořit podklad (povrch) pro simulační prostředí. Veškeré naměřené hodnoty jsou k dispozici v elektronické příloze č. 6. 1.

Během jízdy vozidla došlo ke sběru dat pomocí akcelerometru, který byl připojen k osobnímu přenosnému počítači. Při umístění polohy akcelerometru byly relativně dodrženy polohy počátku dvou os automobilu ze tří, a to osy  $y$  a  $z$ . Pro účely této práce je to dostačující. Data byla zaznamenávána softwarem MT Manager (soubor s koncovkou \*.mtb). Hlavní snímač akcelerometru měřil zrychlení a úhlovou rychlost ve všech osách. Vzorkovací frekvence snímače byla 10 Hz. Vedlejší snímače akcelerometru jsou magnetometr, teploměr a barometr. Výstupní hodnoty ze snímačů byly zpracovány pomocí integrovaného Kalmanova filtru.

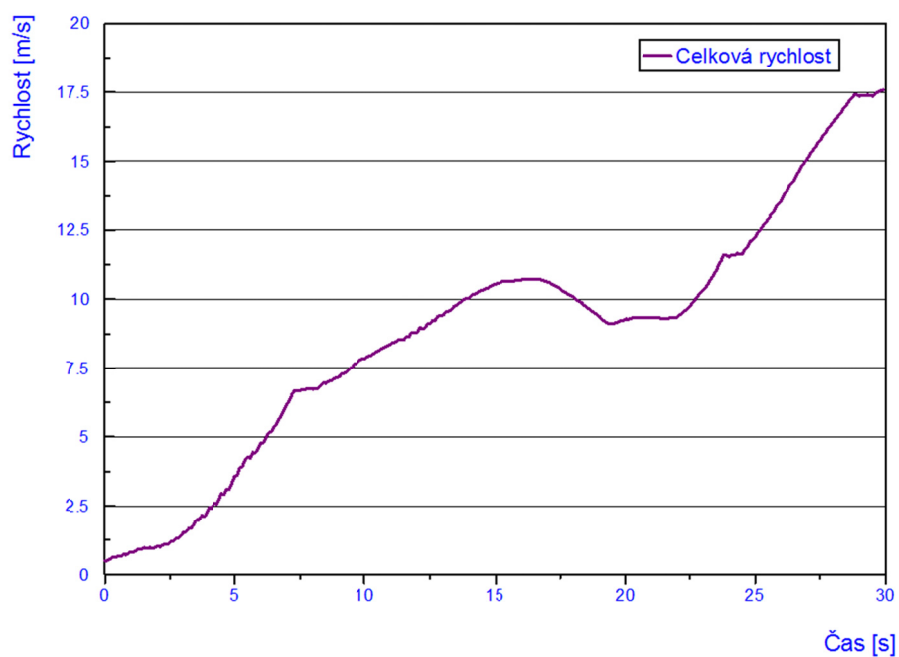
### 6.3.3 Vlastní zpracování

Všechna data byla exportována z MT Manager do textového souboru \*.txt a do formátu \*.kmz (GPS souřadnice) pro Google Earth. Textový soubor byl upraven v Microsoft Office Excel a byl exportován jako soubor \*.csv do DIAdem, ve kterém byly vytvořeny grafické výstupy naměřených hodnot. Jen pro zajímavost je zde uvedeno, že data z obou měření, v Microsoft Office Excel, vychází na 230 588 řádků. V programu Google Earth si lze celou naměřenou trasu prohlédnout. Grafický výstup z tohoto programu je zastoupen obrázkem č. 29.

Oranžové šipky na obrázku znázorňují GPS polohu automobilu jedoucího měřeným úsekem. Červeným textem je označen přibližný začátek a zeleným textem přibližný konec sledovaného úseku přípojovacího pruhu na rychlostní komunikaci R 46. Tomuto sledovanému úseku odpovídají i následující grafy.



ace R46

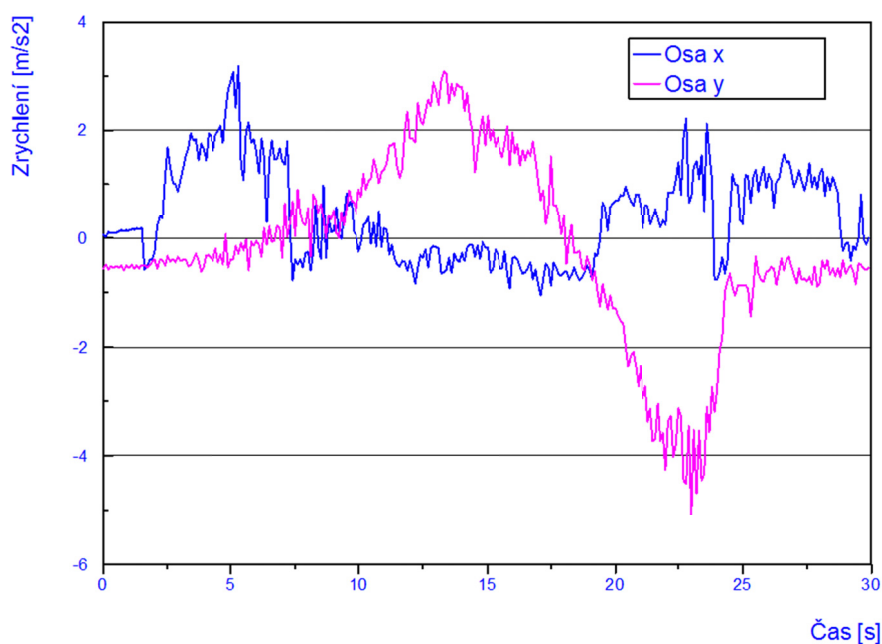


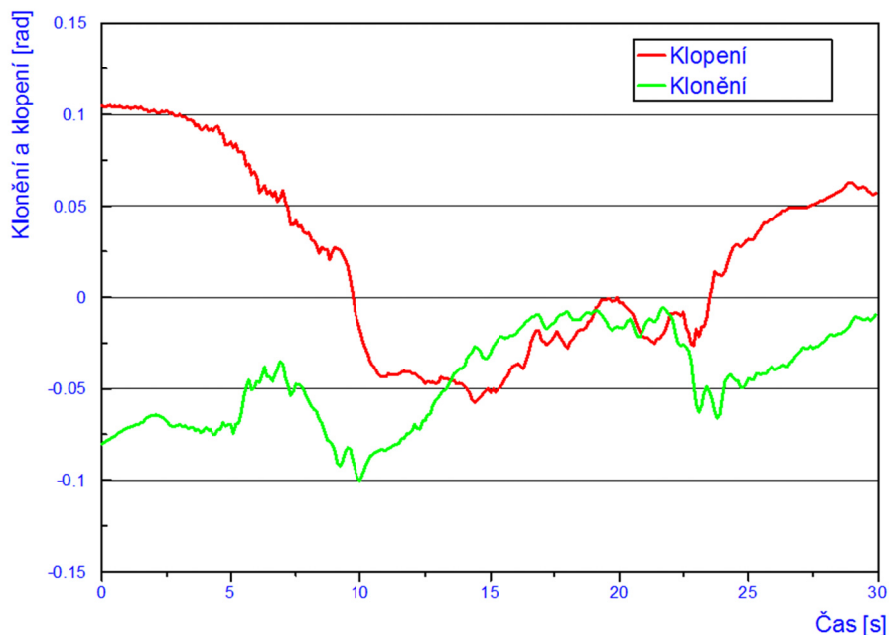


Na grafu č. 4 je znázorněna rychlost vozidla jedoucího sledovaným úsekem. V čase 0 sekund automobil opouští křižovatku, najíždí na přípojovací pruh a začne zvyšovat rychlost. V čas cca 16,5 sekund dochází k uvolnění plynového pedálu a ke kontrole rozhledových podmínek na průběžných pruzích rychlostní komunikace. Z grafu je patrné, že kritický časový odstup nadřazeného jízdního pruhu byl v době, kdy se do něho chtěl řidič zařadit, dostatečně velký, jelikož po krátkém časovém úseku, kdy jelo vozidlo téměř konstantní rychlostí, došlo opět k nárůstu rychlosti.

V závislosti na rychlosti, jakou řidič projížděl sledovaným úsekem, jsou v následujícím grafu č. 5 vykresleny hodnoty zrychlení v ose  $x$  a v ose  $y$  a v grafu č. 6 jsou vykresleny hodnoty pro klopení a klonění. Objasnění všech naměřených hodnot napomáhá obrázek č. 14.

V grafu č. 5 si lze povšimnout, že zrychlení v ose  $y$  odpovídá průjezdu nejprve pravostranným (kladné hodnoty) a následně i levostranným obloukem (záporné hodnoty). V ose  $y$  bylo u pravostranného oblouku dosaženo nejvyššího zrychlení cca  $3,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  a u levostranného oblouku cca  $-4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Co se týče zrychlení v ose  $x$ , tak nejvyšší hodnoty byly naměřeny v místě, kdy vozidlo najíždělo na přípojovací pruh, čemuž odpovídá zrychlení cca necelých  $2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , a v místě, kdy řidič najížděl do nadřazeného dopravního proudu, zrychlením cca  $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .





#### 6.3.4 Závěr

Z obrázku č. 27 je patrné, že stavební řešení přípojovacího pruhu neodpovídá v současné době normě ČSN 73 6102 (viz obrázek č. 10, kapitola č. 2. 2. 2). V oblouku je rychlost vozidel ve směru na Prostějov omezena svislou příkazovou dopravní značkou B20a na nejvyšší dovolenou rychlost, a to 80 km/hod. Mimo oblouk byla původně rychlost vozidel omezena na 130 km/h. Později byla tato rychlost, snížena na hodnotu 100 km/h. Těsně před začátkem výzkumu vydalo ŘSD nařízení ke snížení rychlosti ze 100 km/h na 80 km/h v celém úseku. V případě, že by kritický časový odstup nadřazeného dopravního proudu neumožňoval zařazení vozidla do podřadného jízdního proudu, byl by řidič nucen zastavit na konci přípojovacího pruhu a zařazení do nadřazeného dopravního proudu by musel realizovat z nulové jízdní rychlosti.

Tento manévr je za určitých podmínek velmi nebezpečný a snadno může dojít k narušení bezpečnosti silničního provozu. Pokus o potvrzení této hypotézy, pouze pomocí simulace, bude proveden v kapitole č. 6. 6. Nebezpečnost manévru najetí na hlavní komunikaci byla prokázána nahráváním videozáznamů „skoronehod“.

## 6.4 Měření rychlosti na R46 v km 33, Olšany u Prostějova

### 6.4.1 Informace o provedení měření

- datum a čas: neděle 7. 8. 2011 (1:00) – čtvrtek 11. 8. 2011 (9:30)
- umístění zařízení: Olšany u Prostějova (viz obr. č. 27)
- směr: Olomouc – Vyškov

### 6.4.2 Postup měření

Statický radar byl upevněn na svislém dopravním značení v blízkosti hrany komunikace a jeho pomocí došlo k měření rychlosti jednotlivých vozidel v daném směru a v časovém intervalu, které jsou uvedeny v kapitole 6. 4. 1. Radar by měl být umístěn 0,5 až 2 m od jízdního pruhu ve výšce cca 1 m tak, aby nebránil ve výhledu. Úhel přístroje k jízdnímu pruhu by měl být 30°.

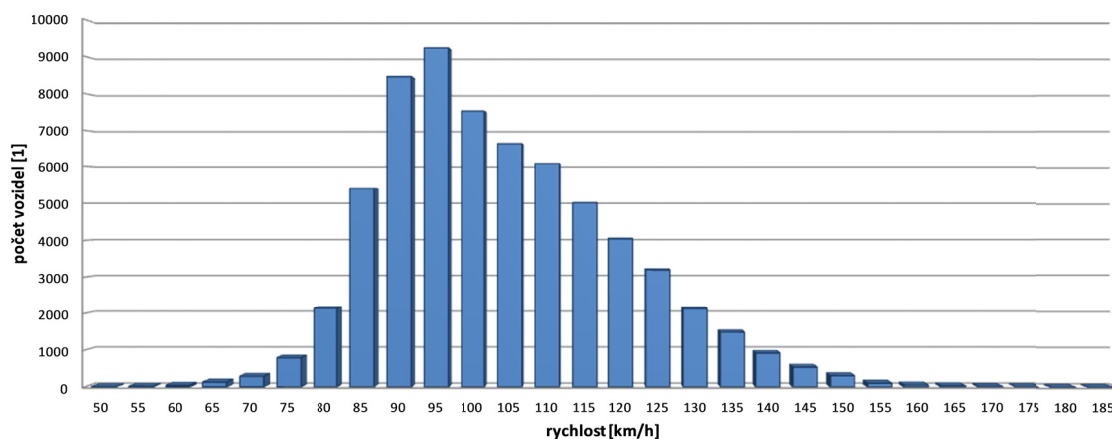
Sierzega SR4 umí jednoduše provést podrobnou analýzu silničního provozu pomocí integrovaného záznamu dat a pomocí dodávaného vyhodnocovacího softwaru. Výstupem může být tabulková forma nebo grafický výstup. Přístroj umí vyhodnotit informace o skladbě dopravního proudu na základě měřených délek vozidel. Získávají se tak objektivní hodnoty, jelikož přístroj svým vzhledem neovlivňuje účastníky silničního provozu. Tento radar byl zapůjčen Ústavem dopravních systémů K612.

### 6.4.3 Vlastní zpracování

Z naměřených dat byly analyzovány rychlosti vozidel a odečteny základní statistické údaje pro celý měřený soubor a pro jednotlivé dílčí soubory (dny v týdnu). Rozdělení rychlosti celého naměřeného souboru ve sledovaném profilu je znázorněno na grafu č. 7. Hodnota rychlosti na ose  $x$  vyznačuje intervalovou hodnotu „do - včetně“.

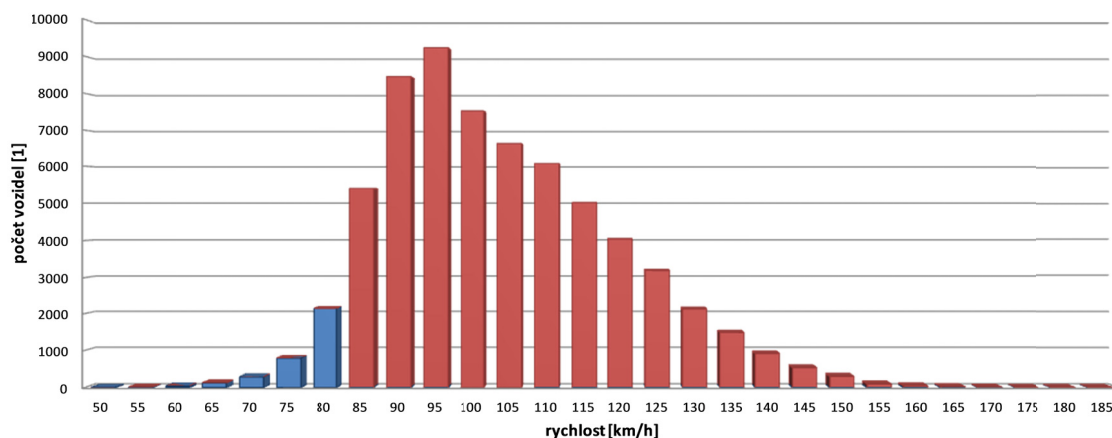
- modus rychlosti v intervalu: **(90; 95) km/h**
- průměrná rychlost: **101 km/h**
- průměrná rychlost s odfiltrováním 15 % extrémních hodnot: **101 km/h**
- max. naměřená rychlost: **181 km/h** (jednostopé vozidlo, 7. 8. 11, 22:11 hod)

Graf č. 7 - Rozdělení rychlosti v monitorovaném profilu celého měřeného souboru



### Překročení povolené rychlosti

Povolená rychlost v úseku je omezena na 80 km/h. V grafu č. 8 je červeně vyznačen podíl vozidel, která povolenou rychlost překročila.



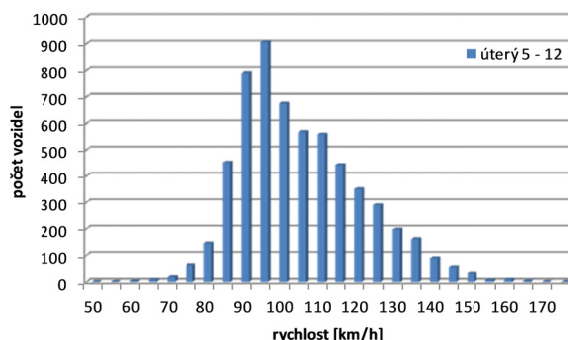
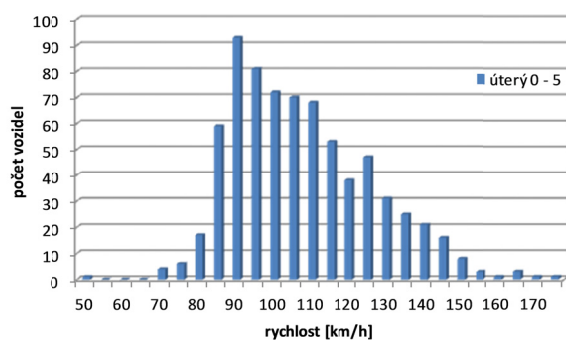
K překročení povolené rychlosti došlo u 95 % vozidel. Je-li uvažována desetiprocentní tolerance, tedy rychlost 89 km/h, byla tato rychlost překročena u 76 % vozidel. Téměř polovina řidičů (47 %) překročila povolenou rychlost o více než 20 km/h. Rychlost 130 km/h překročilo 5 % řidičů z naměřeného vzorku.

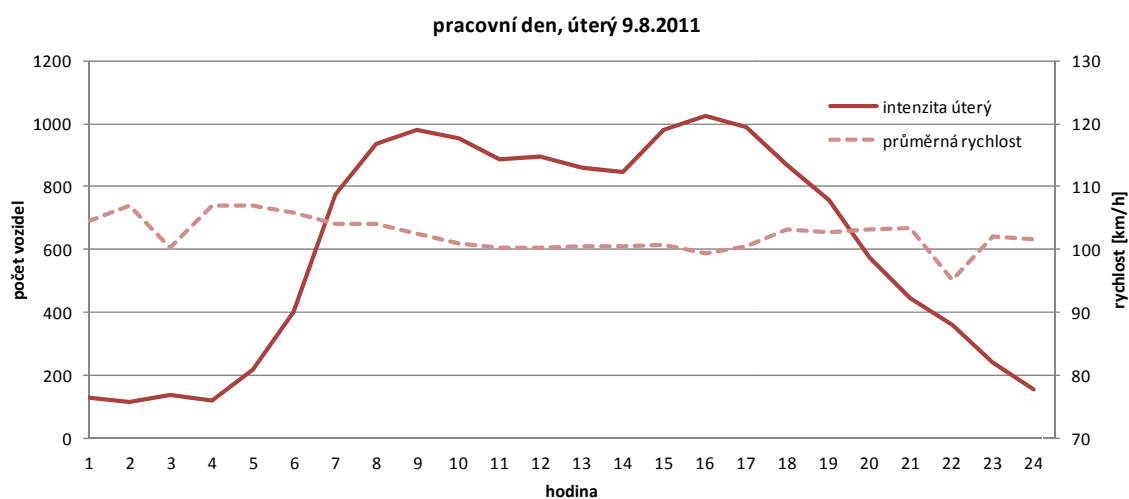
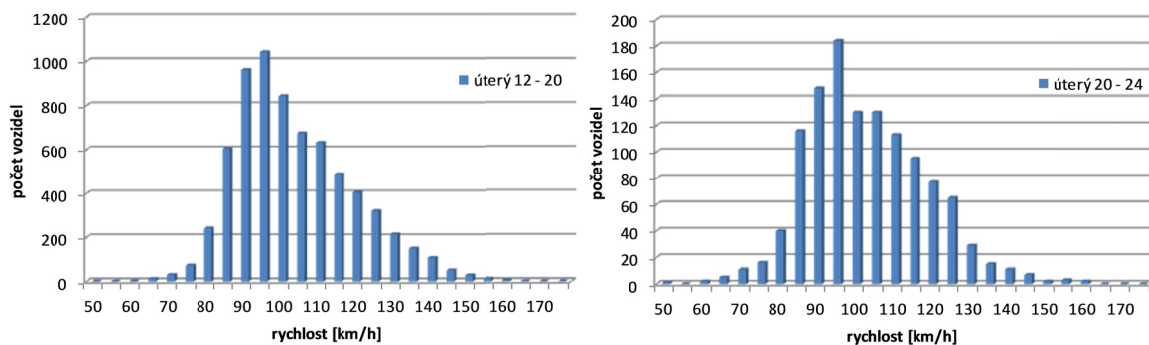
**Variace dopravy a rozdělení rychlosti v závislosti na denní době a dni v týdnu**

Graf č. 9 znázorňuje rozdělení rychlosti vozidel ve všední den (světlo) a víkendový den (tmavě). Tvar rozdělení rychlosti je v obou dnech téměř shodný. Modus rychlosti pro všední den se pohyboval v intervalu (90;95) km/h. Pro měřený víkendový den platí, že nejvíce vozidel se pohybovalo v intervalu (85;95) km/h.

■ úterý  
■ neděle

Den byl rozdělen do čtyř časových úseků, pro které bylo vyhodnoceno rozdělení rychlosti a modus souboru s označením  $v_{\text{mod}}$ , průměrná rychlost zahrnující 85 % vozidel  $vp_{85}$  (z naměřeného vzorku bylo odfiltrováno 15 % extrémních hodnot – 7,5 % na každé straně spektra) a dále byla zaznamenána maximální naměřená rychlost  $v_{\text{max}}$  v dané době. Konkrétní hodnoty viz následující grafy a příslušné tabulky. Časové intervaly byly zvoleny následovně: (0 – 5), (5 – 12), (12 – 20) a (20 – 24) hod.

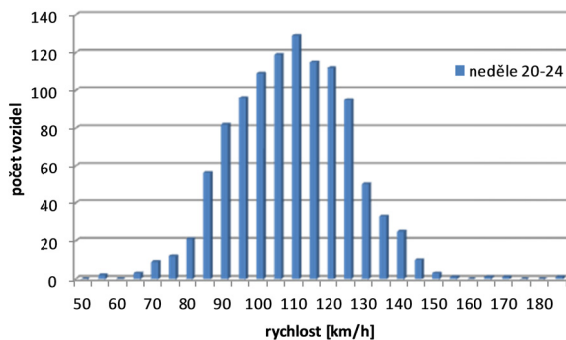
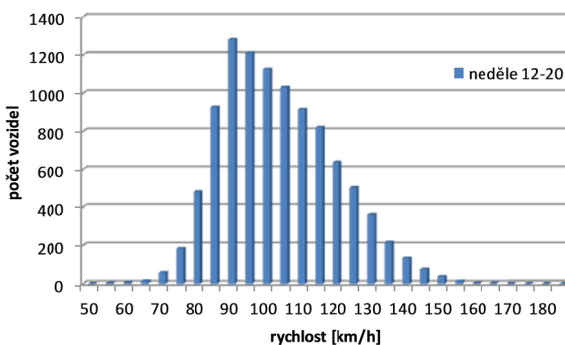
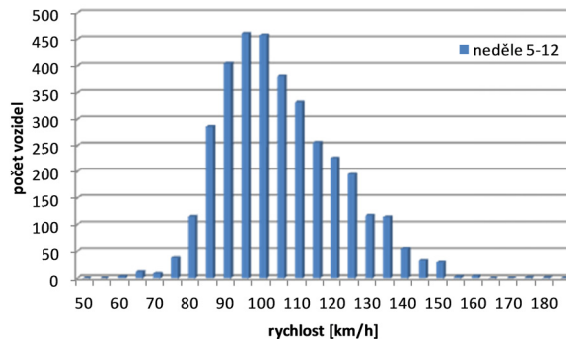
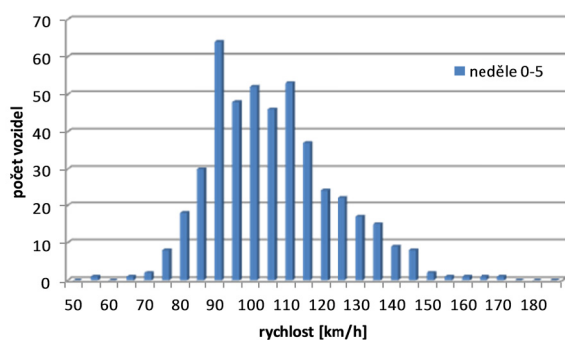
**Všední den – úterý 9. 8. 2011**



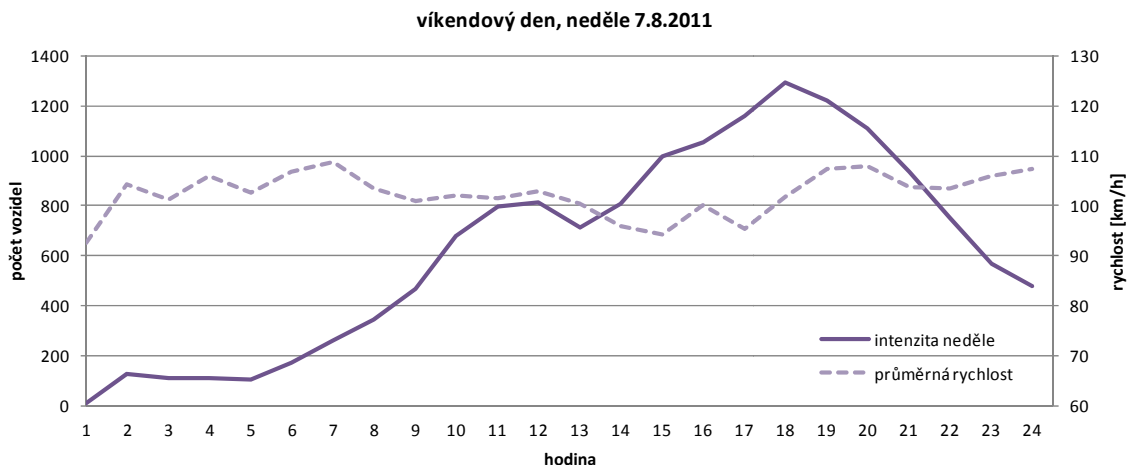
Tabulka č. 4 – Statisticky vyhodnocená rychlost časových intervalů, úterý 9. 8. 2011

Interval [hod]	0 - 5	5 - 12	12 - 20	20 - 24
$v_{\text{mod}}$ [km/h]	85 - 90	90 - 95	90 - 95	90 - 95
$vp_{85}$ [km/h]	104	101	100	100
$v_{\text{max}}$ [km/h]	173	165	160	160

Víkendový den – neděle 7. 8. 2011



Pozn.: Intenzita mezi 0:00 až 1:00 je nerelevantní, jelikož měření bylo zahájeno v 0:56 hod.

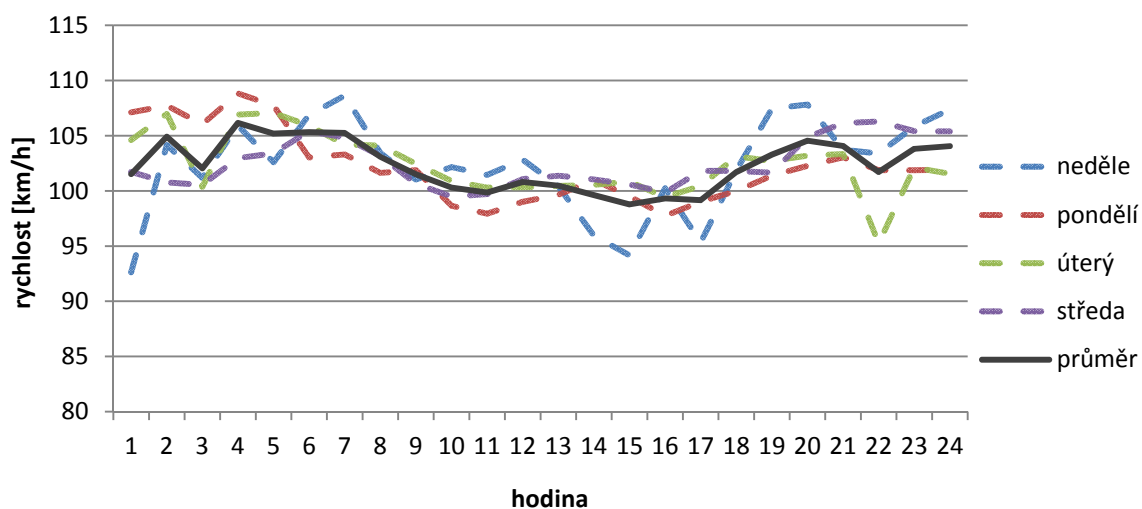


Tabulka č. 5 - Statisticky vyhodnocená rychlost časových intervalů, neděle 7. 8. 2011

Interval [hod]	0 - 5	5 - 12	12 - 20	20 - 24
$v_{\text{mod}}$ [km/h]	85 - 90	90 - 100	85 - 90	105 - 110
$vp_{85}$ [km/h]	103	102	101	107
$v_{\text{max}}$ [km/h]	167	172	159	181

Průměrná rychlost 85 % vzorku naměřených rychlostí je v rozmezí 100 – 102 km/h, průměrná rychlost se v nočních hodinách obecně zvyšuje na hodnoty okolo 105 km/h. Vývoj průměrné rychlosti během jednotlivých dní je zobrazen v grafu č. 20.

Graf č. 20 - Vývoj průměrné rychlosti během jednotlivých dní



Z grafů je patrné, že v hodinách s nižší intenzitou dopravy dochází k posunu modusu (viz např. rozdělení neděle 20 – 24 hod) nebo ke zploštění křivky rozdělení rychlosti směrem k vyšším rychlostem (viz např. úterý 20 – 24 hod). Tuto hypotézu potvrzuje i vývoj průměrné rychlosti z grafu č. 20.

#### 6.4.4 Závěr

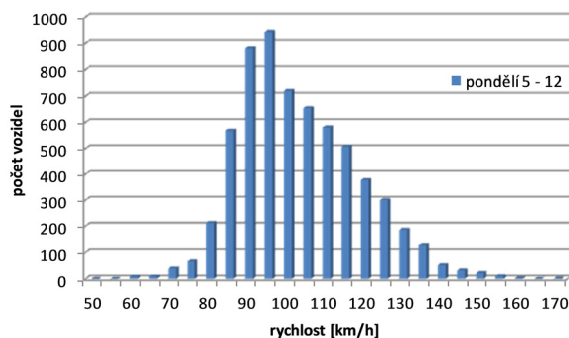
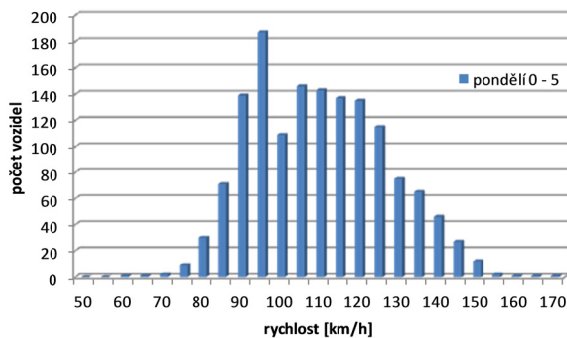
Povolená rychlost v měřeném úseku (osazeno svislým dopravním značením B20a) není obecně dodržována. Povolenou rychlost překračuje 95 % vozidel, přičemž rychlost 100 km/h překročí téměř polovina řidičů (47 % naměřeného vzorku).

Při sběru dat docházelo k určité chybě měření, a to konkrétně ve zkreslení měřených délek vozidel. Jelikož byl radar instalován u čtyřpruhové směrově rozdělené komunikace, došlo i k detekci vozidel, které byly v překryvu. Velikost této chyby se nepodařilo definovat.



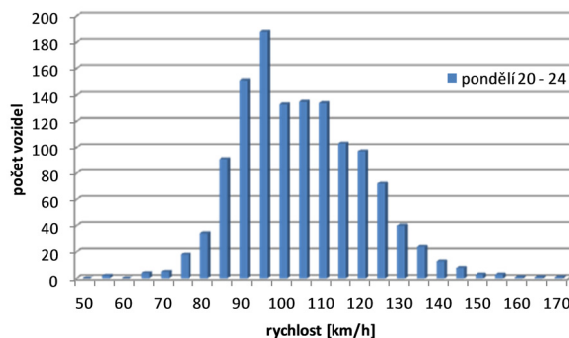
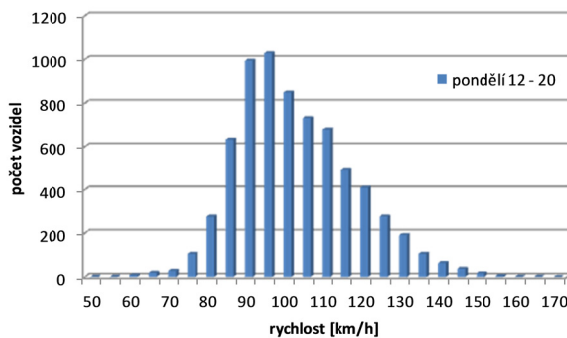
Na základě teorie dopravního průzkumu bylo vybráno úterý, jako průměrný den v týdnu a neděle, z důvodu naměřených vysokých intenzit. Statistické vyhodnocení zbylých dnů je uvedeno níže.

**Všední den – pondělí 8. 8. 2011**

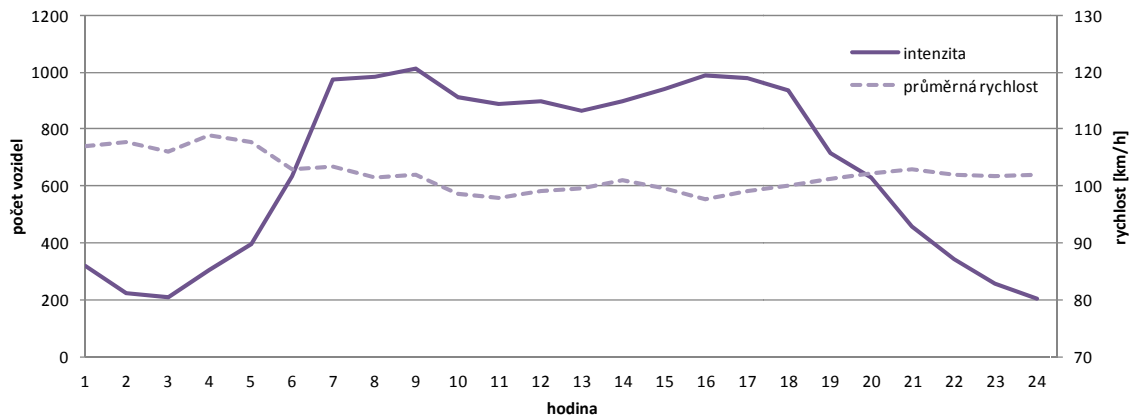


d

d



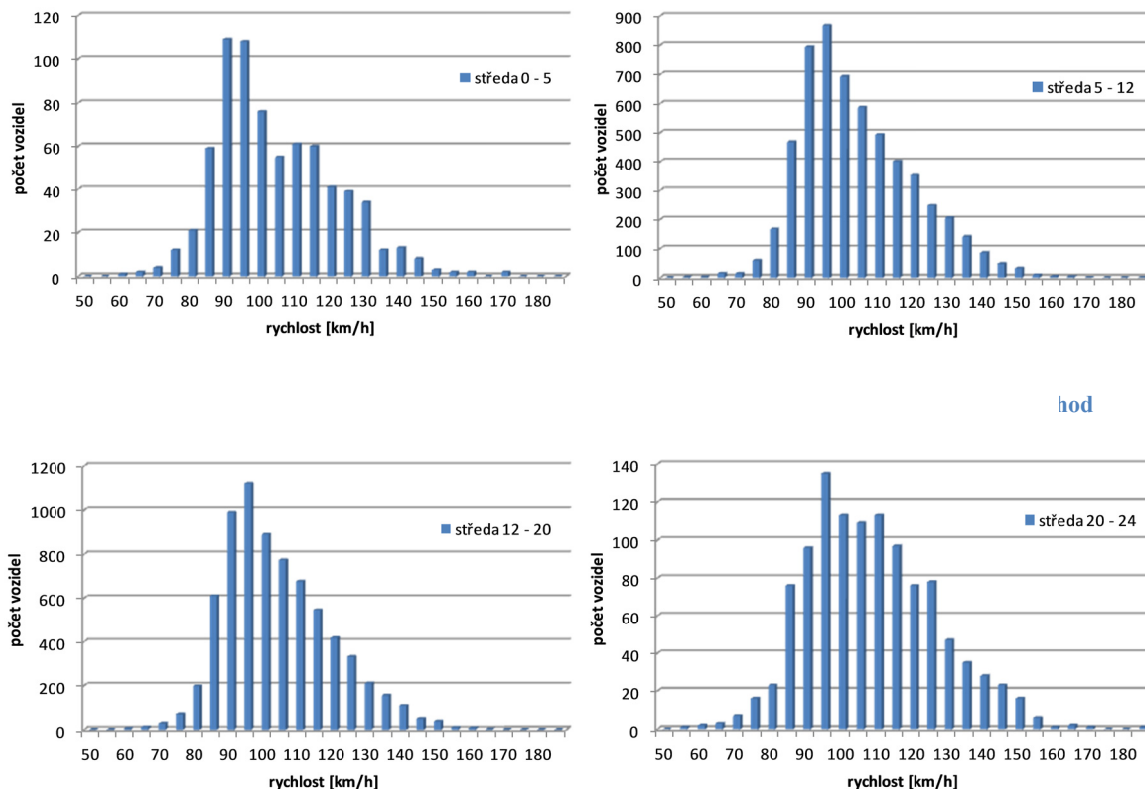
**všední den, pondělí 8.8.2011**



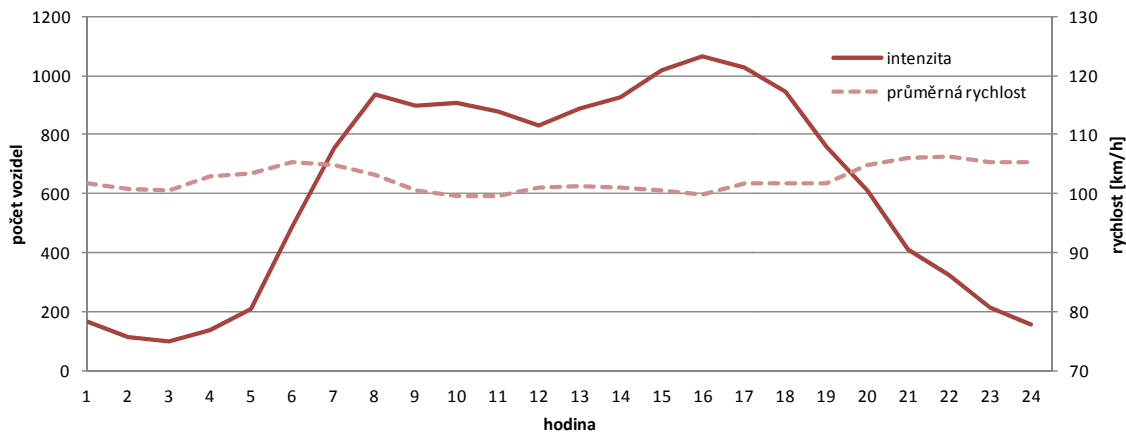
Tabulka č. 6 - Statisticky vyhodnocená rychlost časových intervalů, pondělí 8. 8. 2011

Interval [hod]	0 - 5	5 - 12	12 - 20	20 - 24
$v_{mod}$ [km/h]	90 - 95	90 - 95	85 - 95	90 - 95
$vp_{85}$ [km/h]	107	100	99	102
$v_{max}$ [km/h]	169	166	164	167

Všední den – středa 10. 8. 2011



pracovní den, středa 10.8.2011



Tabulka č. 7 - Statisticky vyhodnocená rychlost časových intervalů, středa 10. 8. 2011

Interval [hod]	0 - 5	5 - 12	12 - 20	20 - 24
$v_{\text{mod}}$ [km/h]	85 - 95	90 - 95	90 - 95	90 - 95
$v_{p_{85}}$ [km/h]	101	101	100	105
$v_{\text{max}}$ [km/h]	168	162	161	181

## 6.5 Zaměření MÚK Olšany pomocí geodetického přístroje

### 6.5.1 Informace o provedení měření

- datum a čas: 1. měření - 7. 8. 2011 (12:30 – 16:15)  
2. měření - 27. 10. 2011 (10:00 – 16:00)
- prováděl: 1. i 2. měření – Přemysl Junek, Drahomír Schmidt
- teplota: 1. měření – 32,5° C, 2. měření – 12,9° C
- tlak: 1. měření – 979 bar, 2. měření – 996 bar

### 6.5.2 Postup měření

Před zahájením měření byla zvolena stanoviště, z nich bylo provedeno zaměření celé MÚK Olšany. Stanoviště byla volena tak, aby z nich byl zajištěn dobrý výhled na vytyčovanou oblast měření. Jejich umístění je zakresleno ve výkresu v příloze č. 11. Dále byly zvoleny pomocné body měření (PBM). Pomocí PBM lze spojovat všechna měření (jednotlivé prostorové modely) do jednoho celku. Dostupná místa byla zaměřována hranolově, nepřístupná místa (např. jízdní pruhy R46) nebo místa s dobrou odrazovou plochou (např. PBM) byla zaměřována bezhranolově. Rozměry objektů v nízkých a snadno dostupných polohách byly měřeny nivelační latí (např. šířka chodníku, výška zábradlí, šířka přechodu pro chodce, atd.).

Při prvním zaměření byl geodetický přístroj umístěn na pravém okraji mostu směrem na Olšany u Prostějova a bylo zvoleno 8 PBM. Následně byla provedena tři zaměření, ta jsou zpracována jako výkresy v příloze č. 1, 2 a 3. Počet vytyčených bodů u jednotlivých měření je uveden v následující tabulce.

Tabulka č. 8 – Tabulka vytyčených bodů a PBM 1. – 3. zaměření

Zaměření č.	Počet vytyčených bodů	Počet PBM
1	207	2
2	54	8
3	24	5

Při druhém zaměření byl geodetický přístroj umístěn na zbylých vyznačených stanovištích, z nich byla realizována další tři zaměření, která jsou zpracována jako výkresy v příloze č. 4, 5 a 6. Počet vytýčených bodů u jednotlivých měření je uveden v následující tabulce.

Tabulka č. 9 – Tabulka vytýčených bodů a PBM 4. – 6. zaměření

Zaměření č.	Počet vytýčených bodů	Počet PBM
4	165	13
5	70	5
6	146	3

### 6.5.3 Vlastní zpracování

Po provedení zaměření MÚK Olšany došlo k exportu dat z totální stanice pomocí vlastního softwaru Topcon link v.7.5. Jedná se o databázový software, ve kterém se dají zaměřená data prohlížet, upravovat a dále exportovat. Formát tohoto souboru je označen \*.tsj. Z tohoto softwaru byla data převedena do Microsoft Office Excel a byla upravena tak, aby se dala hromadně vkládat přes textové okno do programu AutoCAD. Vzniklo tak šest samostatných souborů s upravenými daty, jejichž formát je \*.xlsx. V následující tabulce je uveden příklad formátu vstupních funkcí pro kreslení objektů v programu AutoCAD.

Tabulka č. 10 - Příklad formátu vstupních funkcí pro AutoCAD

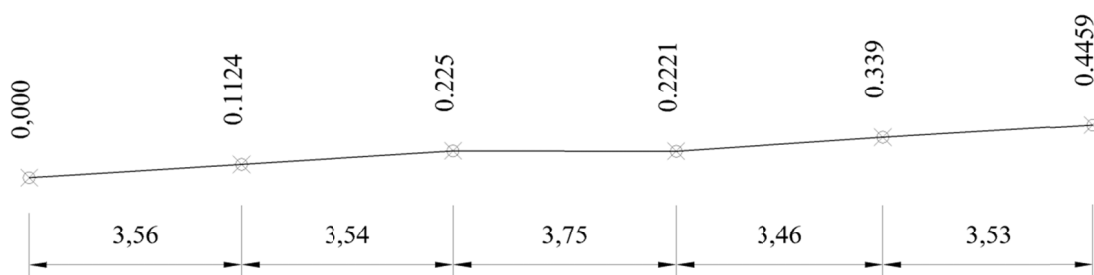
Typ objektu	Formát vstupní funkce
<b>Bod</b>	=CONCATENATE(x;" ";y;" ";z)
<b>Popisek bodu</b>	=CONCATENATE("-TEXT";" ";x;" ";y;" ";z;" ";úhel natočení;" ";popisek)

Tímto způsobem došlo k vykreslení jednotlivých zaměření, ta tvoří přílohu č. 1 – 6. Jednotlivé prostorové modely byly vloženy do nového výkresu pomocí externích referencí a jejich správná prostorová poloha a natočení, bylo provedeno pomocí ploch, které jsou tvořeny PBM. Spojení všech modelů je vykresleno v příloze č. 7. V tomto výkrese, ale i v příloze č. 1 – 6, jsou PBM vyznačeny fialovou barvou (v legendě označeny jako body spojení).

Pomocí takto spojených prostorových modelů bylo možno vytvořit nový prostorový model za použití 3D křivky (pro linie s náhlou změnou křivosti – např. chodník, řez komunikace) a s využitím spline křivky (vodorovné dopravní značení, hrany komunikace,

atd.). Tyto nové křivky sloužily později jako povinné spojnice při tvorbě trojúhelníkové sítě (viz níže). Nově vytvořený prostorový model je vykreslen v příloze č. 8.

U bezhranolového vytýčení bodů byl dosah laserového paprsku ovlivněn typem přístroje a klimatickými podmínkami. Z tohoto důvodu nedošlo k zaměření všech potřebných bodů. Prodloužení hran (v legendě označeno červenou barvou) bylo provedeno tak, že se vytýčenými body hran rychlostní komunikace proložila 3D křivka a vznikl tak pomocný řez, který je v příloze č. 10 označen jako řez č. 3. Způsob dostředného klopení jízdního pásu v oblouku je vykreslen na následujícím obrázku.



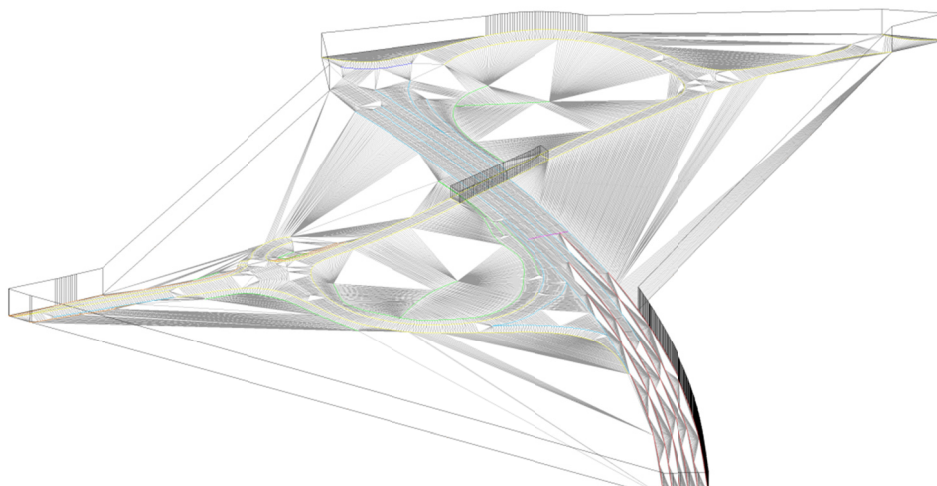
:tr

Souřadnice  $y$  je pro lepší názornost násobená konstantou  $k = 3$ . Druhý a pátý bod zleva představuje střední vodící čáru. Zbylé body představují vnitřní část vodícího proužku. Číselné hodnoty, které jsou otočené o  $90^\circ$  nad jednotlivými body, znázorňují výškový rozdíl bodu vzhledem k prvnímu bodu zleva. Veškeré číselné hodnoty jsou uvedeny v metrech. Ze znalosti příčného profilu klopení komunikace a poloměru oblouku bylo možné pomocí pomocných bodů vykreslit průběh komunikace. Podle normy ČSN 73 6101 lze předpokládat, že vnější částí vnitřního vodícího proužku, body 3 a 4 zleva, vedou nivelety komunikace.

Výše uvedený postup je nezbytný k tomu, aby se z nově vzniklého modelu dala vytvořit nová databáze bodů různé složitosti a o stejném souřadném systému. V našem případě došlo k vytvoření bodů v měřeném intervalu  $i = 1$  m, a to z důvodu podrobnější trojúhelníkové sítě (viz níže). Body je možné z AutoCAD exportovat pomocí funkce extrakce dat. Posloupnost bodů lze zajistit filtrací pomocí souřadného systému. Na základě toho je potřeba přistupovat i k délkám a průběhu vykreslených křivek a následně k výběru skupin bodů, které jsou křivkám vlastní. Tyto body byly zpracovány úplně stejným způsobem, jako je naznačeno v prvním odstavci této kapitoly. Následně byl vytvořen 2D

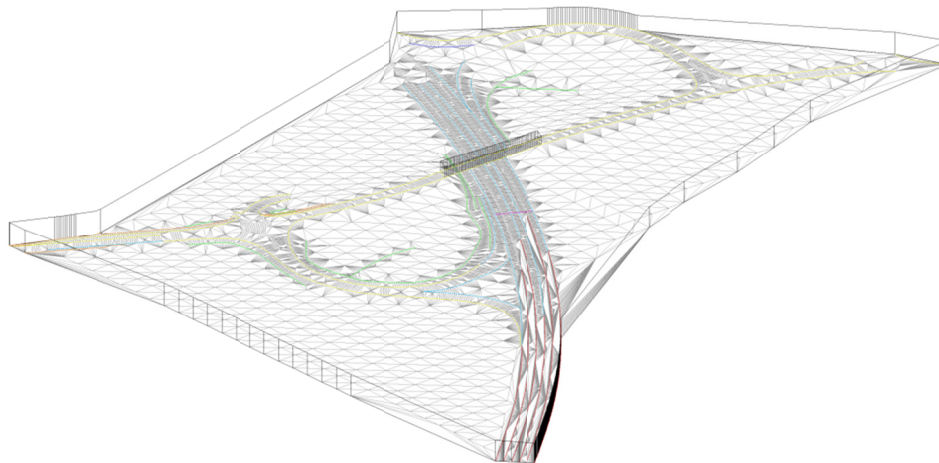
model MÚK Olšany, který je vykreslen v příloze č. 10 jako situační model a v příloze č. 11 jako 2D model spolu s mapovým podkladem.

Software pro simulace pracují s plochami, které jsou tvořeny trojúhelníky. Jedná se o plochu, která má jasně definovanou normálu plochy. V simulačním prostředí se pak plochy zobrazují podle toho, jakým směrem jsou orientované jejich normály. K vytvoření takovéto plochy byl využit software AutoCAD Civil 3D, který dokáže spojením bodů vytvořit povrch, který se skládá z trojúhelníků nebo rastrů. Postup, jak takovýto povrch vytvořit, je přehledně vysvětlen ve výukovém programu, který se zobrazí po stisknutí klávesy F1. Je k nalezení pod záložkou Výukové programy zaměřené na povrch, kde je přehledně popsána veškerá práce s povrchy, a to v podkapitole Vytvoření a přidání dat k povrchu. Jedná se o povrch TIN, do kterého byla vložena předem předpřipravena databáze bodů typu  $Pxyz$ , kde  $P$  je číslo bodu a  $x$ ,  $y$  a  $z$  jsou prostorové souřadnice. Formát souboru byl typu \*.txt. Trojúhelníková síť byla vytvořena pomocí nově vytvořené databáze bodů (viz příloha č. 9). Musely být vytvořeny dva databázové soubory formátu \*.txt, zvlášť pro body mostu a zvlášť pro zbylé body. Povrch mostu byl vytvořen odděleně od zbylé komunikace a zeleně, a to z toho důvodu, že když byl tvořen povrch ze všech bodů najednou, došlo k vytvoření trojúhelníkovité sítě mezi body mostu a body s rozdílnou  $z$  souřadnicí. Odděleně vytvořené povrchy byly poté spojeny do jednoho celku. Interpretace takto vzniklého povrchu je na dalším obrázku.

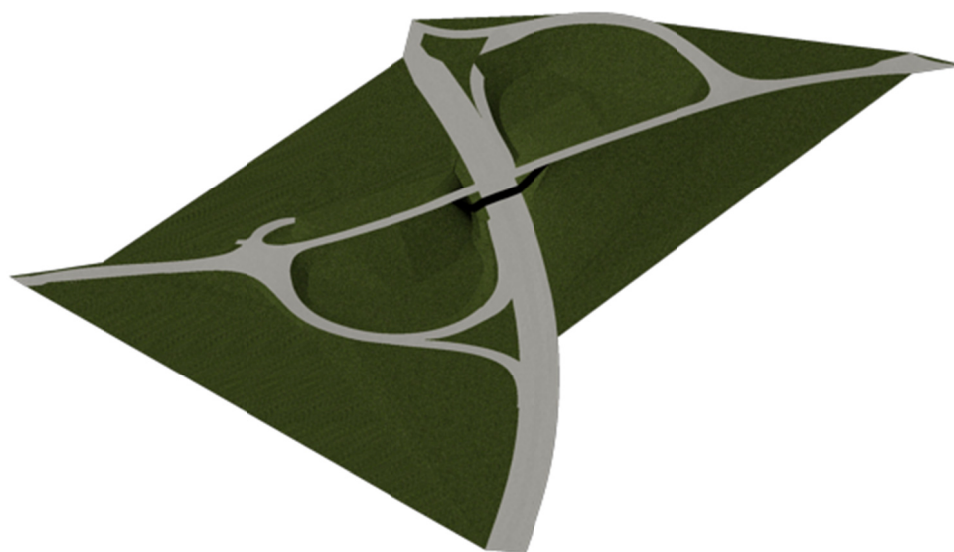


Na obrázku jsou barevně vyznačeny veškeré hrany, které tvoří povinné spojnice povrchu a pomáhají zpřesnit vytvořenou síť, která vzniká mezi těmito hranami. Vytvořená

trojúhelníkovitá síť se dá dále více zjemnit pomocí přirozené interpolace sousedních bodů. Na dalším obrázku je znázorněna vyhlazená síť, kde byl zvolen pro rastr  $x$  a  $y$  rozteč bodů  $r = 10$ . Tímto bylo do sítě přidáno dalších 858 nových bodů.



Uložený povrch se v prostředí AutoCAD chová jako rozložený povrch na jednotlivé trojúhelníkové plochy, které jsou vytvořeny pomocí 3D plochy. Tento převod s sebou však nepřevéde žádné body, které by se daly později exportovat pomocí extrakce dat. Když se jednotlivým plochám přiřadí materiály, můžeme provést rentování výkresu, z čehož vznikne fotorealistická scéna. Příklad takovéto fotorealistické scény je znázorněn na následujícím obrázku.





Takto vytvořená plocha by mohla tvořit ideální podklad (polygon sklonů) do simulačního prostředí Virtual CRASH. Problém je ale v tom, že vývojáři tohoto softwaru mají opačně definovanou normálu plochy a k zobrazení plochy dochází směrem k záporné z souřadnici.

V simulačním prostředí PC Crash lze vytvořit polygon sklonů tím, že přes dialogové okno Kreslit dojde k načtení souboru \*.dxf přes nabídku Nahrát, ve kterém jsou uloženy body modelu, mezi nimiž chceme mít vytvořenou trojúhelníkovitou síť (proces triangulace). Tento soubor musí být zároveň v aplikaci AutoCAD ukončen, jinak nedojde k načtení bodů. Po načtení bodů a jejich výběru se provede triangulace. Při otázce, jestli se triangulované plochy mají převzít jako polygony sklonu, se zvolí *ne*. Dále musí dojít k vyplnění vytvořené plochy před dialogové okno Kreslit a nabídku Styl čáry změnit, aby došlo k jejímu zobrazení. Jelikož se v této fázi polygon sklonů nechová jako pevný podklad, který by bylo možno osadit vozidlem, musí dojít ještě k následujícímu postupu. Přes dialogové okno Polygon sklonu a nabídku 3D objekt cesty nastavit, dojde k exportování výkresu do souboru \*.dxf. Tento soubor se opět otevře v aplikaci AutoCAD, případně dojde k úpravě chybně vytvořené triangulované plochy a opět se soubor uloží jako \*.dxf. Do PC Crash se přes dialogové okno Polygon sklonu a nabídku 3D objekt cesty nastavit tento soubor importuje. Opět dojde k vyplnění plochy. Pokud se vozidlo na tuto plochu nepřichytí, musí se proces vyplnění opakovat. Vytvořený povrch se dá potáhnout bitmapou a interpretace takto vytvořeného povrchu je znázorněna na obrázku č. 24 a 25 (viz kapitola 5. 3. 1).

#### 6.5.4 Závěr

Při geodetickém zaměřování by měl být kladen důraz na pečlivou a přesnou dokumentaci všech požadavků, které jsou uvedeny v kapitole č. 3. 2. 1. Zaměřeny by měly být všechny hrany, které jsou důležité pro tvorbu modelu. Vytýčení bodů hran by mělo probíhat po vhodně zvoleném intervalu, od začátku hrany do jejího konce, nebo do místa, kde začíná napojení jiná hrany. Body by se měly nacházet vždy v místech, kde nastává změna průběhu hrany (začátek/konec oblouku a oblouk samotný, změna šířkového uspořádání). Dále by měl být kladen důraz na vytýčení dostatečného počtu řezů komunikace, u kterých sledujeme veškeré výškové a šířkové rozdíly návrhových parametrů, jako je např. přilehlý terén, dno příkopů, hrana komunikace, začátek zpevněné



krajnice, vodorovné dopravní značení, atd. Je vhodné mít pro každý zaměřovaný objekt samostatnou hladinu.

Budeme-li při sběru dat výše uvedenému doporučení věnováno více pozornosti, tak se nám takto investovaný čas, při zpracování měření a tvorbě modelu, mnohonásobně vrátí. V opačném případě se musí chybějící body složitě interpolovat a vnášíme tím do modelu určitou tvarovou nepřesnost. Na obrázku č. 33 je např. v horní části vidět, že nedošlo k úplnému vytýčení hrany komunikace odbočujícího pruhu. To bylo způsobeno výskytem vzrostlé zeleně, která bránila měřiči ve vizuálním kontaktu při hledání výtyčky.

Plošný model MÚK Olšany se podařilo importovat pouze do simulačního prostředí PC Crash, a to v podobě bodů, které museli být triangulovány. Abychom vytvořili z importovaných bodů polygon sklonů, musí následovat další série postupů a úprav. Navíc při vytváření triangulované plochy nemáme možnost zadávat povinné spojnice, abychom dosáhli lepší přesnosti při vytváření povrchu. Co je na obtíž, že se triangulace nevytváří pouze plošně, jako je tomu v AutoCAD Civil 3D, ale triangulace se vytváří i mezi body s rozdílnou z souřadnicí a u většího počtu bodů se stává síť méně přehledná. Takto vytvořená síť se dá samozřejmě upravit v aplikaci AutoCAD. Když došlo k triangulování všech 5 655 bodů (viz příloha č. 9), tak pro svou vysokou náročnost nedošlo ani k zobrazení plochy. V PC Crash se dala plocha celé MÚK Olšany vytvořit jen tím, že se proces triangulace vytvářel čtyřikrát. U takto složitých ploch ale vznikaly plošné vady (díry v síti) a jejich vyhledávání a opravení přes pozici kamery je velice zdlouhavé. Navíc se s takto složitou plochou těžko pracuje a to z důvodů zvyšujících se softwarových požadavků na výkon počítače. Další nevýhodou je, že triangulace vytvořená v PC Crash se v aplikaci AutoCAD chová jako 3D křivka a ne, jako 3D plocha.

Výše uvedené problémy by se daly vyřešit tím, že by z pohledu vývojářů došlo v softwaru PC Crash ke změně definice objektu, z kterého je plocha vytvořena, a to z 3D křivky na 3D plochu, při správně definované normále plochy, nebo nalezením nástrojů, které by dokázaly převést 3D plochu na 3D křivku.

V simulačním prostředí Virtual Crash je plocha definována pomocí 3D plochy, ale problém vniká v tom, že k zobrazení plochy v tomto prostředí, je potřeba mít opačně definovanou normálu plochy. Tento problém by se dal vyřešit tím, že by z pohledu vývojářů došlo k předefinování viditelnosti plochy.

Plocha by byla viditelná tehdy, byla by vytvořena ve smyslu pravotočivého souřadného systému, místo, jako doposud, levotočivého, nebo nalezením nástrojů, které by dokázaly otočit směr normály u větší skupiny vybraných 3D ploch.

Na základě vytvořených závěrů v této kapitole je vhodné provést multikriteriální analýzu, která bude zohledňovat přenositelnost souborů mezi jednotlivými softwarovými prostředími. Takto shrnutou analýzu reflektuje následující tabulka, kde dojde k porovnání svislého sloupce proti vodorovnému. V tabulce je přenos zapsán ve formátu *formát souboru/typ objektu/vyskytující se problém*.

Tabulka č. 11 - Reflektující přenositelnost souborů mezi jednotlivými softwarovými prostředí

	AutoCAD Civil 3D	AutoCAD	Virtual CRAS	PC Crash
AutoCAD Civil 3D	-	*.dwg/3D plocha/-	-	-
AutoCAD	*.dwg/3D plocha/-	-	*.dxf/3D plocha/orientace normály	*.dxf/bod/-
Virtual CRAS	-	-	-	-
PC Crash	*.dxf/3D křivka/-	*.dxf/3D křivka/-	-	-

## 6.6 Simulace

### 6.6.1 Informace o provedení simulace

- software: PC Crash 9.0
- místo: připojovací pruh MÚK Olšany
- význam: analýza rozhledových podmínek a prověření bezpečnosti silničního provozu

Pro tvorbu simulace byl použit jako podkladový povrch (polygon sklonů) model části MÚK Olšany, na kterém bude simulován kinetický pohyb vozidel a který je výstupem kapitoly č. 6.5. Dále byly jako vstupní hodnoty použity závěry ze statisticky zpracovaných dat a závěry z akcelerometrů, pomocí nichž došlo k měření jízdních vlastností automobilu.

### 6.6.2 Popis modelové situace:

Na 33. kilometru km se nachází mimoúrovňová křižovatka MÚK Olšany, kde dochází k napojení silnice III. třídy, spojující Olšany u Prostějova a Hablov, na rychlostní komunikaci R46. Oba dva připojovací pruhy v současné době nevyhovují normě ČSN 73 6102 (viz obrázek č. 10), a to z důvodu absence přídatného pruhu pro připojování vozidel na rychlostní komunikaci. Ve sledovaném úseku směrem na Prostějov (viz obrázek č. 29) bylo statisticky zjištěno, že předepsanou rychlost 80 km/h překračuje 95 % vozidel. Ze záznamu skoronehod, přímo pozorovaných konfliktních a rizikových situací, bylo vysledováno, jak může být manévr, kdy se řidič snaží z nulové rychlosti zařadit do průběžného jízdního pruhu, nebezpečný. U účastníka silničního provozu jedoucího v pravém průběžném jízdním pruhu, který nezná místní podmínky a který nedodrží předepsanou rychlost, může dojít např. ke srážce s vozidlem vyjíždějícím z připojovacího pruhu. Z protokolů, jež evidují dopravní nehody, za rok 2010 a částečně za rok 2011, na R46 a které byly poskytnuty týmu SGS Policií ČR (bez osobních údajů), vyplývá, že se v tomto místě ve směru na Prostějov žádná takováto podobná nehoda nestala. V opačném směru však došlo k podobné situaci. Řidič, který se snažil zařadit do průběžného jízdního pruhu, ve směru na Olomouc, špatně odhadl rychlost vozidla jedoucího v pravém jízdním pruhu. Řidič jedoucí po rychlostní komunikaci se snažil najíždějícímu vozidlu vyhnout tím, že ho objede zleva. Přehlédl však vozidlo jedoucí v levém jízdním pruhu a posléze se s ním střetl.

V simulačním prostředí došlo k modelování následující dopravní situace. Pro řidiče jedoucího v pravém průběžném pruhu (osobní automobil č. 2 – dále označeno OS2) směrem na Prostějov před MÚK Olšany tvoří násep a začátek pilíře mostu statickou překážku, která mu brání ve výhledu na přípojovací pruh. Vozidlo se nachází v tzv. oblasti zakrytého výhledu (OZV) pro řidiče stojícího na konci přípojovacího pruhu (osobní automobil č. 1 – dále označeno OS1). Konec oblasti zakrytého výhledu se nachází v místě, kde je čelo OS2 vzdáleno od mostu cca 28 m, toto místo je označeno jako KOZV. Nachází-li se OS2 na KOZV, dochází k najíždění OS1, stojícího na přípojovacím jízdním pruhu, do pravého průběžného jízdního pruhu. Řidič OS1 vyhodnotil kritický časový odstup v pruhu, do kterého najížděl, za dostačující. Jakmile se OS1 nacházelo cca  $\frac{1}{4}$  své plochy v pravém průběžném pruhu, řidiče OS2 reagoval na vniklou situaci tak, že začal brzdít. Dále bylo uvažováno, že je levý průběžný jízdní pruh obsazen jinými vozidly a řidič OS2 nemá možnost se do levého jízdního pruhu bezpečně zařadit.

### 6.6.3 Teoretický základ

Pro analýzu pohybu vozidla během nehodového děje bylo použito pouze zjednodušených vztahů pro kinematický pohyb vozidel dopředným odvíjením. Dopředné odvíjení se dá rozdělit do následujících fází:

- pohyb vozidla před začátkem reakční doby
- reakční doba řidiče, kdy řidič zaregistroval vznik potenciálního nebezpečí
- brzdění
- analýza střetu

Kinetika vozidla ani střed vozidel nebyl řešen. Simulace měla prověřit pouze jednotlivé polohy vozidel od začátku nehodového děje po jejich konečné polohy, bez vzájemného ovlivnění.

#### **Pohyb vozidla před začátkem reakční doby řidiče:**

V této fázi se dá předpokládat rovnoměrný pohyb vozidla s konstantní rychlostí  $v_1$ . Pro výpočet ujeté dráhy během této fáze bylo použito následujícího vztahu:

$$s_{k-r} = v_1 \cdot t_{k-r} \quad (6.1)$$

kde  $s_{k-r}$  – dráha od KOZV do začátku reakční doby

$v_1$  – počáteční rychlost OS2

$t_{k-r}$  – čas od KOZV do začátku reakční doby

### Reakční doba řidiče:

Dle [7] a [2] je přijatelný rozsah trvání reakční doby řidiče osobního automobilu uvažován na základě následující tabulky.

**Tabulka č. 12 – Přehled délky jednotlivých úseků reakční doby a odezvy vozidla při nouzovém brzdění osobního automobilu**

	Doba trvání (sekund)		
	min.(2 %)	průměr	max.(98 %)
Optická reakce			
- řidič předem přímo pozoroval krit.objekt	0,00	0,00	0,00
- řidič nejprve sledoval jiný objekt do 5°	0,32	0,48	0,55
nad 5°	0,41	0,61	0,70
Psychická reakce (rozhodování)	0,22	0,45	0,58
Svalová reakce (přesun nohy na pedálech)	0,15	0,19	0,21
Prodleva brzd	0,02	0,05	0,06
Náběh brzdného účinku	0,07	0,15	0,49 <sup>*</sup>

Pro simulaci byla na základě výše uvedené tabulky uvažována průměrná reakční doba řidiče  $t_r = 0,84$  s, kdy se předpokládalo, že řidič OS2 kritický objekt přímo pozoroval. Dráha ujetá během reakční doby byla počítána dle vztahu 6. 1.

### Brzdění:

Byly uvažovány dvě fáze brzdění, a to náhlé brzdění a nenáhlé brzdění, které jsou podle [26] definovány následovně:

- náhlé brzdění – je to brzdění s vyšším zpomalením, než je polovina maximálně adhezně dosažitelného zpomalení pro konkrétní vozidlo.
- nenáhlé brzdění – je to brzdění, kdy horní hranice zpomalení je menší nebo rovna polovině adhezně dosažitelného zpomalení pro konkrétní vozidlo.

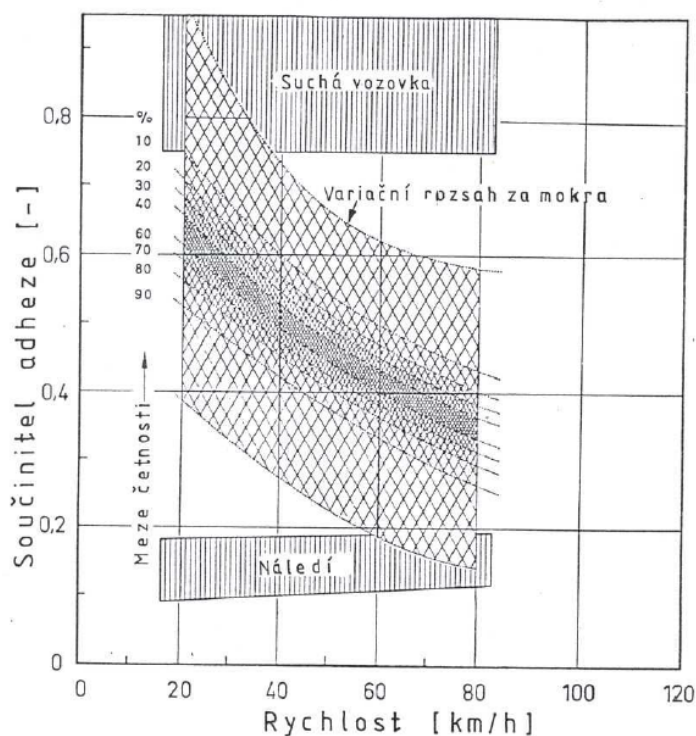
Součinitel adheze  $f$  byl určen z následujícího obrázku dle [27], kdy byly uvažovány ideální podmínky, za kterých se vozidlo pohybuje po suché vozovce. Jeho velikost byla stanovena na hodnotu  $f = 0,8$ . Velikost rozsahu horní meze brzdného zpomalení pro náhlé brzdění  $a_{náh}$  byla zjednodušeně vypočtena dle vztahu 6. 2 a velikost  $a_{náh} = 7,8$  m.s<sup>-2</sup>. Kdybychom tuto hodnotu chtěli znát přesně, museli bychom brzdné zpomalení počítat podle složitějšího vztahu, který bere v úvahu i poměr adhezní tíhy nebo účinnost brzd a sklon vozovky ve směru pohybu vozidla. Velikost nenáhlého brzdění byla uvažována, jako polovina náhlého brzdění a jeho hodnota  $a_{ne} = 3,9$  m.s<sup>-2</sup>.

$$T = f \cdot N \quad (6.2)$$

kde  $f$  je součinitel kinetického smykového tření – stručně součinitel tření, nebo též součinitel adheze, což je bezrozměrné číslo

$T$  je třecí síla v newtonech [N] působící v tečném směru ve stykové ploše pneumatiky s vozovkou

$N$  je normálová síla v newtonech [N] působící ve směru normály, tedy kolmo ke stykové ploše pneumatiky s vozovkou



Obrázek 34 - Rozdělení četnosti a variační rozsah součinitele adheze (mokrý vozovka, výpočtová tloušťka vodního filmu 1 mm) soubor vozovek novodobých konstrukcí

Velikost brzdné dráhy  $s_b$  z rychlosti  $v_1$  do rychlosti  $v_2 = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  byla vypočtena dle následujícího vztahu 6.3, kdy byl uvažován pohyb vozidla v přímém směru. Ve skutečnosti tomu tak není. Brzdící vozidlo provádí pohyb po oblouku a pro výpočet brzdné dráhy v oblouku je třeba použít složitějšího vztahu. Pro účely této práce je však vztah 6.3 dostačující.

$$s_b = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a_{n\acute{a}h(ne)}} \quad (6.3)$$

Čas brzdění  $t_b$  byl vypočten dle vztahu 6. 4.

$$t_b = \sqrt{\frac{2 \cdot s_b}{a_{náh(ne)}}} \quad (6.4)$$

Celkový čas do zastavení  $t_c$  OS2 se vypočetl jako součet všech dílčích časů.

$$t_c = t_{k-r} + t_r + t_b \quad (6.5)$$

Celková ujetá dráha  $s_c$  OS2 se vypočetla jako součet všech dílčích ujetých vzdáleností.

$$s_c = s_{k-r} + s_r + s_b \quad (6.6)$$

### OS1:

Zrychlení OS1  $a_{os1} = 1 \text{ m.s}^{-2}$  bylo určeno, jako průměrná hodnota dle grafu č. 5, na kterém je zachyceno zrychlení měřeného vozidla v ose  $x$ , v čase cca mezi 24 – 30 s, kdy docházelo k najíždění vozidla na rychlostní komunikaci z přípojovacího pruhu.

Čas do zastavení vozidla OS2  $t_p = t_c$ . Ujetá vzdálenost  $s_p$  vozidla OS1 během této doby byla vypočtena dle vztahu 6. 7.

$$s_p = \frac{1}{2} a_{os1} t_p^2 \quad (6.7)$$

Rychlost OS1  $v_p$  na konci dráhy  $s_p$  byla vypočtena dle vztahu 6. 8.

$$v_p = \sqrt{v_0^2 + 2a_{os1}s_p} \quad (6.8)$$

kde  $v_0$  je počáteční rychlost OS1, která se v našem případě rovná  $0 \text{ m.s}^{-1}$

#### 6.6.4 Vlastní zpracování

Pro simulaci byly voleny počáteční rychlosti OS2 v hodnotách 80, 100 a 130 km/h. Rychlost 80 km/h je ve sledovaném úseku omezena dopravní značkou B20a, která je umístěna před začátkem oblouku. Původní rychlost byla v celém úseku, mimo oblouk, omezena na hodnotu 130 km/h a později byla tato rychlost snížena na 100 km/h. Pro každou rychlost byly provedeny dvě simulace, a to pro náhlou a nenáhlou rychlost. V následujících třech tabulkách jsou uvedeny výpočty, které vycházejí z kapitoly 6. 6. 3.

Tabulka č. 13 – Vstupní hodnoty pro kinematický výpočet pohybu vozidel OS1, OS2 a výpočet první fáze dopředného odvíjení pro OS2, tj. pohyb vozidla před začátkem reakční doby řidiče

<b>OS2:</b>				
Náhlé brzdění	$a_{náh} [m/s^2]$	7.8		
Nenáhlé brzdění	$a_{ne} [m/s^2]$	3.9		
Rychlost	$v_1 [km/h]$	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>130</b>
Rychlost	$v_1 [m/s]$	22.22	27.78	36.11
Konečná rychlost	$v_2 [m/s]$	0.00	0.00	0.00
Čas od KOZV do začátku reakční doby	$t_{k-r} [s]$	3.40	3.40	3.40
Ujetá vzdálenost	$s_{k-r} [m]$	75.56	94.44	122.78
Průměrná reakční doba	$t_r [s]$	0.84	0.84	0.84
<b>OS1:</b>				
Zrychlení	$a_{OS1} [m/s^2]$	1.00		

Tabulka č. 14 – Vypočtené hodnoty pro náhlé brzdění OS2 a pro dopředné odvíjení OS1

<b>Náhlé brzdění:</b>				
<b>OS2:</b>				
Dráha ujetá během reakční doby	$s_r [m]$	18.67	23.33	30.33
Brzdná dráha	$s_b [m]$	31.66	49.46	83.59
Čas brzdění	$t_b [s]$	2.85	3.56	4.63
Celkový čas do zastavení	$t_c [s]$	7.09	7.80	8.87
Celková ujetá dráha	$s_c [m]$	125.88	167.24	236.70
<b>OS1:</b>				
Čas do zastavení OS2	$t_p [s]$	7.09	7.80	8.87
Ujetá vzdálenost	$s_p [m]$	25.13	30.43	39.34
Rychlost na konci $s_p$	$v_p [km/h]$	25.52	28.08	31.93
Přibližná vzdálenost čela OS2 a zádě OS1	$l_{náh} [m]$	87.00	50.00	-11.00



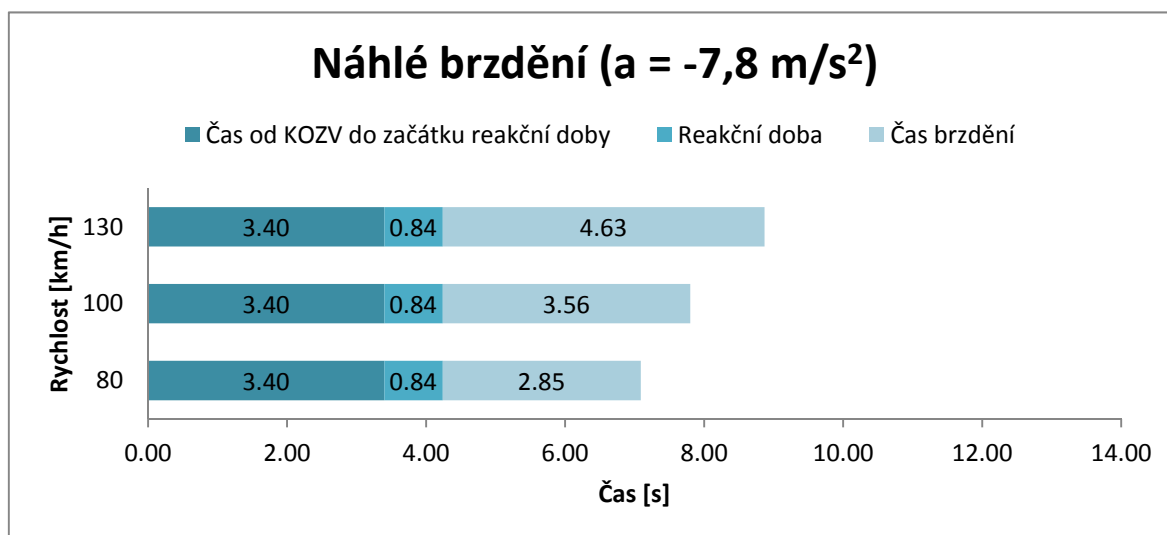
Tabulka č. 15 - Vypočtené hodnoty pro náhlé brzdění OS2 a pro dopředné odvíjení OS1

**Náhlé brzdění:**

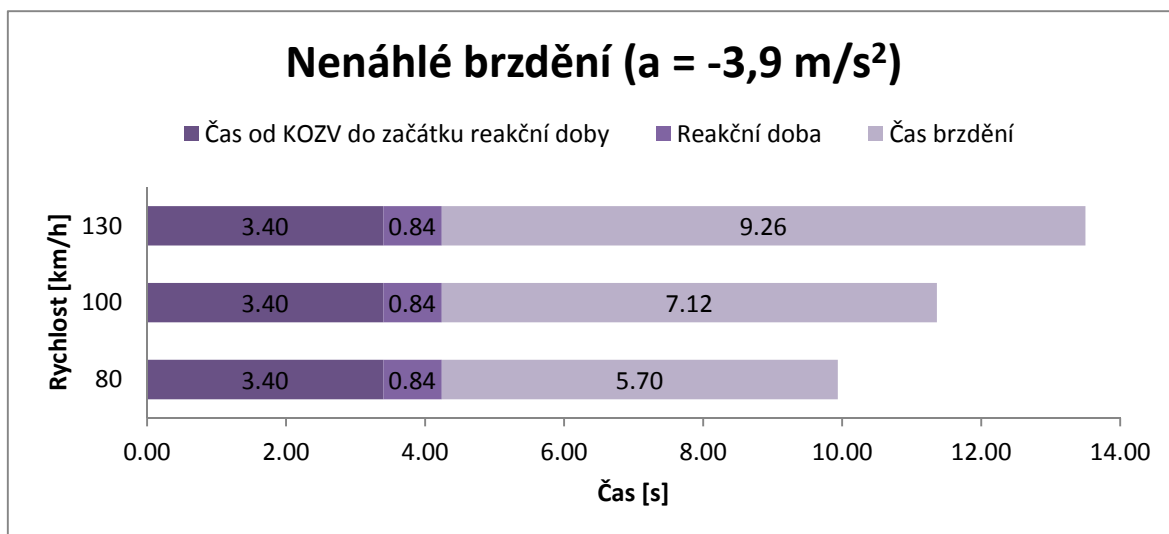
<b>OS2:</b>				
Dráha ujetá během reakční doby	$s_r$ [m]	18.67	23.33	30.33
Brzdná dráha	$s_b$ [m]	63.31	98.92	167.18
Čas brzdění	$t_b$ [s]	5.70	7.12	9.26
Celkový čas do zastavení	$t_c$ [s]	9.94	11.36	13.50
Celková ujetá dráha	$s_c$ [m]	157.53	216.70	320.29
<b>OS1:</b>				
Čas do zastavení OS2	$t_p$ [s]	9.94	11.36	13.50
Ujetá vzdálenost	$s_p$ [m]	49.38	64.55	91.12
Rychlost na konci $s_p$	$v_p$ [km/h]	35.78	40.91	48.60
Přibližná vzdálenost čela OS2 a zádě OS1	$L_{ne}$ [m]	79.00	34.00	-43.00
Rozdíl vzdáleností čela OS2 a zádě OS1	$\Delta l$ [m]	8.00	16.00	32.00

Z výše uvedených tabulek byly pro lepší představivost sestrojeny grafy, ve kterých dochází k porovnání celého děje pomocí složek času a dráhy v závislosti na různých vstupních rychlostech, zvláště pro náhlé a nenáhlé brzdění.

Graf č. 31 - Grafické znázornění časové složky OS2, v závislosti na různých vstupních rychlostech pro náhlé brzdění

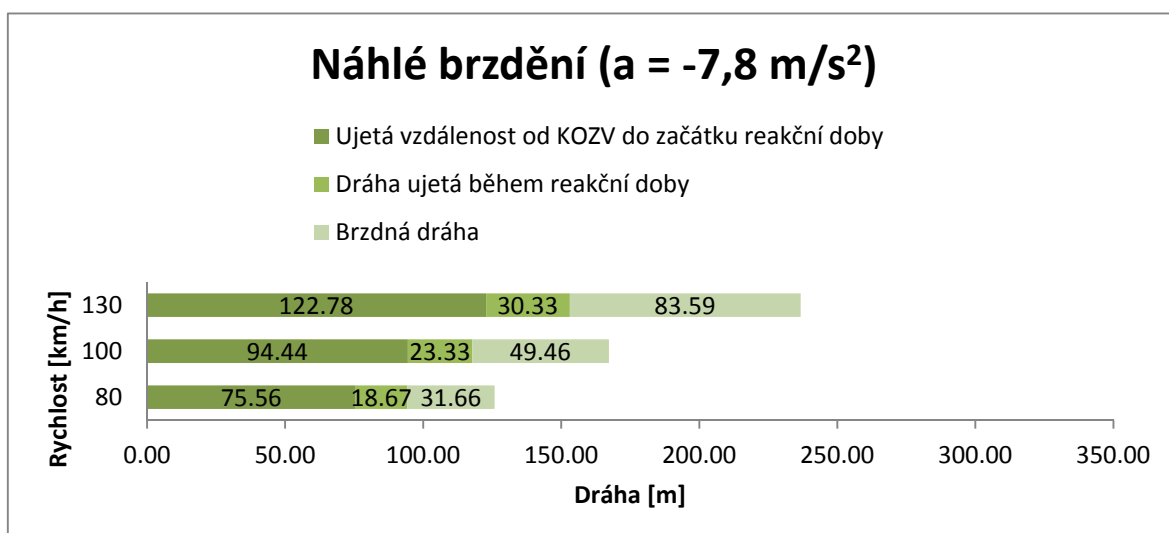


Graf č. 32 - Grafické znázornění časové složky OS2, v závislosti na různých vstupních rychlostech pro nenáhlé brzdění

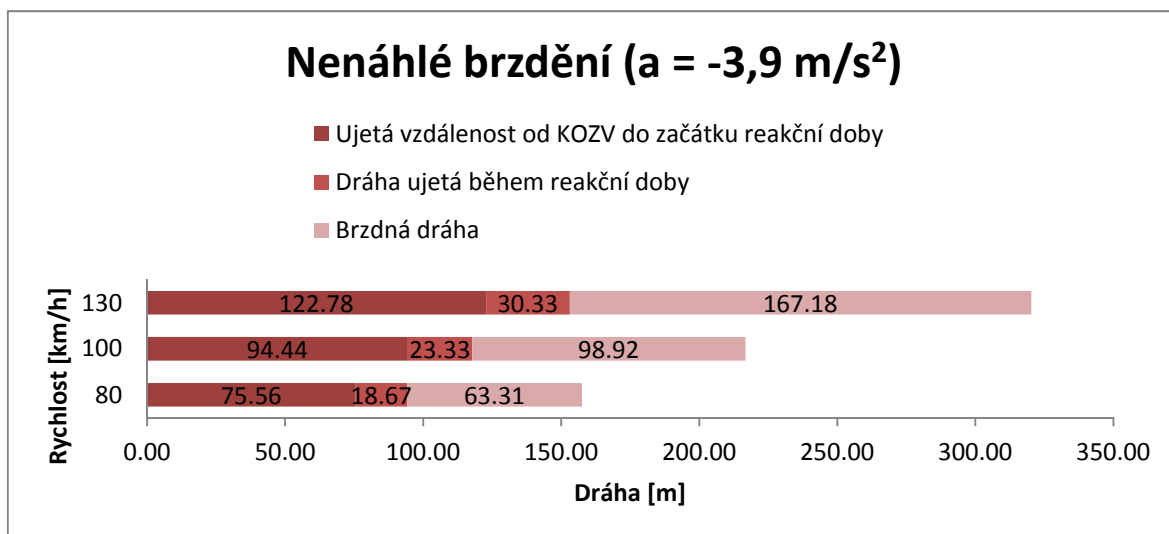


Při porovnání grafu č. 31 a 32 je zřejmé, že k rozdílu dochází až ve třetí fázi, a to při brzdění, kdy se pro každou rychlost, vlivem sníženého brzdného zpomalení o jednu polovinu, zdvojnásobil potřebný čas pro zastavení vozidla.

Graf č. 33 - Grafické znázornění ujeté dráhy OS2, v závislosti na různých vstupních rychlostech pro náhlé brzdění

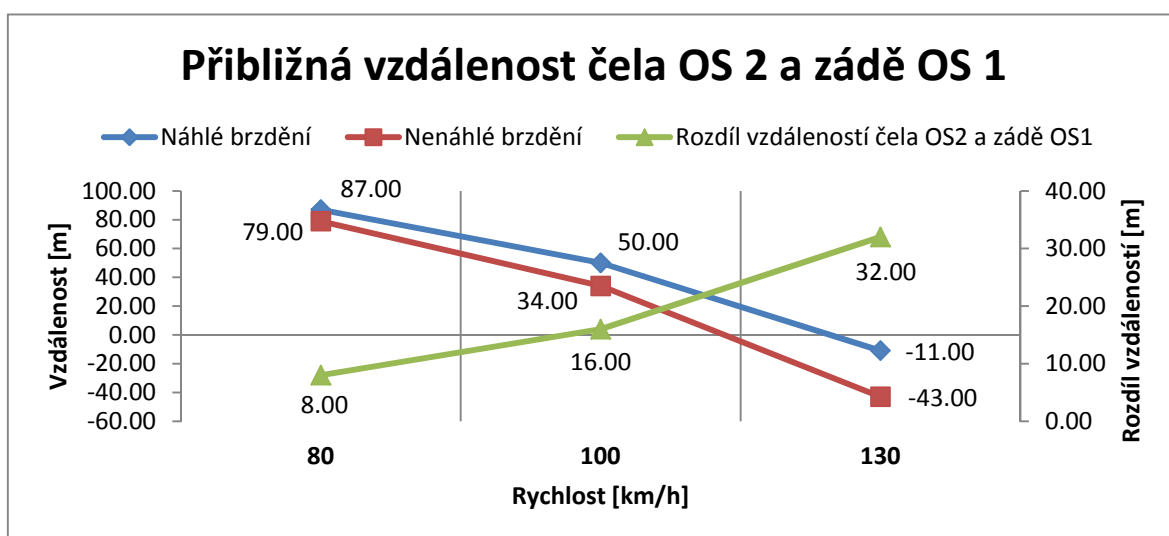


Graf č. 34 - Grafické znázornění ujeté dráhy OS2, v závislosti na různých vstupních rychlostech pro nenáhlé brzdění



Při porovnání grafu č. 33 a 34 je zřejmé, že k rozdílu dochází opět až ve třetí fázi, a to při brzdění, kdy se pro každou rychlost, vlivem sníženého brzdného zpomalení o jednu polovinu, zdvojnásobila brzdná dráha OS2. Dále došlo ještě ke sledování vzdálenosti čela OS2 a zádě OS1 v čase zabrzdění vozidla OS2 v závislosti na velikosti počáteční rychlosti OS2. Tyto hodnoty byly ručně odměřeny, zaokrouhleny nahoru na celé jednotky metrů a následně byly zaneseny do grafu.

Graf č. 35 - Přibližná vzdálenost čela OS2 a zádě OS1



Z grafu je zřejmé, že jede-li OS2 rychlostí 130 km/h a začne náhle brzdit, jeho brzdná dráha končí 11 metrů před OS1. Z čehož vyplývá, že by při rychlosti 130 km/h mělo dojít ke střetu vozidel.

Na dalším obrázku je zachycen 2D pohled na provedenou simulaci v PC Crash, kdy došlo k náhlému brzdění vozidel z počátečních rychlostí 80, 100 a 130 km/h.



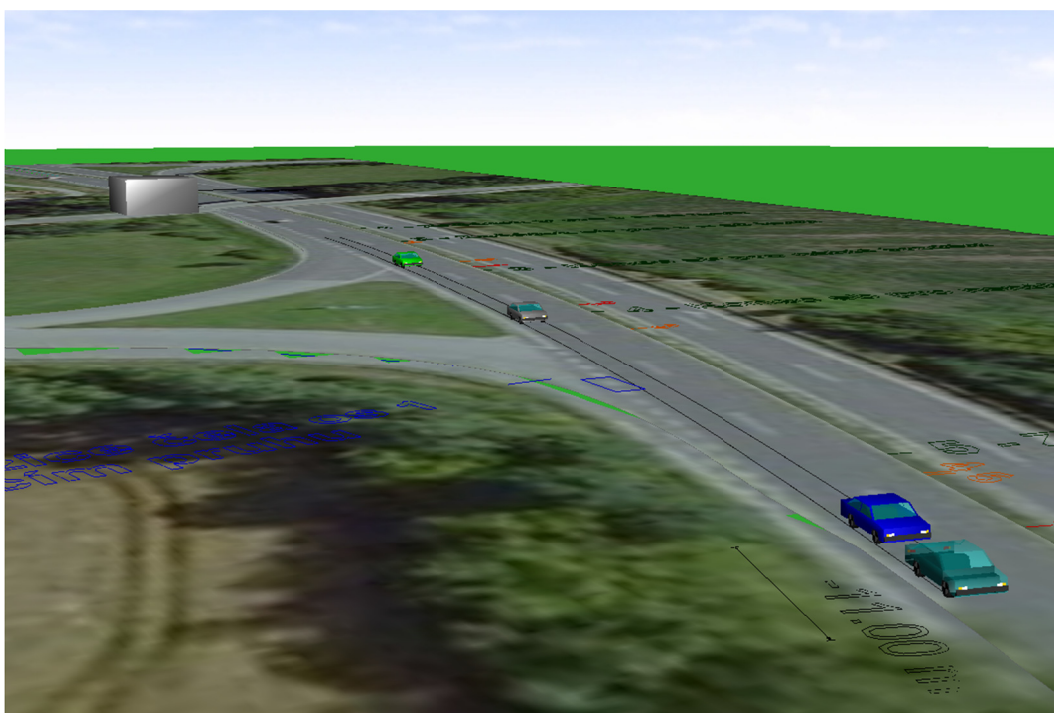
Černým textem je vyznačena konečná oblast zakrytého výhledu KOZV. Modrým textem je označena počáteční pozice vozidla OS1. Zeleným textem jsou označeny jednotlivé hraniční části odvíjeného děje pro rychlost 80 km/h, oranžovým textem pro rychlost 100 km/h a červeným textem pro rychlost 130 km/h, které jsou vždy vztažené k přední části vozidla OS2. Jednotlivé fáze odvíjeného děje jsou očíslovány a značí:

- 1 - Začátek reakční doby  $t_r$  pro rychlost  $v_1$
- 2 - Začátek brzdné dráhy  $s_b$  pro rychlost  $v_1$
- 3 - Konec  $s_b$  pro náhlé brzdění
- 4 - Konec  $s_b$  pro nenáhlé brzdění
- 5 - Zád' OS2 pro náhlé brzdění
- 6 - Zád' OS2 pro nenáhlé brzdění

Objekty jsou označeny číslem a jejich význam je následující:

- 1 OS1
- 2 OS2 pro rychlost 80 km/h
- 3 Statická překážka, která představuje mostní konstrukci spolu s náspelem
- 4 OS2 pro rychlost 100 km/h
- 5 OS2 pro rychlost 130 km/h

Na dalším obrázku je zachycen 3D pohled na provedenou simulaci v PC Crash, kdy došlo k náhlému brzdění vozidel z počátečních rychlostí 80, 100 a 130 km/h.

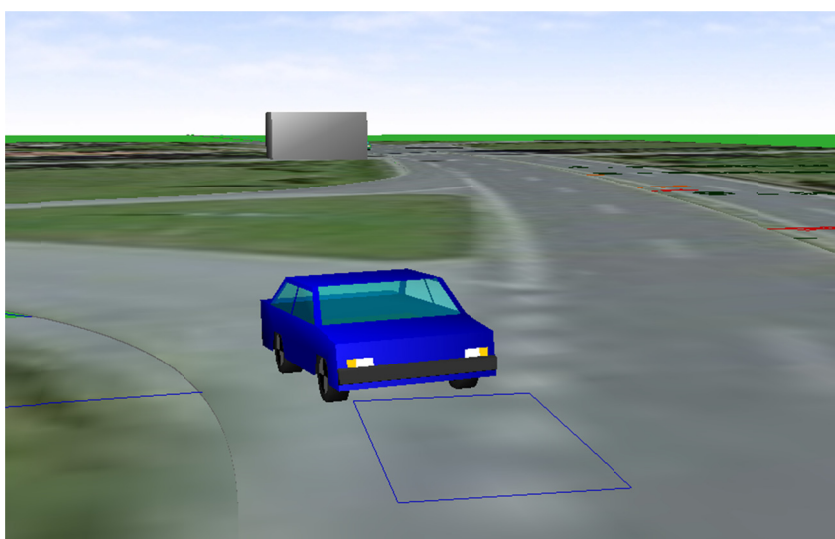


inich



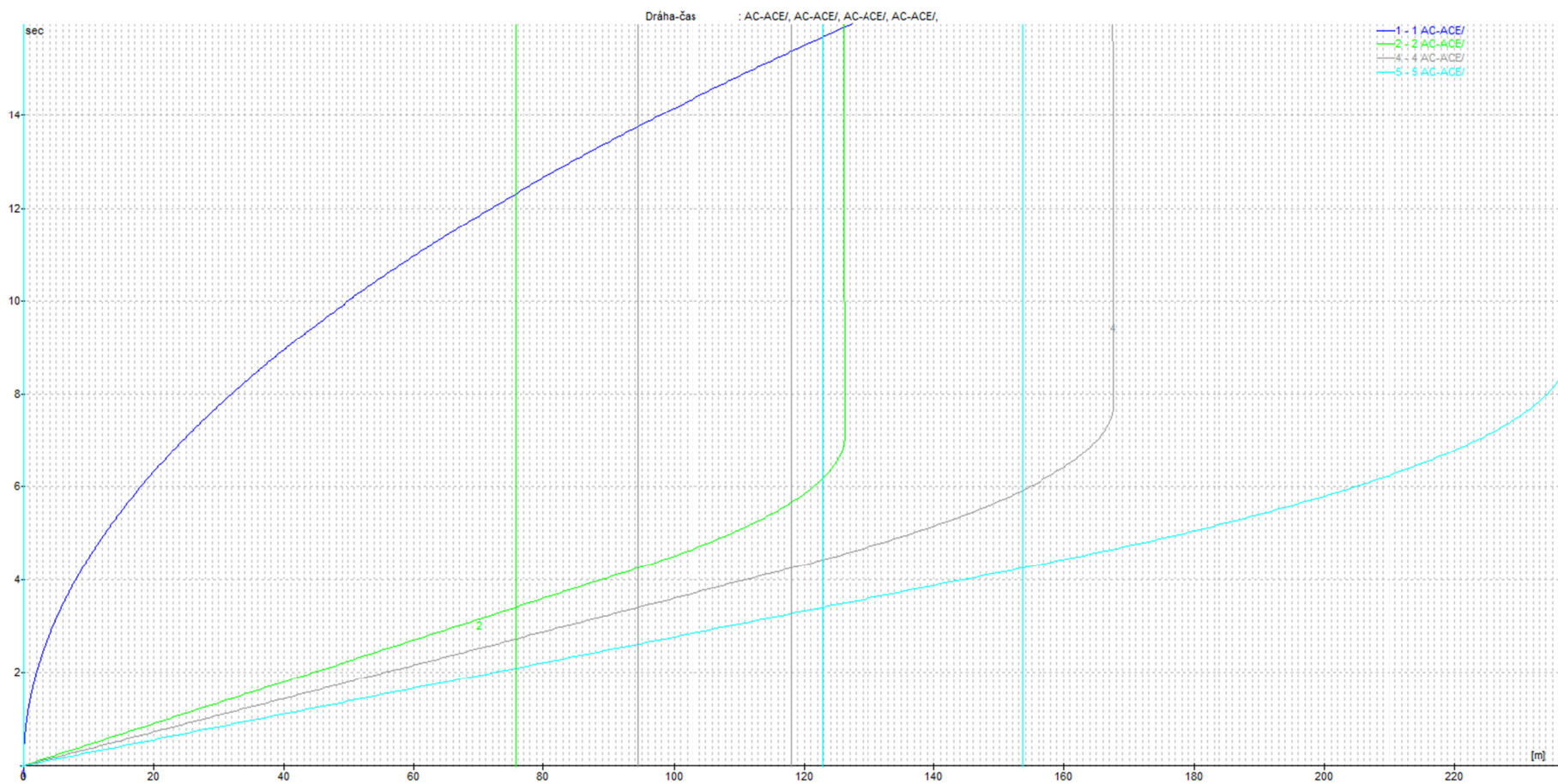
Obrázek č. 36 představuje prostorový pohled obrázku č. 35. Je na něm detailně znázorněna konečná poloha OS2 (tyrkysová barva vozu) pro rychlost 130 km/h a poloha najíždějícího vozidla OS1 (modrá barva vozu), kde čelo vozidla OS2 je od zádě OS1 vzdáleno o 11 m. Modře vyznačený obdélník představuje polohu najíždějícího vozidla na začátku reakční doby  $t_r$  řidiče OS2 (viz také obrázek č. 37).

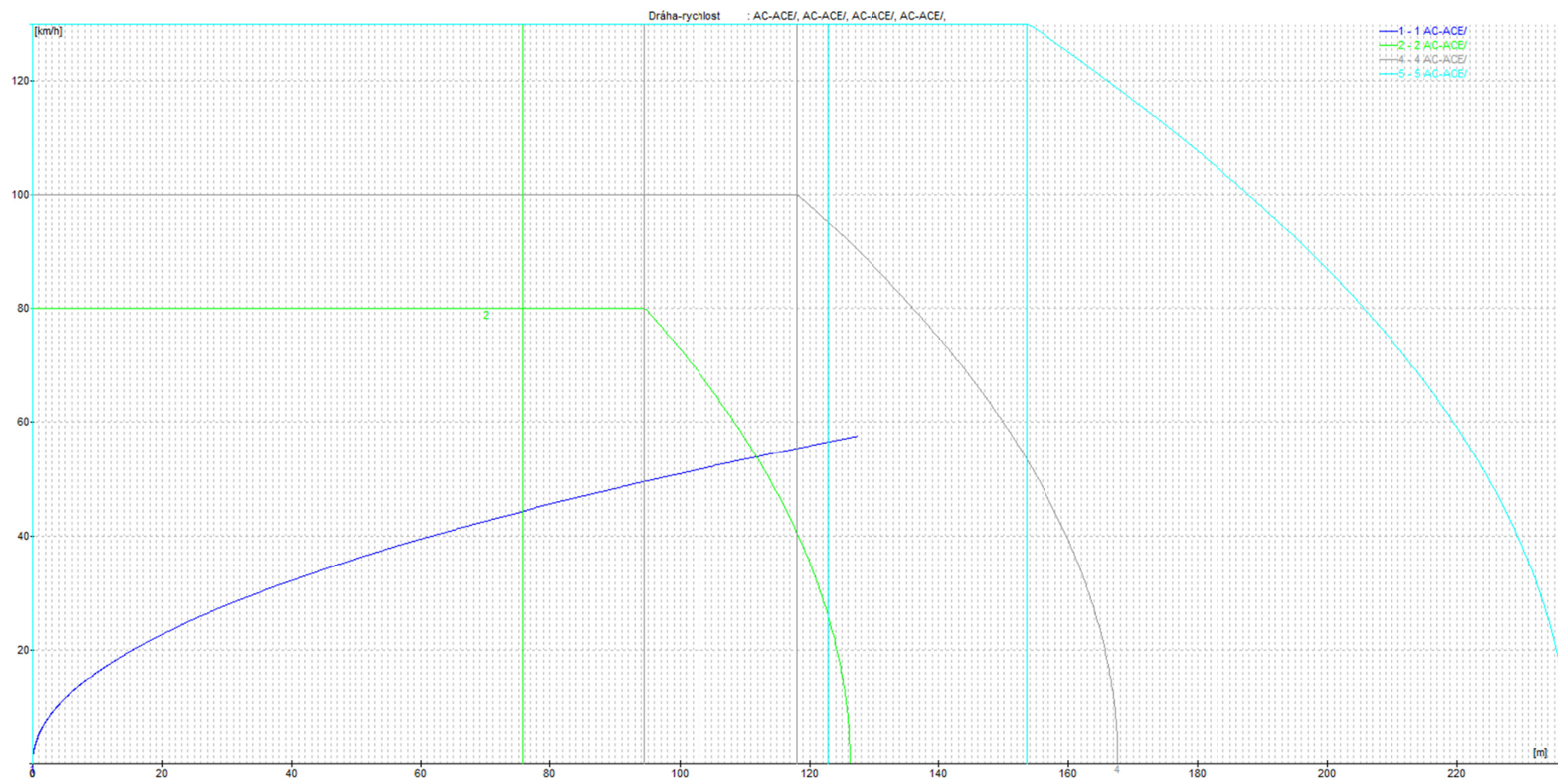
Na dalším obrázku je zachycen průběh simulace v čase  $t_s = 0$  s, kdy řidič OS1 stojí na konci přípojovacího pruhu a dochází k vyhodnocení kritického časového odstupu na průběžných jízdnicích rychlostní komunikace. V tomto čase se poloha OS2 nachází na KOZV.



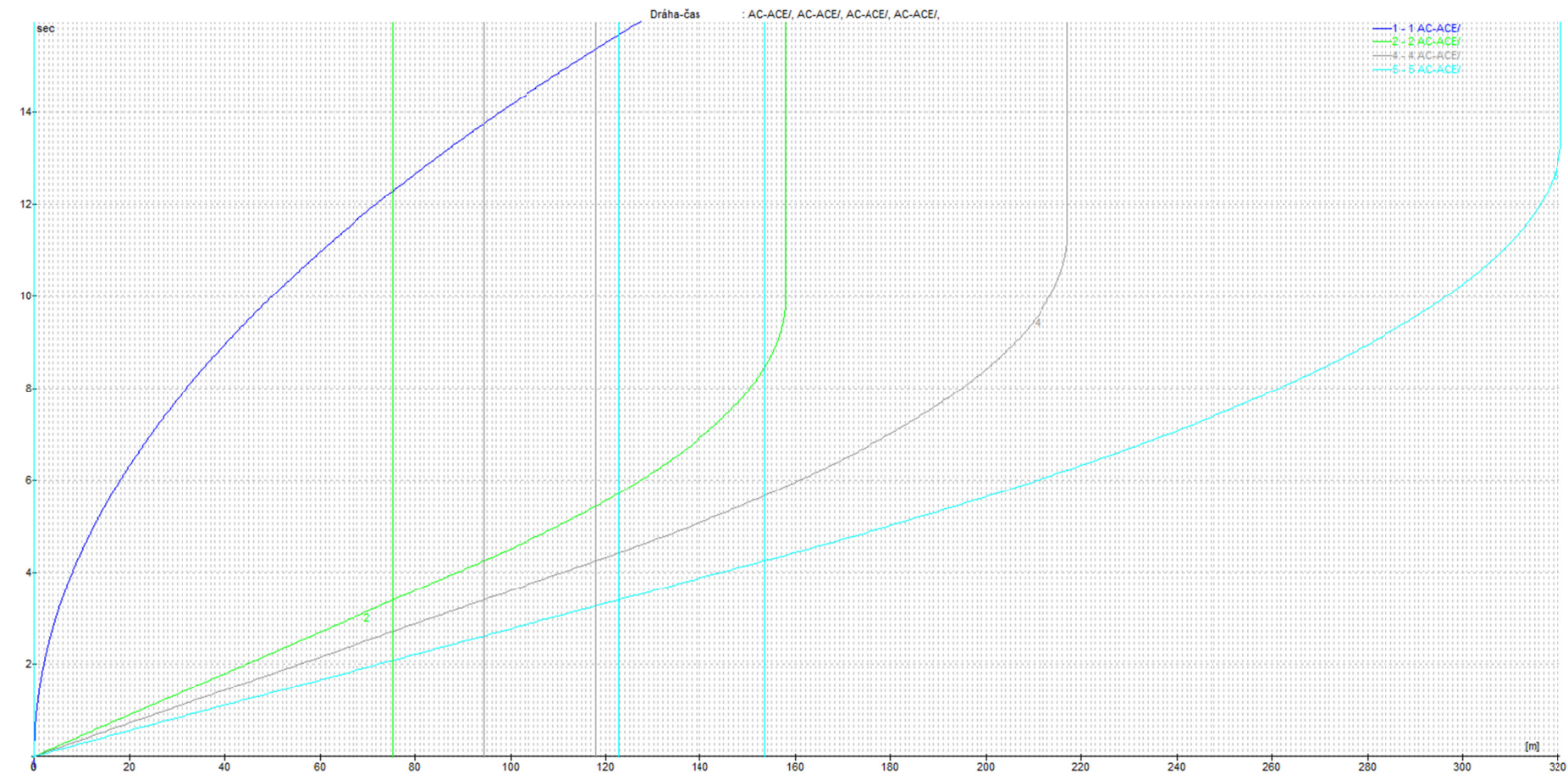
poloha OS1 a

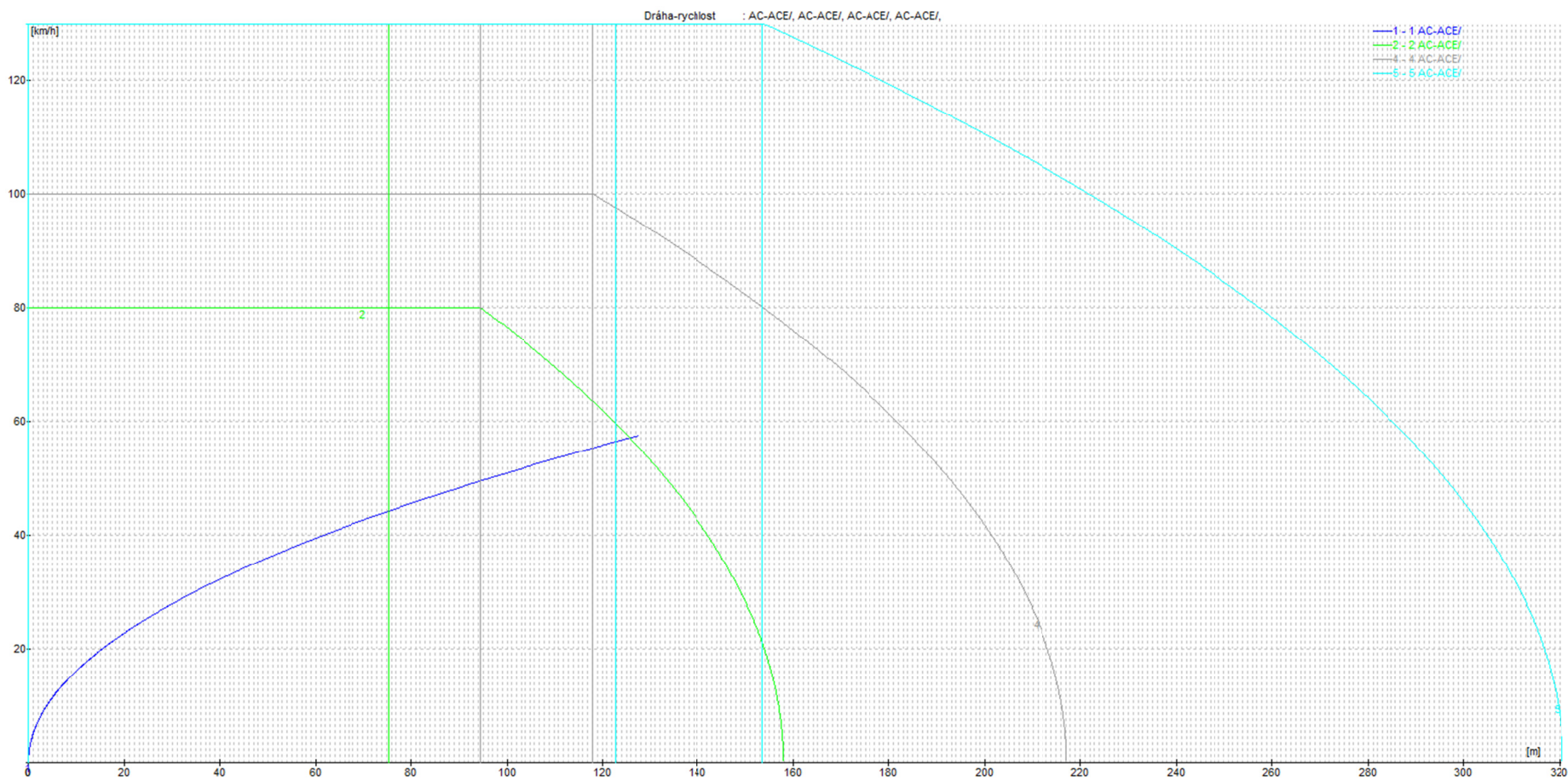
Na následujících grafech je zachycena celá simulace pomocí diagramu dráha – čas a dráha – rychlost, a to pro oba způsoby brzdění. Barva vozidel je totožná s křivkami vykreslenými v grafech.











### 6.6.5 Závěr

Simulací bylo prokázáno, že jede-li OS2 počáteční rychlostí  $v_1 = 130$  km/h, dojde už při náhlém brzdění ke střetu s vozidlem OS1 v čase simulace  $t_s = 5,98$  s. V tomto čase byla brzdná dráha OS2  $s_b = 11,808$  m v čase brzdění  $t_b = 1,74$  s a OS2 se pohybovalo rychlostí 120,46 km/h. OS1 v čase  $t_s = 5,98$  s urazilo od místa rozjezdu vzdálenost  $s_p = 17,880$  m a jeho rychlost byla v tomto místě  $v_p = 21,53$  km/h. Z toho plyne, že OS2 narazilo na zád' automobilu OS1 nárazovou rychlostí  $v_n = 98,93$  km/h!

Při výpočtu hodnot byly uvažovány ideální podmínky, jako je pohyb vozidla po suché vozovce. Na mokré vozovce nebo na náledí by došlo k prodloužení brzdných drah úměrně v závislosti na snižující se hodnotě brzdného zpomalení, jak vyplývá z grafu č. 33 a 34. Do výpočtů hodnot nebyla dále uvažována kinetika vozidla. Konečné polohy vozidel byly také ovlivněny subjektivním vyhodnocením začátku reakční doby řidiče OS2, délkou reakční doby a postavením OS1 vůči konečné hranici připojovacího pruhu. Dojde-li např. u OS2 jedoucího rychlostí 130 km/h ke zkrácení času  $t_{k-r}$  o 0,5 s, tak se jeho konečná poloha zkrátí cca o 17 m, čímž by došlo k odvrácení střetu s OS1. Hodnota  $l_{náh}$  je v tomto případě cca 2,5 m.

Simulací došlo také k ověření funkčního modelu části MÚK Olšany.

## Závěr

Diplomová práce vznikla v rámci studentské grantové soutěže ČVUT SGS11/141/OHK2/2T/16, s názvem projektu - Zaměřování místa dopravních nehod pro podporu modelování a analýzu rozhledových podmínek. Výsledky této práce byly publikovány na mezinárodní forenzně vědecké konferenci Junior Forensic Science Brno 2012, organizovanou Ústavem soudního inženýrství VUT v Brně. Tato konference byla určena studentům doktorského studia forenzních disciplín nejen z České republiky, ale i ze zahraničí. Příspěvek s názvem Analýza nehodovosti na R46, který byl na této konferenci publikován, se nachází v příloze č. 1. 15.

Nehodovost na pozemních komunikacích je v ČR sledována už od 50. let minulého století. Od počátku 60. let počet usmrcených při dopravních nehodách prudce narůstal současně se zvyšující se úrovní motorizace a ČR se z hlediska úrovně bezpečnosti silniční dopravy postupně propadla mezi nejslabší státy střední a východní Evropy. Teprve po tomto propadu se projeví snahy o přijetí účinných opatření ke zlepšení nežádoucí situace. Ty byly podporovány i z nejvyšších vládních míst. V současné době dochází k přiblížení se k úrovni ze začátku 90. let, ale čísla počtu usmrcených při dopravních nehodách jsou stále ještě alarmující. Česká republika se dostává na úroveň vyspělých zemí západní Evropy, ale proces sblížování a zařazení ČR do skupiny nejvyspělejších zemí v oblasti bezpečnosti dopravy lze odhadnout na poměrně dlouhodobý proces.

Problematika rozhledových podmínek a viditelnosti je složitá a jejich správné zajištění podléhá Českým technickým normám. Při řešení rozhledových podmínek na MÚK Olšany bylo zjištěno, že současné stavební provedení přípojovacího pruhu nevyhovuje ČSN 73 6102, jelikož chybí manévrovací pruh, který má vozidlu umožnit jeho bezpečné zařazení do průběžného pruhu.

Na základě zhodnocení metod, pomocí kterých dochází ke sběru dat, byla pro účel této práce zvolena metoda polohového měření pomocí geodetického přístroje a touto metodou byla zaměřena MÚK Olšany. V rámci projektu SGS došlo také k zaměření části rychlostní komunikace R46 pomocí kinematického 3D scanneru. Při zpracování naměřených dat 3D scannerem se vyskytuje ještě celá řada nevyřešených problémů, kvůli nimž nebylo možno použít tato data pro tvorbu digitálního modelu.

Lze konstatovat, že při zpracování praktické části, byly splněny všechny v úvodu stanovené cíle. Reálný model dopravní situace byl vytvořen na základě polohového měření

pomocí geodetického přístroje, statisticky zpracovaného měření provedeného statickým radarem a měřením dynamických vlastností automobilu. Pro proces modelování byl vypracován soubor jednotlivých postupů a doporučení, při jejichž použití se výrazně zkracuje čas pro jeho vytváření. Tomu předchází i pečlivě provedené polohové měření. Pomocí nalezeného postupu modelování je možno zpracovávat model o různé složitosti povrchu. V tomto případě dochází k omezení pouze ze strany hardwaru počítače a softwarových nástrojů, které jsou limitované maximálním počtem objektů (řádků), s kterými umí pracovat. Při přenosu objektů do simulačních prostředí se ukázalo, že obě simulační prostředí potřebují mít plochu definovanou jiným objektem i jinak orientovanou normálou plochy. Model MÚK Olšany se podařilo přenést pouze do simulačního prostředí PC Crash, který umožňuje, oproti softwaru Virtual Crash, práci s plochami. Co zůstalo nedořešeno, je nalezení metody, pomocí níž by bylo možno změnit orientaci normály u většího počtu zvolených ploch.

V simulačním prostředí nebyl proveden dostatečný počet modelových situací k tomu, aby nám zjištěná data poskytla dostatek podkladů k zamítnutí hypotézy uvedené na konci kapitoly č. 6. 3. 4. Předpoklad hypotézy byl takový, že připojení vozidla do nadřazeného dopravního proudu může být za určitých podmínek velmi nebezpečný a snadno by mohlo dojít k narušení bezpečnosti silničního provozu.

## Seznam použité literatury

- [1] Nohavec, J.: *Prevence bezpečnosti na železničních přejezdech*. Doprava 5/2008
- [2] PORADA, Viktor. *Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi*. Praha: Linde, 2000, 378 s. Vysokoškolské právnické učebnice. ISBN 80-720-1212-6.
- [3] Sbírka zákonů – Zákon č. 361/2000 Sb., Zákon o silničním provozu.
- [4] Skácal, L.: *Hlubková analýza mezinárodního srovnání dopravní nehodovosti v ČR*. Doprava 5/2007
- [5] Slabý, P., Dlouhá, E.: *Dopravní stavby a systémy 20, 30*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2002
- [6] *Srovnání vývoje dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích v ČR a v zahraničí v letech 2007 - 2008*. Zpracováno pro Ministerstvo dopravy v CDV 2009. Dostupné z WWW: <sydos.cz/cs/nehody/vyvoj-nehod2007-8.pdf>.
- [7] Šachl, J., Šachl, J., (ml.), Schmidt, D., Mičunek, T., Frydrýn, M.: *Analýza nehod v silničním provozu*, 2. doplněné vydání, Praha, 2008
- [8] Tesařík, J.: *Následky nehod v zemích OECD*. Doprava 5/2009
- [9] Votruba, Z., Kaliková, J., Kalika, M.: *Systémová analýza*, ČVUT v Praze, Praha, 2008
- [10] PAVELKA, Karel. *Laserové skenování - nová technologie sběru prostorových dat: Laser scanning - a new technology for spatial data collecting*. V Praze: České vysoké učení technické, 2006, 32 s. ISBN 80-010-3501-8.
- [11] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory, hnací charakteristika, brzdění, odpružení. řiditelnost, ovladatelnost, stabilita*. 1. vyd. Brno: VLK, 2000, 434 s. ISBN 80-238-5273-6.
- [12] ČSN 73 6101. *Projektování silnic a dálnic*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [13] ČSN 73 6102. *Projektování křižovatek na pozemních komunikacích*. Praha: Český normalizační institut, 2007.



- [14] POSPÍŠIL, Jiří. *Současné trendy skenování ve stavebnictví a v příbuzných oborech: Recent trends of scanning in civil engineering and related branches*. V Praze: České vysoké učení technické, 2007, 32 s. ISBN 978-80-01-03755-3 (BROŽ.).
- [15] BLIŠŤAN, Peter. *Úvod do počítačovej Grafiky a CAD systémov*. Košice: Fberg, 2004. ISBN 80-8073-249-3. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/12694129/19/CA-SYSTEMY-%E2%80%93-PO%C4%8CITA%C4%8COM-PODPOROVANE-SYSTEMY>
- [16] DOHNAL, Gejza. *Teorie hromadné obsluhy: Doplnkový text k přednášce pro 4. ročníky dopravní fakulty ČVUT Praha*. Praha, 1997. Přednáška. Fakulta strojní ČVUT.
- [17] HRDINA, Zdeněk. *Rádiové určování polohy: Družicový systém GPS*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999, 259 s. ISBN 80-010-1386-3.
- [18] VORÁČOVÁ, Šárka. *Teorie hromadné obsluhy: Simulační metody hromadné obsluhy*. Praha, 2011. Přednáška. Fakulta dopravní ČVUT v Praze.
- [19] STUPKA, Michal. *Silnice a dálnice: Délka rozhledu pro zastavení*. Praha, 2006. Přednáška č. 6. Fakulta dopravní ČVUT.
- [20] KVÁŠOVÁ, Alžběta. *Detekce podmínek stability vozidla*. Praha, 30. 11. 2009. Diplomová práce. Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Vedoucí práce Jiří First.
- [21] SMETANA, Marek. *Komplexní systém pro analýzu silniční nehody: Střet dvou automobilů na křižovatce*. Brno, 2009. Odborná práce. Ústav soudního inženýrství VUT v Brně. Vedoucí práce Albert Bradáč.
- [22] SCHMIDT, Drahomír. *CAD systémy, simulace: přednáška*. Fakulta dopravní ČVUT v Praze.
- [23] SCHMIDT, Drahomír. *Softwarové simulace a analýzy dopravních nehod*. Praha, 2007. Disertační práce. Fakulta dopravní ČVUT v Praze.
- [24] ČARSKÝ, Jiří. *Silnice a dálnice: přednáška*. Fakulta dopravní ČVUT v Praze.
- [25] ČARSKÝ, Jiří. *Projektování komunikací: přednáška*. Fakulta dopravní ČVUT v Praze.
- [26] KRYCHTÁLEK, Zdeněk. *Technický výklad vybraných pojmů z pravidel silničního provozu*. Brno, 2010. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Aleš Vémola.

- [27] ŠACHL (ST.), Jindřich a Jindřich ŠACHL (ML.). *Adheze pneumatik v analýze silničních nehod*. Praha: ČVUT, 2008.

### Seznam použitých internetových stránek

- [28] [www.autosap.cz](http://www.autosap.cz)
- [29] [www.cs.wikipedia.org](http://www.cs.wikipedia.org)
- [30] [www.topcon.com](http://www.topcon.com)
- [31] [www.czrso.cz](http://www.czrso.cz)
- [32] [www.ikvalita.cz](http://www.ikvalita.cz)
- [33] [www.cs.wikipedia.org](http://www.cs.wikipedia.org)
- [34] [www.ibesip.cz](http://www.ibesip.cz)
- [35] [www.cdv.cz](http://www.cdv.cz)
- [36] [www.maps.google.cz](http://www.maps.google.cz)
- [37] [http://www.esf.fme.vutbr.cz/modul/3/systemy\\_cad.pdf](http://www.esf.fme.vutbr.cz/modul/3/systemy_cad.pdf)
- [38] [http://www.kod.tul.cz/predmety/CAD/prednasky/prednaska\\_CAD\\_2\\_2011\\_nova\\_v\\_erze\\_skute%C4%8Dnost2.pdf](http://www.kod.tul.cz/predmety/CAD/prednasky/prednaska_CAD_2_2011_nova_v_erze_skute%C4%8Dnost2.pdf)
- [39] <http://fstroj.utc.sk/journal/sk/001/001.htm>
- [40] [www.policie.cz](http://www.policie.cz)



**Seznam tabulek**

Tabulka č. 1 - Dopravní nehodovost od počátku samostatné ČR.....	- 19 -
Tabulka č. 2 - Složení vozového parku v ČR.....	- 20 -
Tabulka č. 3 - Použité měřicí přístroje .....	- 64 -
Tabulka č. 4 – Statisticky vyhodnocená rychlost časových intervalů, úterý 9. 8. 2011 .	- 72 -
Tabulka č. 5 - Statisticky vyhodnocená rychlost časových intervalů, neděle 7. 8. 2011	- 74 -
Tabulka č. 6 - Statisticky vyhodnocená rychlost časových intervalů, pondělí 8. 8. 2011-	76
-	
Tabulka č. 7 - Statisticky vyhodnocená rychlost časových intervalů, středa 10. 8. 2011-	77
-	
Tabulka č. 8 – Tabulka vytýčených bodů a PBM 1. – 3. zaměření.....	- 77 -
Tabulka č. 9 – Tabulka vytýčených bodů a PBM 4. – 6. zaměření.....	- 78 -
Tabulka č. 10 - Příklad formátu vstupních funkcí pro AutoCAD .....	- 78 -
Tabulka č. 11 - Reflektující přenositelnost souborů mezi jednotlivými softwarovými prostředí.....	- 84 -
Tabulka č. 12 – Přehled délky jednotlivých úseků reakční doby a odezvy vozidla při nouzovém brzdění osobního automobilu.....	- 87 -
Tabulka č. 13 – Vstupní hodnoty pro kinematický výpočet pohybu vozidel OS1, OS2 a výpočet první fáze dopředného odvíjení pro OS2, tj. pohyb vozidla před začátkem reakční doby řidiče .....	- 90 -
Tabulka č. 14 – Vypočtené hodnoty pro náhlé brzdění OS2 a pro dopředné odvíjení OS1....	90 -
Tabulka č. 15 - Vypočtené hodnoty pro nenáhlé brzdění OS2 a pro dopředné odvíjení OS1-	91 -

**Seznam grafů**

Graf č. 1 - Nehodovost v ČR od roku 1980 - 2011 .....	- 21 -
Graf č. 2 - Počet usmrcených na pozemních komunikacích v letech 1980 - 2011.....	- 22 -
Graf č. 3 - Usmrcení na pozemních komunikacích (1980 - 2010, 1980 = 1).....	- 24 -
Graf č. 4 - Rychlost jedoucího vozidla sledovaným úsekem .....	- 66 -
Graf č. 5 - Zrychlení vozidla v ose x a v ose y, jedoucího sledovaným úsekem.....	- 67 -
Graf č. 6 - Hodnoty klopení a klonění vozidla jedoucím sledovaným úsekem.....	- 68 -

Graf č. 7 - Rozdělení rychlosti v monitorovaném profilu celého měřeného souboru ....	- 70 -
Graf č. 8 - Překročení povolené rychlosti z celého měřeného souboru.....	- 70 -
Graf č. 9 - Seřazení rychlosti dle četnosti.....	- 71 -
Graf č. 10 - Časový interval, úterý 0 - 5 hod .....	- 71 -
Graf č. 11 – Časový interval, úterý 5 - 12 hod .....	- 71 -
Graf č. 12 - Časový interval, úterý 12 - 20 hod .....	- 72 -
Graf č. 13 - Časový interval, úterý 20 - 24 hod .....	- 72 -
Graf č. 14 – Denní variace intenzity dopravy pracovního dne, úterý 9. 8. 2011.....	- 72 -
Graf č. 15 - Časový interval, neděle 5 - 12 hod.....	- 73 -
Graf č. 16 - Časový interval, neděle 0 - 5 hod.....	- 73 -
Graf č. 17 - Časový interval, neděle 20 - 24 hod.....	- 73 -
Graf č. 18 - Časový interval, neděle 12 - 20 hod.....	- 73 -
Graf č. 19 - Denní variace intenzity dopravy pracovního dne, neděle 7. 8. 2011 .....	- 73 -
Graf č. 20 - Vývoj průměrné rychlosti během jednotlivých dní.....	- 74 -
Graf č. 21 - Časový interval, pondělí 5 - 12 hod .....	- 75 -
Graf č. 22 - Časový interval, pondělí 0 - 5 hod .....	- 75 -
Graf č. 23 - Časový interval, pondělí 20 - 24 hod .....	- 75 -
Graf č. 24 - Časový interval, pondělí 12 - 20 hod .....	- 75 -
Graf č. 25 - Denní variace intenzity dopravy pracovního dne, pondělí 8. 8. 2011.....	- 75 -
Graf č. 26 - Časový interval, středa 5 - 12 hod.....	- 76 -
Graf č. 27 - Časový interval, středa 0 - 5 hod.....	- 76 -
Graf č. 28 - Denní variace intenzity dopravy pracovního dne, středa 10. 8. 2011 .....	- 76 -
Graf č. 29 - Časový interval, středa 20 - 24 hod.....	- 76 -
Graf č. 30 - Časový interval, středa 12 - 20 hod.....	- 76 -
Graf č. 31 - Grafické znázornění časové složky OS2, v závislosti na různých vstupních rychlostech pro náhlé brzdění.....	- 91 -
Graf č. 32 - Grafické znázornění časové složky OS2, v závislosti na různých vstupních rychlostech pro nenáhlé brzdění .....	- 92 -
Graf č. 33 - Grafické znázornění ujeté dráhy OS2, v závislosti na různých vstupních rychlostech pro náhlé brzdění.....	- 92 -
Graf č. 34 - Grafické znázornění ujeté dráhy OS2, v závislosti na různých vstupních rychlostech pro nenáhlé brzdění .....	- 93 -
Graf č. 35 - Přibližná vzdálenost čela OS2 a zádě OS1 .....	- 93 -
Graf č. 36 - Diagram dráha - čas pro náhlé brzdění .....	- 97 -

Graf č. 37 - Diagram dráha - rychlost pro náhlé brzdění.....	- 98 -
Graf č. 38 - Diagram dráha - čas pro nenáhlé brzdění.....	- 99 -
Graf č. 39 - Diagram dráha - rychlost pro nenáhlé brzdění.....	- 100 -

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Výpočtové hodnoty $f_v$ na mokré vozovce při hloubce dezénu pneumatiky 1,6 milimetrů [12].....	- 27 -
Obrázek 2 - Délky rozhledu pro zastavení $D_z$ podle ČSN 736101 [12].....	- 28 -
Obrázek 3 - Nejmenší výška viditelné překážky $h_2$ ve vzdálenosti $D_z$ [12].....	- 29 -
Obrázek 4 - rozhledové paprsky při zajišťování $D_z$ [12].....	- 29 -
Obrázek 5 – $D_z$ na čtyřpruhové směrově rozdělené komunikaci se svodidly [12].....	- 30 -
Obrázek 6 - Nejmenší dovolené poloměry směrových oblouků ve vztahu k uvažované rychlosti a dostřednému sklonu [12] .....	- 31 -
Obrázek 7 - Rozhledové pole pro zastavení [12] .....	- 31 -
Obrázek 8 - Zajištění rozhledu pro zastavení na dvoupruhové silnici se svodidlem [12]-	32 -
-	
Obrázek 9 - Svislé dopravní značky B21a a B21b [29] .....	- 33 -
Obrázek 10 - Připojovací pruh $L_{pp}$ na mimoúrovňových křižovatkách [13].....	- 34 -
Obrázek 11 - Odbočovací pruh $L_{po}$ na mimoúrovňových křižovatkách [13] .....	- 34 -
Obrázek 12 - Zajištění rozhledu z připojovacího pruhu [13] .....	- 35 -
Obrázek 13 - Zpětný rozhled z manévrovacího úseku připojovacího pruhu na přilehlý jízdní pruh $X_z$ v metrech [13].....	- 35 -
Obrázek 14 - Globální a lokální souřadný systém vozidla [11] .....	- 41 -
Obrázek 15 - Jednostopý rovinný dynamický model automobilu [11] .....	- 42 -
Obrázek 16 - Schéma CA systému ve strojařském podniku .....	- 47 -
Obrázek 17 - Prezentace prostorového modelu drátovým modelem.....	- 52 -
Obrázek 18 - Prezentace prostorového modelu plošným modelem .....	- 53 -
Obrázek 19 - Prezentace prostorového modelu prostorovým modelem.....	- 53 -
Obrázek 20 - Schéma zobrazení systému .....	- 55 -
Obrázek 21 - Příklad renderovaného modelu reálného úseku komunikace. Vlevo dole je zobrazen drátový model, vpravo dole je model v koncepčním zobrazení.....	- 56 -
Obrázek 22 - Postupy při tvorbě modelu.....	- 56 -

Obrázek 23 – Simulace modelu čtyřramenné průsečné křižovatky se SSZ v prostředí PTV VISSIM.....	- 59 -
Obrázek 24 - 2D zobrazení simulačního prostředí PC Crash.....	- 61 -
Obrázek 25 - 3D zobrazení simulačního prostředí PC Crash.....	- 61 -
Obrázek 26 – 2D zobrazení simulačního prostředí Virtual CRASH.....	- 62 -
Obrázek 27 – 3D zobrazení simulačního prostředí Virtual Crash.....	- 62 -
Obrázek 28 - Mimoúrovňové křížení rychlostní komunikace R46 [35] .....	- 63 -
Obrázek 29 – Grafický výstup ze softwaru Google Earth - mimoúrovňové křížení rychlostní komunikace R46 s vyznačením začátku a konce sledovaného úseku připojovacího pruhu.....	- 66 -
Obrázek 30 – Způsob dostředného klopení jízdního pásu rychlostní komunikací R46; $1,0 = 1$ metr.....	- 79 -
Obrázek 31 - Vytvořený povrch TIN v AutoCAD Civil 3D.....	- 80 -
Obrázek 32 - Zjemněný povrch TIN v AutoCAD Civil 3D .....	- 81 -
Obrázek 33 - Fotorealistická scéna MÚK Olšany .....	- 81 -
Obrázek 34 - Rozdělení četnosti a variační rozsah součinitele adheze (mokrý vozovka, výpočtová tloušťka vodního filmu 1 mm) soubor vozovek novodobých konstrukcí.....	- 88 -
Obrázek 35 - 2D pohled na provedenou simulaci v PC Crash při náhlém brzdění vozidel z počátečních rychlostí 80, 100 a 130 km/h .....	- 94 -
Obrázek 36 - 3D pohled na provedenou simulaci v PC Crash při náhlém brzdění vozidel z počátečních rychlostí 80, 100 a 130 km/h .....	- 95 -
Obrázek 37 - Průběh simulace v čase $t = 0$ sekund, kdy je zachycena počáteční poloha OS1 a OS2 .....	- 96 -

## Seznam příloh

### 1 Výkresová část

- 1.1 Prostorový model č. 1 (1xA4, M 1:1 100)
- 1.2 Prostorový model č. 2 (1xA4, M 1:1 100)
- 1.3 Prostorový model č. 3 (1xA4, M 1:1 100)
- 1.4 Prostorový model č. 4 (1xA4, M 1:1 100)
- 1.5 Prostorový model č. 5 (1xA4, M 1:1 100)
- 1.6 Prostorový model č. 6 (1xA4, M 1:1 100)
- 1.7 Spojení prostorových modelů (1xA3, M 1:1 850)
- 1.8 Nově vytvořený prostorový model (1xA3, M 1:1 850)
- 1.9 Vytvořená databáze bodů (1xA3, M 1:1 850)
- 1.10 Situační model MÚK Olšany (1xA3, M 1:1 850)
- 1.11 2D model MÚK Olšany + mapový podklad (1xA3, M -)
- 1.12 Digitální model (1xA3)
- 1.13 Simulace – rozhledové poměry v čase  $t = 0$  s (1xA3)
- 1.14 Fotorealistická scéna (1xA3)
- 1.15 Analýza nehodovosti na R46 – publikace na konferenci Jufos 2012 (6xA4)

### 2 Elektronická část

Elektronická část se nachází v přiloženém CD.