

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Ing. Ondřej Rechner

**NÁVRH METODY PRO MĚŘENÍ DEFORMACÍ VOZIDEL  
PO NEHODĚ**

**Diplomová práce**

**2017**



**K623 .....Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Ondřej Rechner**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – BD – Bezpečnost dopravních prostředků a cest**

Název tématu (česky): **Návrh metody pro měření deformací vozidel po nehodě**

Název tématu (anglicky): Method of Crashed Vehicles Measuring

### **Zásady pro vypracování**

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

- Cíl práce
- Současný stav problematiky analýzy silničních nehod
- Metody měření deformací vozidel
- Popis navrhované metody a její automatizace
- Verifikace navrhované metody
- Hodnocení deformací vozidel a jejich význam v rámci celkové analýzy nehod
- Výsledky měření vozidel po crash testu
- Porovnání metod měření a diskuse uplatnění navrhované metody v praxi




- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Burg, H., Moser, A.: Handbook of Accident Reconstruction. Createspace Independent Pub, 2014  
Rábek, V.: Vybrané postupy analýzy dopravních nehod. EDIS, Žilinská univerzita, 2009  
Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel. Nakladatelství VLK, Brno, 2003

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Brynda**  
**Ing. Petr Krásný, M. Eng.**

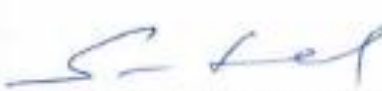
Datum zadání diplomové práce: **30. června 2014**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. května 2017**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia




  
doc. Ing. Václav Jirovský, CSc.  
vedoucí

Ústavu bezpečnostních technologií a inženýrství

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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

  
Bc. Ondřej Rechner  
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....17. února 2017

## Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval především svým vedoucím. Ing. Petru Krásnému, M. Eng. za pozvání k řešení praktického problému, za jeho odborné zkušenosti, o které se se mnou dělil a za podporu během celé spolupráce. Ing. Petru Bryndovi pak děkuji za mnoho praktických rad a konstruktivních připomínek k této práci. A v neposlední řadě bych chtěl poděkovat Ing. Jindřichu Hodačovi, Ph.D., který mi poskytl důležité konzultace a umožnil práci v laboratořích fotogrammetrie Fakulty stavební ČVUT v Praze.

## Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 30. května 2017

---

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

# NÁVRH METODY PRO MĚŘENÍ DEFORMACÍ VOZIDEL PO NEHODĚ

diplomová práce

květen 2017

Ing. Ondřej Rechner

## **ABSTRAKT**

Předmětem diplomové práce „Návrh metody pro měření deformací vozidel po nehodě“ je návrh metody hodnocení deformací vozidel po nehodě, která bude prakticky využitelná pro analýzu silničních nehod pomocí soudně znaleckých postupů. Práce popisuje současný stav problematiky analýzy silničních nehod a objasňuje princip technologií, které v návrhu využívá. Ve druhé části pak navrhuje postup metody a prezentuje její aplikaci v praxi.

## **ABSTRACT**

The subject of the diploma thesis "Method of Crashed Vehicles Measuring" is to propose an appropriate method of assessment of deformation of crashed vehicles, which will be practically usable for the analysis of road accidents by means of forensic expert procedures. This thesis describes the recent state of the problematic road accident analysis and explains the principle of the technologies used in the design. In the second part, it proposes the method itself and presents its application in practice.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Dopravní nehody, fotogrammetrie, deformace vozidel, analýza silničních nehod

## **KEY WORDS**

Traffic accidents, photogrammetry, deformation of the vehicles, analysis of road accidents

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Současný stav problematiky analýzy silničních nehod .....</b>	<b>8</b>
3.1	Historický vývoj kritérií bezpečnosti vozidel.....	8
3.2	Statistika nehodovosti v České republice.....	10
3.3	Oblasti zaměření výzkumu.....	16
3.3.1	Technika.....	16
3.3.2	Medicína.....	16
3.3.3	Psychologie .....	17
3.4	Cíle rekonstrukce dopravních nehod .....	17
3.5	Úrovně realizace analýzy dopravních nehod.....	18
3.6	Software pro počítačové simulace dopravních nehod .....	18
3.6.1	PC Crash.....	19
3.6.2	Virtual Crash.....	20
3.7	Znalecký posudek.....	21
3.7.1	Části znaleckého posudku .....	21
<b>4</b>	<b>Metody měření deformací vozidel.....</b>	<b>31</b>
4.1	Konvenční metody měření vozidel po nehodě .....	31
4.1.1	Fotografie s přiloženým metrem.....	31
4.1.2	Optické skenování .....	32
4.1.3	Laserové skenování.....	33
4.2	Nekonvenční metody měření vozidel po nehodě .....	33
4.3	Metoda s využitím laserového měřiče vzdálenosti .....	34
<b>5</b>	<b>Hodnocení deformací vozidel a jejich význam v rámci celkové analýzy nehod .....</b>	<b>38</b>
5.1	Funkce karoserie .....	38
5.2	Materiály karoserie .....	38
5.3	Deformace karoserie .....	39
5.4	Požadavky na konstrukci při čelních kolizích .....	40
5.5	Význam deformací vozidel po nehodě pro analýzu nehod .....	42
5.5.1	Příklad významu deformací vozidel v dnešní době .....	42
<b>6</b>	<b>Popis navrhované metody a její automatizace .....</b>	<b>46</b>
6.1	Teorie fotogrammetrie .....	46
6.1.1	Pojem fotogrammetrie .....	46
6.1.2	Využití fotogrammetrie.....	46
6.1.3	Metody fotogrammetrie.....	47
6.1.4	Příklad využití fotogrammetrie pro měření deformací vozidla.....	49

6.1.5	Porovnání souvisejících metod .....	49
6.1.6	Použité počítačové programy .....	50
6.2	Princip navrhované metody .....	50
6.2.1	Vytvoření fotografických snímků .....	51
6.2.2	Zpracování snímků pomocí fotogrammetrického programu .....	51
6.2.3	Měření pomocí vygenerovaných 3D bodů.....	51
6.3	Automatizace metody .....	52
<b>7</b>	<b>Verifikace navrhované metody .....</b>	<b>53</b>
7.1	Spojovací body .....	53
7.2	Parametry fotoaparátu .....	55
7.3	Zásady pro pořizování fotografií.....	55
7.4	Postup zpracování v programu Agisoft PhotoScan .....	59
7.4.1	Import snímků.....	59
7.4.2	Určení prvků vnitřní a vnější orientace.....	59
7.4.3	Označení spojovacích bodů na snímcích.....	60
7.4.4	Svazkové vyrovnání.....	61
7.4.5	Vytvoření hustého mračna bodů .....	62
7.4.6	Vytvoření polygonové sítě.....	62
7.4.7	Export bodů .....	63
<b>8</b>	<b>Výsledky měření vozidel po crash testu .....</b>	<b>64</b>
8.1	Prostorový model.....	64
8.2	Měření modelu.....	66
8.3	Export modelu .....	66
<b>9</b>	<b>Porovnání metod měření a diskuse uplatnění navrhované metody v praxi.....</b>	<b>67</b>
9.1	Vlastnosti navržené metody.....	67
9.2	Porovnání navržené metody s ostatními .....	71
9.3	Uplatnění navrhované metody v praxi.....	72
<b>10</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>73</b>
<b>11</b>	<b>Požité zdroje .....</b>	<b>74</b>
11.1	Literatura .....	74
11.2	Internetové zdroje.....	75
<b>12</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>76</b>
<b>13</b>	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>78</b>

# 1 Úvod

Silniční doprava je každodenní součástí života většiny z nás. Bohužel k ní každý den patří i mnoho nehod. Pojem *nehoda* v sobě nese informaci o náhodnosti děje a negativních následcích. Dopravní nehody, ke kterým na silnicích dochází, s sebou přináší nejen hmotné škody, ale i následky na zdraví nebo na životě. Vyhnout se účasti v silničním provozu, abychom odstranili toto riziko, není často reálné. Proto má smysl zabývat se bezpečností silničního provozu, abychom toto riziko alespoň snížili.

Vznik této práce byl podmíněn níže specifikovaným požadavkem ze strany Ing. Petra Krásného z týmu Výzkumu dopravní bezpečnosti Škoda-Auto. Tento tým pracuje v rámci vývoje zmíněné automobilky a má za úkol analyzovat a zpracovávat reálné nehody vozidel tohoto výrobce tak, aby jejich poznatky přispěly k bezpečnější konstrukci vozidel. Jedním z kroků analýzy silničních nehod je ohledání vozidla, ke kterému patří i hodnocení (měření) deformací. Záměrem je tento krok zpřesnit. Požadavkem ze strany Výzkumu dopravní bezpečnosti je zdokonalení metody, která je běžně používána pro určení míry deformací vozidel po nehodě. Běžná metoda podle odborníků ze Škoda-Auto nevyužívá možnosti současného technického poznání. Na druhé straně je ale reálné ohledání vozidla velice specifickou činností a mnohé z moderních technologií s sebou přináší v praxi obtížně splnitelné podmínky. Z tohoto důvodu se už desítky let používá stejná metoda.

Zásadním požadavkem výrobce automobilů je tedy praktické využití metody v běžných podmínkách. Tyto podmínky jsou specifikovány především následujícími body:

- omezená doba ohledávání vozidla (maximálně 1 hodina)
- nekryté odtahové parkoviště, které často znamená i další vozidla v okolí
- nemožnost demontáže částí vozidla a jiné manipulace s vozidlem

Tato práce by měla pomoci najít možnost, jak zachovat stávající podmínky a přitom hodnocení deformací u vozidel po nehodě zpřesnit. Lze tedy říci, že ambicí této práce je přispět k procesům, které pomáhají vytvářet vozidla bezpečnější. Za tímto účelem obsahuje práce pohled na současný stav problematiky analýzy silničních nehod, na vývoj bezpečnosti i na statistiky dopravní nehodovosti v České republice a na základě poznání fotogrammetrických procesů s využitím moderních technologií navrhuje a uvádí do praxe postup, který by měl deklarovaným ambicím dostát.



## 2 Cíl práce

Cílem této práce je navrhnout metodu, která bude vhodná pro měření deformací vozidel po nehodě, zachová stávající podmínky při ohledání vozidel soudně znaleckými postupy, ale zároveň zlepšit výsledky, kterých je při ohledání havarovaných vozidel dosahováno. Jinými slovy má tato práce za cíl zpřesnit jeden z kroků analýzy silničních nehod tak, aby bylo v rámci celé analýzy dosahováno přesnějších výsledků. Součástí návrhu je i aplikace metody v reálné praxi a její porovnání s ostatními metodami.

Dosažení tohoto cíle je podmíněno několika dílčími kroky. Mezi ty hlavní patří zmapování současného stavu problematiky analýzy silničních nehod, popsání dostupných metod pro měření vozidel po nehodě a objasnění principu technologií, které jsou pro navrhovanou metodu nosné.

Vzhledem k tomu, že tato práce je vytvářena ve spolupráci s odborníky z týmu Výzkumu dopravní bezpečnosti Škoda-Auto, kteří v rámci své činnosti provádí analýzu a rekonstrukci dopravních nehod osobních vozidel, je pod deklarovaným cílem skryt přínos přímo v rámci jejich náplně práce. Přínosem této práce by tedy v důsledku navrhované metody mělo být zpřesnění informací, které jsou díky analýze skutečných nehod předávány přímo do oddělení *Technického vývoje* automobilky Škoda-Auto.

## 3 Současný stav problematiky analýzy silničních nehod

### 3.1 Historický vývoj kritérií bezpečnosti vozidel

Požadavky na bezpečnost vozidel se během minulého století vyvíjely v různých částech světa různým způsobem. Důvodem byly především odlišné standardy konstrukce vozidel, které byly ještě více než dnes místně podmíněny. V USA se až do padesátých let dvacátého století bezpečnost prakticky neřešila, což mělo za následek produkci velmi nebezpečných vozidel z hlediska pasivní bezpečnosti. Se zvyšujícím se počtem vozidel se zvyšoval i počet vážných nehod s tragickými následky. První krok znamenal legislativní opatření, avšak až mnohem později došlo k běžnému využívání bezpečnostních prvků, které byly už tehdy známé. Především se jednalo o bezpečnostní pásy a opěrky hlavy. Každopádně ale došlo k rozvoji, který se šířil do celého světa.

Došlo tehdy na základě testů k formulaci základních pravidel pro konstrukci vozidel. Jak uvádí autor ve své práci *Metodika hodnocení bočního nárazu vozidla* [1], jednalo se o tyto body:

- dostatečný prostor pro přežití posádky (i při převrácení vozidla)
- neproniknutí části vozidla do tohoto prostoru (především hřídle řízení)
- žádné části v tomto prostoru, které by mohly přispět ke zranění posádky
- vnitřní část prostoru osazena materiály tlumícími náraz
- prostor pro posádku co nejtuzší, aby při havárii docházelo k co nejmenším deformacím
- sedačky upevněny pevně, aby v případě nárazu zůstaly na svém místě
- posádka fixována na sedadlech speciálním zařízením, které zachytí energii nárazu
- dveře vozidla se nesmí při nárazu samovolně otevřít, posádka nesmí z auta vypadnout
- přední a zadní část vozidla musí pohltit energii nárazu
- okna ve vozidlech takové konstrukce, aby při rozbití nezpůsobily řezné poranění
- při havárii nesmí dojít k požáru vozidla a úniku paliva z nádrže
- materiály používané v interiéru vozidla nehořlavé, nebo alespoň s omezenou hořlavostí

V Evropě pak lze stručně označit jednotlivé milníky, které definovaly vývoj požadavků na bezpečnost vozidel následujícím způsobem.

- 1958 **Ženevská dohoda** – důraz především na osvětlení vozidel
- 1961 **Československo** přistupuje k této dohodě
- 1970 **směrnice EHS** (Evropského hospodářského společenství) a **ES** (Evropského společenství) týkající se požadavků na konstrukci vozidel – důraz na prvky pasivní bezpečnosti, jako jsou zámky a závěsy dveří, odolnost při nárazu na pevnou překážku, místa pro kotvení bezpečnostních pásů, pevnost sedadel, opěrky hlavy, odolnost při zadních a bočních nárazech, zařízení proti podjetí apod.
- 1997 **Založení spotřebitelské organizace EuroNCAP** – testování založeno na metodikách zkoušek EEVC (Evropského výboru pro zlepšení bezpečnosti vozidel), výrazné přispění k povědomí veřejnosti i pasivní bezpečnosti vozidel

Z hlediska pouze čelního nárazu je možné zmínit následující etapy, především jednotlivé předpisy EHK.

- 1969 EHK 12 **Ochrana řidiče proti mechanismu řízení v případě nárazu** – sloupek řízení cíleně deformovatelný, pravděpodobnost smrti řidiče o cca 12 % nižší
- 1970 EHK 14, 17 **Bezpečnostní pásy a jejich kotevní místa** – bezpečnostní pásy kotveny k odzkoušeným úchytům, pravděpodobnost smrti řidiče, je-li připoután, o cca 42 % nižší
- 1975 EHK 33 **Chování nosné konstrukce vozidla při čelním nárazu** – zesílená konstrukce karoserie
- 1995 EHK 94 **Ochrana cestujících při čelním nárazu** – vyšší zesílení konstrukce karoserie, pásy vybavené předpínači a omezovači síly, čelní airbagy, pravděpodobnost smrti řidiče o cca 25 % nižší
- 1998 EHK 94 **Ochrana cestujících při čelním nárazu** – přiblížení zkušební metodiky EuroNCAP

### 3.2 Statistika nehodovosti v České republice

Na počty nehod, které jsou již několik desítek let zaznamenávány spolu s několika dalšími hodnotami Policií ČR lze nahlížet z různých úhlů pohledu. Pro význam této práce nejsou podstatná politická kritéria, jako například Národní strategie bezpečnosti a její srovnání s realitou. Jsou zde naopak uvedeny dva úhly pohledů na statistiku nehodovosti, které nejsou příliš konvenční. Tím prvním je zpracování absolutních čísel počtu nehod a usmrcených osob na českých silnicích v závislosti na počtu registrovaných vozidel. Tím druhým pak pohled na ekonomické dopady dopravních nehod pro společnost.

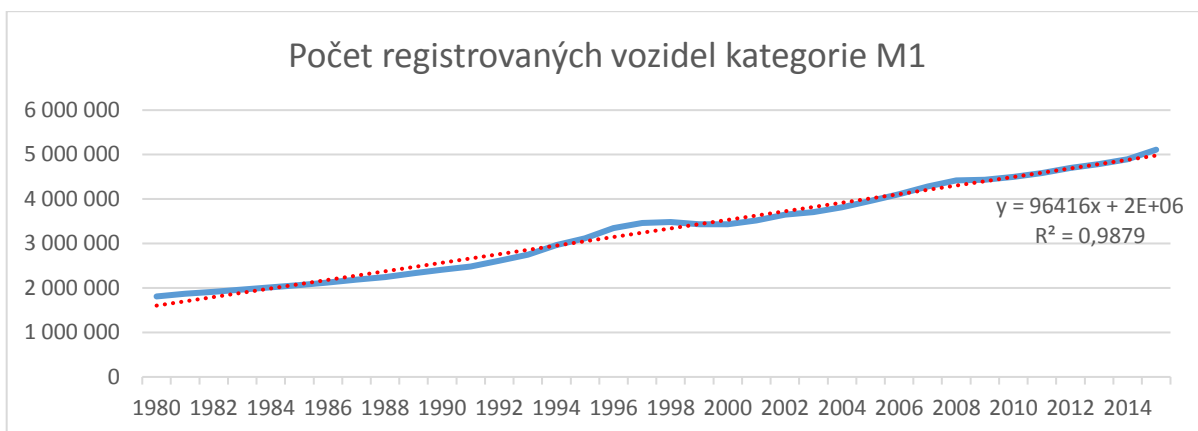
Hledisko vztahu počtu dopravních nehod a usmrcených osob v závislosti na počtu registrovaných vozidel má za cíl ilustrovat vztah mezi hustotou provozu a nehodovostí, resp. počtem úmrtí. Komplexní údaje o hustotě provozu není možné použít, aniž by to bylo zavádějící z pohledu různých typů a tříd silnic, případně různých územních celků. Jako nejrelevantnější ukazatel byl tedy vzat počet registrovaných vozidel kategorie M1 v České republice. Sledované období sahá od roku 1980 do roku 2015. V *Tabulce 1* jsou pro toto období uvedeny počty registrovaných vozidel kategorie M1 v České republice, počty dopravních nehod šetřených Policií ČR, počty usmrcených osob při dopravních nehodách a dále počty nehod vztažené na 1 000 registrovaných vozidel kategorie M1, počty usmrcených osob vztažené na 100 000 registrovaných vozidel kategorie M1 a počty usmrcených osob vztažené na 1 000 nehod šetřených Policií ČR.

Je třeba ovšem ještě zmínit, že do statistik nehodovosti se již několikrát promítla změna hranice škody, nad kterou mají účastníci dopravní nehody povinnost přivolat Policii ČR. K této změně došlo poprvé k 1. červenci 2006, kdy byla zmíněná hranice škody zvýšena z 20 000,- Kč na 50 000,- Kč. Druhá změna proběhla k roku 2009, kdy byla zmíněná hranice posunuta na 100 000,- Kč. Z dlouhodobějšího hlediska mají tyto změny téměř zanedbatelný význam, protože se zároveň zvyšuje hodnota provozovaných vozidel, na druhé straně v krátkodobém horizontu se do statistiky promítly zřetelně.

Tabulka 1 Statistika nehodovosti v České republice mezi lety 1980 a 2015 [15, 24]

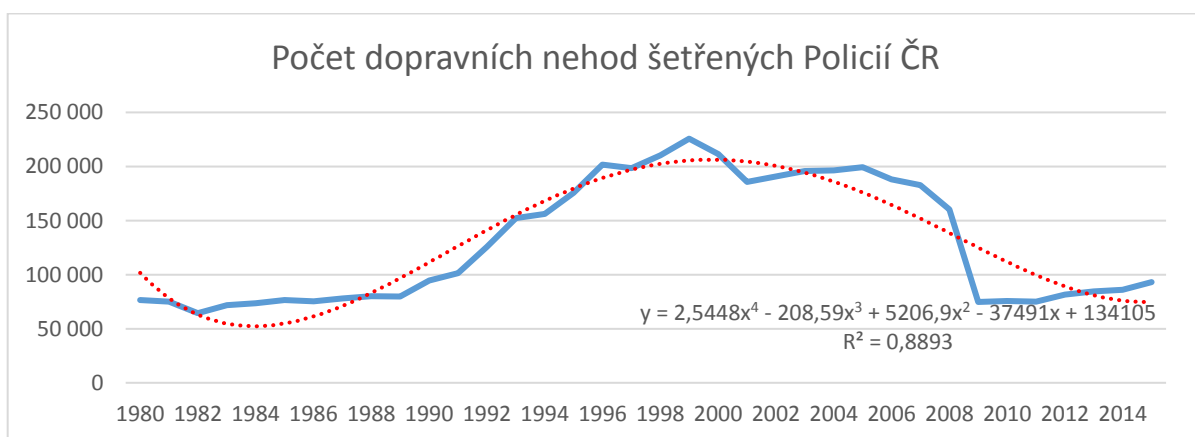
Rok	Počet registrovaných vozidel kategorie M1	Počet dopravních nehod šetřených Policií ČR	Počet usmrcených osob	Počet nehod na 1.000 vozidel	Počet usmrcených na 100.000 vozidel	Počet usmrcených na 1.000 nehod
1980	1 810 223	76 530	1 261	42	70	16
1981	1 872 694	75 020	1 199	40	64	16
1982	1 916 610	64 358	1 058	34	55	16
1983	1 962 000	71 799	1 050	37	54	15
1984	2 012 026	73 509	928	37	46	13
1985	2 066 375	76 583	987	37	48	13
1986	2 125 200	75 307	896	35	42	12
1987	2 184 700	77 975	915	36	42	12
1988	2 248 200	79 961	956	36	43	12
1989	2 330 755	79 717	1 078	34	46	14
1990	2 411 297	94 664	1 291	39	54	14
1991	2 483 222	101 387	1 331	41	54	13
1992	2 610 297	125 599	1 532	48	59	12
1993	2 746 995	152 157	1 524	55	55	10
1994	2 967 253	156 242	1 637	53	55	10
1995	3 113 476	175 520	1 588	56	51	9
1996	3 349 008	201 697	1 568	60	47	8
1997	3 465 077	198 431	1 597	57	46	8
1998	3 484 001	210 138	1 360	60	39	6
1999	3 431 481	225 690	1 455	66	42	6
2000	3 431 573	211 516	1 486	62	43	7
2001	3 523 277	185 666	1 334	53	38	7
2002	3 648 905	190 718	1 431	52	39	8
2003	3 706 012	195 851	1 447	53	39	7
2004	3 815 547	196 484	1 382	51	36	7
2005	3 958 708	199 262	1 286	50	32	6
2006	4 108 610	187 965	1 063	46	26	6
2007	4 280 081	182 736	1 222	43	29	7
2008	4 423 370	160 376	1 076	36	24	7
2009	4 435 052	74 815	901	17	20	12
2010	4 496 232	75 522	802	17	18	11
2011	4 582 903	75 137	707	16	15	9
2012	4 698 800	81 404	681	17	14	8
2013	4 787 849	84 398	583	18	12	7
2014	4 893 562	85 859	629	18	13	7
2015	5 110 452	93 067	660	18	13	7

Cílem je poukázat na vývoj nehodovosti na českých silnicích za uplynulých několik desítek let při současném uvážení faktu, že hustota provozu na našich silnicích za sledované období téměř lineárně roste, jak ukazuje *Obrázek 1*.



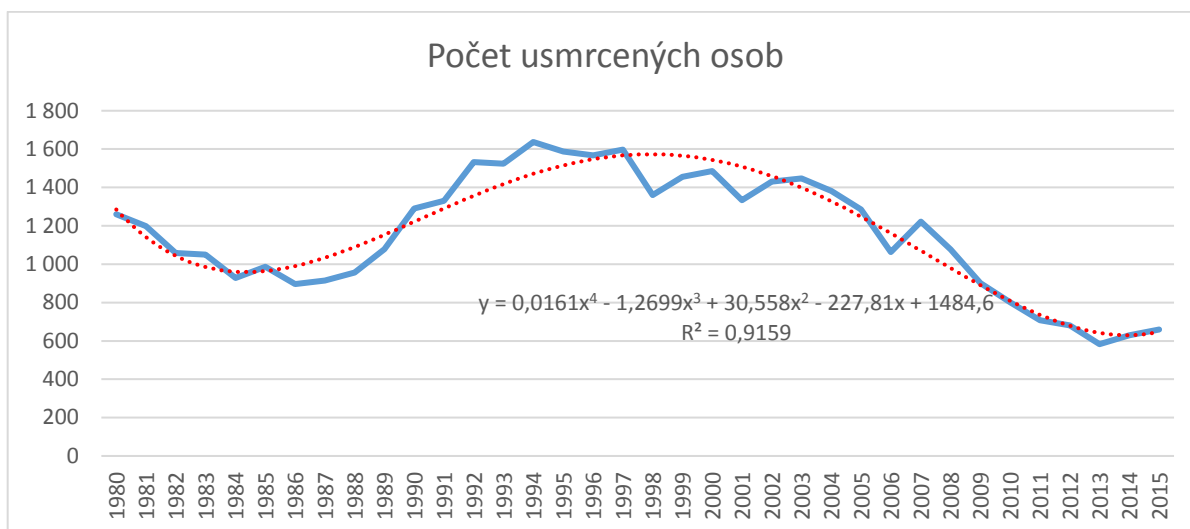
*Obrázek 1* Vývoj počtu registrovaných vozidel kategorie M1 v České republice mezi lety 1980 a 2015 [15, 24]

Záměrem je přispět do diskuse názorem, že nehodovost dlouhodobě klesá, včetně nejzávažnějších následků, tedy usmrcených osob. Jakou zásluhu na tom mají analýzy dopravních nehod, identifikace nejčastějších příčin nebo zlepšující se prvky pasivní bezpečnosti ve vozidlech, je otázka. Nicméně může být poukázáno na trendy vývoje v grafech, které více či méně kopírují vývoj bezpečnosti vozidel, ke kterému analýza dopravních nehod přispívá nemalým způsobem. V grafech jsou modře znázorněny hodnoty veličin, červeně je pak znázorněna spojnice trendu (většinou polynomická 4. řádu), ke které je v každém grafu připojena její rovnice a koeficient determinace. Absolutní počty nehod v České republice, které šetřila Policie ČR, ukazuje *Obrázek 2*.



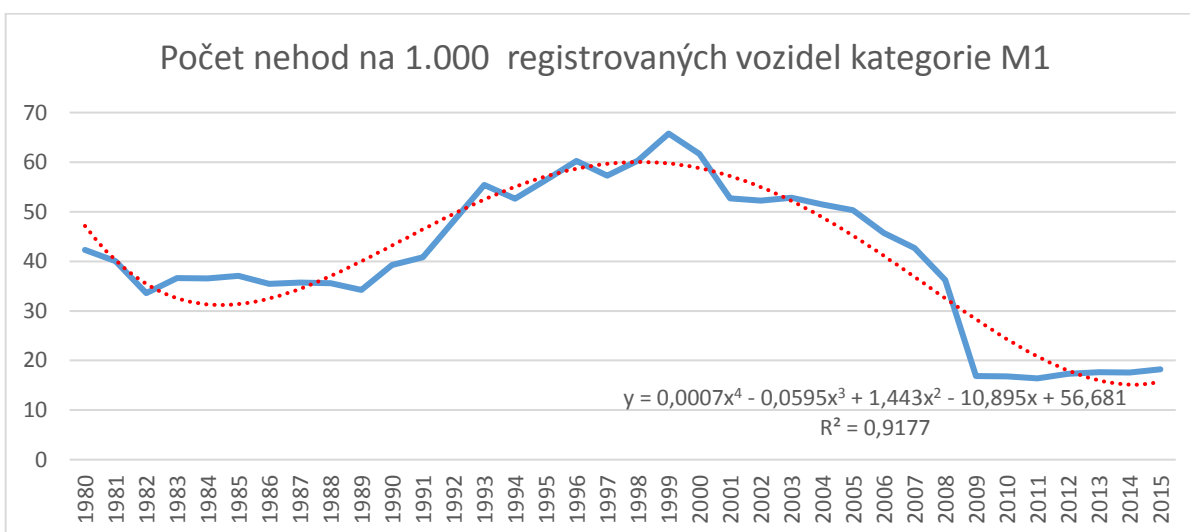
*Obrázek 2* Vývoj počtu dopravních nehod šetřených Policií ČR mezi lety 1980 a 2015 [15, 24]

Na tomto grafu se výrazným způsobem v krátkodobém trendu promítá zmíněná změna hodnoty hmotné škody, při které je nutné přivolat k nehodě Policii ČR. K prvnímu zvýšení hodnoty došlo v polovině roku 2006, ke druhému zvýšení začátkem roku 2009. Obrázek 3 ukazuje opět v absolutních číslech počty usmrcených osob při dopravních nehodách.



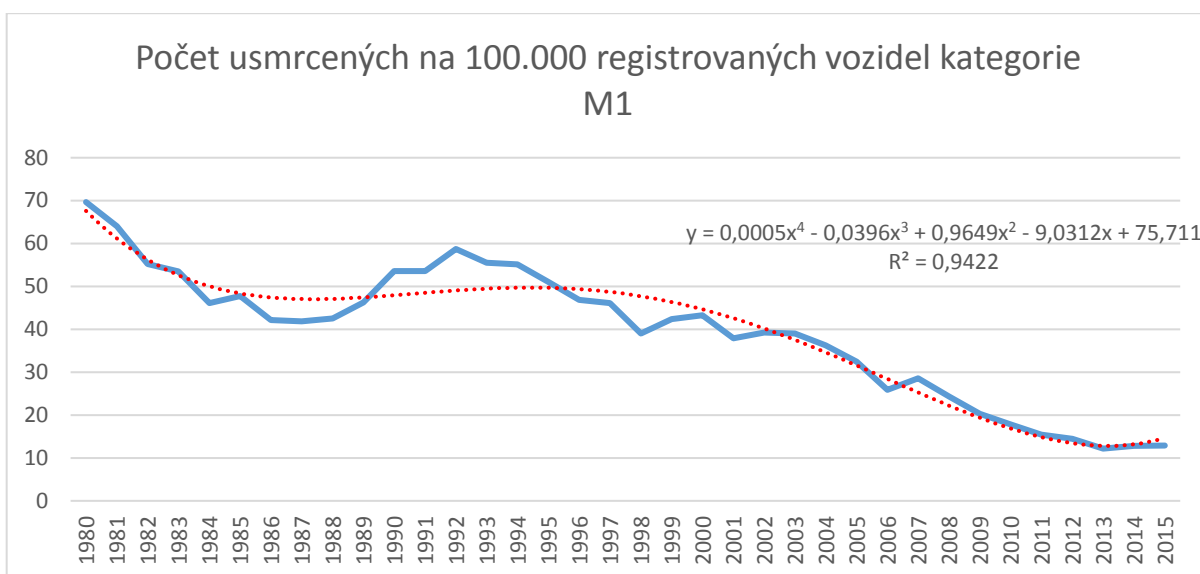
Obrázek 3 Vývoj počtu usmrcených osob při dopravních nehodách v České republice mezi lety 1980 a 2015 [15, 24]

Obrázek 4 pak ukazuje relativní počty nehod v závislosti na počtu registrovaných vozidel v jednotlivých letech. Tento graf zohledňuje zvyšující se hustotu provozu vyjádřenou počtem registrovaných vozidel kategorie M1. Také se v něm ovšem projevuje změna hranice hmotné škody způsobené dopravní nehodou, při které vznikne povinnost přivolat Policii ČR. Především pokles počtu nehod k roku 2009 to výrazně ovlivnilo.



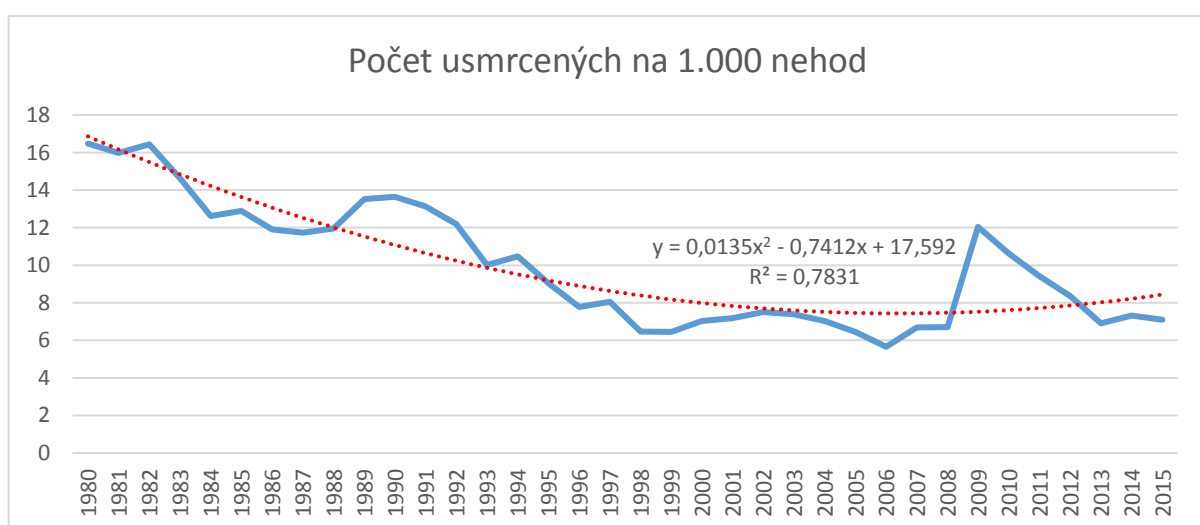
Obrázek 4 Vývoj počtu nehod připadajících na 1.000 registrovaných vozidel kategorie M1 v České republice mezi lety 1980 a 2015 [15, 24]

Obrázek 5 ukazuje smrtelné následky nehod opět zohledňující zvyšující se hustotu silničního provozu. Trend tohoto grafu názorně ukazuje, jak dlouhodobě úmrtnost na českých silnicích klesá.



Obrázek 5 Vývoj počtu usmrcených osob připadajících na 100.000 registrovaných vozidel kategorie M1 v České republice mezi lety 1980 a 2015 [15, 24]

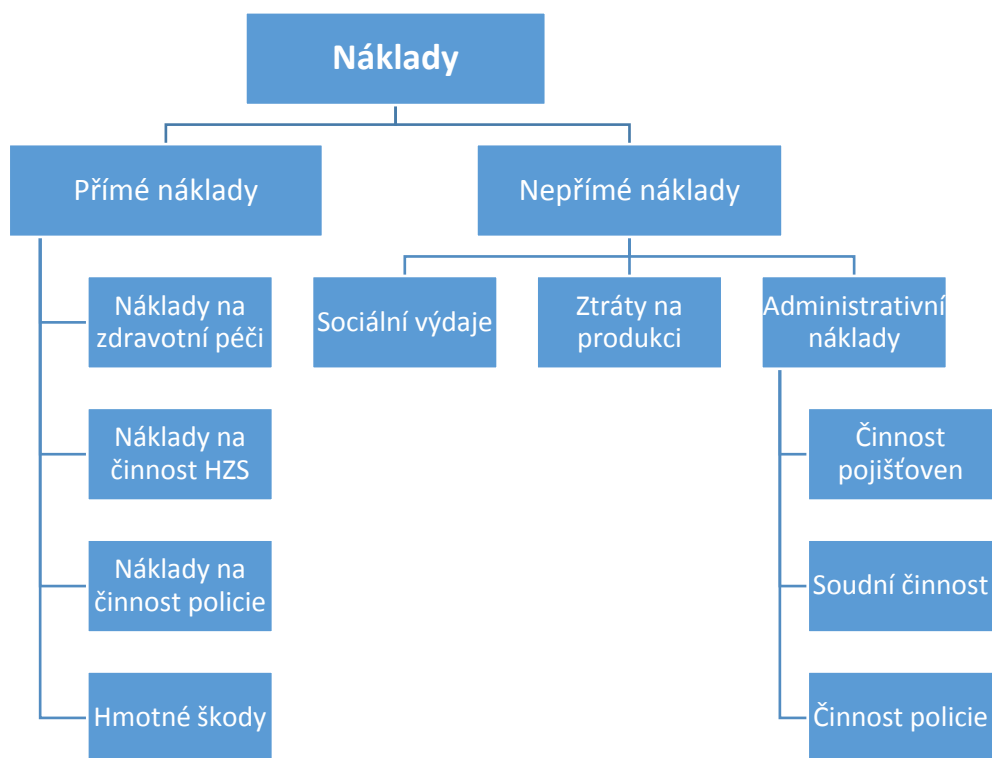
Poslední z grafů, Obrázek 6, pak má ilustrovat zvyšující se bezpečnost vozidel. Zatímco v roce 1980 připadalo na 1.000 nehod 16 usmrcených osob, v roce 2015 už to byla méně než polovina. Tento graf ovšem ukazuje více, než předcházející, zhoršující se trend v posledních letech. Nejmenšího relativního počtu mrtvých vůči počtu nehod totiž bylo dosaženo v roce 2006 a od té doby tento ukazatel dle trendu roste.



Obrázek 6 Vývoj počtu usmrcených osob připadajících na 1.000 nehod šetřených Policií ČR v České republice mezi lety 1980 a 2015 [15, 24]



Druhý pohled, zmíněný v úvodu této kapitoly, se zaměřuje na ekonomické dopady dopravních nehod. Dle metodiky výpočtu ztrát<sup>1</sup> jsou identifikovány a kvantifikovány přímé a nepřímé náklady, které vznikly v důsledku dopravních nehod, jak ilustruje *Obrázek 7*.



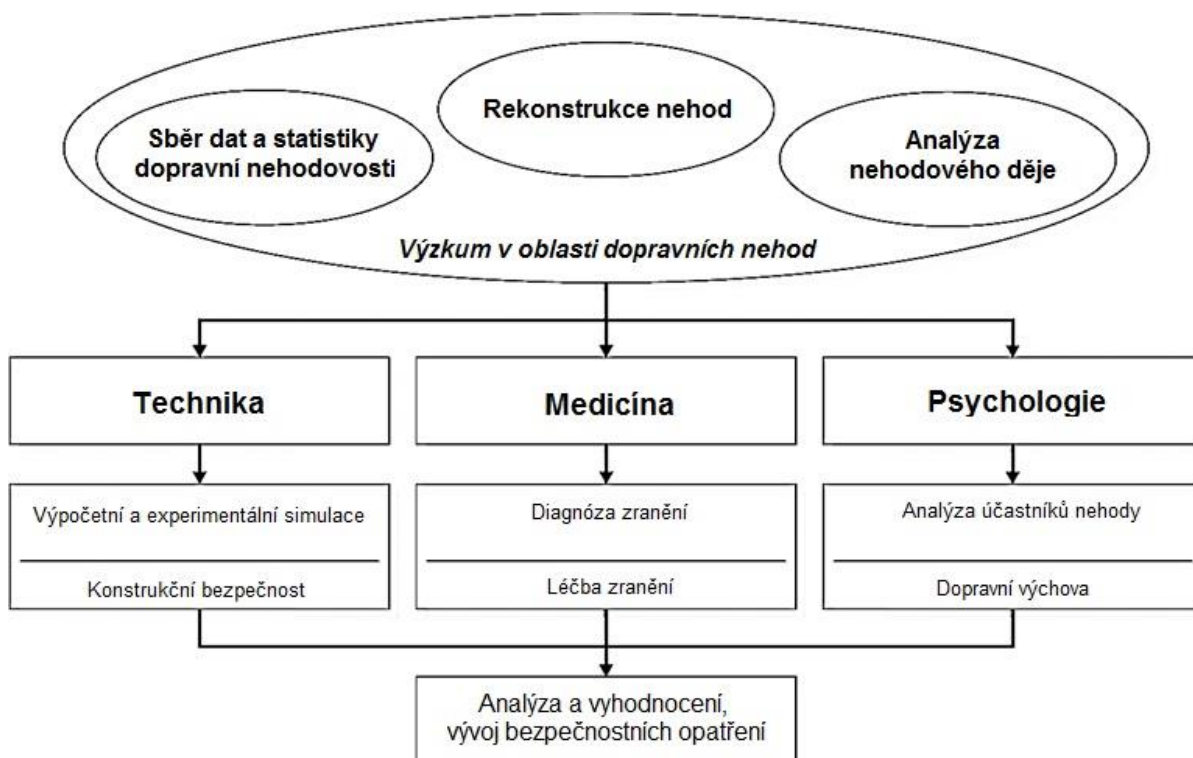
*Obrázek 7 Ekonomické dopady dopravních nehod [7]*

Cena úmrtí při nehodě byla v roce 2010 ohodnocena zhruba 16 000 000,- Kč, v roce 2013 už to bylo necelých 20 000 000,- Kč a dále tato cena stoupá. Většina z této částky spadá do nepřímých nákladů. Nehoda bez zranění byla ohodnocena cca 500 000,- Kč. Z této perspektivy není možné označit investované prostředky do bezpečnosti na silnicích jako zbytečné. Ať už se jedná o výchovu řidičů, úpravu pozemní komunikace nebo vývoj bezpečnostních systémů vozidel, s každou nehodou, která nevznikne, ušetří naše společnost minimálně 500 000,- Kč. I proto má smysl zabývat se analýzou dopravních nehod, co nejlépe mechanismu jejich vzniku i příčinám porozumět a investovat do této oblasti peníze. Toto hledisko pak přispívá k opodstatnění cíle této práce, totiž, že má smysl investovat do zpřesnění analýzy dopravních nehod.

<sup>1</sup> DAŇKOVÁ, A. KOMÁREK, Z. *Metodika výpočtu ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích*. Brno: Centrum dopravního výzkumu v. v. i., 2010.

### 3.3 Oblasti zaměření výzkumu

Výzkum v oblasti silničních nehod se dělí na tři hlavní části. Přehled nehod a jejich statistiky, rekonstrukce nehod a vlastní analýza nehodového děje. Předmětem výzkumu jsou zjištění příčin, které vedou ke vzniku nehod. Z těchto závěrů se pak čerpá pro implementaci poznatků v technice, medicíně a psychologii s cílem zvýšení bezpečnosti v silničním provozu, jak znázorňuje *Obrázek 8*.



*Obrázek 8 Oblasti zaměření výzkumu v oblasti dopravních nehod [8]*

#### 3.3.1 Technika

V technice se výzkumu v oblasti silničních nehod využívá za pomoci simulací a experimentů s dobrovolníky nebo figurínami, přičemž jde o matematický popis modelů chování jednotlivých zúčastněných silničního provozu. Matematické modely vedou k získání charakteristických proměnných, které popisují chování lidí, vozidel a prostředí při nehodě. Tyto proměnné jsou ekvivalentem k poranění, vzniklým škodám na vozidle a vlivu nehody na okolní prostředí. Díky těmto poznatkům jsou pak formulována jednotlivá zlepšení pro bezpečnost konstrukcí vozidel.

#### 3.3.2 Medicína

V oblasti medicíny jsou využívány nálezy a diagnózy z lékařských a patologických zpráv, především pak jde o typy zranění, jejich závažnost a hodnocení za účelem znalosti příčin a okolností úrazu. Toto zkoumání následně vede k patřičné léčbě zranění jakožto následků nehod.

### 3.3.3 Psychologie

Psychologická oblast výzkumu silničních nehod se snaží ukázat na příčiny, které k nehodě vedly. Využívá při tom analýzu výpovědí účastníků dopravní nehody a svědků. Pohled následně upírá do třech směrů. A to na řidiče, vozidlo a okolní prostředí. Bezpečnostní opatření se pak upírají především k výchovnému aspektu dopravního vzdělávání.

Dopravní nehody jsou jedním z hlavních původců nepřírozených příčin úmrtí. Když se informace o těchto nehodách shromažďují a vyhodnocují, poskytuje to vědcům příležitost pochopit mechanismy zranění a provádět prevenci úrazů a redukci zranění. Na rozdíl od simulace v laboratoři nebo v počítači, kde jsou všechny proměnné měřené, vypočítané nebo konstantní, v případě dopravní nehody se jednak neměří a jednak velmi rychle mění. Problém ve výzkumu oblasti silničních nehod spočívá v nedostatku relevantních informací o nehodovém ději, podmiňujících pochopení mechanismů, které při vzniku dopravní nehody způsobují její následky.

## 3.4 Cíle rekonstrukce dopravních nehod

Rekonstrukce nehody má za cíl po uplynutí nehody objasnit běh nehodového děje a určit příčiny nehody a poškození. Je možné vyhodnocovat jednotlivé fáze nehody v jejich prostorové a časové alokaci. Pro cílové směry pohledu silniční bezpečnosti (lidi, vozidla, okolí) jsou z hlediska zmíněných disciplín, kterými jsou technické vědy, medicína a psychologie, definovány jednotlivé fáze nehody – vznik nehody (PreCrash), kolize (InCrash) a důsledky (post-crash)<sup>2</sup>. Bez ohledu na konkrétní otázky, musí být nejprve zodpovězeny kinematické podmínky:

1. Čas (např. reakční doba)
2. Rychlost (např. rychlost před střetem)
3. Místní podmínky (např. směr přiblížení)

---

<sup>2</sup> KRAMER, F. *Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen: Biomechanik - Simulation - Sicherheit im Entwicklungsprozess*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2008. ISBN 978-3-8348-9042-9.

Dále pak, nejčastěji pomocí diagramu dráha-čas, mohou být zjišťovány odpovědi na otázky, které se týkají například:

- velikosti rychlosti vozidla před nehodou
- možností odvrácení nehody (z pohledu prostorového nebo časového)
- možností zabránění zraněním nebo poškozením
- možného snížení důsledků nehody
- pozic jednotlivých pasažérů (určení, kdo vozidlo řídil)

### 3.5 Úrovně realizace analýzy dopravních nehod

V dnešní době jsou uváděny tři stupně, ve kterých je možné realizovat analýzu dopravních nehod. [13]

První stupeň je charakterizován popisným způsobem s využitím minimálního množství výpočtů. Je založen na osobě znalce a využívá především jeho odborných zkušeností a úsudku. Díky tomu existuje v tomto stupni značné riziko chyby výstupů, protože nedochází k jejich ověřování pomocí výpočtů. Díky tomu, jaké jsou dnes technické možnosti, jsou takovéto posudky v současnosti nepřijatelné.

Druhý stupeň již využívá vědní obory matematiky, geometrie, fyziky, mechaniky a chemie, aby stanovil spolehlivější popis pohybu zkoumaných těles. K popisu dochází pomocí zjednodušeného matematického modelu. Využívá již zpětný výpočet, grafické metody a závěry experimentálních měření. Výskyt chyb je zde znatelně omezen, i když se stále vlivem použitých grafických metod a experimentálních výsledků vyskytují. Tato úroveň znaleckého posudku je již dostatečná z hlediska současného stavu poznání.

Třetí stupeň je pak podmíněn výpočetní technikou a zvláště rozvojem počítačových programů (software) pro analýzu dopravních nehod. Tyto programy jsou nástrojem pro znalce, s jejichž pomocí může vytvářet a vypočítávat plošné i prostorové modely. Dnešní programy obsahují různé knihovny, ve kterých jsou uvedeny potřebné technické údaje o vozidlech. Díky specifickým matematickým postupům pak tyto programy umožňují určovat rázy těles i přesné pohyby vozidel před, během i po střetu. Tyto postupy minimalizují chybu ve výstupech znaleckých posudků.

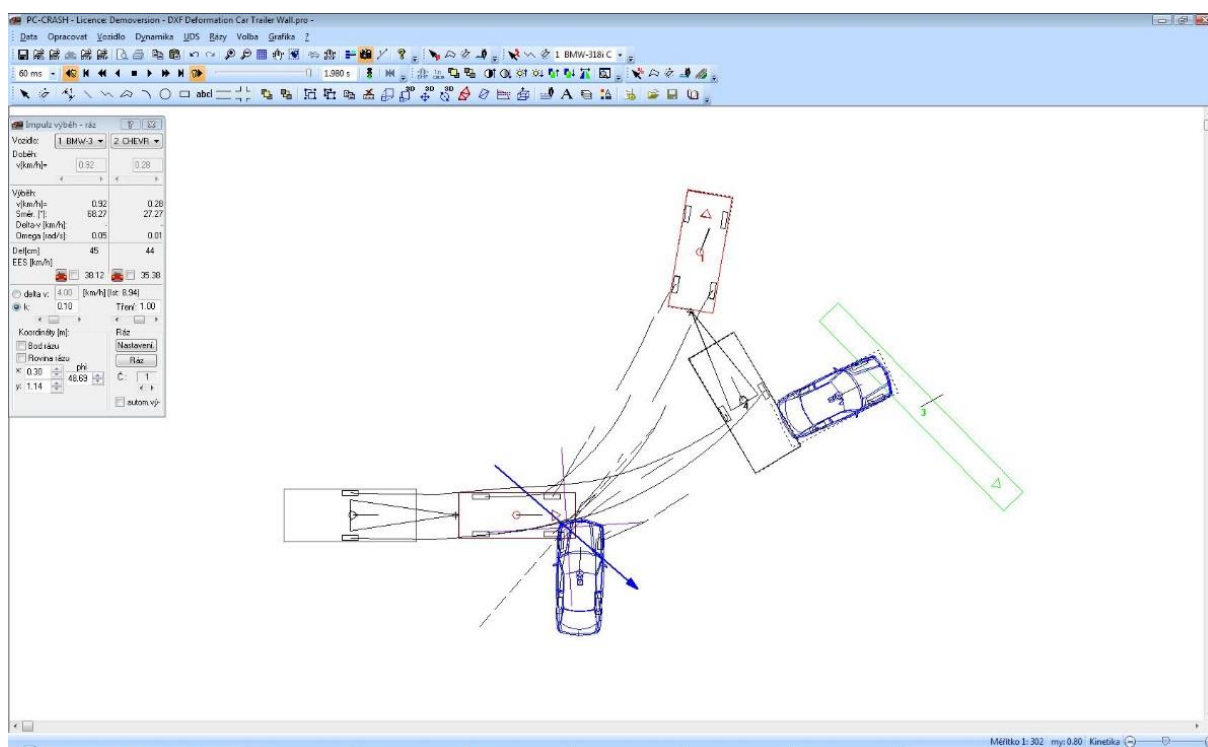
### 3.6 Software pro počítačové simulace dopravních nehod

Analýza nehodového děje je založena na matematicko-fyzikálních zákonech. Tyto zákonitosti jsou znalci využívány pro objasnění průběhu nehodového děje a co nejpřesnějších odpovědí na požadované otázky. Je zjevné, že výpočty těchto vztahů jsou při rekonstrukci střetu velmi

složitě a chybováním v postupných výpočtech bylo zapříčiněno mnoho omylů v oblasti analýzy silničních nehod. Složitost výpočtů a požadavek vysoké přesnosti a bezchybnosti využil rozvoj výpočetní techniky hned v jeho počátcích. Měl za následek vznik a rozvoj počítačových simulačních programů, které v dnešní době znalci požívají. Stále se rozšiřuje využití těchto programů, které se stávají nedílnou součástí při objasňování příčin a průběhu vzniku škod na dopravních prostředcích.

### 3.6.1 PC Crash

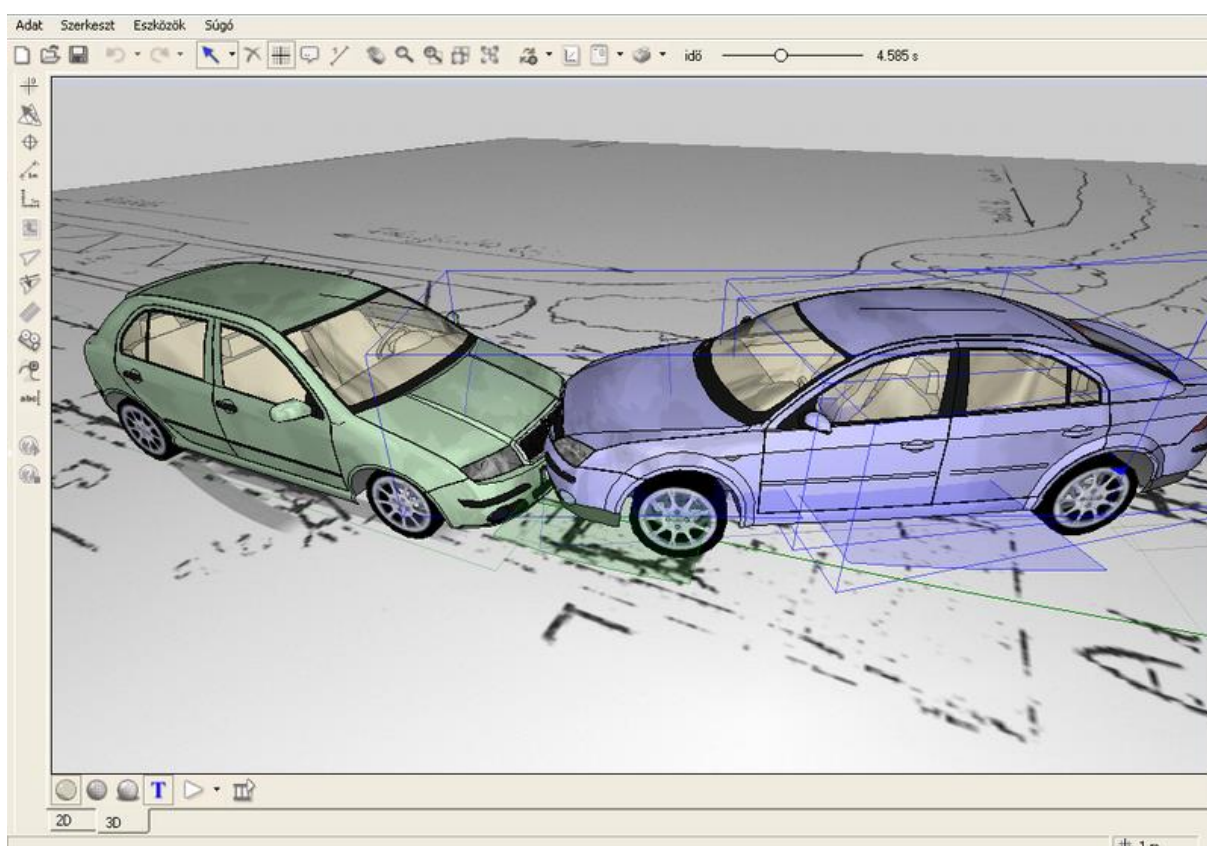
Dnes je jedním z nejrozšířenějších z nich program PC Crash. Roku 1990 ho vytvořila a stále vyvíjí rakouská společnost Dr. Steffan Datentechnik GmbH. Předposlední verze 9.0 nabídla mimo jiné přepracovanou pracovní plochu, nové možnosti při zadávání vstupních dat, simulace různých typů kloubů, pohybujících se chodců nebo zahrnutí skutečnosti, zda posádka ve vozidle byla či nebyla připoutána bezpečnostním pásem. Od listopadu 2014 je k dispozici už verze 10.1, která přinesla proti předchozí verzi rozšíření o vícetělesový systém pro zdokonalení výpočtů nebo možnost importu dat z 3D skenerů pro další přiblížení se realitě. Tento software je využíván nejen v Evropě. Nejširší uplatnění nachází program v oblasti soudního znalectví pro obor silničních nehod. Výpočty reakcí těles a rekonstrukce pomocí 3D modelů jsou velmi přesné. Prostředí programu PC Crash je znázorněno na *Obrázku 9*.



Obrázek 9 PC Crash [Zdroj: pccrash.cz]

### 3.6.2 Virtual Crash

V našich podmínkách je značně rozšířený také program Virtual Crash. Jedná se o mladý program, který se objevil na trhu teprve mezi lety 2004 a 2005. I díky tomu prochází neustálým vývojem. V počátcích bylo možné provádět simulace jen ve 2D prostředí, navíc chyběly některé z potřebných funkcí pro spolehlivý výpočet. Druhá verze pak přinesla kromě jiného možnost vkládání bitmapové grafiky do pozadí v 3D zobrazení nebo funkce zpětné kinematiky a zpětné akcelerace. Program se vyznačuje přívětivým uživatelským prostředím, což podpořilo jeho rozvoj. Uživatelské prostředí je zobrazeno na *Obrázku 10*.



Obrázek 10 Virtual Crash [Zdroj: balesetelemzes.hu]

Nicméně lze říci, že je v ovládní, funkcích a charakteru získaných výstupů podobný výše zmíněnému programu PC Crash. U obou programů je zásadním vstupem přesnost místa střetu a úhlu vozidel při střetu, což je určováno především ze způsobu jejich poškození. Odtud je postupováno do postřetové polohy vozidel, aby bylo následně možné zpětným odvíjením děje určit pohyb vozidel před střetem. Z toho je opět patrná důležitost co nejpřesnější znalosti o deformacích zkoumaných vozidel, protože pro simulační programy je to, díky důležitosti správného určení parametrů střetu, naprosto zásadní údaj, který má největší vliv na věrnost celé simulace.

Mezi dalšími programy lze zmínit ještě Carat, Analyzer Pro a Impulz expert.



### 3.7 Znalecký posudek

V této kapitole je níže popsán obsah znaleckého posudku ve věci dopravní nehody včetně konkrétních příkladů jeho jednotlivých dílčích celků. Cílem je co nejlépe ilustrovat celý proces analýzy dopravní nehody, aby tak byla část věnující se měření deformací vozidel co nejlépe zasazena do komplexního celku. A aby bylo zřetelné, které všechny kroky analýzy ovlivňuje přesnost měření deformací vozidel. Jinými slovy je zde záměrem podpořit výrok o důležitosti kroku měření deformací vozidel a tedy i význam této práce, která se snaží tento krok v níže popsaném procesu zpřesnit.

#### 3.7.1 Části znaleckého posudku

Obecně se znalecký posudek dělí na dvě části. První z nich se nazývá nález, druhá se nazývá posudek. Znalecký posudek ještě zpravidla obsahuje úvod, ve kterém je specifikován požadavek, na základě kterého je znalecký posudek vypracován a stanovený závěr, který má znalecký posudek určit. Většinou jsou zde také zmíněny otázky, na které má znalecký posudek odpovědět. Může se jednat například o určení místa střetu, střetové rychlosti, rychlosti vozidel v okamžiku reakce řidiče nebo posouzení technické přijatelnosti výpovědí. Obvyklá náplň obou obligátních částí znaleckého posudku je popsána na *Obrázku 11*.

Nález	Posudek
<ul style="list-style-type: none"><li>• Popis skutkového děje</li><li>• Popis stop</li><li>• Situační plánek</li><li>• Fotodokumentace</li><li>• Výpovědi účastníků a svědků</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Specifikace znaleckého úkolu</li><li>• Postupy vedoucí k dosažení cílů</li><li>• Analýza nehodového děje</li><li>• Možnosti odvrácení střetu</li><li>• Závěry a odpovědi na otázky</li></ul>

Obrázek 11 Obsah znaleckého posudku

##### 3.7.1.1 Nález

Účelem této části znaleckého posudku je především specifikace podkladů, které měl znalec k dispozici. Z hlediska soudně-znaleckého se tyto dělí na subjektivní a objektivní. Mezi subjektivní podklady patří zejména svědecké výpovědi. Mezi objektivní podklady patří obecně ty, u nichž je nízká, nebo nulová možnost zkreslení informací. Jedná se o policejní protokol o nehodě, plánec místa nehody, fotodokumentaci z místa nehody nebo technické údaje vozidel. Pro autentickou ilustraci jsou zde uvedeny nosné části znaleckého posudku, které jsou anonymizovány.

### 3.7.1.1.1 Popis skutkového děje

Dne 1. srpna 2014 v 18:50 hod došlo k dopravní nehodě v katastru obce Český dub, kdy řidič JP řídil své osobní motorové vozidlo Volvo V70, po ulici U Cihelny, ve směru k ulici Řídícího učitele Škody. Před křižovatkou s ulicí Řídícího učitele škody nerespektoval svislé dopravní značení P6 – Stůj! Dej přednost v jízdě! – a vjel do prostoru křižovatky směrem na Hodkovice nad Mohelkou, odkud právě projížděla skupina motocyklistů. První motocyklista, JB, s motocyklem Yamaha MT01, na vzniklou situaci zareagoval prudkým bržděním, ale střetu již zabránit nedokázal. Došlo tak ke střetu přední části motocyklu s levým bokem vozidla Volvo. Při dopravní nehodě došlo k těžkému zranění motocyklisty JB, který podle prvotních informací utrpěl zlomeninu stehenní kosti neurčené dolní končetiny a poté mnohočetná drobná poranění, se kterými byl letecky transportován do Krajské nemocnice v Liberci. Řidič vozidla Volvo byl převezen s lehkým, blíže nezjištěným zraněním do Krajské nemocnice Liberec vozidlem ZZS Liberec. Na vozidle Volvo byla zjištěna propadlá TK a EK do 07/2014. Alkohol u řidiče JP byl vyloučen dechovou zkouškou přístrojem Dräger. U řidiče motocyklu byl na žádost Policie ČR odebrán biologický materiál krev. Rozborem krve byl zjištěn negativní výsledek. Motocykl Yamaha byl na žádost Policie ČR odtahován službou k vyloučení technické závady. Rodinní příslušníci řidiče JB byli vyrozuměni o jeho zranění. Technická závada, jako příčina dopravní nehody, nebyla na místě ohledáním zjištěna ani uplatněna. Věc byla předána Službě krim. Policie a vyšetřování – Krajské ředitelství policie Libereckého kraje.

### 3.7.1.1.2 Popis stop

Místo dopravní nehody bylo vyměřováno pomocí pravoúhlé metody ze směru od Českého Dubu na Hodkovice nad Mohelkou. Jako VBM bylo vzato svislé dopravní značení A1a, které se nachází vpravo, 0,7 m od pravého okraje komunikace. Stopy budou popisovány od nejbližší k nejvzdálenější. Na místě dopravní nehody byly zaměřeny tyto stopy:

Stopa č. 1 – vozidlo Volvo: zadní pravá část vozidla Volvo je od VBM vzdálena 6,5 m. Levá zadní část vozidla je od pravého okraje komunikace vzdálena 2,4 m. Pravá přední část vozidla Volvo je od VBM vzdálena 11,0 m a od pravého okraje komunikace 1,3 m. Vozidlo není v konečném postavení po dopravní nehodě. Na vozidle Volvo je poškozen LZ blatník, LP a LZ dveře.

Stopa č. 2 – motocykl Yamaha: přední část motocyklu je od VBM vzdálena 3,3 m a od pravého okraje komunikace 5,6 m. Zadní část motocyklu je od VBM vzdálena 5,1 m. Motocykl se nachází v konečném postavení po dopravní nehodě. Motocykl je poškozen zejména v přední části, která je zdeformovaná a poté pravý bok motocyklu.



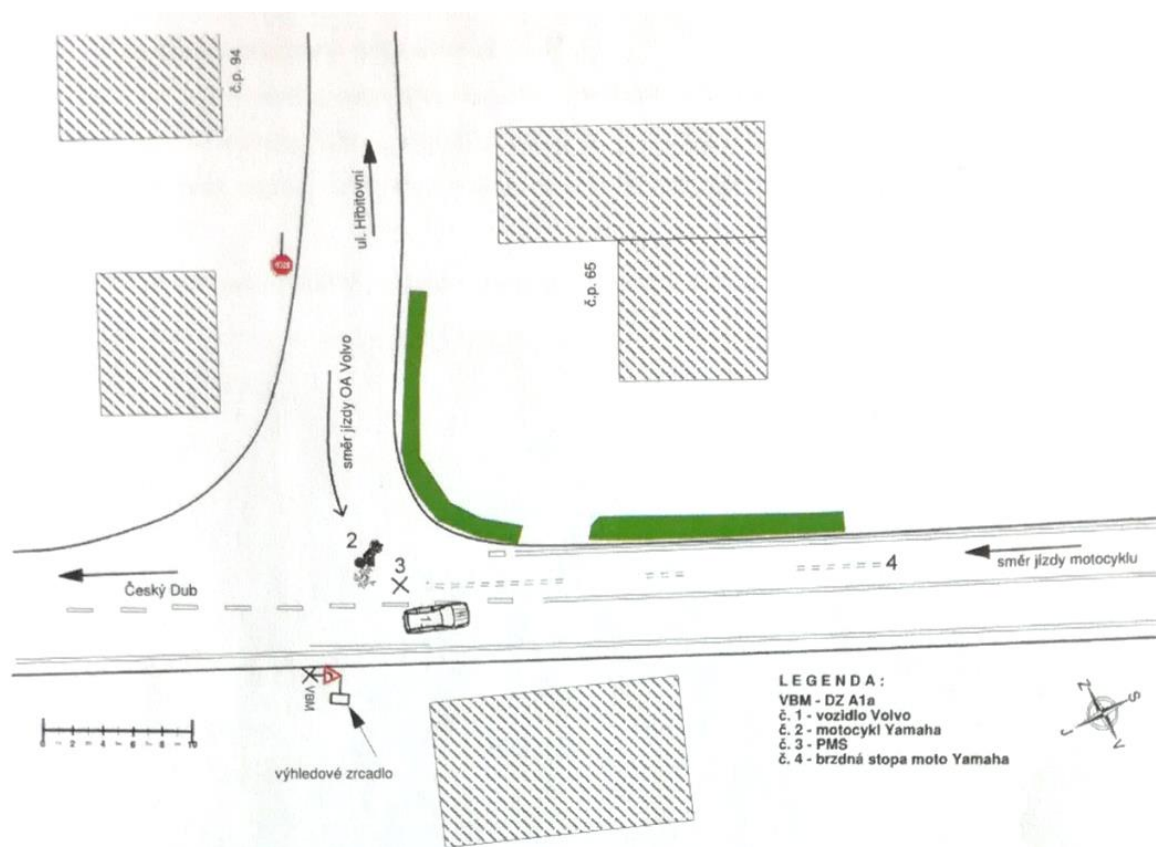
Stopa č. 3 – pravděpodobné místo střetu: je od VBM vzdáleno 4,3 m a od pravého okraje komunikace 4,2 m. PMS bylo označeno svědky dopravní nehody.

Stopa č. 4 – brzdná stopa motocyklu: stopa je rozdělena do více částí. Konec stopy je od VBM vzdálen 8,1 m a od pravého okraje 3,9 m. Začátek je od VBM vzdálen 38,1 m a od pravého okraje komunikace 4,4 m.

Na místě dopravní nehody se dále nachází skleněné a plastové střepy, zasypané vyteklé provozní kapaliny z motocyklu.

### 3.7.1.1.3 Situační plánek

Situační plánek zpracovaný Policií ČR k popsané nehodě je na Obrázku 12. Je na něm znázorněn výchozí bod měření (VBM), ke kterému jsou vztaheny všechny vzdálenosti poloh jednotlivých objektů.



Obrázek 12 Situační plánek nehody [9]

#### 3.7.1.1.4 Fotodokumentace

Vybrané fotografie z fotodokumentace místa nehody, která byla znalci předložena, jsou na **Obrázku 13**. V citovaném posudku je většina fotografií uvedena v příloze znaleckého posudku.



**foto 4** – Pravidelné MS



**foto 9** – Vozidlo Volvo v konečné poloze



**foto 6** – MS od Českého Dubu



**foto 11** – Stopa č. 4

*Obrázek 13 Fotodokumentace ze znaleckého posudku [9]*

#### 3.7.1.1.5 Výpovědi účastníků a svědků

Jako příklad je zde uvedena výpověď řidiče motocyklu k popisované dopravní nehodě.

K předmětné DN motocyklista JB mj. uvedl:

*„...jsem majitelem motocyklu zn. YAMAHA RP 12, barva fialová metalíza. Na tomto motocyklu jsem najel cca 2.500 – 3.000 kilometrů. Její ovládání bezpečně znám. Dne 1. srpna 2014 jsem jel s kamarády na vyjížděku na motorkách. Bylo jasno, sucho, silnice byla čistá, teplota kolem 20°C. Jeli jsme z Doubí směrem na Český Dub. Já jsem jel jako první v koloně 4 motorek. Měl jsem rozsvícené stanovené osvětlení a měl jsem nasazenou ochrannou přilbu. Při jízdě mimo obec jsem jel rychlostí cca 80-90 km/h a blížil jsem se ke křižovatce. Já jsem byl na hlavní silnici. Ve vzdálenosti cca 50 metrů*

*před tou křižovatkou jsem zahlédl nějaké vozidlo, které z vedlejší silnice začalo vjíždět do mého jízdního pruhu. Proto jsem začal ihned intenzivně brzdit. Vozidlo zastavilo napříč mého jízdního pruhu. Já jsem ho chtěl objet zleva, a proto jsem přestal brzdit. To vozidlo se ale hned zase rozjelo a znova zastavilo. To ale už zatarasilo celou silnici. Já jsem hned začal intenzivně brzdit, ale už jsem neměl možnost nikam uhnout a do toho vozidla jsem naboural. Probral jsem se na silnici. Chtěl jsem se zvednout, ale nešlo to. Nějaká paní stála u mě a ptala se mě, jak se cítím. Uvědomuji si, že kolem byla spousta lidí. Kdo volal záchranku, to nevím. Mlhavě si pamatuji, že mi někdo rozstříhal kalhoty a potom už nevím nic. Probral jsem se až v nemocnici po operaci. Jsem-li dotazován na technický stav motocyklu, tak k tomu uvádím, že motorka byla v bezvadném technickém stavu a vše fungovalo tak, jak mělo. STK byla platná. Já jsem byl v pořádku. Alkohol jsem před jízdou nepožil, léky neberu a neužívám omamné látky ...“*

### **3.7.1.2 Posudek**

Tato část znaleckého posudku by měla obsahovat vymezení znaleckého úkolu a postupy, které vedou ke splnění specifikovaného cíle. Tím jsou z velké části odpovědi na zadané otázky, ke kterým by měl znalec dojít a v závěru posudku uvést. Tyto odpovědi musí být úplné, ale zároveň kategorické pouze do té míry, kterou umožňuje současné poznání a použité technické nástroje.

Ve zmiňovaném znaleckém posudku se jednalo o tyto úkoly:

- Určení místa střetu a vzájemné polohy účastníků v době DN.
- Určení předstřetového pohybu a střetové rychlosti motocyklu Yamaha i vozidla Volvo.
- Určení rychlosti motocyklu Yamaha i vozidla Volvo v okamžiku reakce řidiče.
- Posouzení včasnosti reakce jednotlivých účastníků DN na vzniklou kolizní situaci.
- Určení možnosti odvrácení DN jednotlivými účastníky.
- Analýza nehodového děje a posouzení příčin vzniku DN.
- Posouzení technické přijatelnosti výpovědi řidiče vozidla Volvo a svědků DN.
- Vlastní zjištění znalce, která mohou mít význam pro posouzení nehody

V úvodní části je obsažen rozbor postupů nutných ke splnění znaleckého úkolu a následně jsou pak objasněny fyzikální pojmy a vztahy, se kterými je pracováno. Mimo jiného je objasněna *ekvivalentní energetická rychlost* (EES), která reprezentuje přibližně takovou rychlost, při které by na konkrétním vozidle po nárazu na libovolnou pevnou a nedeformovatelnou překážku vznikla podobná poškození co do rozsahu a celkových následků poškození, k jakým došlo při uvedené dopravní nehodě. Deformační energie,

potřebná na přetvoření karoserie, je definována jako rozdíl kinetických energií vozidla před střetem a po střetu, tedy

$$E_D = \frac{1}{2} m \cdot EES^2 \rightarrow EES = \sqrt{\frac{2 \cdot E_D}{m}} \quad (1)$$

přičemž

$$\Delta E_k = E_{k1} - E_{k2} = E_D \quad (2)$$

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (3)$$

kde  $m$  – hmotnost vozidla [kg]

$E_D$  – deformační energie [J]

$E_k$  – kinetická energie daná na počátku a na konci děje zmíněným vztahem [J]

EES – ekvivalentní energetická rychlost [m/s]

Pokud se zanedbají jakékoliv energetické ztráty (kontaktní energie, teplo, atd.) a vezme-li se v úvahu, že prakticky celá deformační energie byla spotřebována na deformační přetvoření karosérie a podvozkových částí vozidla, tak tím způsobem je možné určit maximální hodnotu EES, která poškození vozidla kvantifikuje. K řešení pak dochází pomocí korespondence poškození vozidel, kdy je deformace předmětného vozidla srovnávána s obdobným rozsahem poškození u vozidel, u kterých je známa EES jejich poškození. Metoda korespondence poškození vozidel je znázorněna na *Obrázku 14* a *Obrázku 15*.





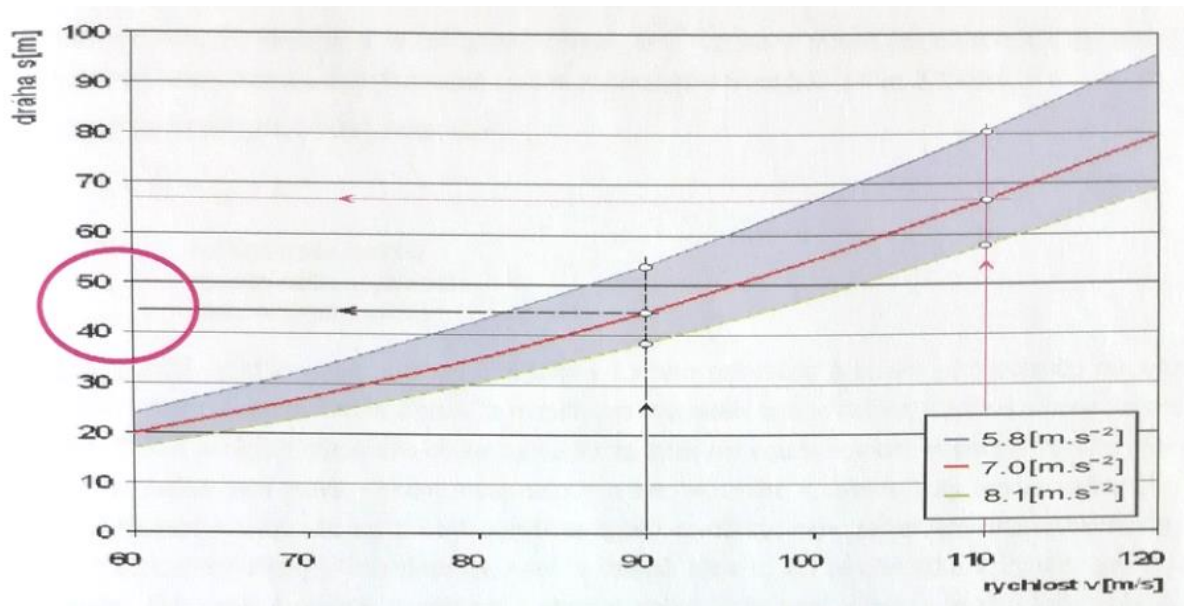
Obrázek 14 Korespondence poškození vozidel (automobil) [9]



Obrázek 15 Korespondence poškození vozidel (motocykl) [9]

Díky tomu byla EES stanovena u vozidla Volvo v intervalu 16 až 22 km/h a u motocyklu Yamaha na  $50 \pm 5$  km/h. Na místě byla zaznamenána brzdná stopa motocyklu v délce 30 m. Brzdnou dráhu motocyklu tak lze na základě výše zmíněných hodnot popsat pomocí grafu na Obrázku 16. Brzdné dráze ještě předchází reakční doba řidiče, doba prodlevy brzd a doba náběhu brzd, což je vše v posudku zahrnuto a vysvětleno.





Obrázek 16 Diagram dráha-rychlost [9]

Analýza s využitím programu Virtual Crash 2.2 pak byla provedena na základě rozsahu poškození vozidel a ze zjištěných a zaměřených konečných poloh předmětných vozidel. Cílem analýzy bylo nalezení takové předstřetové rychlosti vozidel, kdy by poškození motocyklu Yamaha a vozidla Volvo bylo vzájemně kompatibilní, přičemž by leželo ve zmíněných mezích EES pro obě vozidla a zároveň nebyla přesáhnuta rozumná tolerance konečných poloh vozidel zakreslených v situačním plánu.

Dále je pracováno s časoprostorovými parametry, které jsou pro obě vozidla za daných podmínek technicky přijatelná a to vzhledem k rozjezdovým parametrům vozidla Volvo na jedné straně a kinematice brzdění motocyklu Yamaha na straně druhé. V programu Virtual Crash 2.2 bylo provedeno několik desítek počítačových simulací s variací různých výše zmíněných parametrů a jejich výsledky ukázaly na absolutní shodu s analyticky získanými údaji. Střetová poloha je znázorněna pomocí programu Virtual Crash 2.2 na Obrázku 17. Znalecký posudek obsahuje také kapitolu *Možnosti odvrácení střetu*, ve které se znalec vyjadřuje k tomu, za jakých podmínek na straně řidiče vozidla Volvo, resp. řidiče motocyklu Yamaha by k nehodě vůbec nedošlo. Tato tvrzení vychází z poznaného časově prostorového obrazu nehodového děje a uvádí podmínky, jako je včasná reakce a brzdění, nižší původní rychlost, pozdější zahájení odbočovacího manévru.



Obrázek 17 Střetová poloha [9]

Na závěr této kapitoly je citována jedna z požadovaných odpovědí znalce na zadané otázky.

Otázka: Posuďte technickou přijatelnost výpovědi řidiče vozidla Volvo a svědků DN.

*Analyzovaný nehodový děj poměrně věrně koresponduje s výpovědí řidiče vozidla Volvo JP a svědkyně VB a to i v otázce výhledu z vozidla Volvo vlevo zakrytého živým plotem přilehlé nemovitosti, kdy vozidlo Volvo muselo svou přední částí popojet hluboko do přilehlého jízdního pruhu hlavní silnice tak aby byl řidiči XY umožněn výhled vlevo. Výpověď motocyklisty JB a dalších svědků se vzájemně liší v popisu rychlosti motocyklů jedoucích za sebou. Jimi udávané rychlosti leží v rozmezí 75 až 90 km/h. V kapitole 3.8.2 (znaleckého posudku) je ukázáno, že rychlost 90 km/h je nízká, v předmětném případě nezanechá brzdovou stopu 30 m dlouhou a je tudíž technicky nepřijatelná. Skutečně analyzovaná počáteční rychlost motocyklu leží v intervalu 111 až 117 km/h.*



## 4 Metody měření deformací vozidel

V současné době už existují různé moderní technologie, které umožňují měřit tvary a deformace ploch přesněji, než u starších metod. Ale širokému využití těchto moderních technologií brání v oblasti analýzy silničních nehod různá specifika. Tím největším je nemožnost přiblížení se laboratorním podmínkám, které jsou samozřejmostí například při crash testech. Většinou není možné při ohledání vozidla ovlivnit jeho polohu mezi ostatními objekty, okolní prostředí, podnebí, světelnost, barvu a odrazivost karoserie nebo přesné vztažné body (vnější orientaci). Z tohoto důvodu naráží mnoho nových technologií na neřešitelné překážky a univerzální postupy pro měření deformací vozidel po nehodě tak stále využívají spíše tradičních metod měření.

V této kapitole jsou popsány základní metody měření vozidel po nehodě, které jsou rozděleny do tří skupin. Konvenční metody, nekonvenční metody a zvláštní třetí skupina. Zmíněná třetí skupina popisuje metodu, kterou autor této práce navrhnul a vyvíjel ve své práci *Metodika hodnocení bočního nárazu vozidla* [1]. Je možné uvést, že na zmíněnou metodu předmět této práce navazuje, a proto je jí níže věnována pozornost. Cílem této kapitoly je pak vytvoření komplexního pohledu na současné možnosti měření deformací vozidel s důrazem na využitelnost metod v praxi. Do tohoto pohledu pak může být následně zasazena navrhovaná metoda, která je předmětem této práce.

### 4.1 Konvenční metody měření vozidel po nehodě

#### 4.1.1 Fotografie s přiloženým metrem

Již dlouhou dobu běžnou metodou při ohledání a určování deformací vozidel po nehodě je vytváření fotografických snímků, na kterých je v určité pozici poblíž deformace skládací metr nebo měřicí pás. Tato metoda využívá kvalitního snímku deformace s uměle vytvořeným měřítkem pro odhad hodnoty deformace. Jak ukazuje i předcházející kapitola, v praxi se následně tyto snímky porovnávají se shodnými deformacemi při známých parametrech pro určení mechaniky a dynamiky střetu, případně je podle snímku modelována deformace v simulačních programech. Tuto metodu ilustruje *Obrázek 18*.

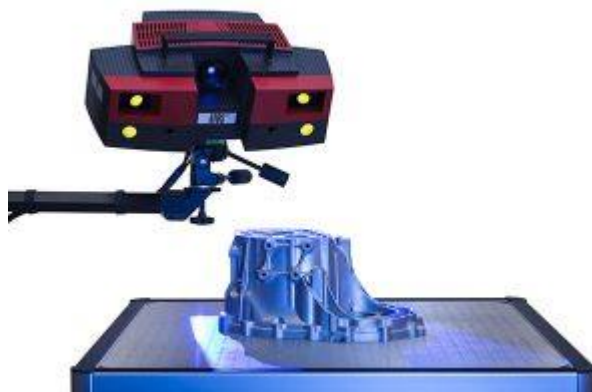


Obrázek 18 Fotografie s přiloženým metrem

Je zjevné, že tato metoda je velmi nenáročná při vlastním ohledání vozidla a za dodržení dvou jednoduchých podmínek jsou výsledky uspokojující. První podmínkou je vytvoření dostatečně kvalitních fotografií, většinou s požadavkem různých úhlů osy fotoaparátu vůči deformaci vozidla. Druhou podmínkou je umístění měřicího metru nebo pásu tak, aby byl na fotografii viditelný a zároveň jeho vzdálenost od fotoaparátu byla přibližně shodná se vzdáleností zkoumané deformace, jejíž rozměry je třeba znát. Naopak nevýhodou je zjevná nepřesnost, která vychází z odhadu rozměrů deformace prováděného na pořízené fotografii.

#### 4.1.2 Optické skenování

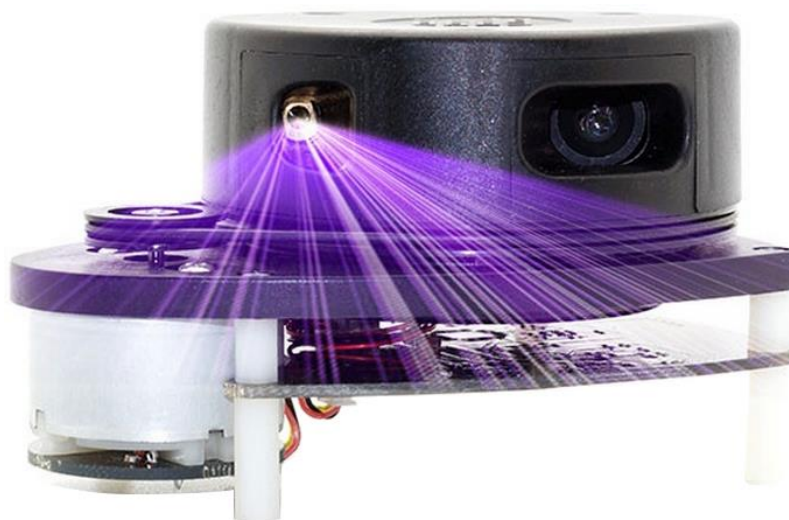
Optické 3D skenery fungují na principu snímání objektu pomocí pevné soustavy kamer a zdrojů světla, jak znázorňuje *Obrázek 19*. Snímky jsou zpracovány pomocí počítačového programu a digitalizací a následnou metodou obrazové korelace je vytvořeno mračno bodů v prostoru. Tato metoda je svým principem velice blízká metodě, která je navržena v této práci. Velkou nevýhodou optických skenerů je ale kromě vysoké ceny zařízení i požadavek na určitou míru lesklosti povrchu. U většiny vozidel je pak nutné zmatnění povrchu například pomocí křídového prášku.



Obrázek 19 Optický skener [Zdroj: mcae.cz]

### 4.1.3 Laserové skenování

Princip laserového skenování je obdobný. Dochází k vyslání laserového paprsku, díky kterému může při jeho návratu (po odrazu od objektu) zařízení určit vzdálenost bodu a jeho směr od stanoviště. Pomocí rozkmitání laserového paprsku je takto získáno opět mračno bodů v prostoru. Ilustrace je na *Obrázku 20*. Nevýhody této metody jsou téměř identické s nevýhodami předchozí metody, což opět brání rutinnímu využití v oblasti analýzy dopravních nehod.



*Obrázek 20 Laserový skener [Zdroj: robotshop.com]*

## 4.2 Nekonvenční metody měření vozidel po nehodě

Do této skupiny lze zařadit především kontaktní měření. To využívá pohybu dotykové sondy ve třech osách. Pro případ měření vozidla po nehodě to ovšem znamená zpravidla dopravit vozidlo k měřicímu zařízení. Ale především má tato metoda limity ve zjevném požadavku neustálého kontaktu sondy s měřeným povrchem. U vozidel po nehodě je tento požadavek díky nekompaktnosti povrchu velkou překážkou. Druhou metodou zařazenou do této skupiny je dynamické měření. Tato metoda je založena na využití vysokorychlostních kamer a umožňuje sledovat trajektorii jednotlivých bodů na povrchu zkoumaného vozidla. Byť je tato metoda vysoce praktická při crash testech, pro analýzu dopravních nehod je naprosto nemyslitelná, protože by předpokládala zachycení nehodového děje v provozu vysokorychlostní kamerou.

### 4.3 Metoda s využitím laserového měřiče vzdálenosti

Jak je zmíněno výše, autor této práce už navrhoval metodu pro měření deformací vozidel po nehodě ve své předcházející práci. Tato metoda využívá laserového měřiče vzdálenosti, který změří vzdálenost bodu na karoserii od stanoviště, ale zároveň laserem označí přesný bod, který je měřen. Toho bylo využito k pořízení fotografie, na které je zjevné, který bod byl měřičem vzdálenosti naměřen. Byl vytvořen určitý počet fotografií a shodný počet měření, přičemž na stativu byl pevně uchycen fotoaparát a laserový měřič vzdálenosti byl umístěn na otočné hlavici, aby mohla být měněna jeho poloha, jak ukazuje *Obrázek 21*.



*Obrázek 21 Sestava pro měření s využitím laserového měřiče vzdálenosti*

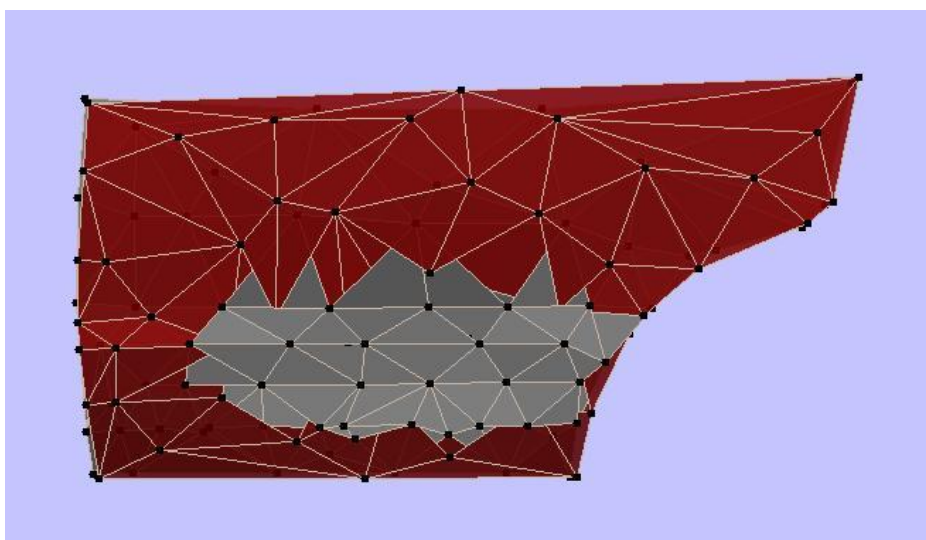
Vznikla tedy suma snímků s různě umístěnou tečkou laserového měřiče, jak na další stránce ukazuje *Obrázek 22*. K těmto snímkům byly přiřazeny vzdálenosti naměřené laserovým měřičem a pomocí vytvořeného programu byly na každém snímku určeny 2D souřadnice červeného bodu. Pomocí přiřazené vzdálenosti a přepočtu zohledňujícího zkreslení plochy při fotografování byly určeny 3D souřadnice jednotlivých bodů.





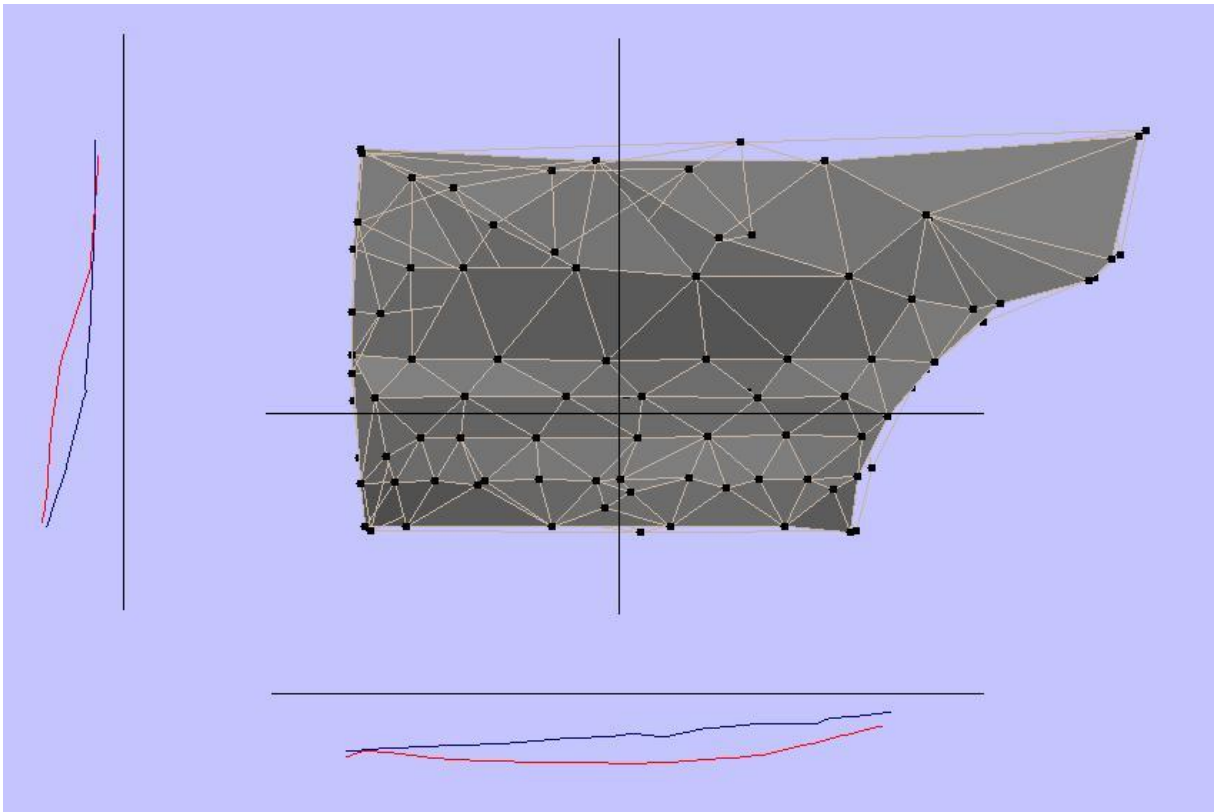
Obrázek 22 Metoda s červenou tečkou

Tyto body byly následně propojeny pomocí triangulace, aby došlo k vytvoření plochy a tato plocha deformované části vozidla mohla být porovnána s totožnou částí nedeformovaného vozidla, jak ilustruje *Obrázek 23*.



Obrázek 23 Porovnání deformované části s nedeformovanou

Vytvořený počítačový program ale především umožňoval vytvoření řezů ve svislé i vodorovné ose, z čehož mohly být vyčteny ty nejzajímavější informace týkající se deformace. Popsané je znázorněno na *Obrázku 24*.



Obrázek 24 Řez deformovanou částí vozidla

Tato metoda ale bohužel kopíruje nevýhody laserového skenování, především může být problematické nalezení červené tečky na tmavém nebo příliš lesklém povrchu karoserie, jak bylo ověřeno dalším zkoumáním. S tím souvisí i vysoká pracnost této metody, která díky popsanému limitu mohla být odstraněna s malou chybovostí jen do určité míry. Zkoumání tak nevedlo k tomu, že by tato metoda mohla být pro praxi v blízké budoucnosti něčím zásadně přínosná.

V celé této kapitole bylo zmíněno několik metod s poukázáním na jejich limity pro využití v praktickém ohledávání vozidel po nehodě. Všechny popsané nevýhody výše zmíněných metod má za cíl metoda představená v následující kapitole eliminovat. Aby tak mohla být využita jednoduše, ale zároveň zpřesnit výsledky měření vozidel v rámci analýzy dopravních nehod. Popsané metody jsou pro porovnání uvedeny v *Tabulce 2*.



Tabulka 2 Porovnání metod měření deformací

	<b>Výhody</b>	<b>Specifické požadavky</b>	<b>Výstup</b>
<b>Fotografie s přiloženým metrem</b>	nenáročné při ohledávání, tradiční používaná metoda, názornost fotografií	dostatečně kvalitní fotoaparát, umístění skládacího metru tak, aby byl na fotografiích viditelný	suma fotografií, na základě přiloženého metru odhadování velikosti deformací
<b>Optické skenování</b>	přesné výsledky za relativně krátkou dobu při ohledání	dostatečná reflexivita povrchu, náročné na výpočetní kapacitu	mračno bodů v prostoru
<b>Laserové skenování</b>	přesné výsledky za relativně krátkou dobu při ohledání	dostatečně matný povrch, náročné na výpočetní kapacitu	mračno bodů v prostoru
<b>Metoda s využitím laserového měřiče vzdálenosti</b>	lze se zaměřit na konkrétní zkoumanou část, snadné překrývání a měření	soustava laserového měřiče a fotoaparátu, vysoká pracnost při ohledání i při zpracování	3D model, řez deformací s konkrétními hodnotami
<b>Kontaktní měření</b>	bez požadavku na optické vlastnosti karoserie, precizní měření	zpravidla potřeba transportu vozidla, kompaktnost povrchu měřeného objektu	tvar na základě měření vzdálenosti bodů karoserie vůči referenční ploše

## 5 Hodnocení deformací vozidel a jejich význam v rámci celkové analýzy nehod

### 5.1 Funkce karoserie

Karoserie je konstrukční část vozidla, která tvoří největší podíl jeho celkové hmotnosti. Její funkce jsou obecně dvě. Tou první je tvořit prostor ve vozidle pro řidiče, ostatní cestující a náklad. Druhou funkcí je pak vytvoření nosné konstrukce vozidla. Záleží samozřejmě na konstrukčním uspořádání, jaká míra této funkce je na karoserii kladena. Zda se jedná o samonosnou, polonosnou nebo nenesoucí karoserii určuje do velké míry i její únosnost resp. tuhost, potažmo pak energii, kterou při nárazu absorbuje. Na druhou stranu bude karoserie vždy tou nejdůležitější částí vozidla, kdykoliv půjde o jeho deformace po nárazu.

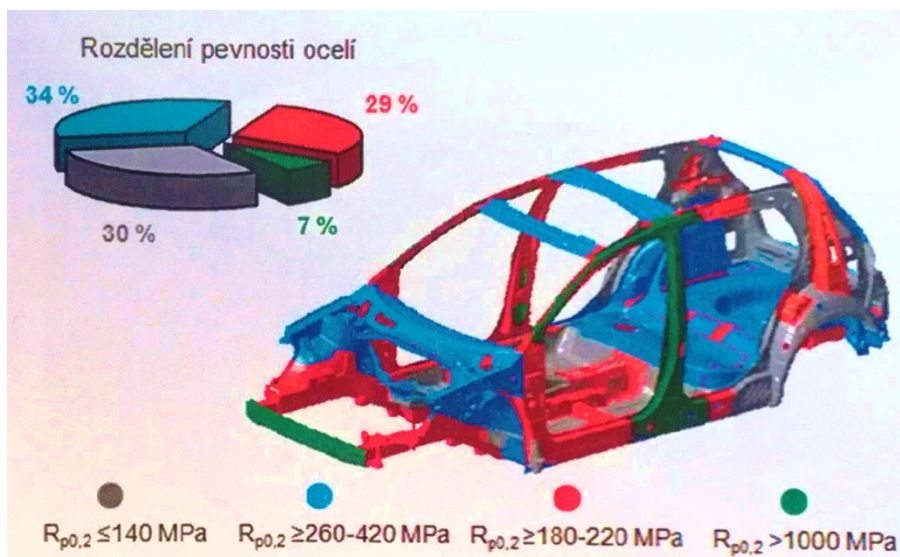
Karoserie má na prvním místě splňovat požadavek na ochranu cestujících a ostatních účastníků při dopravní nehodě. Mezi další požadavky patří ochrana cestujících a nákladu před vnějšími vlivy, ochrana hnací soustavy a dalších součástí před vnějšími vlivy, omezení a útlum vibrací, které nepříznivě ovlivňují pohodlí cestujících, nebo útlum vnějších hluků a hluku od hnací soustavy.

### 5.2 Materiály karoserie

Základním konstrukčním materiálem pro výrobu karoserií je dlouhodobě ocel. Vzhledem k rostoucím požadavkům na redukci hmotnosti a konkurenci v podobě lehkých kovů se v poslední době jedná i o vysokopevnostní oceli, jak je vidět na *Obrázku 25* a *Obrázku 26*. Toto použití ocelí s různou pevností umožňuje řídit a optimalizovat deformační chování karoserie a tuhost její struktury. V nejvíce namáhaných uzlech této struktury jsou použity oceli s nejvyšší pevností.



Obrázek 25 Materiály karoserie Volvo V70 [7]

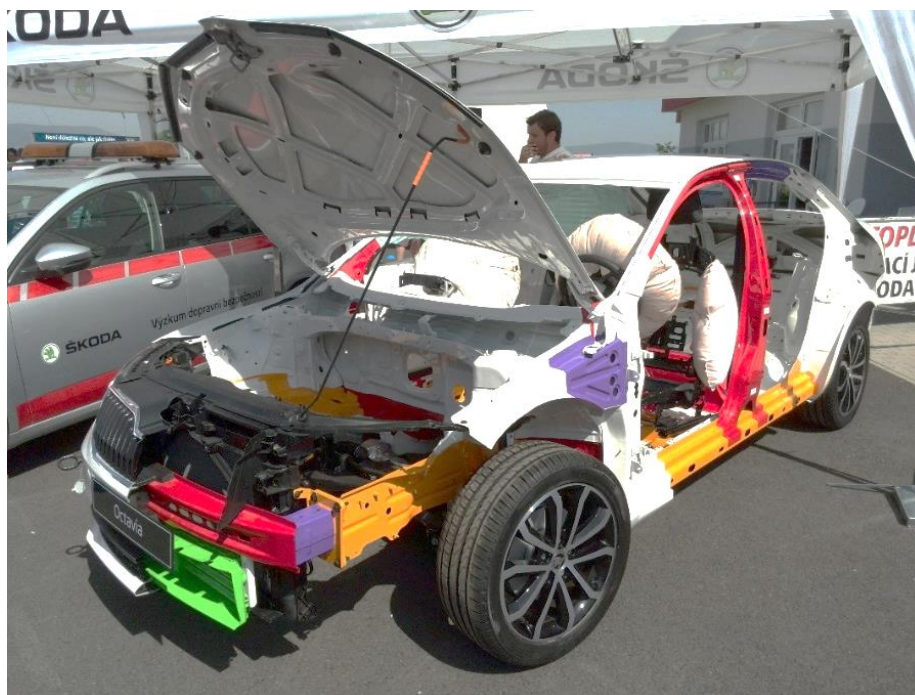


Obrázek 26 Materiály karoserie Volkswagen Golf [7]

### 5.3 Deformace karoserie

Při nehodě musí karoserie pojmout vysoké množství energie. Vzhledem k výše zmíněnému požadavku ochrany cestujících musí karoserie pojmout dostatečné množství energie, aby nedošlo vlivem působícího zpomalení k překročení biomechanické hranice lidského těla. Zároveň nesmí dojít k takové deformaci karoserie, která by vedla k narušení vnitřního prostoru pro cestující. A také je nutné zaručit, aby do tohoto prostoru nevnikly při nárazu jiné části vozidla nebo další předměty.

Při nárazu se kinetická energie přeměňuje na deformační práci karoserie. K tomuto pohlcení nárazové energie dochází díky řízené elasticko-plastické deformaci prvků nosné struktury karoserie. Statisticky nejčastějším typem nárazu je čelní náraz. Proto je z hlediska pasivní bezpečnosti věnována největší pozornost přední části karoserie. Jde zde především o nosné podélníky, jak ukazuje *Obrázek 27*. Tato konstrukce karoserie umožňuje při čelním nárazu velkou deformační dráhu, proto je schopná pohltnout velké množství nárazové energie.



Obrázek 27 Deformační zóny Škoda Octavia [Autor fotografie: BEDNÁŘ, M.]

Obrázek také odhaluje nutnost účastnit se pohlcení nárazové energie těmi prvky karoserie, které jsou k tomu určené. V opačném případě nedochází k řízené deformaci a množství pohlcené energie, potažmo deformace prvků karoserie, které k tomu nejsou určeny, resp. přetížení, které díky tomu působí na posádku, vedou k fatálním následkům. Z hlediska hodnocení deformace karoserie se pak často přistupuje k porovnání deformace s obdobnou deformací při nárazu se známými parametry. Toto je standardní metoda vyhodnocení. Při analýze dopravních nehod je ale znalost problematiky absorpce energie prvky karoserie důležitá pro expertní zhodnocení podílu pohlcené energie vůči ideálnímu nárazu a zahrnutí tohoto zhodnocení do procesu i závěrů analýzy.

#### 5.4 Požadavky na konstrukci při čelních kolizích

Čelní náraz je statisticky nejčastějším nárazem. Proto i standardní nárazové testy na prvním místě vyhodnocují vždy čelní náraz. Při nehodách v silničním provozu ale dochází k nárazům, kdy je deformační energie pohlcována různými částmi vozidla, zdaleka ne vždy je pohlcena ideálně.

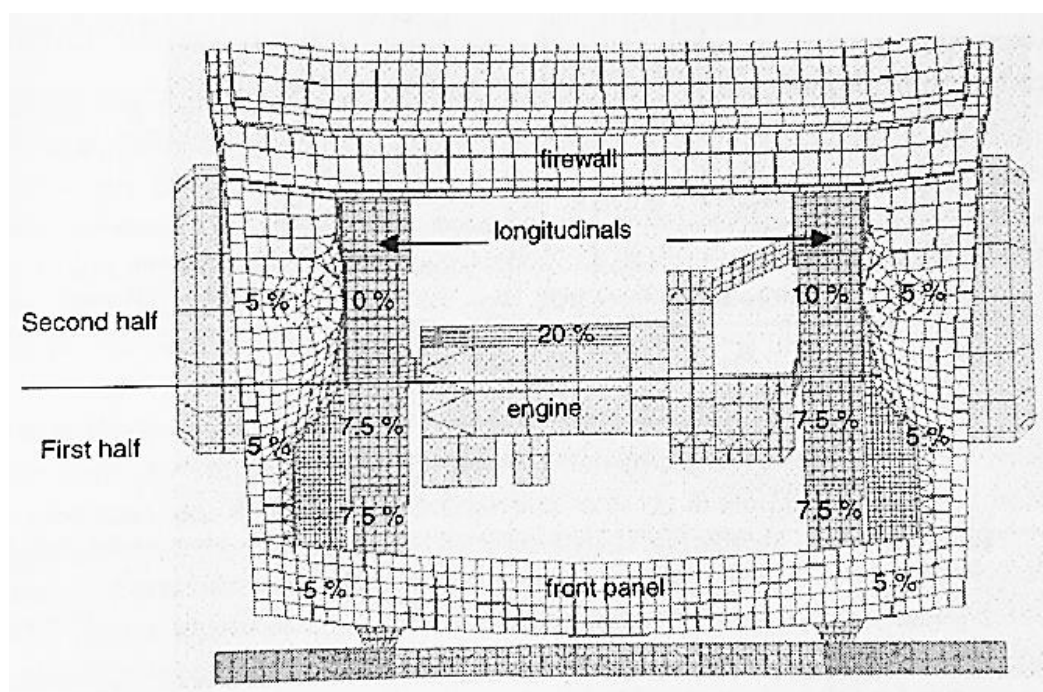
Mezi základní konstrukční požadavky vozidla pro případ čelního nárazu patří následující. Přední podélníky musí být navrženy tak, aby byly co nejvíce horizontální. Při konfiguraci pohonu předních kol vyžadují obvykle hnací hřídele otvor, který dává podélným nosníkům malý náklon směrem vzhůru, po němž následuje uspořádání dolů, tzv. tvar S. Proto jsou podélné



nosníky v této oblasti zesílené kovovými štíty, aby nedošlo k ohýbání. Síla z nosníků se přenáší do vnější části podlahového panelu a středního tunelu vozidla. Také přední příčný nosník musí být dostatečně pevný, aby odolal nejen silám při nárazových srážkách. Výška podélných a příčných nosníků by měla být od 400 do 500 mm nad zemí.

Přestože horní část předního konce není hlavní složkou s ohledem na řízení energie, přispívá k udržení nadbytečného prostoru pro cestujícího. To je důležité nejen pro funkci zádržného systému, ale i pro nutnost otevřít dveře bez náradí po havárii. Boční stěny musí být pevně spojeny s pouzdem kola a síla ve středu A sloupku musí být přenášena přes dveře a jejich výztuž (např. postranní nosník, k B sloupku).

Kromě požadavku na výztuž dveří, aby i jimi byla přenášena energie, je dalším důležitým požadavkem celistvost čelního skla. *Obrázek 28* pak poskytuje odhad, jak je absorpce energie distribuována přes přední část vozidla. Když shrneme tyto síly, přibližně 50% energie je absorbováno podélnými nosníky, zbylých 50 % je rozděleno mezi další konstrukční části.



*Obrázek 28 Absorpce nárazové energie jednotlivými částmi vozidla [18]*

Mezi další požadavky pak patří omezený relativní pohyb volantu vůči posádce a v dnešní době je věnována pozornost i úrovni narušení nožních pedálů vozidla při čelním nárazu. Toto vniknutí je také jedním z kritérií hodnocení testu EuroNCAP. Díky vyššímu stupni ochrany posádky, za použití bezpečnostních pásů a airbagů, je totiž věnována čím dál větší pozornost dalším možným zraněním.

## 5.5 Význam deformací vozidel po nehodě pro analýzu nehod

Při analýze silničních nehod je zpravidla jedním z nosných parametrů, které je třeba určit, výše nárazové rychlosti. Získávání elektronických údajů, které jsou vozidly zaznamenávány, je stále problematické. A tak je třeba ve většině případů nárazovou rychlost stanovit klasickými metodami rekonstrukce dopravních nehod. Tyto metody jsou založeny na deformaci a analýze postřetového pohybu vozidel. Je tedy vidět, že dnes má měření deformací vozidel naprosto zásadní význam pro získání informací, které jsou pro jakýkoliv účel nosné. Ať už jde o určení nárazové rychlosti nebo správnou rekonstrukci dynamiky střetu a určení pohybu vozidel před, při a po střetu. Nikdy se ale bohužel nelze vyhnout stanovení určitých mezí, v jejichž rámci se například nárazová rychlost s největší pravděpodobností nachází. To znamená, že není a nebude v dohledné době možné určit například zmiňovanou nárazovou rychlost přesně. Cílem, který sleduje tato práce, je zúžení těchto mezí tak, aby tvořily co možná nejužší pole, ve kterém se požadovaný výstup analýzy nehody bude nacházet.

Tato přesnost je obecně dána kvalitou zajištěných stop, tedy samozřejmě nejen naměřenými deformacemi na vozidle. Při dopravních nehodách docházelo dříve častěji ke vzniku stop pneumatik, které byly na vozovce viditelné. S jejich pomocí pak mohl být celkový průběh nehodového děje relativně přesně rekonstruován. V současné době je však vzniku těchto stop v mnoha případech zabráněno funkcí elektronických systémů, jako jsou ABS nebo ESP. Tyto systémy jsou dnes standardní výbavou moderních vozidel. Dalším problémem, který má stejnou příčinu, je obtížně určitelné místo střetu na vozovce. Opět by se mělo vycházet ze stop pneumatik, které však díky elektronickým systémům často chybí. Bez těchto trasologických stop není možné spolehlivě simulovat odvíjení nehodového děje jako celku.

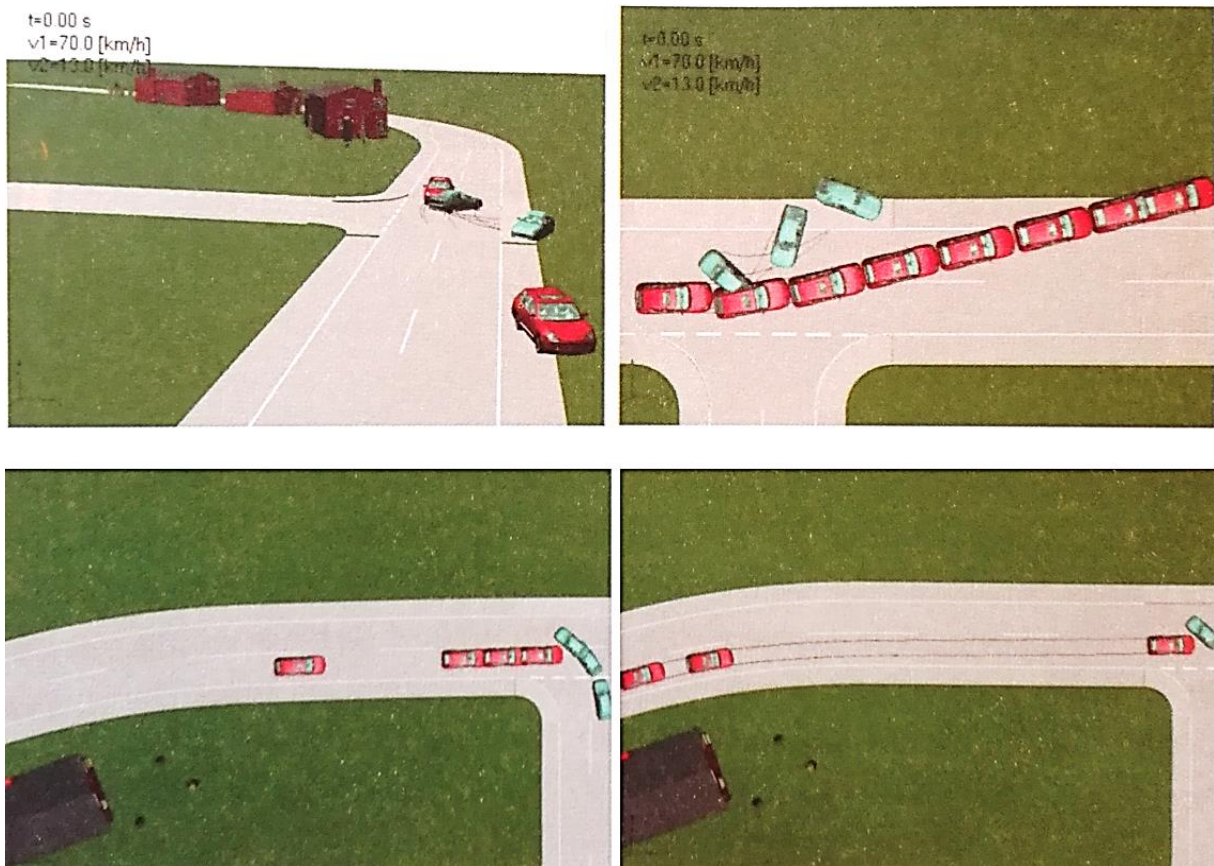
### 5.5.1 Příklad významu deformací vozidel v dnešní době

Rábek<sup>3</sup> popisuje střet vozidel Porsche a Renault, ke kterému došlo v křižovatce, ve které je povolená rychlost v důsledku špatného výhledu snížena na 70 km/h. Vozidlo Renault odbočovalo vlevo z vedlejší komunikace na hlavní. Po této hlavní komunikaci přijíždělo zleva vozidlo Porsche. Situace je znázorněna na *Obrázku 29*.

---

<sup>3</sup> RÁBEK, V. *Vybrané postupy analýzy dopravních nehod*. Olomouc: EDIS, Vydavatel'stvo Žilinské univerzity, 2009.



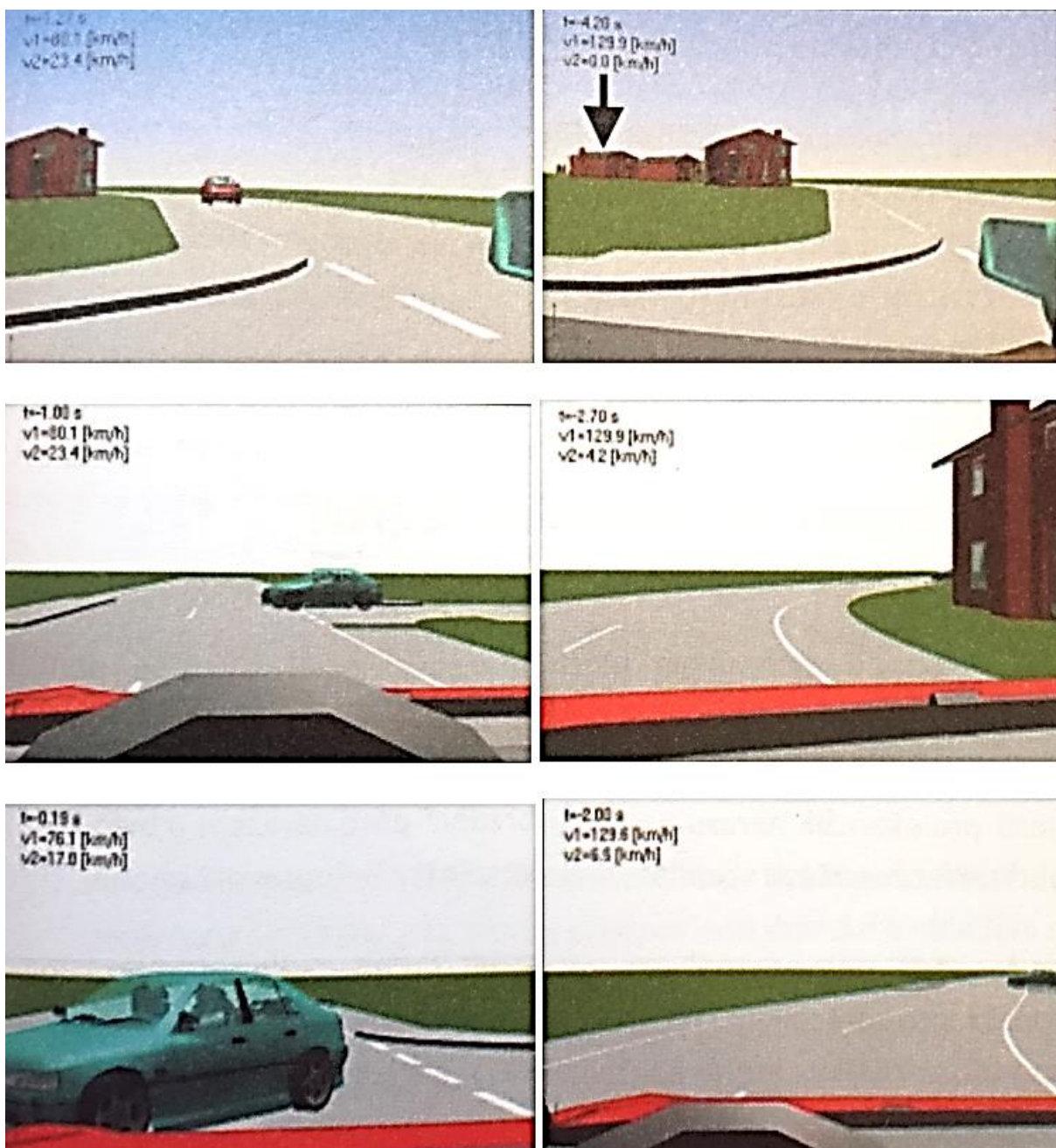


Obrázek 29 Střet vozidel Renault a Porsche [17]

Na základě analýzy výběhu a střetu byla nárazová rychlost vozidla Porsche stanovena na cca 70 km/h, vozidla Renault na cca 13 km/h. Bylo tedy konstatováno, že při střetu nedošlo k překročení nejvyšší povolené rychlosti. Nicméně výpovědi posádek obou vozidel se zásadním způsobem rozcházejí. Řidič vozidla Porsche uvedl, že vozidlo Renault provádělo odbočování vysokou rychlostí a tím způsobem najelo před jeho vozidlo. On pak měl stihnout pouze přemístit nohu na brzdový pedál, k brzdění už ale téměř nestihlo dojít. Posádka vozidla Renault naopak uvedla, že jejich vozidlo se rozjíždělo jen s nepatrným zrychlením a vozidlo Porsche se v jejich výhledu objevilo, když už byl odbočovací manévř v pokročilé fázi.

Oba zmíněné scénáře je možné graficky znázornit časově i prostorově. Je možné uvažovat interval pro odbočování vozidla Renault 1 s nebo také i 2,7 s. Nižší interval by mluvil ve prospěch tvrzení řidiče vozidla Porsche, protože ukazuje na razantní rozjezd vozidla Renault kombinovaný s prudkým brzděním tohoto vozidla bezprostředně před střetem. Uvažováním tohoto intervalu se stanoví původní rychlost vozidla Porsche na necelých 80 km/h. Naopak uvažováním vyššího časového intervalu by se dalo za pravdu posádce vozidla Renault. Vozidlo Porsche by se v takovém případě nacházelo v době zahájení manévru řidičem vozidla Renault v tak velké vzdálenosti, že by bylo pro řidiče vozidla Renault v zákrytu a ten by se tudíž nedopustil žádné chyby. Původní rychlost vozidla Porsche byla s uvažováním brzdění až

do střetové rychlosti stanovena na 130 km/h. Oba dva možné krajní scénáře jsou na *Obrázku 30*. Vlevo se objevuje varianta výhodnější pro řidiče vozidla Porsche, vpravo naopak varianta výhodnější pro řidiče vozidla Renault.



*Obrázek 30* Střet vozidel Renault a Porsche varianty [17]

Dopravní nehoda takového typu byla před zavedením asistenčních systémů bez potíží objasněna s pomocí blokovacích stop. Popsaný příklad má ilustrovat, jaký problém sebou nese dnešní stav. Buď brzdné stopy, nebo data z elektronických systémů vozidla by mohly potvrdit, resp. vyvrátit jeden ze dvou řečených scénářů a zásadním způsobem tak ukázat na příčinu (viníka) dopravní nehody. Je tedy možné říci, že se v tuto chvíli nacházíme v určitém mezidobí, které vytvořila elektronika využívaná v systémech vozidel. Na jedné straně se už musíme obejít bez viditelných brzdných stop, na straně druhé nemáme dostupná data, která sice jsou elektronickými systémy zaznamenávána, ale jejich získávání pro analýzu dopravních nehod je stále ještě v nedohlednu. Nastíněná perspektiva podporuje smysl této práce, která se snaží získat z deformací vozidla po nehodě co nejpřesnější data pro co nejpřesnější závěry. V tuto chvíli je to nejefektivnější způsob, jak zpřesnit výstupy analýzy dopravních nehod.

## 6 Popis navrhované metody a její automatizace

V této kapitole je popsán princip navrhované metody. Aby bylo možné pochopit následně pravidla, která je nutné dodržet, aby byla metoda funkční, je v této kapitole věnován prostor nejprve teorii fotogrammetrie. Je to vědní obor, kterého navrhovaná metoda využívá. Prostor, který je zde věnován teorii má především pomoci k pochopení podmíněnosti využití navrhované metody v praxi.

### 6.1 Teorie fotogrammetrie

Jedná se o vědní a technický obor, který se zabývá měřeními na fotografických snímcích a dalším zpracováním takto získaných informací. Mezi předmětem a snímkem tohoto předmětu existují dané geometrické vztahy. Ty je možné stanovit pomocí nástrojů k tomu určených, a to poččetně, graficky nebo mechanicky. Zejména je možné fotografické snímky proměřit a takto naměřené hodnoty zpracovat.

#### 6.1.1 Pojem fotogrammetrie

Pojem fotogrammetrie vznikl na základě složení řeckých slov *photos*, *gramma* a *metron*. *Photos* znamená světlo, *gramma* označuje to, co bylo napsáno nebo nakresleno, jinými slovy záznam a *metron* znamená měřit. Vznik pojmu fotogrammetrie vyplynul ze snahy pojmenovat proces měření fotografických snímků namísto přímého měření předmětů nebo objektů. Lze tedy říci, že se ve fotogrammetrii informace nezískávají přímým měřením předmětů, ale měřením jejich fotografických obrazů.

Historicky podmíněné základní rozdělení fotogrammetrie definuje pozemní (terestrickou) fotogrammetrii a leteckou (aerofotogrammetrie). Rozdíl je samozřejmě ve stanovišti pořizování fotografických snímků. Podle počtu snímků můžeme dále dělit fotogrammetrii na jednosnímkovou a vícesnímkovou. Z jednoho snímku je obecně možné určit dva rozměry fotografovaného předmětu. Je-li potřeba získat trojrozměrné informace, je nutné mít alespoň dva snímky, které jsou pořízeny z různých stanovišť.

#### 6.1.2 Využití fotogrammetrie

Snahy využít fotografii pro účely měření jsou téměř tak staré jako fotografie sama. Lze tedy říci, že historie fotogrammetrie už sahá 150 let do historie, protože, jak je uvedeno v práci *FOTOGAMMETRIE I. díl* [10], už zhruba 10 let po objevu fotografie byly prováděny první pokusy s měřeními na fotografických snímcích. Výhody této metody jsou zjevné. Především je to zkrácení doby práce v terénu a s tím související zachycení množství dat v jeden jediný okamžik. Jedná se o desítky až stovky milionů informací zachycených během zlomku vteřiny.



To umožňuje zachytit i předměty a objekty pohyblivé nebo proměnlivé. Ale především je možné data zpracovávat do posledního detailu v mnohem příznivějších podmínkách pro práci, než je tomu většinou u předmětů a objektů v terénu.

Díky tomu nachází fotogrammetrie uplatnění už desítky let nejen v oborech jako je geodézie, kartografie, lesnictví, zemědělství, archeologie. Jako tzv. blízká fotogrammetrie dále v medicínských oborech, architektuře, kriminalistice a v neposlední řadě právě při vyšetřování dopravních nehod. Jak je vidět, už několik desítek let je možné mluvit o využití fotogrammetrie při analýze dopravních nehod, přesto se toto využití zpravidla vztahovalo k jinému kroku analýzy dopravních nehod, než ke kterému ji má za cíl využít tato práce.

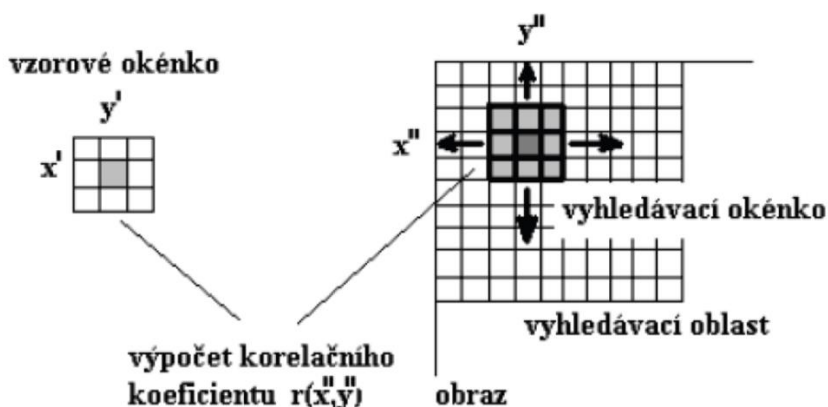
Díky rozvoji a dostupnosti výpočetní techniky je dnes fotogrammetrie vysoce rozvinutou technologií, která nachází stále širší uplatnění. Především díky digitálním fotoaparátům a speciálním a stále robustnějším fotogrammetrickým programům se zvláště blízká fotogrammetrie úspěšně aplikuje v dalších a dalších oborech lidské činnosti. Lze předpokládat, že tento trend bude pokračovat.

Díky dnešním technologiím se kromě výše zmíněných možností rozdělení začíná v odborných textech odlišovat tzv. tradiční fotogrammetrie od 3D skenování založeného na fotografii (v angličtině photo-based 3D scanning). Tradiční fotogrammetrie je z tohoto pohledu založena na reprodukci prostorových informací z určité skupiny předdefinovaných bodů. Vedle toho 3D skenování založené na fotografii nevyžaduje explicitní identifikaci bodů. Místo toho automaticky rozpoznává a označuje zřetelné rysy, které se objevují na překrývajících se fotografiích. Obě tyto cesty budou v práci zpracovávány. Jedná se o průsekovou metodu (software PhotoModeller) a metodu optické korelace (software Agisoft PhotoScan)

### **6.1.3 Metody fotogrammetrie**

Průseková metoda je svou podstatou nejstarší fotogrammetrickou metodou. Díky dnešním digitálním nástrojům se jí ale dostává aktuální pozornosti. Její princip je založen na protínání bodů na dvou a více snímcích. Předpokladem je pořízení fotografií z relativně vzdálených stanovišť, ale zároveň překrytí snímků tak, aby se vždy část snímaného objektu nacházela na více snímcích. Na fotografiích jsou následně označeny referenční body, díky kterým dojde ke spojení snímků a následnému výstupu v podobě mračna bodů v prostoru. Využití nachází průseková metoda převážně v pozemních aplikacích jako je tvorba 3D modelu památkových objektů nebo krajiny, v medicíně nebo průmyslu pro kontrolu kvality výroby. Její výhody jsou především jednoduchost, rychlost a relativní přesnost. Naopak nevýhodami může být problém s označením referenčních bodů (plynoucím z různého úhlu pohledu na ně) a potřeba velkého počtu snímků u složitých objektů.

Základní princip optických korelačních systémů je obrazová korelace. Ta má za cíl najít na dvou, příp. více snímcích, shodné body. Snímky musí zachycovat stejný objekt, nebo stejnou část objektu, ale musí být pořízeny z různých stanovišť. Aby mohl systém shodné body najít, je potřeba, aby se snímky příliš nelišily. Technika, jakou systémy vyhledávají shodné body, je znázorněna na *Obrázku 31*.



*Obrázek 31 Princip obrazové korelace [12]*

Na jednom snímku je vybrán bod, který by měl být nalezen i na druhém snímku. Pro možnost provést korelaci je potřeba rozšířit vyhledávání i na okolí bodu, jak je znázorněno na obrázku vlevo. Přičemž platí, že čím větší „vzorové okénko“, tím vyšší pravděpodobnost nalezení shodného bodu i na druhé fotografii. Na druhé straně ale se zvětšujícím se „vzorovým okénkem“ roste i požadavek na výpočet, potažmo doba výpočtu.

Systém předpokládá, že každý bod má určitým způsobem unikátní okolí. Proto na druhé fotografii pomocí „vyhledávacího okénka“, které má stejnou velikost jako „vzorové okénko“, prohledává po jednotlivých pixelech oblast, ve které předpokládá výskyt shodného bodu. Tzv. korelačním koeficientem, který nabývá hodnot  $-1$  (úplná neshoda) až  $+1$  (úplná shoda), je vyjádřena míra shody hledaného bodu na první a druhé fotografii. Tento korelační koeficient je určen pro každý pixel vyhledávané oblasti a jako shodný bod na druhé fotografii je určen pixel s nejvyšší hodnotou tohoto koeficientu.

Pro bod na první a druhé fotografii jsou určeny snímkové souřadnice a z nich následně vypočteny prostorové souřadnice aplikováním několika výpočetních algoritmů.

Většina moderních programů využívá do určité míry kombinaci popsaných postupů.



#### 6.1.4 Příklad využití fotogrammetrie pro měření deformací vozidla

V práci *Application of Photogrammetry in Forensic Science* [20] je uvedeno, že fotogrammetrie byla použita při měření deformací vozidla po crash testu provedeném na Fakultě dopravní ČVUT. Ilustruje hlavní výhodu této metody proti ostatním technikám, jakými jsou totální stanice, 3D skener nebo ruční měření. Touto výhodou je rychlý sběr dat na místě. V popisovaném případě bylo nutné data pro vyhodnocení získat během několika málo minut, protože po crash testu následovalo inscenované vyprošťování posádky, které mělo za následek následné masivní deformace vozidla. Byla zde použita jak průřezová metoda, tak metoda obrazové korelace. Pro průřezovou metodu bylo použito 26 fotografií, software PhotoModeller a pro vytvoření 3D modelu ještě software AutoCAD Autodesk. Pro metodu obrazové korelace bylo použito 64 fotografií. Software Agisoft PhotoScan určil přes 145 000 bodů a vytvořil 3D model. Podstatná zkušenost z popsaného měření je v kapitole zmíněna závěrem. Během měření byl deštivý den. Tyto podmínky neměly téměř žádný vliv na zpracovávání pomocí programu PhotoModeller (průřezová metoda), naopak pro zpracování programem Agisoft PhotoScan (metoda obrazové korelace) se jednalo o významný problém.

#### 6.1.5 Porovnání souvisejících metod

Obecně je možné optické korelační systémy zasadit mezi další dvě metody tvorby 3D modelu, kterými jsou laserové a triangulační skenování. Následně je pak možné v tomto porovnání zmínit výhody a naopak nevýhody popisované metody.

##### Výhody optických korelačních systémů

- Relativně nízká pořizovací cena technologie
- Možnost využití fotografického obrazu pro tvorbu textury modelu
- Krátká doba nutná pro práci v terénu
- Variabilita velikosti zpracovávaných objektů
- Jednoduchá manipulace (zařízení o nízké hmotnosti)
- Zpracování nevyžaduje vysokou úroveň zaškolení

##### Nevýhody optických korelačních systémů

- Potřeba dostatečného osvětlení objektu
- Alespoň dvě stanoviště pro vytvoření 3D dat
- Klesající přesnost se vzrůstající vzdáleností od objektu
- Nutnost nehomogenního povrchu objektu
- Vznik modelu probíhá až v kancelářských podmínkách
- Časová náročnost práce při editaci a výpočtu modelu
- Optické zkreslení v závislosti na použitém optickém snímači

### 6.1.6 Použité počítačové programy

Pro tuto práci byly použity dva rozšířené fotogrammetrické programy.

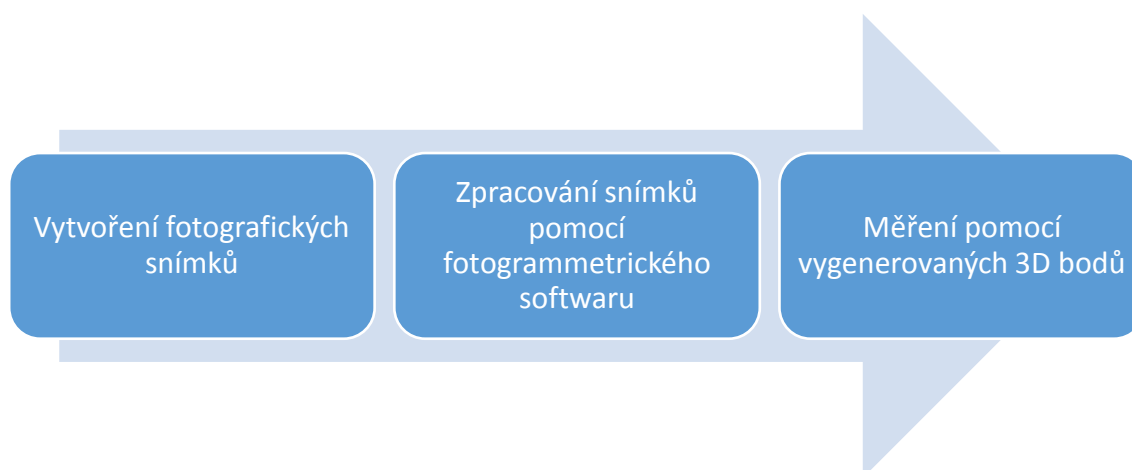
**PhotoModeller** je pravděpodobně nejrozšířenějším profesionálně využívaným fotogrammetrickým programem. Je určen jak pro leteckou, tak i pozemní fotogrammetrii. Umožňuje kalibraci komory, jednosnímkovou metodu, průsekovou metodu i automatické generování mračna bodů (DSM – dense surface modeling). Různá testování<sup>4</sup> se shodují v závěru, že program dosahuje dobrých a velmi spolehlivých výsledků.

**Agisoft PhotoScan** je program, který nachází uplatnění také v letecké i pozemní fotogrammetrii a je čím dál populárnější. Jeho největšími výhodami je kromě všestrannosti, přesnosti a spolehlivosti také jednoduchost a intuitivnost použití. Zmíněná testování deklarují vynikající přesnost modelu. Program dokáže zpracovat snímky i bez EXIF informací. Výpočet modelu probíhá automatizovaně, ale výsledky lze ovlivnit pomocí nastavitelných parametrů.

## 6.2 Princip navrhované metody

Princip navrhované metody má těžiště v požadavku, který byl pro zadání této práce nosný. Využívá technologií popsaných výše v této kapitole, aby umožnil docílit zvýšení přesnosti měření vozidel po nehodě a zároveň byl reálně využitelný bez extrémně zvýšené pracovní zátěže. To vše při zachování takových podmínek, které jsou při ohledání vozidel po nehodě běžné. Jak je i uvedeno v dalších kapitolách, bylo nutné nevyžadovat nějaké speciální nebo dokonce laboratorní podmínky.

Navrhovaná metoda spočívá ve třech krocích, které ukazuje *Obrázek 32*.



Obrázek 32 Postup navrhované metody

<sup>4</sup> BOHÁČ, O. *Optické korelační systémy - průzkum a zhodnocení aktuálního stavu*. Praha, 2014. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.

Všechny kroky jsou detailněji popsány v následující kapitole. Zde níže je pouze stručné objasnění uvedených tří kroků.

### **6.2.1 Vytvoření fotografických snímků**

Snímky je potřeba vytvořit v určité kvalitě, dostatečném počtu a v různých úhlech tak, aby bylo možné jejich zpracování v dalším kroku. Předmětem zkoumání je ideální počet snímků, jejich orientace a podmínky, které je potřeba při jejich pořizování dodržet. Konkrétní hodnoty a srovnání uvádí další kapitoly.

### **6.2.2 Zpracování snímků pomocí fotogrammetrického programu**

Pro zpracování fotografií byly určeny dva programy. Tím prvním je Agisoft PhotoScan, tím druhým PhotoModeler Scanner. Oba programy pracují v jistých ohledech odlišně, ale naopak spojuje je požadavek na určení bodů, které jsou shodné na různých vložených fotografiích (spojovací body). Především proveditelnost tohoto manuálního kroku a schopnost, s jakou zpracovávají fotografie nabouraných vozidel, byla předmětem hodnocení a optimalizace všech kroků navrhované metody.

### **6.2.3 Měření pomocí vygenerovaných 3D bodů**

Cílem této práce je navržení metody, která povede ke zpřesnění měření deformací vozidel po nehodě. Z tohoto pohledu je třetí krok tím, k čemu vše směřuje. Pojem měření ale může mít různé podoby. Může to být přímo měření ve vygenerovaném modelu, měření vzdáleností mezi určenými body na vozidle, přesnější znázornění deformace pomocí 3D modelu, nebo i možnost přenést model do jiného programu, který bude umožňovat následné zpracování. Tyto pohledy jsou předmětem zkoumání v následující kapitole vzhledem k tomuto třetímu kroku.

### 6.3 Automatizace metody

Ve druhé kapitole této práce je definován její cíl, který spočívá v návrhu metody, která bude vhodná pro měření deformací vozidel po nehodě, zachová stávající podmínky při ohledání vozidel soudně znaleckými postupy, ale zároveň zlepší výsledky, kterých je při ohledání havarovaných vozidel dosahováno. Aby bylo možné zachovat stávající podmínky při ohledání vozidla, je žádoucí, aby nebyl na osobu vykonávající toto ohledání kladen nárok na další kvalifikaci. Proto je na konec této kapitoly zařazen požadavek na automatizaci metody, která zároveň umožní její reálné využití.

V běžné praxi se ohledání vozidla se zaměřením na deformace skládá z pořízení fotografických snímků vozidla a jejich následné vyhodnocení v počítači. První krok vzhledem k podmínkám, ve kterých k ohledávání dochází, není dobře možné automatizovat. Druhý krok pak přepokládá využití některého z popsaných počítačových programů.

Agisoft PhotoScan umí provést kalibraci<sup>5</sup> fotoaparátu bez potřeby specifikace jakýchkoliv dalších informací, než které jsou obsaženy v rámci souboru fotografie, jak je uvedeno v práci *Optické korelační systémy – průzkum a zhodnocení aktuálního stavu* [2] v kapitole 2.6.1. Naopak software PhotoModeler Scanner se bez specifikování použitého přístroje a manuální kalibrace neobejde. Bylo by možné pouze vytvořit model sestávající z manuálně označených spojovacích bodů. Z pohledu automatizace metody je tedy vhodnější software Agisoft PhotoScan. Proto byla metoda navržena a popsána její aplikace v praxi s použitím právě tohoto programu.

Je tím umožněno automatizovat zmíněný krok metody, čímž je podmíněno její rutinní využití při dodržení univerzálního postupu. Tento postup je popsán v následující kapitole.

---

<sup>5</sup> Pomocí kalibrace se zjišťují vlastnosti použité fotografické komory. Určuje se konstanta komory, poloha hlavního snímkového bodu, radiálně-symetrické zkreslení, tangenciální a asymetrické zkreslení, afinita a nekolmost os souřadnicového systému a další přidavné parametry.

## 7 Verifikace navrhované metody

Na základě zkušeností z předchozí práce [1] byl vytvořen návrh metody, který je stručně popsán v předchozí kapitole. Tato kapitola obsahuje výsledky zpracování dat, která probíhala ve čtyřech etapách:

1. konzultace návrhu s odborníky z Výzkumu dopravní bezpečnosti
2. měření v praxi, zpracování dat a specifikace opravných návrhů
3. zkušební měření pro ověření použitelnosti opravných návrhů, zpracování dat
4. měření v praxi s využitím předchozích zkušeností, zpracování dat

V této kapitole je cílem předvést kontrolu proveditelnosti popsané metody při reálném použití. Je zde tedy popsána aplikace metody v reálné praxi a podrobně objasněn její postup.

### 7.1 Spojovací body

Jako nutnost se brzy ukázal požadavek na jednoznačné a přesné určení *spojovacích bodů*<sup>6</sup>. Jedná se o shodné body, které je možné označit na více fotografiích a tím určit především vzájemnou orientaci těchto snímků. Vzhledem k popsanému principu obrazové korelace je důležité, aby bylo možné body na fotografiích určit s vysokou přesností. Díky provedeným zpracováním je možné uvést, že je zavádějící představa, kdy na vozidle jsme schopni vždy nalézt jednoznačně určitelné a označitelné body. Problém spočívá v požadavku na velmi vysokou přesnost. Může se jednat na první pohled o jednoznačný bod na vozidle. Jak ale ukazuje *Obrázek 33*, při záměru označit, v ideálním případě, shodný pixel na fotografiích se u drtivé většiny takovýchto bodů dostaneme k relativně vysoké nepřesnosti. *Obrázek* ukazuje snahu označit vrchol klínu tvořený modrou páskou a dutinou pod blatníkem. Červená elipsa hrubě ukazuje možné pixely, které je možné za tento vrchol označit. Je vidět, že se jedná o mnoho desítek pixelů a tím pádem riziko relativně vysoké nepřesnosti.

---

<sup>6</sup> Fotogrammetrie rozlišuje body *spojovací* – využitelné pro spojení snímků, ale s neznámými souřadnicemi (nejsou zaměřené) – a body *vřícovací* – také využitelné pro spojení snímků, ale jsou zaměřené (dávají modelu orientaci a měřítko).



Obrázek 33 Určení spojovacího bodu bez použití kruhového terčíku

Je totiž potřeba uvědomit si, že tyto spojovací body zároveň pomáhají počítačovému programu určit i další parametry fotografie. Tím pádem je třeba dosáhnout co nejmenší chyby skutečně až na úrovni jednotlivých pixelů. Jako optimální řešení se jeví dočasné označení několika bodů kruhovými terčíky. Kruhový tvar zaručuje, že při označování středu se i v různých úhlech snímání (vertikálně i horizontálně) vždy bude jednat o tentýž bod, ať už to bude kruh nebo elipsa různého tvaru, jak ilustruje Obrázek 34. Při přiblížení na úroveň viditelnosti jednotlivých pixelů se pak snadno a přesně určí vždy střed těchto terčíků a to zajišťuje i při různých úhlech snímání vysokou přesnost v označení shodného bodů.



Obrázek 34 Určení spojovacího bodu s použitím kruhového terčíku



## 7.2 Parametry fotoaparátu

Pro účely této práce byly použity tři fotoaparáty, jak ilustruje *Tabulka 3*.

*Tabulka 3 Porovnání použitých fotoaparátů*

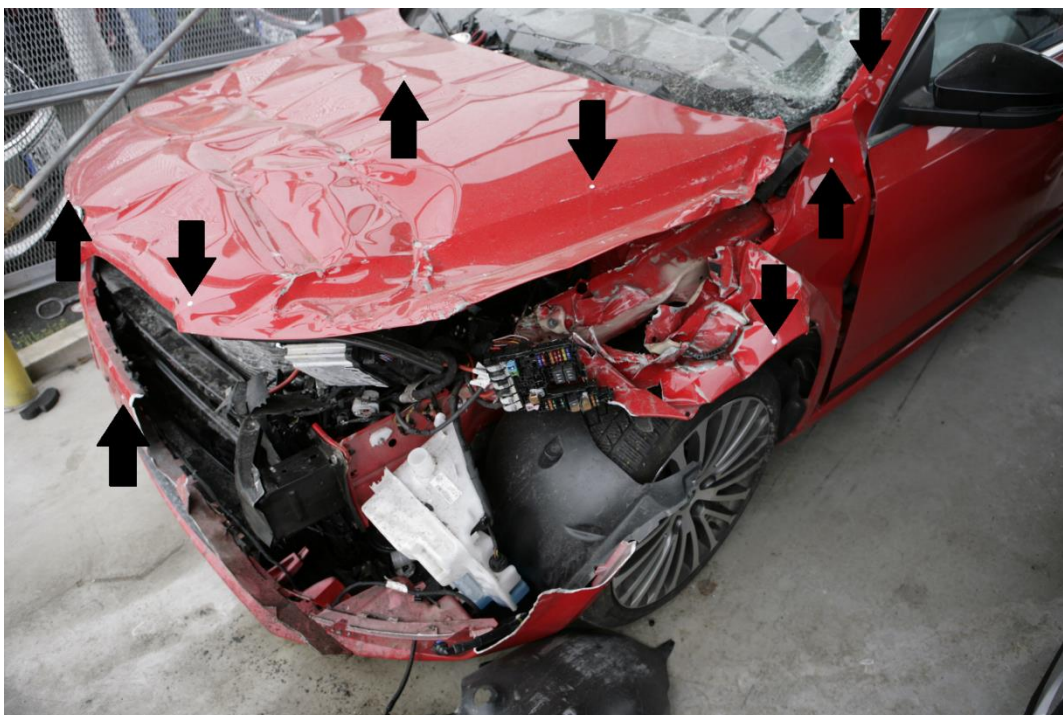
Výrobce	Model	Velikost snímáče	Ohnisková vzdálenost	Rozlišení
Canon	EOS 5D	36 x 24 mm	24 mm	12,7 Mpx
Canon	EOS 400D digital	25,1 x 16,7 mm	27 mm	10 Mpx
Huawei	NEM-L21	4,8 x 3,6 mm	3,8 mm	8 Mpx

Při zpracování dat z těchto tří aparátů se ukázal jako nejdůležitější parametr velikost snímáče, která souvisí i s ohniskovou vzdáleností. Při zpracování dat z Huawei NEM-L21 byla výpočetní doba shodné části vozidla násobně delší než při zpracování dat z obou zařízení Canon. Zároveň byl vytvořen model, který byl velmi hrubý a neumožňoval přesnější zkoumání deformace ani měření. Příčinou je digitální šum (zkreslení na úrovni jednotlivých pixelů), které je způsobeno malou velikostí snímáče, což komplikuje proces obrazové korelace a způsobuje nepřesnosti. Menší rozlišení (celkový počet pixelů fotografie) se projeví menším počtem generovaných bodů, což má vliv na přesnost (velikost) modelu, ale projevilo se jako menší problém. V práci byl tedy následně používán **Canon EOS 5D**, který má nejen nejvyšší rozlišení snímků, ale především největší velikost snímáče a tudíž nejmenší zkreslení.

## 7.3 Zásady pro pořizování fotografií

Aby bylo možné dostat deklarovanému, totiž, že budou zachovány výchozí podmínky ohledání vozidel po nehodě a přesto bude možné univerzálně prohlásit, že obrazová korelace bude úspěšná, je nutné stanovit určité podmínky pro pořizování fotografií. To, že musí být na fotografiích jasné spojovací body je zřejmé z předchozích odstavců. Ještě je však třeba doplnit, že je potřeba označit tyto body se záměrem viditelnosti na většině fotografií, aby mohly být skutečně označeny na různých fotografiích a opravdu určit vše potřebné pro obrazovou korelaci. Ilustrační fotografie je na *Obrázku 35*.

Spojovací body je vhodné rozmístit rovnoměrně po deformované části karoserie s přihlédnutím ke členitosti snímaného objektu. Jak ukazuje *Obrázek 35*, je vhodné několika spojovacími body označit deformovanou kapotu vozidla, ale alespoň jedním spojovacím bodem také blatník, A sloupek a přední nárazník. Počet spojovacích bodů by se měl pohybovat kolem deseti, jak ukazuje *Tabulka 4*.



*Obrázek 35 Vozidlo s označením spojovacích bodů*

Dále je třeba vyvarovat se zachycení stínů nebo výrazných odrazů různého okolí. Opět s odvoláním na popsany princip obrazové korelace může být problematické, pokud na některých fotografiích stín je a na jiných ne. Stejně tak je problematický výrazný objekt v odrazu, protože v různých pozicích pořizování fotografií bude tento odraz jiný. Odrazy je ovšem možné eliminovat s využitím polarizačního filtru. Problém, který může způsobit stín, ilustruje *Obrázek 36*.



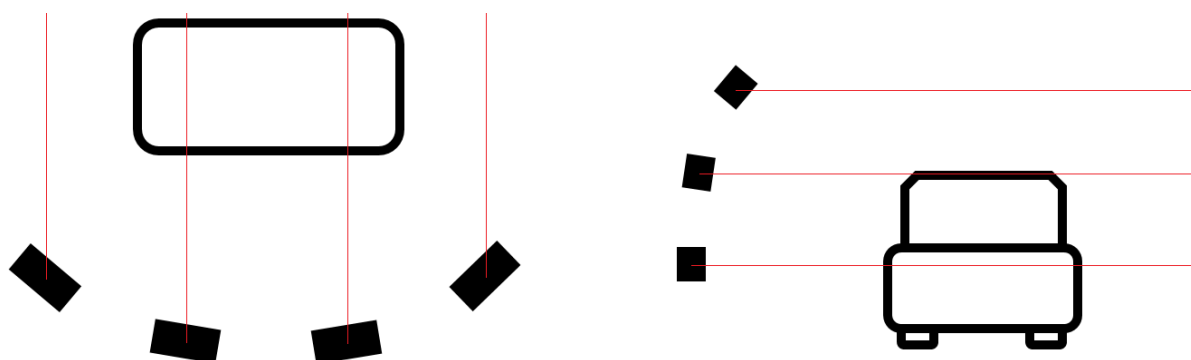
*Obrázek 36 Stín na vozidle při pořizování snímků*

Třetí zásadou pro pořizování fotografií je pak focení pouze toho objektu (vozidla), který chceme zkoumat. Případně té části objektu, kterou chceme vyhodnocovat. Jde o to, aby pomocí obrazové korelace nebylo zpracováváno široké okolí, což je zbytečné, zkreslující a může být matoucí pro výpočetní algoritmy i následné zpracování vytvořeného modelu nebo vygenerovaných bodů. Ilustruje to *Obrázek 37*, na kterém je na úkor přesnosti deformované části vozidla vidět zpracování širokého okolí ohledávaného vozidla. Může to sice poukazovat na možnost využít této metody i pro přesné zachycení místa a okolí dopravní nehody, ale to není předmětem této práce. Navíc požadavky by pro takový záměr byly výrazně odlišné.



*Obrázek 37 Vytvořený model při zachycení širšího okolí vozidla*

Důležité je také využít při pořizování snímků více než jednu úroveň horizontální i vertikální hladiny, jak ukazuje schéma na *Obrázku 38*. Účelem je zachycení deformace z různých úhlů, aby mohla být programem úspěšně vymodelována. Vhodné je pořídit krajní snímky pod úhlem zhruba  $90^\circ$  (v jedné horizontální hladině) a zbývající v tomto rozmezí.



*Obrázek 38 Různé vertikální a horizontální hladiny pro pořizování snímků*

Ideální počet fotografií se pohybuje v intervalu mezi 5 a 10 snímky pro jednu deformovanou stranu vozidla. Při zpracování menšího počtu fotografií dochází ke zkreslením a nepřesnostem, především z důvodu problematického určení deformované plochy karoserie, která je lesklá. Pro zpracování vyššího počtu snímků vyžaduje software vysokou výpočetní kapacitu, přitom už nedochází ke zdatelnému zlepšení přesnosti modelu. Uvedený počet fotografií vychází ze zkušeností při zpracování dat, které ilustruje *Tabulka 4*. Jsou v něm vybrané hodnoty získané při zpracovávání různých počtů pořízených snímků a s různým počtem označených spojovacích bodů. V posledním sloupečku je pak pro ilustraci přesnosti modelu počet vygenerovaných bodů v prostoru zaokrouhlený na tisíce. Tabulka zároveň ukazuje, že větší počet spojovacích bodů sice znamená větší časovou náročnost při jejich označování, ale na druhé straně zpravidla menší časovou náročnost při výpočtu modelu a také větší přesnost modelu reprezentovanou počtem vygenerovaných bodů v prostoru.

*Tabulka 4 Porovnání počtu zpracovávaných fotografií a časové náročnosti pro vytvoření modelu*

Počet foto	Počet spojovacích bodů	Časová náročnost označování spojovacích bodů	Časová náročnost výpočtu modelu*	Zaokrouhlený počet vygenerovaných bodů v prostoru
3	4	3 min	3 min	260 000
6	4	6 min	9 min	632 000
7	12	20 min	6 min	1 253 000
8	12	22 min	34 min	3 740 000
9	11	21 min	55 min	4 864 000
12	9	24 min	106 min	5 382 000

\*závisí na výpočetní kapacitě, zde pro porovnání

Shrnutím všech popsaných zásad lze konstatovat, že je nutné dodržet:

- zřetelné spojovací body (malé kruhové nalepovací terčíky)
- eliminace stínů a odrazů (úhel pořízení snímku, polarizační filtr)
- zachycení objektu (ohledávaného vozidla, resp. části karoserie) bez širokého okolí
- využití více horizontálních i vertikálních hladin (různé úhly fotoaparátu v obou směrech)
- použití snímků v počtu mezi 5 a 10 s parametry blízkými výše zmíněnému fotoaparátu

## 7.4 Postup zpracování v programu Agisoft PhotoScan

Jak bylo zmíněno výše, pro zpracovávání snímků byl vybrán (viz. kapitola 6.3) software Agisoft PhotoScan. Vyžadovaný postup je schematicky znázorněn na *Obrázku 39*. Dále je pak každý krok stručně popsán.



*Obrázek 39 Schéma postupu zpracování v programu Agisoft PhotoScan*

### 7.4.1 Import snímků

V levém sloupci je pod záložkou *Workspace* vyvolána pravým tlačítkem nabídka, ve které se označí možnost *Add Photos*. Následně se v adresáři vyhledají ty fotografie, ze kterých bude model zpracován.

### 7.4.2 Určení prvků vnitřní a vnější orientace<sup>7</sup>

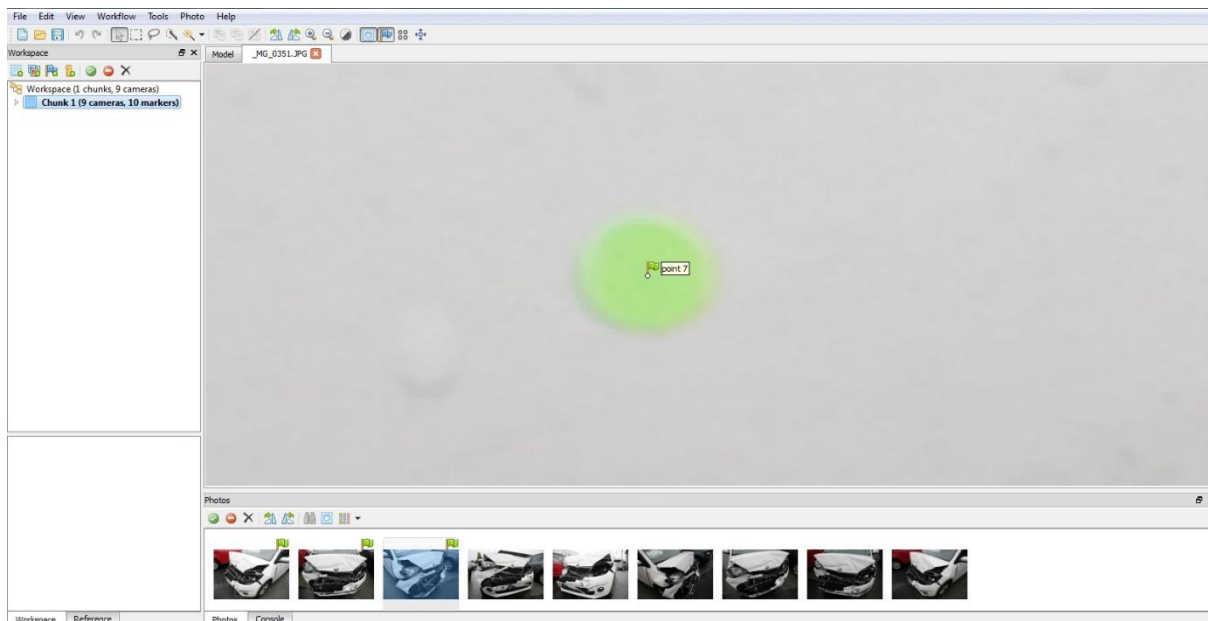
V horní liště je pod volbou *Workflow* možnost *Align Photos*. Je to funkce, která automaticky orientuje snímky. Je možné zvolit přesnost (*Accuracy*), s jakou jsou pak prvky vnější orientace odhadnuty. Vysoká přesnost (*High*) znamená, že software pracuje s plným rozlišením snímků. Možnost *Generic* v nabídce *Pair Preselection* určuje, aby byly odhadovány sousedící páry snímků. Zmíněné parametry jsou doporučeny.

<sup>7</sup> Prvky vnitřní orientace popisují geometrii paprsků uvnitř komory (souřadnice hlavního snímkového bodu a konstantu komory), prvky vnější orientace popisují polohu komory v prostoru a její směr záběru.



### 7.4.3 Označení spojovacích bodů na snímcích

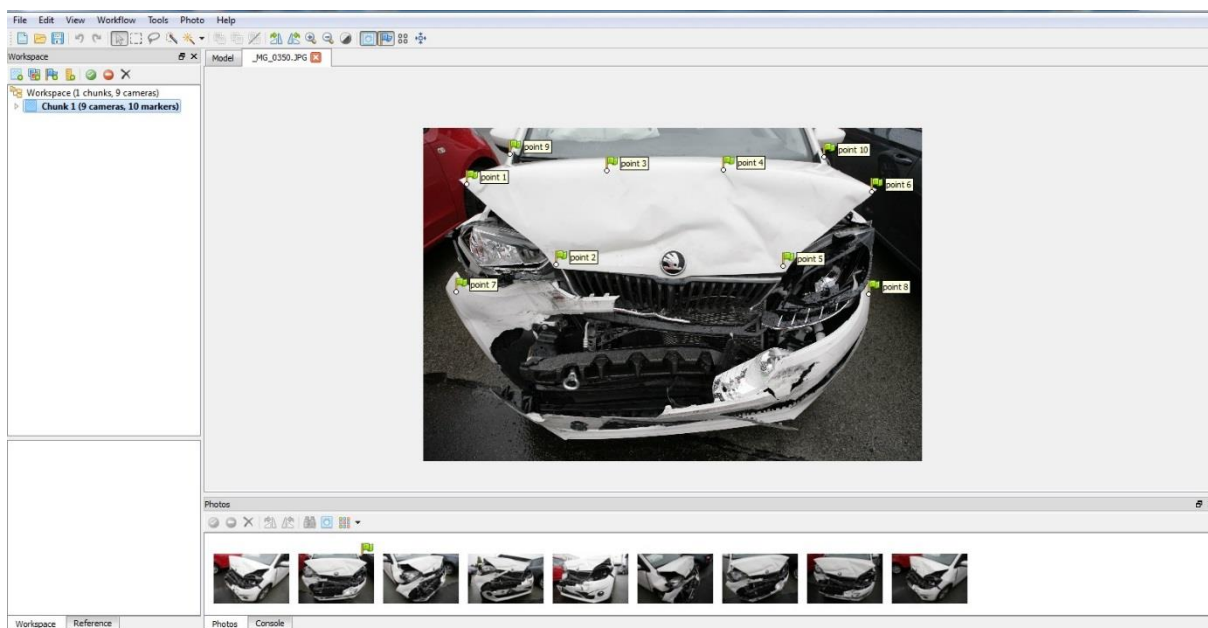
Na všech fotografiích je nutné manuálně určit jednotlivé společné body. Na první fotografii, na které jsou označovány, je ideální, pokud jsou viditelné všechny záměrné spojovací body. Na ostatních fotografiích se pak pouze přiřazují už vytvořené spojovací body. Je doporučeno vysoké přiblížení, aby byly spojovací body co nejpřesněji umístěny. Jak bylo zmíněno, ohledávané vozidlo bude označeno malými kruhovými terčíky, na nichž se vždy určí spojovací bod uprostřed, jak je znázorněno na *Obrázku 40*.



*Obrázek 40 Označení spojovacích bodů na snímcích*

Tento postup je relativně pracný, vyžaduje vysokou pozornost a jeho časová náročnost vychází pro zpracování jedné fotografie obsahující 9 spojovacích bodů na 2 min. Jak vypadá fotografie s označením všech spojovacích bodů, pak ilustruje *Obrázek 41* na další stránce.

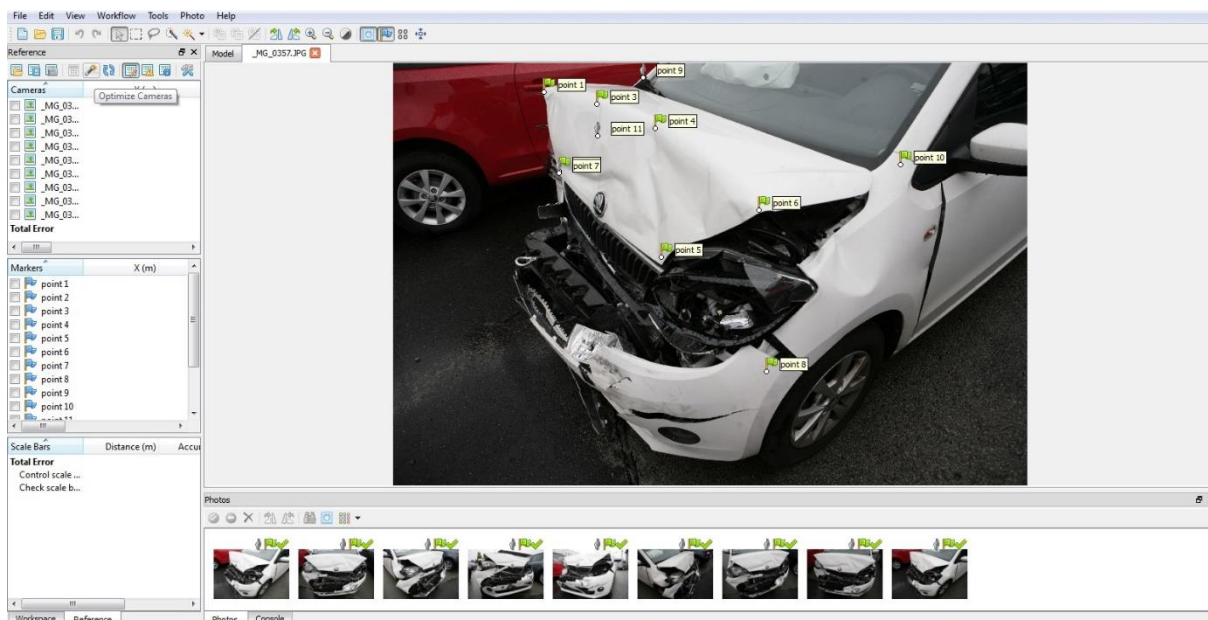




Obrázek 41 Fotografie s označenými spojovacími body

#### 7.4.4 Svazkové vyrovnání<sup>8</sup>

Následuje svazkové vyrovnání, které se provede přepnutím levého sloupce na kartu *Reference* a v horní části označením ikony pro funkci nazvanou *Optimize Cameras*, jak je vidět níže na *Obrázku 42*.



Obrázek 42 Svazkové vyrovnání

<sup>8</sup> V tomto kroku se počítají prvky vnější orientace, tj. vzájemná orientace a poloha snímků mezi sebou a vůči objektu. Jedná se o přípravu na vyhodnocení (rekonstrukci).

## 7.4.5 Vytvoření hustého mračna bodů

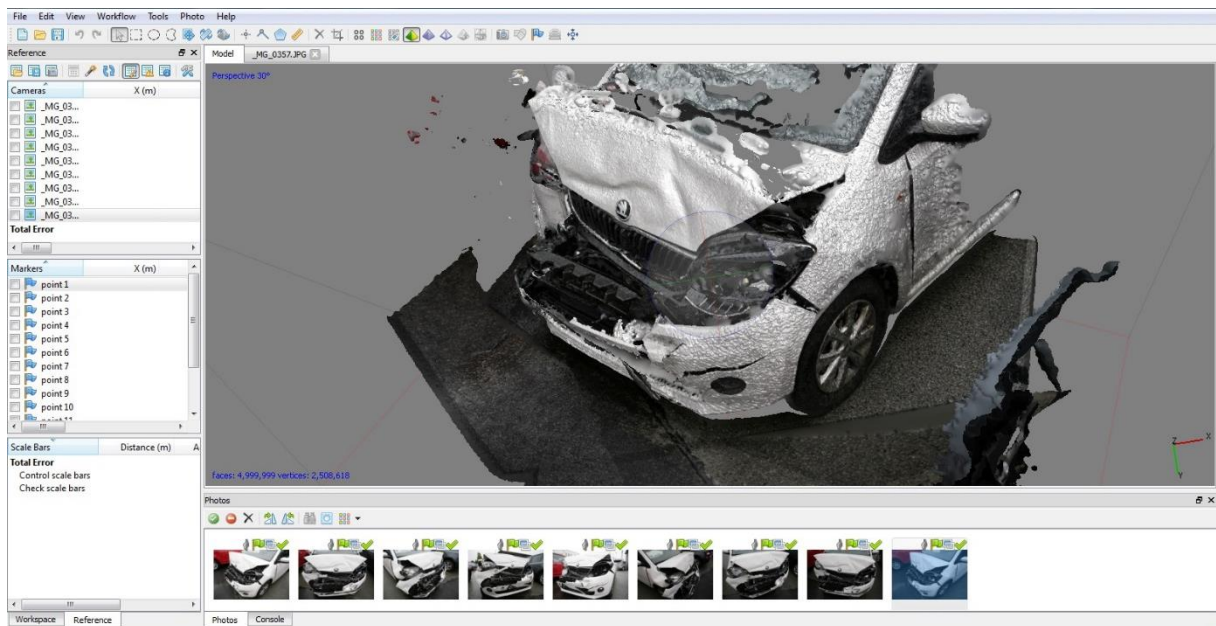
Opět v horní liště pod volbou *Workflow* se nachází funkce *Build Dense Cloud*, jak ukazuje *Obrázek 43* pod tímto odstavcem. Tato funkce vytvoří husté mračno bodů, tedy určí jejich souřadnice v prostoru. Je doporučena vysoká kvalita. Časová náročnost tohoto kroku je vidět v *Tabulce 4* ve sloupci *Časová náročnost výpočtu modelu*. Toto zpracování je samozřejmě plně automatické a vyžaduje pouze výpočetní kapacitu počítače.



*Obrázek 43 Vytvoření hustého mračna bodů*

## 7.4.6 Vytvoření polygonové sítě

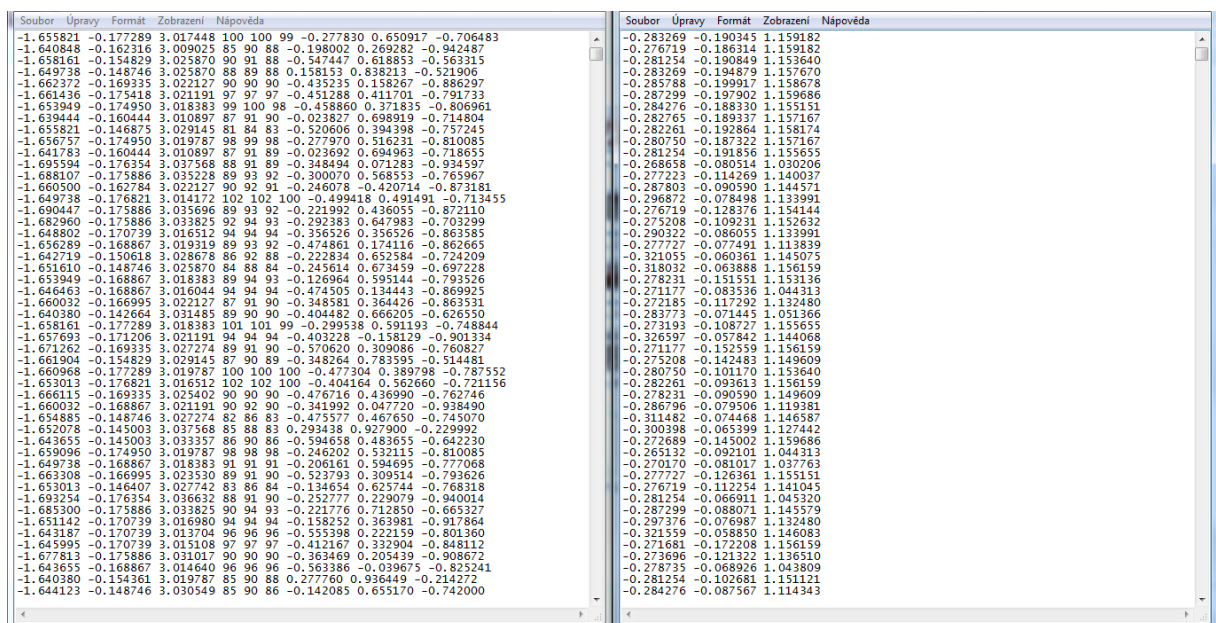
Stejně jako v předcházejícím kroku je tato funkce v horní liště pod volbou *Workflow* a nazývá se *Build Mesh*. Pro uzavřené objekty je určen typ *Arbitrary*. Tento krok je také výpočetně relativně náročný, ale časová náročnost je proti předchozímu kroku zanedbatelná. Dojde k tomu, že je vytvořena polygonová síť, což znamená v podstatě vytvoření obrovského počtu trojúhelníků spojujících vygenerované body. V práci s modelem to umožňuje věrnou představu o jednotlivých pozorovaných částech vozidla, jak ukazuje *Obrázek 44*. Tímto krokem by postup mohl končit. Nyní je možné prohlížení deformované části vozidla ve 3D a zároveň je možné využít nástroj měření vzdálenosti. Pro další a sofistikovanější práci s modelem je ale třeba provést ještě poslední krok, kterým je export bodů.



Obrázek 44 Vytvoření polygonové sítě

## 7.4.7 Export bodů

Tím, co rozšiřuje použití navrhované metody dál, než co je v této práci popsáno, je získání 3D souřadnic pro všechny vygenerované body. Jak ukazuje Obrázek 45, je možné generovat body včetně jejich barvy pomocí modelu RGB, případně včetně normály ke každému bodu (levá část obrázku), nebo jen souřadnice XYZ (pravá část obrázku).



Obrázek 45 Exportované 3D body vytvořeného modelu

## 8 Výsledky měření vozidel po crash testu

V této kapitole jsou prezentovány výsledky v takové podobě, která umožňuje přesnější hodnocení (měření) deformací vozidel. Náplň neodpovídá přesně názvu kapitoly z toho důvodu, že se nejedná o vozidla po crash testu, ale o vozidla po reálných nehodách. Původní záměr byl porovnat přesnost navrhované metody zpracování dat vozidla po crash testu, kde jsou velmi přesně změřeny veškeré deformace, se kterými by se přesnost této metody dala porovnat. Crash test, který měl proběhnout na Fakultě dopravní (a sloužit i pro účely této práce) byl nakonec zrušen. A vzhledem k tomu, že přístup k vozidlům po crash testech, které provádí Škoda-Auto podléhá utajení, bylo nakonec zvoleno zpracování pouze vozidel po nehodě.

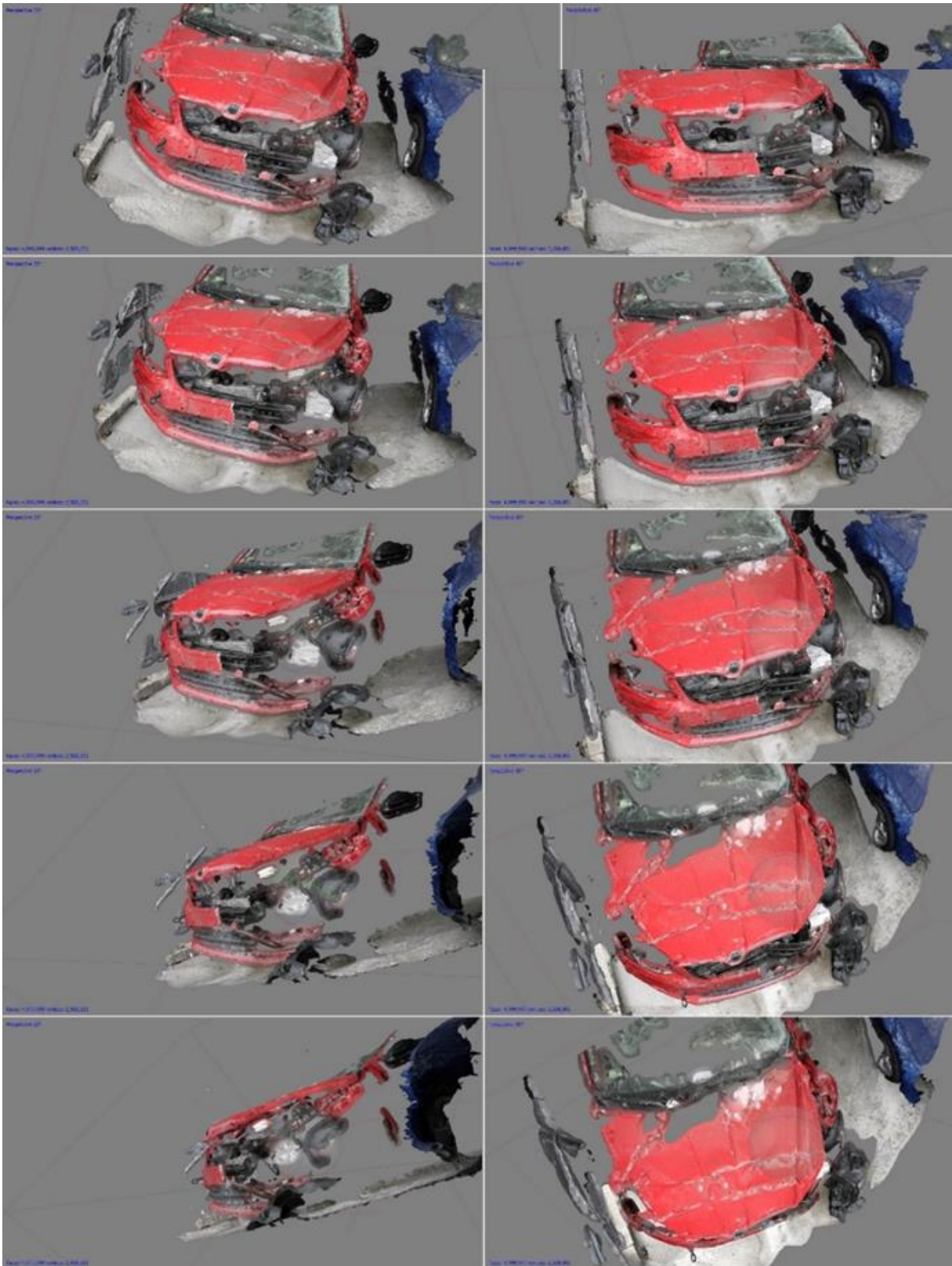
Výsledky navrhované metody je možné rozdělit do tří skupin.

1. Je možné využít prostorový model, který je vytvořen v programu Agisoft PhotoScan.
2. Je možné na tomto modelu přímo měřit v programu Agisoft PhotoScan.
3. Je možné vygenerované body následně zpracovávat v jiném počítačovém programu.

### 8.1 Prostorový model

Vygenerováním modelu z pořízených fotografií je získán relativně věrný prostorový model vozidla po nehodě. Ten může sloužit především k přesnějšímu modelování deformací vozidla v simulačním programu, ale také k detailnějšímu zkoumání jednotlivých částí vozidla. A to i dlouho poté, co bylo vozidlo ohledáno. Prvotní zkoumání může být zaměřeno na určité detaily, ale s odstupem času (například díky dodatečně získaným informacím) může vzniknout požadavek zaměřit se na jiný detail vozidla. Navíc toto všechno je možné v pohodlí kanceláře a samozřejmě již bez nutnosti ohledávané vozidlo mít fyzicky k dispozici. Trojrozměrný model je ilustrován na *Obrázku 46*.





Obrázek 46 Ilustrace 3D modelu vozidla (program Agisoft PhotoScan)

## 8.2 Měření modelu

Přímo na vygenerovaném modelu je možné provést měření vzdálenosti. Je ovšem třeba postupovat velmi pečlivě, protože software měří vzdálenosti bodů v prostoru. Postup měření tedy na prvním místě předpokládá, že budou body, které budou vzájemně proměřovány, jednoznačně určeny. To znamená především optimální úhel natočení modelu tak, aby nedošlo k chybnému označení bodů. Na druhé straně může tato možnost výrazně pomoci při modelování deformací v simulačních programech nebo dát spolehlivou informaci například o konkrétní hodnotě deformace určité části karoserie. Toto měření je velice rychlé a může sloužit i k pouhému ověření, zda k deformaci vůbec došlo. Ukázka měření vzdálenosti na vygenerovaném modelu je dále na *Obrázku 51*.

## 8.3 Export modelu

Třetím ze zmíněných výstupů navrhované metody je export modelu, principiálně získání prostorových souřadnic bodů. Výstupy ve formátu .txt jsou na *Obrázku 45*. Je možné exportovat souřadnice bodů i s informací o jejich barvě nebo normále. Podporované formáty jsou:

- Wavefront OBJ (\*.obj)
- Stanford PLY (\*.ply)
- XYZ Point Cloud (\*.txt)
- ASPRS LAS (\*.las)
- LAZ (\*.laz)
- ASTM E57 (\*.e57)
- Topcon CL3 (\*.cl3)
- ASCII PTS (\*.pts)
- Autodesk DXF (\*.dxf)
- U3D (\*.u3d)
- Adobe PDF (\*.pdf)
- potree (\*.zip)
- Agisoft OC3 (\*.oc3)

Následně je možné tato data zpracovávat ještě lépe, než umožňuje přímo prostředí programu Agisoft PhotoScan. Počet generovaných bodů modelu je ovšem obrovský, což má výhodu v přesnosti a podrobnosti modelu, ale zároveň vyžaduje opět určitou výpočetní kapacitu. Počet exportovaných bodů je v řádu jednotek milionů, jak ukazuje *Tabulka 4*.



## 9 Porovnání metod měření a diskuse uplatnění navrhované metody v praxi

Ve třetí kapitole nazvané *Metody měření deformací vozidel* jsou popsány různé možnosti měření vozidel po nehodě. V kapitole, která této zmíněné předchází, je popsán znalecký posudek v oboru analýzy silničních nehod, který ilustruje současnou praxi hodnocení deformací vozidel po nehodě. Hodnoty měření jsou zde spíše orientační (nepřesné). Na druhé straně při řízených nárazových testech dochází při ohledávání k měření velmi přesnému. Jedná se ovšem o laboratorní podmínky, se kterými se ohledávání vozidel po nehodě téměř nemůže srovnávat. Existuje tedy poměrně velká propast mezi měřeními vozidel po crash testech a vozidel po reálné nehodě. Jak bylo naznačeno, velkou překážkou oddělující tyto činnosti jsou především podmínky, ve kterých k ohledávání, resp. měření dochází.

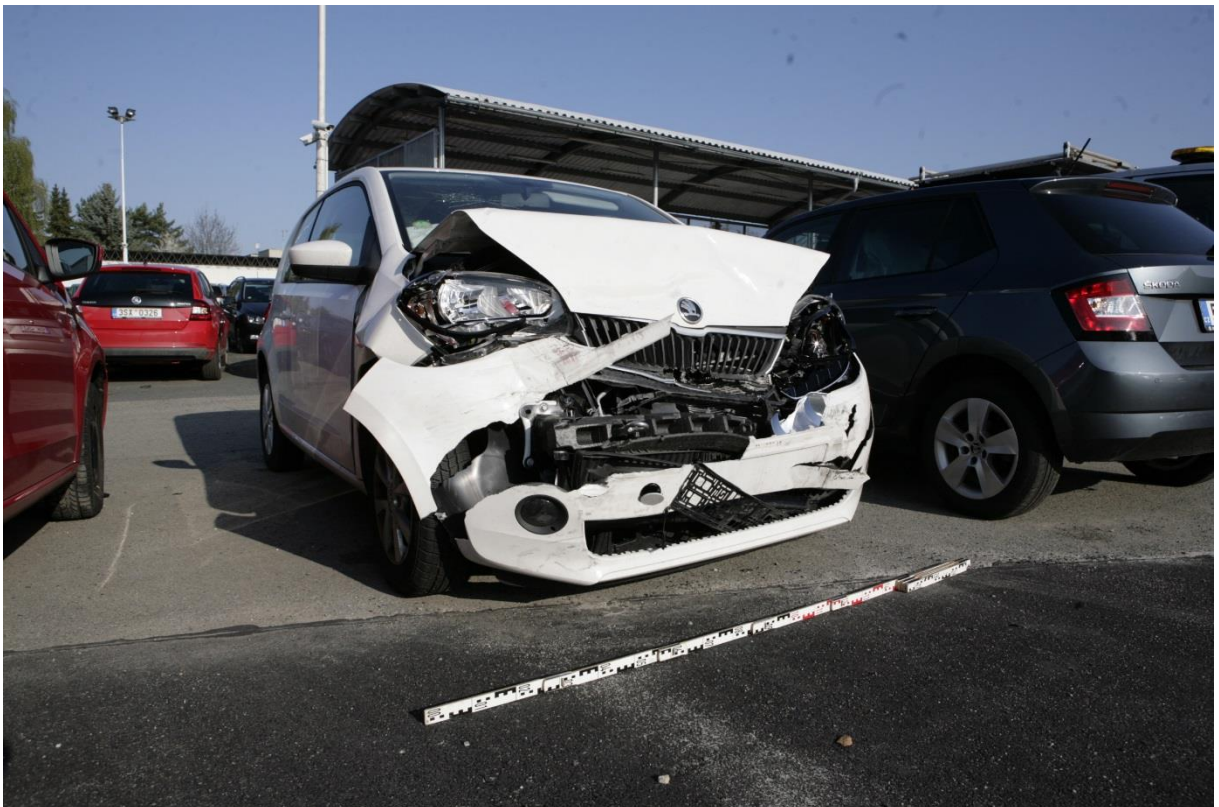
### 9.1 Vlastnosti navržené metody

Metoda navržená v této práci má za cíl zpřesnění měření vozidel po nehodě, ale zároveň zachování stávajících podmínek, při nichž k měření vozidel po nehodě dochází. Je tedy možné říci, že má za cíl překlenout propast zmíněnou v předchozím odstavci. A to do té míry, do jaké je to technicky možné. Jednou hranicí je realita, ve které k ohledání vozidel dochází. Jde zde především o různé okolí vozu, různé podnebí, různou světelnost, nemožnost měnit vlastnosti lesklého povrchu a omezený čas, po který lze vozidlo ohledávat. Druhou hranicí je pak technologie, jejíž možnosti jsou sice v dnešní době velké, ale technologie vhodná pro měření vozidel po nehodě má v reálném prostředí limity, které její běžné použití zatím vylučují. Je možné podmínky přizpůsobovat těmto technologiím, ale při potřebě opačného postupu je to právě tím limitujícím faktorem.

V předchozí kapitole je na *Obrázku 45* znázorněn pohyb modelu vytvořeného navrženou metodou. Při jeho srovnání s *Obrázkem 47* je zjevné, že názornost deformace může být na fotografii lépe viditelná, než na vygenerovaném modelu. Většinou je však při analýze silničních nehod hledanou hodnotou maximální deformace vozidla. A ta může být na místě obtížně stanovitelná. Výhoda navrhované metody proti běžné praxi je v tom, že umožňuje analyzovat místo maximální deformace a následně ho i měřit (případně modelovat) kdykoliv v kanceláři. Názornost výhody vygenerovaného modelu ilustruje i deformace, která je zachycena na *Obrázku 48*.



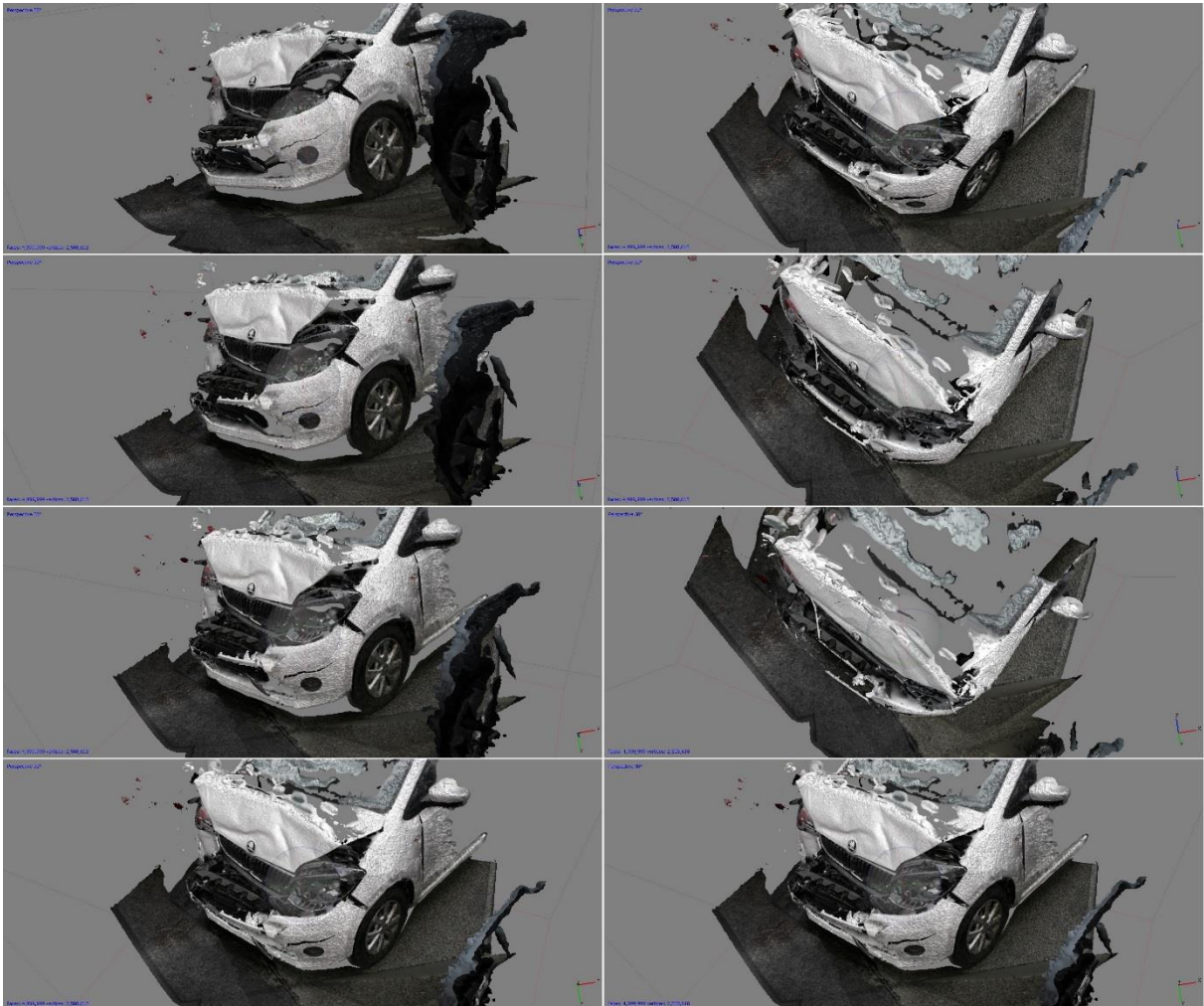
Obrázek 47 Fotografie s přiloženým metrem (Octavia)



Obrázek 48 Fotografie s přiloženým metrem (Citigo)



Porovnáním posledně zmíněného obrázku s následujícím *Obrázekem 49* je ilustrována větší flexibilita modelu při hodnocení celkové deformace i při dílčích měřeních jednotlivých částí vozidla. Natočením modelu vozidla může být dosaženo půdorysného zobrazení nebo bočního zobrazení vozidla tak, aby byla velikost deformací zjevnější. Toho lze samozřejmě dosáhnout i pořízením fotografií s patřičných směrů, ovšem půdorysné fotografování vozidla bude většinou nepoměrně náročnější kvůli potřebě fotografovat z velké výšky. Navíc není zanedbatelná ani názornost modelu při jeho pohybu.

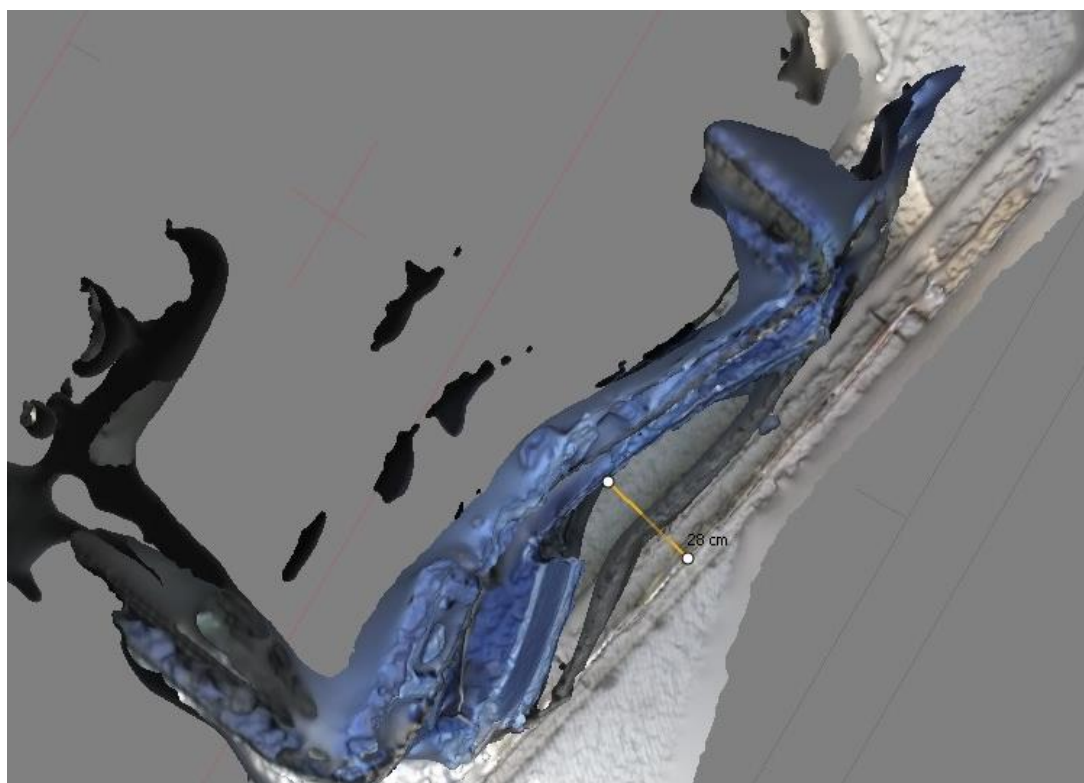


*Obrázek 49 Ilustrace 3D modelu vozidla Citigo*

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, program Agisoft PhotoScan umožňuje měření vzdáleností přímo ve vygenerovaném modelu. Srovnání konvenční metody, při které se hodnota deformace odečítá z fotografie za pomoci přiloženého metru a měření pomocí modelu ukazují obrázky na následující straně, *Obrázek 50* a *Obrázek 51*.



Obrázek 50 Fotografie s přiloženým metrem (Rapid)



Obrázek 51 Ukázka měření vzdálenosti (Agisoft PhotoScan)

Porovnáním metody fotografií s přiloženým metrem, navrhované metody v této práci a metody přímého měření na ohledávaném vozidle (např. pomocí laserového měřiče vzdálenosti) vznikla *Tabulka 5*. Zkreslovat výsledky může problematické stanovení referenční plochy, vůči které se deformace měří, což je ovšem společné pro všechny tři metody. Nejlépe se se zmíněným problémem vyrovná optické nebo laserové skenování. Ovšem řešením je i využití navrhované metody pro export bodů, které lze následně velmi přesně porovnávat s modelem vozidla v jiném počítačovém programu.

*Tabulka 5 Porovnání měřených hodnot při různých metodách měření*

<b>Určení maximální deformace</b>				
Metoda / model vozidla	Rapid		Citigo	
	hodnoty	odchylka	hodnoty	odchylka
Fotografie s přiloženým metrem	40 cm	48%	20 cm	11%
Navrhovaná metoda v této práci	28 cm	4%	17 cm	6%
Měření na místě	27 cm	0%	18 cm	0%

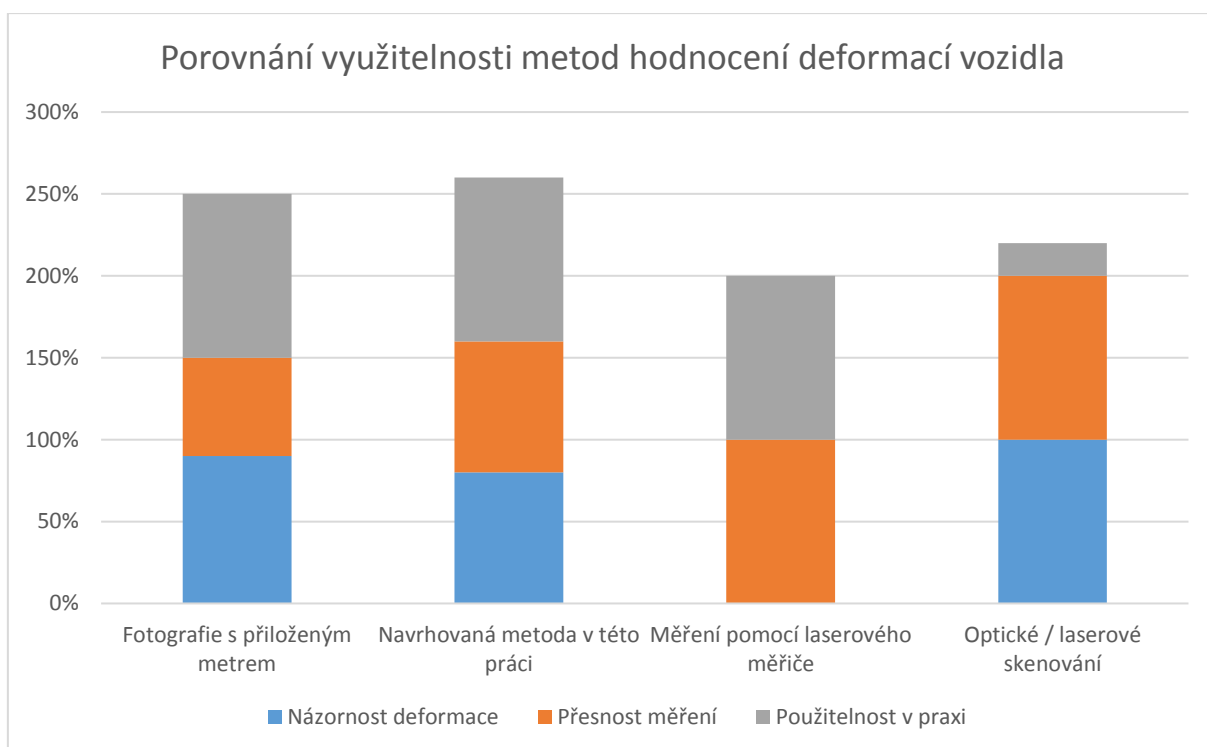
## 9.2 Porovnání navržené metody s ostatními

Navrhovaná metoda je způsobem ohledání vozidla velice blízká konvenční metodě pořizování fotografií s přiloženým metrem a zároveň je svým výstupem nejbližší optickému nebo laserovému skenování. To první z ní činí reálně použitelný nástroj, to druhé dává přesnější výsledky, než běžné fotografie. Nejvýstižnější je tedy tvrzení, že navrhovanou metodu lze zasadit mezi konvenční soudně znalecké postupy ohledání vozidel a různé technologie skenování. Principem práce v terénu se od konvenční metody liší jen zásadami pro pořizování fotografických snímků, ať už se jedná o jejich dostatečný počet nebo části vozidla, které jsou fotografovány. Použití dřevěného metru na fotografiích je navíc zbytečné. Jediný zvýšený požadavek je tedy instalace malých kruhových terčů v kontrastní barvě vůči ohledávanému vozidlu, aby bylo následně možné přesně označit spojovací body. Kromě vstupního investování do programu Agisoft PhotoScan a zvýšené pracnosti v kanceláři se jedná o jedinou činnost navíc. Naopak výsledky po zpracování jsou nesrovnatelně názornější, přesnější a využitelnější. Téměř jako zmiňované metody skenování, které ale mají mnohem větší pracnost i vstupní a provozní náklady a především nejsou univerzálně použitelné. Na základě zkušeností z ohledávání vozidel a zpracovávání dat byla vytvořena *Tabulka 6*, která zohledňuje tři kritéria – názornost deformace, přesnost měření a použitelnost v praxi. Na základě ohodnocení těchto kritérií pak stanovuje schopnost využití zmíněných metod, což ilustruje i *Obrázek 52*.



Tabulka 6 Porovnání metod měření s ohledem na názornost, přesnost a využitelnost

Metoda	Názornost deformace	Přesnost měření	Použitelnost v praxi	Průměr
Fotografie s přiloženým metrem	90%	60%	100%	83%
Navrhovaná metoda v této práci	80%	80%	100%	87%
Měření pomocí laserového měřiče	0%	100%	100%	67%
Optické / laserové skenování	100%	100%	20%	73%



Obrázek 52 Graf porovnání využitelnosti metod hodnocení deformací vozidla

### 9.3 Uplatnění navrhované metody v praxi

U navrhované metody byl od počátku sledován požadavek na reálnou využitelnost v praxi. Je to ilustrované i předchozími odstavci v této kapitole. Kromě výše zmíněného je velkou praktickou výhodou také uchování přesného prostorového modelu nabouraného vozidla, který může zodpovědět vzniklé otázky ještě dlouho po tom, co bude vozidlo ohledáváno a tedy v době, kdy už bude sešrotováno nebo opraveno. Vrátime-li se k úvodu této práce, lze říci, že pro tým Výzkumu dopravní bezpečnosti má tato metoda široké možnosti uplatnění. V neposlední řadě umožňuje porovnat nabourané vozidlo v jakémkoliv 3D modelovacím programu s vozidlem nepoškozeným, což otevírá další možnosti, které je možné při analýze dopravních nehod využít.

## 10 Závěr

Cílem této práce bylo navržení metody, která bude prakticky využitelná pro měření deformací vozidel po nehodě a aplikace této metody v reálné praxi. Autor práce využíval předcházejících zkušeností s návrhem metody pro měření vozidel, dlouhodobé spolupráce s týmem Výzkumu dopravní bezpečnosti Škoda-Auto a rozvoje fotogrammetrie v jiných technických oborech. Byla zde navržena metoda s důrazem na praktickou využitelnost při analýze silničních nehod za současného zpřesnění výsledků. Tato metoda byla v popsanych krocích aplikována v praxi.

Autor velmi důkladně zmapoval oblast analýzy silničních nehod a upozornil na současné problémy v této oblasti. Díky tomu zasadil navrhovanou metodu do vytvořeného kontextu a zároveň poukázal na okolnosti, které podporují význam takto navržené metody. Velkým přínosem této práce je především reálná využitelnost výsledků, která umožňuje v první řadě zpřesnění měření, ale zároveň i lepší znázornění deformace vozidla a další možnosti zpracování získaných dat. Existuje nemalá pravděpodobnost, že navrhovaná metoda bude zasazena do rutinních postupů při zpracovávání dopravních nehod. I autor, který se dopravními nehodami již profesně zabývá, věří, že poznatky z této práce využije při svých dalších činnostech.

Metoda vychází ze zmapování současného stavu problematiky analýzy silničních nehod a z principů fotogrammetrie, jejíž využití je v poslední době rozšiřováno. Těžištěm navržené metody je pořizování fotografických snímků, které jsou, za dodržení určitých pravidel, zpracovány ve fotogrammetrickém softwaru a výsledkem je 3D model, na kterém lze přímo provádět měření, případně je možné použít některý z jiných popsanych výstupů a model dále zpracovávat. Při návrhu metody byly aplikovány principy, které jsou využívány především ve stavebních oborech. A byly použity nástroje, které jsou právě pro tyto obory určeny. Jedná se tedy o unikátní přístup, byť vychází z již dlouho známého technického poznání, unikátní je způsobem jeho využití.

# 11 Požité zdroje

## 11.1 Literatura

- [1] RECHNER, O. *Metoda hodnocení bočního nárazu vozidla*. Praha, 2014. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta.
- [2] BOHÁČ, O. *Optické korelační systémy - průzkum a zhodnocení aktuálního stavu*. Praha, 2014. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [3] BRADÁČ, A., KLEDUS, M., KREJČÍŘ, P., a kol. *Soudní znaleství*. Brno: Akademické nakladatelství Cerm, s. r. o., 2010. ISBN: 978-80-7204-704-8.
- [4] DIBELKA, J. *Analýza dopravních nehod – Softwarové simulace*. Praha, 2012. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znaleství v dopravě.
- [5] HLAVÁČ, P. *Aplikace výpočetní techniky při analýze dopravních nehod*. Zlín: 2011. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky.
- [6] HLAVŮNĚK, I. *Využití laserového skeneru pro měření deformací karoserií osobních vozidel po dopravní nehodě*. Pardubice, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [7] KOVANDA, J. a kolektiv. *Bezpečnostní aspekty návrhu dopravních prostředků*. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství, 2016. ISBN: 978-80-01-05893-0
- [8] KRAMER, F. *Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen: Biomechanik - Simulation - Sicherheit im Entwicklungsprozess*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2008. ISBN 978-3-8348-9042-9.
- [9] KUBEŠ, T., PAVLATA, P., a kol. *Znalecký posudek č. 362/2015*, DEKRA CZ a.s., Praha: 2015.
- [10] MARŠÍK, Z. *FOTOGRAMMETRIE I. díl Základy letecké fotogrammetrie*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1982. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [11] OPAT, J. *Vybrané metody měření tvaru a deformace ploch a jejich rekonstrukce*. Praha, 2015. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [12] PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 2*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04719-4.
- [13] PORADA, V. a kolektiv. *Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi*. Praha: Linde, 2000. ISBN 80-72012-12-6.
- [14] PRŮŠEK, O. *Analýza metod měření deformací na vozidlech při nárazových zkouškách*. Pardubice, 2008. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [15] *Přehled o nehodovosti na pozemních komunikacích v České republice za rok 2016*. Praha: Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, 2017.
- [16] RÁBEK, V. *Analýza příčin vzniku a průběhu škodných událostí v oboru pojištění motorových vozidel*. Olomouc: Vlastimil Rábek, 2012. ISBN: 978-80-904944-0-4.

[17] RÁBEK, V. *Vybrané postupy analýzy dopravních nehod*. Olomouc: EDIS, Vydavatel'stvo Žilinskej univerzity, 2009.

[18] SEIFFERT, U., WECH, L. *Automotive Safety Handbook*. Warrendale, USA: SAE International, 2003. ISBN: 1-86058-346-6

[19] SCHMIDT, D. *Softwarové simulace a analýzy dopravních nehod*. ČVUT, Fakulta dopravní, Ústav mechaniky a materiálů, Praha: 2007.

[20] SVATÝ, Z. *Application of Photogrammetry in Forensic Science*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. ISBN:978-3-659-54411-8

## 11.2 Internetové zdroje

[21] BESIP, Historie bezpečnosti vozidel v Evropě. *ibesip.cz* [online] © 2012. [cit: 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/cz/ridic/bezpecne-vozidlo/moderni-technologie-vozidel/zajimavosti/historie-bezpecnosti-vozidel>.

[22] ČECH, J. *Pasivní bezpečnost*. [online]. 2005 [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: <http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=419>.

[23] PC CRASH, PC CRASH program pro analýzu dopravních nehod. *pccrash.cz* [online] © 2009. [cit: 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.pccrash.cz>.

[24] SDRUŽENÍ AUTOMOBILOVÉHO PRŮMYSLU, Vývoj nehodovosti na českých silnicích. *autosap.cz* [online] © 2012-2017. [cit: 2017-02-23]. Dostupné z: <http://www.autosap.cz/dalsi-informace/nehodovost-na-ceskych-silnicich>.

[25] ŠKODA-AUTO, Výzkum dopravní bezpečnosti. *skoda-auto.cz* [online] © 2017. [cit: 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/o-spolecnosti/vyzkum-dopravni-bezpecnosti>.

## 12 Seznam obrázků

Obrázek 1 Vývoj počtu registrovaných vozidel kategorie M1 v České republice mezi lety 1980 a 2015.....	12
Obrázek 2 Vývoj počtu dopravních nehod šetřených Policií ČR mezi lety 1980 a 2015 .....	12
Obrázek 3 Vývoj počtu usmrcených osob při dopravních nehodách v České republice mezi lety 1980 a 2015 .....	13
Obrázek 4 Vývoj počtu nehod připadajících na 1.000 registrovaných vozidel kategorie M1 v České republice mezi lety 1980 a 2015 .....	13
Obrázek 5 Vývoj počtu usmrcených osob připadajících na 100.000 registrovaných vozidel kategorie M1 v České republice mezi lety 1980 a 2015.....	14
Obrázek 6 Vývoj počtu usmrcených osob připadajících na 1.000 nehod šetřených Policií ČR v České republice mezi lety 1980 a 2015.....	14
Obrázek 7 Ekonomické dopady dopravních nehod [7].....	15
Obrázek 8 Oblasti zaměření výzkumu v oblasti dopravních nehod [8].....	16
Obrázek 9 PC Crash [Zdroj: pccrash.cz] .....	19
Obrázek 10 Virtual Crash [Zdroj: balesetelemzes.hu] .....	20
Obrázek 11 Obsah znaleckého posudku.....	21
Obrázek 12 Situační plánek nehody [9].....	23
Obrázek 13 Fotodokumentace ze znaleckého posudku [9].....	24
Obrázek 14 Korespondence poškození vozidel (automobil) [9].....	27
Obrázek 15 Korespondence poškození vozidel (motocykl) [9] .....	28
Obrázek 16 Diagram dráha-rychlost [9].....	29
Obrázek 17 Střetová poloha [9].....	30
Obrázek 18 Fotografie s přiloženým metrem.....	32
Obrázek 19 Optický skener [Zdroj: mcae.cz] .....	32
Obrázek 20 Laserový skener [Zdroj: robotshop.com].....	33
Obrázek 21 Sestava pro měření s využitím laserového měřiče vzdálenosti.....	34
Obrázek 22 Metoda s červenou tečkou .....	35
Obrázek 23 Porovnání deformované části s nedeformovanou .....	35
Obrázek 24 Řez deformovanou částí vozidla .....	36
Obrázek 25 Materiály karoserie Volvo V70 [7] .....	38
Obrázek 26 Materiály karoserie Volkswagen Golf [7].....	39
Obrázek 27 Deformační zóny Škoda Octavia [Autor fotografie: BEDNÁŘ, M.].....	40
Obrázek 28 Absorpce nárazové energie jednotlivými částmi vozidla [18] .....	41
Obrázek 29 Střet vozidel Renault a Porsche [17] .....	43
Obrázek 30 Střet vozidel Renault a Porsche varianty [17] .....	44
Obrázek 31 Princip obrazové korelace [12] .....	48
Obrázek 32 Postup navrhované metody .....	50
Obrázek 33 Určení spojovacího bodu bez použití kruhového terčíku.....	54
Obrázek 34 Určení spojovacího bodu s použitím kruhového terčíku.....	54
Obrázek 35 Vozidlo s označením spojovacích bodů .....	56
Obrázek 36 Stín na vozidle při pořizování snímků.....	56
Obrázek 37 Vytvořený model při zachycení širšího okolí vozidla .....	57
Obrázek 38 Různé vertikální a horizontální hladiny pro pořizování snímků .....	57
Obrázek 39 Schéma postupu zpracování v programu Agisoft PhotoScan .....	59
Obrázek 40 Označení spojovacích bodů na snímcích .....	60
Obrázek 41 Fotografie s označenými spojovacími body.....	61



Obrázek 42 Svazkové vyrovnání .....	61
Obrázek 43 Vytvoření hustého mračna bodů .....	62
Obrázek 44 Vytvoření polygonové sítě .....	63
Obrázek 45 Exportované 3D body vytvořeného modelu.....	63
Obrázek 46 Ilustrace 3D modelu vozidla (program Agisoft PhotoScan).....	65
Obrázek 47 Fotografie s přiloženým metrem (Octavia).....	68
Obrázek 48 Fotografie s přiloženým metrem (Citigo).....	68
Obrázek 49 Ilustrace 3D modelu vozidla Citigo.....	69
Obrázek 50 Fotografie s přiloženým metrem (Rapid).....	70
Obrázek 51 Ukázka měření vzdálenosti (Agisoft PhotoScan).....	70
Obrázek 52 Graf porovnání využitelnosti metod hodnocení deformací vozidla .....	72

## 13 Seznam tabulek

Tabulka 1 Statistika nehodovosti v České republice mezi lety 1980 a 2015 .....	11
Tabulka 2 Porovnání metod měření deformací .....	37
Tabulka 3 Porovnání použitých fotoaparátů.....	55
Tabulka 4 Porovnání počtu zpracovávaných fotografií a časové náročnosti pro vytvoření modelu.....	58
Tabulka 5 Porovnání měřených hodnot při různých metodách měření .....	71
Tabulka 6 Porovnání metod měření s ohledem na názornost, přesnost a využitelnost.....	72