

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

**SYSTÉMOVÉ POJETÍ ANALÝZY SILNIČNÍCH NEHOD**

THE SYSTEM APPROACH TO ROAD ACCIDENT ANALYSIS

**HABILITAČNÍ PRÁCE**

HABILITATION THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.**

**BRNO 2018**



### **Abstrakt**

Habilitační práce v oboru Soudní inženýrství se zaměřuje na problematiku analýzy silničních nehod, a to v aplikacích vycházejících ze základních poznatků z oblasti systémového přístupu. Práce v úvodu představuje znaleckou a expertní činnost, prvky soustavy znalectví a současný stav systémového přístupu při analýze silničních nehod. Dále byly představeny obecné principy systémového pojetí, vybraná související terminologie a systém podstatných veličin s aplikací do analýzy silničních nehod. Byla definována problémová situace řešené oblasti a ukázán systémový přístup k silniční nehodě s důrazem na představení a aplikaci obecných přístupů k řešení, metod, modelů, s ukázkou možného strukturování problémů a soustav. Tyto problémy byly odlišeny od znalecké činnosti a znaleckého posudku. V práci byly ukázány konkrétní příklady systémového, ale také vybrané příčiny a důsledky nesystémového přístupu. Byla navržena struktura výuky předmětu Analýza silničních nehod. Práce celkově přinesla odlišný, nový a částečně i kontroverzní pohled na analýzu silničních nehod.

### **Abstract**

The habilitation thesis from the field of Forensic Engineering focuses on problem of road traffic accident analysis in applications that are coming from basic findings relating to system approach. Expert's activity in general, the elements of expertise real system and status of system approach by road accident analysis have been introduced. Basic general principles of system approach, corresponding terminology and system of fundamental quantities in application of road accident analysis have been introduced as well. The problem situation of solved field of interest has been defined and system approach to road accident with emphasis on introduction and application of general principles to resolution, methods, approaches, models with the sample of problem structuralising have been shown. These problems have been differed from expertise activity and expertise report. There have been shown the concrete samples of system approach and causes and aftereffects of non-system approach in thesis. The structure of subject Road accident analysis has been suggested. The thesis in general brings the different, new and partly also controversial view on road accident analysis.

### **Klíčová slova**

analýza, experiment, forenzní vědy, modelování, silniční nehoda, soudní inženýrství, systémový přístup, teorie systémů, znalec, znalecká činnost, znalecký posudek.

### **Key words**

forensic science, forensic engineering, expert activity, expertise, expert, theory of systems, system approach, road accident, analysis, modelling, experiment.

### ***Bibliografická citace***

SEMELA, Marek. *Systémové pojetí analýzy silničních nehod: The System Approach to Road Accident Analysis*. Habilitační práce. Brno, 2018. 139 s. Vysoké učení technické v Brně.

### ***Poděkování***

Na tomto místě bych chtěl poděkovat své rodině, zejména ženě Lence, synovi Janovi a rodičům za stálou podporu a trpělivost, když jsem jim nemohl být k dispozici a dále všem svým učitelům, kolegům a kamarádům, kteří byli mou inspirací.



# OBSAH

<b>1 Úvod a motivace .....</b>	<b>7</b>
1.1 Znalecká a expertní činnost .....	8
1.2 Soustava znalectví .....	10
1.3 Současný stav systémového pojetí analýzy nehod .....	10
1.4 Cíl práce .....	14
<b>2 Úvod do systémové metodologie a systémového pojetí.....</b>	<b>15</b>
2.1 Systémový přístup a jeho atributy .....	16
2.2 Systémové myšlení.....	18
2.3 Systémové disciplíny .....	18
2.4 Systémové algoritmy.....	19
2.5 Vybraná systémová terminologie pro potřeby analýzy silničních nehod .....	19
2.6 Systém podstatných veličin .....	22
2.7 Aplikace vybraných poznatků systémového pojetí na analýzu silničních nehod .....	24
<b>3 Problémová situace.....</b>	<b>31</b>
<b>4 Systémový přístup k silniční nehodě.....</b>	<b>34</b>
4.1 Přístupy, metody a modely, systém podstatných veličin .....	36
4.1.1 Mentální modelování, oborové techniky, nástroje a užité kompetence.....	40
4.1.2 Výpočtové modelování .....	42
4.1.2.1 Výpočtové modelování (problém typu pohyb).....	43
4.1.2.2 Výpočtové modelování (problém typu ráz).....	46
4.1.3 Simulační výpočtové modelování.....	49
4.1.3.1 Simulační výpočtové modelování (problém typu pohyb) .....	50
4.1.3.2 Simulační výpočtové modelování (problém typu ráz) .....	54
4.1.3.3 Optimalizační úlohy simulačního výpočtového modelování.....	55
4.1.3.4 Modelování s užitím vícetělesových modelů vozidel a osob .....	56
4.1.3.5 Pokročilé metody simulačního výpočtového modelování .....	58
4.1.4 Experimentální (materiální) modelování.....	60
4.1.5 Srovnávací analýzy .....	61
4.2 Strukturování problémů a soustav dle fází řešení .....	62
4.3 Entity, podstatné parametry, veličiny a jejich kvantifikace .....	77
4.4 Algoritmizace řešení silniční nehody.....	78
4.5 Vybrané pojmy analýzy silničních nehod v systémovém pojetí .....	78
4.6 Odraz ve znalecké činnosti .....	86
4.7 Odraz ve znaleckém posudku.....	87

<b>5 Vybraná konkrétní problémová situace .....</b>	<b>89</b>
5.1 Střet vozidel na křižovatce (nehoda „o přednosti v jízdě“)	89
5.1.1 Problémová situace, vymezení fází a typů problémů .....	89
5.1.2 Formulace problémů, volba přístupů a metod, algoritmus řešení .....	91
5.1.3 Zpracování znaleckého posudku.....	108
5.1.4 Interpretace závěrů řešení a proces rozhodování.....	109
<b>6 Příklady a důsledky nesystémového přístupu .....</b>	<b>111</b>
<b>7 Struktura výuky předmětu Analýza silničních nehod .....</b>	<b>122</b>
<b>8 Závěr .....</b>	<b>125</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>126</b>
<b>Seznam použitých veličin a zkratk .....</b>	<b>133</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>136</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>136</b>
<b>Seznam souvisejících publikací autora .....</b>	<b>137</b>

# 1 ÚVOD A MOTIVACE

Analýza silničních nehod není vzhledem ke struktuře a typům řešených problémů zcela exaktním zaměřením forenzních věd. Z důvodu mezioborovosti inženýrských a společenských vazeb, individuality a složitosti lidského faktoru a řešení převážně havarijních problémů, které nejsou vždy technického a jednoznačně měřitelného charakteru, stejně jako různá kvalita řešitelských vstupů, proto tato vědní oblast vykazuje často velkou míru neurčitosti. Právě aplikace systémové pojetí na tyto problémy a řešitelské bariéry upozorní. Systémový přístup k řešení problémů v této oblasti tak zabrání, aby se na podstatné aspekty pozapomnělo.

Motivací autora k návrhu řešení problematiky analýzy silničních nehod v systémovém pojetí je jeho dlouhodobý a hluboký zájem o tento typ řešených problémů, provázanost a logika jednotlivých přístupů, oborů a oblastí, které tvoří synergický efekt. Nejedná se v tomto případě totiž pouze o striktně technické problémy, ale o problémy smíšené. Analýza nehod je jakožto jedno z odvozených zaměření forenzních věd interdisciplinárním oborem, který by měl mj. skloubit znalosti ze základních technických a teoretických disciplín (matematiky, fyziky, mechaniky), znalosti z techniky dopravních prostředků (konstrukce a zkoušení vozidel, teorie vozidel, provozní spolehlivost a posuzování vad a poruch, autonomní vozidla), dopravně stavebně technické znalosti (vozovka, okolí, infrastruktura, inteligentní dopravní systémy), znalosti z oblasti chování lidského faktoru (zrakové či sluchové vnímání, reakční doby, limity lidského těla, způsoby reakce na kritické situace, vnímání a chování) a v neposlední řadě kompetence z oblasti práva (související hmotné a procesní právní úpravy), neboť výsledky řešení technických problémů jsou následně interpretovány rozhodovacími orgány a mají zásadní dopad na práva a povinnosti účastníků sporů, často s trestně právními důsledky.

Motivace ke snaze představit a aplikovat současné poznatky z oblasti systémového pojetí na silniční nehody vznikla u autora této práce primárně v rámci zpracovávání často obtížných revizních znaleckých posudků z oblasti analýzy silničních nehod na Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně a během praxe analytika silničních nehod. Při této činnosti se setkává nejen se znaleckými posudky, které jakékoliv komplexnější pojetí a strukturovanost postrádají, ale rovněž s posudky věcně a obsahově zcela nesprávnými z kvalitativního hlediska, přičemž nesprávnost mohla krom základních neznalostí autorů spočívat v nepochopení složitosti řešené problematiky jako komplexního přístupu k řešení problémů zanedbáním podstatných aspektů.

## 1.1 ZNALECKÁ A EXPERTNÍ ČINNOST

Zaměření práce je určeno do oblasti forenzních věd, konkrétně odvozené vědní disciplíny **Soudního (forenzního) inženýrství**, do jeho poměrně úzké specializace orientované na technickou analýzu silničních nehod. Forenzní vědy (Forensic sciences), jejichž podstatný rozmach nastal v 16. století, jsou takové vědy, jejichž výsledky zkoumání jsou určeny pro rozhodovací procesy a dokazování v trestních i civilních řízeních před orgány veřejné moci.

Soudní inženýrství je součástí širší skupiny forenzních věd a tvoří vědeckou, znalostní a metodologickou návstavbu pro technické a ekonomické obory znalecké činnosti. Získané poznatky se primárně využívají při vyšetřování trestných činů, v řízení před soudy a dalšími orgány veřejné moci. Ústav soudního inženýrství VUT v Brně se věnuje vědecko-výzkumné činnosti v oblasti analýzy silničních nehod, např. problémům spojeným s ovládáním vozidla vč. vlivů bezpečnostních prvků a výzkumům spojeným s chováním řidiče.

**Forenzní inženýrství** je zpravidla definováno jako věda o vyšetřování příčin selhání materiálů, výrobků, struktur, komponent a vlastností intelektuálního majetku, jejichž původně zamýšlená funkce zpravidla selhala a způsobila škodu na zdraví či majetku. Je tedy spjata s ekonomickým zhodnocením a současně je uplatňována vazba mezi inženýrstvím a právem.

V ČR byl zakladatelem původního vědeckého pojetí Soudního inženýrství Ing. Jiří Smrček (1906-1987), na jehož práci nejen v oblasti analýzy silničních nehod navázala především osobnost pana prof. Alberta Bradáče, který byl v mých začátcích i mou oporou (1), následně doc. Aleš Vémola.

Prof. Janíček v (2) definuje nejobecněji **inženýrství** jako technickou disciplínu, která aplikuje technické a vědecké poznatky. Využívá zákonů přírody, přírodních i technických prostředků k vytváření materiálů, staveb, strojů, zařízení, systémů a procesů, které splňují funkční kritéria s ohledem na kvalitu a ekonomiku a bezpečnostní kritéria ve vztahu ke společnosti a životnímu prostředí. Inženýrství lze chápat jako oblast složenou z vědy, techniky a praxe, jako tvůrčí oblast je postaveno na úroveň vědy a umění. (2)

Janíček rovněž definuje **znalecké inženýrství** (2) jako samostatný vědecký obor expertních analýz poskytující metodologické a znalostní infobáze pro **znalctví**. Ve znaleckém inženýrství spatřuje informační, metodologickou, poznávací, odbornou, znalostní, databázovou, právní, etickou a pedagogickou strukturu. Znalecké inženýrství má tedy systémovou strukturu a lze na něj aplikovat systémovou metodologii spočívající v aplikaci systémového přístupu, systémových metod a systémových postupů, komplexněji se jedná o systémové pojetí. (2)

Prof. Janíček nazývá inženýrské činnosti, jejichž cílem je expertní činnost, expertním inženýrstvím. **Znalectví** (jakožto aplikaci znaleckého inženýrství) definuje jako **specifický případ expertního inženýrství**. Expertní inženýrství jako obecný pojem pro disciplínu, která přistupuje k expertízám systémovým a tvůrčím způsobem. (2)

Pojmy **expertíza** a **znalecký posudek** jsou si velmi blízké, jelikož u obou je zadavatelem požadovaný zájem na odborném a komplexním posouzení objektu tak, aby bylo možno získat podklady pro rozhodnutí ve věci. Angličtina znalce rovněž nazývá expertem, v českých podmínkách je termín zprofanován (např. dopravní experti).

Existuje zadavatel i rozhodovatel, který na základě výsledků expertízy nebo znaleckého posudku postupuje dále. Na expertíze zpravidla pracuje tým zkoumající pomocí expertních metod expertní úkol či problém a výsledkem je expertní zpráva.

**Expert** by měl mít expertní vlastnosti, např. odbornost, expertnost, profesionalitu, nezávislost a charakterové vlastnosti (mravní, pracovní apod.), je tedy teoretickým i praktickým odborníkem v konkrétním oboru a průběžně se vzdělává.

Nevýhodou samostatně pracujícího **znalce** ustanoveného zvláštním předpisem dle současné tuzemské právní úpravy (3) je nutnost samostatné práce, tedy nemožnost tvorby znaleckých či expertních týmů, které by umožnily tvorbu více názorových pohledů (např. brainstorming, brainwriting, think tank) či korekci závěrů jednoho znalce a jejich důslednou kritiku ostatními členy týmu.

**Kritiky znalecké činnosti jsou proto velmi často pouze právní zástupci při jednání před soudem, orgány činné v trestním řízení, případně sami kolegové znalci.**

Ve hře je v tomto směru dlouhodobě připravovaná rekodifikace právních norem, které se týkají znalecké a tlumočnické činnosti včetně dalšího zpřísnění nároků na osobu znalce.

## 1.2 SOUSTAVA ZNALECTVÍ

Technické znalectví je **soustavou** složenou z těchto prvků:

**znalce,**

**znaleckého objektu,**

**znaleckého problému,**

**znalecké činnosti**

a **znaleckého posudku** jako dále použitelného výsledku zkoumání v případě, že je jeho zpracování nutné.

Okolím soustavy znalectví jsou odběratelé znalecké činnosti a kontrolní orgány.

Znalecká činnost je v přeneseném významu činností spočívající ve zpracování informací, a to ze získaných dat.

Výsledkem znalecké činnosti je vypracování znaleckého posudku, který by měl být maximálně komplexní, příčinně orientovaný, sdělitelný, úrovnově vyvážený, věrohodný, účelový, věcný, přiměřeně jednoznačný, ověřitelný, úplný a systémový. (2)

Tyto prvky soustavy budou dále rozpracovány.

## 1.3 SOUČASNÝ STAV SYSTÉMOVÉHO POJETÍ ANALÝZY NEHOD

K oblasti analýzy silničních nehod jako jednomu ze zaměření forezních věd a soudního inženýrství existuje poměrně široké spektrum odborných podkladů, samozřejmě převážně v cizím jazyce. Kromě v ČR rozšířených obecných knih, které nejsou zcela zaměřeny na odbornou problematiku analýzy silničních nehod (4) (5) (6) jsou základním pramenem skutečné technické analýzy znalecké standardy a příručky vydané v minulosti Ústavem soudního inženýrství VUT v Brně a zejména základní a česky psaná publikace (1) popisující základní principy a postupy řešení silničních nehod. Zde zcela záměrně pomíjím literaturu zaměřenou na teorii vozidel, konstrukci a diagnostiku. Dále rovněž pomíjím problematiku konkrétních simulačních software pro analýzu nehod. Zcela bez jazykové bariéry lze jmenovat první publikaci zaměřenou částečně i na dopředné řešení nehodového děje, zejména problematiku střetu vozidel (7) nebo publikaci zaměřenou na problematiku nehod motocyklů (8). Přístup k zahraničním zdrojům přišel ve větší míře až později. Velmi podnětnými a podrobnými jsou německy psané knihy, jedná se například o ucelenou publikaci (9), dvoudílná publikace shrnující teorii i praktické pohledy od velkého množství erudovaných autorů z různých odvětví, čímž vznikla ucelená základní encyklopedie v oblasti

analýzy nehod. Velmi dobrým úvodním, avšak letitým, zdrojem, je i Příručka znalce, analytika silničních nehod (10) i anglicky psané vydání (11), opět shrnující základy analýzy silničních nehod.

Z dalších amerických encyklopedií lze jmenovat dvě rozsáhlé knihy zaměřené na ohledání a vyšetřování silničních nehod (12) a rekonstrukci silničních nehod (13).

Z německy psané literatury lze dále jmenovat např. (14) nebo (15) zaměřené na problematiku pojistných podvodů. Disciplíny potřebné pro analýzu silničních nehod vychází ze základních učebnic matematiky a fyziky, např. (16).

Velmi cennými a poutavě psanými jsou knihy polských autorů psané v polštině, např. encyklopedie (17) (18) nebo (19) zaměřená na bezpečnost. Dále lze jmenovat polskou knihu (20) zaměřenou na problematiku simulačního výpočtového modelování. Hezkým pohledem na problematiku simulačního výpočtového modelování s užitím konkrétního softwarového nástroje PC-CRASH je kniha (21), příp. (22).

Z další anglicky a německy psané knižní literatury lze uvést příručku (23) nebo (24), případně na mechaniku střetu odborněji zaměřenou knihu (25). Dalšími cennými prameny jsou např. (26) (27) (28) (29) a knihy zaměřené na konkrétní problémy analýzy silničních nehod, např. ochranu chodců (30), pneumatiky (31) (32), vozidlovou elektroniku (33) či bezpečnost a obecnou biomechaniku (34) (35) (36).

Cenným poznatkem k doplnění odborné obce, která obvykle bohužel nehovoří světovými jazyky, byl počín kolegy Ing. Vlastimila Rábka, Ph.D., spočívající v postupném vydávání převzatých a přeložených cizojazyčných sborníků konferencí. Tyto jsou vždy zaměřeny na konkrétní problematiku, mimo problematiku interakce posádky s vozidlem (37), či pojistných podvodů (38), i jmenovitě pouze námátkou knihy zaměřené na vnímání, např. (39) či (40). Na překladu jedné rozsáhlé kapitoly se podílel i autor této habilitační práce.

Hodnocení podpory pro analýzu silničních nehod se věnoval doc. Aleš Vémola (41).

Z příbuzných disciplín, které bezprostředně souvisejí s analýzou silničních nehod, lze uvést prameny zaměřené na biomechaniku a soudně-lékařské zkoumání nehodových aspektů, případně dopravní inženýrství či kriminalistiky (42) (43) (44) (45) (46) (47) (48) (49).

Další prameny jsou zaměřeny na vozidlovou techniku (50) (51) (52), lidský faktor, jeho modelování a dopravní psychologii (53) (54) (55) (56) (57) (58) (59) (60) a dále podstatné právní souvislosti, právní normy apod. Faktor člověka je při analýze silničních nehod zcela klíčovým a jeho zkoumání nejlépe v reálném provozu je klíčem k pochopení a řešení silničních nehod. Z tohoto důvodu je i Ústav soudního inženýrství VUT v Brně na problematiku lidského faktoru kromě

výzkumu v oblasti deformačního chování vozidel detailněji zaměřen. V dané problematice velmi úspěšně publikuje, a to nejen v oblasti výzkumu chování řidiče z hlediska zrakového vnímání a ovládání vozidla. V poslední době i při sběru fyziologických signálů, když pořídil po úspěšných pokusech s touto problematikou jako jediný v ČR pro studenty i moderní měřicí vozidlo plně vybavené zařízením od firmy Ergoneers pro sběr dat o chování vozidla a chování a stavu řidiče během jízdy v reálném provozu včetně sběru biosignálů. V rámci interdisciplinárního zaměření spolupracuje ústav jak s odborníky z oblasti biomedicíny, tak i s dopravními psychology.

Kromě knih jsou cenným zdrojem informací tematicky zaměřené semináře a konference a sborníky vydávané z těchto konferencí, např. konference pořádané evropskou organizací *EVU*, britskou *ITAI* či velmi zajímavé konference pořádané kolegy z *Instytutu Ekspertyz Sadowych* v Krakově (*IES*), případně bezkonkurenčně největší akce svého druhu, americký *WREX*.

Nezbytným zdrojem informací a podkladů řešení konkrétních problémů a podproblémů jsou elektronické informační zdroje z vědeckých databází, které však nejsou zpravidla zdarma dostupné mimo akademickou sféru tj. např. Scopus či Web of Science, Elsevier a tematicky odpovídající aplikovatelné elektronické informační zdroje vycházející z empirických dat a experimentů, např. k nehodám chodců či motocyklů. (61) (62) (63) (64)

Dále tzv. Open Access zdroje, např. časopisy či databáze (např. Researchgate.net), podklady americké společnosti Insurance Institute of Highway Safety (*IIHS*), databáze National Highway Traffic Safety Administration (*NHTSA*) či databáze článků americké společnosti automobilových inženýrů *SAE*, opět s placeným přístupem. Dalším podstatným cenným zdrojem informací jsou tematicky zaměřené workshopy, řešené projekty vědy a výzkumu a praktické testy. Komerční přípravou nárazových zkoušek vozidel je v Evropě známá zejména společnost *CTS* či *DTC*, případně *DSD*, *DEKRA* nebo *ADAC*.

Z hlediska vzdělávání expertů jsou podstatné, avšak opět v ČR nepovinné, semináře zaměřené na zvýšení kompetencí uživatelů simulačních programů a obecné průběžné vzdělávání.

Problematice související s analýzou nehod a prevencí nehod se hojně věnuje nejprestižnější vynikající impaktovaný časopis *Accident Analysis and Prevention*, velmi úzce s problematikou souvisí také *Traffic Injury Prevention*, časopis *International Journal of Crashworthiness* a dále lze jmenovat časopisy *PROMET - Traffic&Transportation*, časopis *Accident Reconstruction Journal* nebo časopis *Transport*, německý *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik* či polský časopis *Paragrafy na drodze*. Z národních zdrojů se problematice věnuje prakticky jediný vědecký časopis – *Soudní inženýrství*, na Slovensku časopis *Znalectvo*.



Z národních pracovišť se analýze nehod věnuje mimo ÚSI VUT v Brně také ČVUT v Praze a Univerzita Pardubice, na Slovensku je to pak Žilinská univerzita v Žilině, dále rakouská TU Graz, v Německu zejména TU Berlín a TU Drážďany, v USA např. University of North Florida, University of Pittsburgh, University of Michigan či australská University of Adelaide. Dále lze jmenovat Varšavskou univerzitu, či univerzitu v Budapešti nebo v rumunském Brašově atd.

Vzhledem k interdisciplinaritě oboru a jeho vazbě na jiné disciplíny lze za podklady považovat i individuální aplikační soudní rozhodnutí v konkrétních kauzách, nejčastěji ve formě rozhodnutí Nejvyššího soudu ČR či Nejvyššího správního soudu ČR, které rovněž nepřímo utváří interpretační prostředí analýzy silničních nehod včetně souvisejících mantinelů a výkladů. Dále nelze opomenout např. takto zaměřené diplomové práce v oboru. (65) (66) (67)

Jmenované zdroje se věnují nejčastěji:

- obecným problémům souvisejících oblastí,
- konkrétním pasážím dílčích řešených problémů,
- představení souvisejících metod řešení,
- nebo kvantifikaci hodnot užívaných vstupních veličin.

**Žádný zdroj však nepředstavuje ani neaplikuje systémové pojetí analýzy silničních nehod**, ani se o něm až na některé výjimky výrazněji prakticky nezmiňuje. Velmi stručně se věnuje tomuto přístupu v e-learningové podpoře výuky analýzy silničních nehod v navazujícím magisterském studijním programu autor této práce (68), v poslední době pak ještě okrajově Ing. Vlastimil Rábek, Ph.D., v rámci své habilitační práce (69) a Ing. Stanislav Tokař, Ph.D., který ve své disertační práci systémově rozpracoval některé pojmy z analýzy silničních nehod. (70)

Příbuznou oblastí k oblasti dopravy je oblast ekonomiky se zaměřením na oceňování majetku, kde problematiku systémového pojetí úspěšně rozpracoval a aplikoval doc. Robert Kledus (71) v souladu s (72) a (73).

## 1.4 CÍL PRÁCE

Řešení dopravních nehod vyžaduje **modelování** chování relativně složitých technických soustav za různých podmínek k okolí.

K řešení lze přistupovat intuitivně, abstraktně, vědecky či systémově. Pro pochopení složitosti, věrohodnosti, pravdivosti a správnosti je tedy vysoce vhodné na řešení problémů soudního a znaleckého inženýrství aplikovat moderní poznatky z oblasti systémového přístupu jakožto komplexního přístupu k řešení problémů.

Na současné úrovni poznání by měl být preferován systémový přístup, který byl vyvinut právě pro řešení složitých úloh na složitých soustavách.

Autor práce si dává v práci za cíl:

- popsat obecné dosavadní aplikovatelné poznatky a zásady z oblasti systémového pojetí,
- představit předpoklady pro aplikaci systémového pojetí u analýzy silničních nehod a základní přístupy k řešení,
- rozpracovat problematiku systémového pojetí na některé vybrané typy problémů, které jsou řešeny v souvislosti s negativními jevy v silničním provozu, při kterých dochází ke ztrátám na životech, škodám na zdraví a majetku osob,
- a vytvořit strukturu výuky předmětu Analýza silničních nehod v systémovém pojetí.

Cílem práce naopak není nastínit a vyřešit úskalí a možnosti řešení všech souvisejících problémů, ani představovat všechny možné přístupy a metody, které souvisejí s analýzou silničních nehod.

To ani není vzhledem k jejich šíři a různorodosti možné, stejně jako představovat všechny dílčí aspekty analýzy nehod.

Cílem ani předmětem této práce není analyzovat právní úpravu, postavení znalců a nastavení kontrolních mechanismů v oblasti expertní a znalecké činnosti zaměřené na dopravu se specializací na analýzu silničních nehod, ačkoliv se touto problematikou autor dlouhodobě s oblibou zabývá.

## 2 ÚVOD DO SYSTÉMOVÉ METODOLOGIE A SYSTÉMOVÉHO POJETÍ

V této kapitole je nutné vzhledem k relativní novosti aplikace systémového pojetí i pro odbornou veřejnost nadefinovat základní mezníky, milníky, znaky, přístupy či postupy, které jsou společné pro systémové pojetí a systémový přístup k řešení technických, ale i netechnických problémů. Průkopníkem a propagátorem systémového pojetí v technice a pedagogice a jeho aplikace v technických disciplínách při řešení technických problémů je brněnský vysokoškolský pedagog prof. Přemysl Janíček.

### Znaky systémové metodologie dle prof. Janíčka:

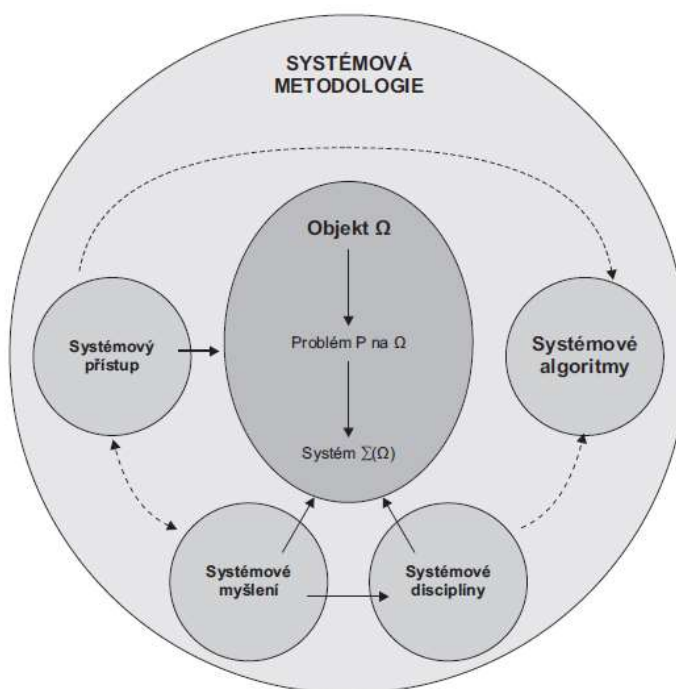
**Systémový přístup** tvořený jeho atributy včetně vytvoření systému podstatných veličin.

**Systémové myšlení** je typem kreativního myšlení s otevřenou myslí, které respektuje atributy systémového přístupu, při existenci pozitivních genetických předpokladů si jej lze osvojit učením a praxí a jeho úroveň je geneticky ovlivněna úrovní strukturně mentálních druhů pozitivních myšlení a jejich protipólů.

**Systémové metody a disciplíny** jsou nadoborové disciplíny aplikovatelné na analýzy a řešení problémů v mnoha vědeckých i praktických oborech (např. systémová analýza a syntéza, logika, matematika, modelování, experiment apod.).

**Systémové algoritmy** jsou zobecněné algoritmy pro řešení oborových problémů.

Užití systémové metodologie předpokládá jak vlohy (geneticky podmíněné předpoklady), tak i schopnosti (získané činnostmi).



Obrázek 1: Schéma systémové metodologie (2)

Dalšími známými propagátory zásad a uplatňování systémového přístupu v technických disciplínách je např. pan doc. Branislav Lacko, či prof. Jiří Marek, v rámci Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně pak doc. Robert Kledus.

## 2.1 SYSTÉMOVÝ PŘÍSTUP A JEHO ATRIBUTY

Systémové pojetí entity je takové, při kterém systémově myslící objekt aplikuje systémovou metodologii.

Nebudu zde uvádět zakladatele systémové metodologie či teorie systémů či jejich historický vývoj. Jak uvádí (73), systémová metodologie je charakterizována systémovým přístupem, systémovým myšlením, systémovými metodami a systémovými algoritmy.

Mezi pojmy metoda, metodika a metodologie je nutné dělat rozdíly.

- **Metoda** je ucelený soubor pravidel a popis ověřeného postupu.
- **Metodika** je algoritmus metody, tedy postup, jak aplikovat konkrétní metodu při řešení konkrétního úkolu. (72)
- **Metodologie** je vědní disciplína, která se zabývá tvorbou a aplikací metod, jedná se o vědu o metodách a metodikách. (73)

Systémový přístup je obecné, myšlenkové, vysvětlovací a činnostní schéma jedince ve vztahu k různým entitám, či zobecnělá a sofistikovaná tvůrčí metodologie myšlení a konání aplikovatelná na jakékoliv systémové entity.

Systémový přístup je „náповědou“, na jaké podstatné skutečnosti týkající se určité entity, by člověk neměl zapomenout ve všech svých činnostech. (2)

*„Systémový přístup je zobecněná tvůrčí metodologie myšlení a konání aplikovatelná na reálné nebo abstraktní systémové objekty, resp. subjekty.“*

Jedná se o celostní přístup, u něhož se na chování entit usuzuje z jejich struktury a procesů, které na nich probíhají, tedy z organizace celku.

Někdy je systémový přístup popisován jako systém, který integruje syntetické a analytické metody. Systémový přístup je také někdy nazýván přístupem celistvým či komplexním, resp. přístupem k řešení problémů. Absence systémového přístupu k řešení problémů má negativní dopady na výsledek jakékoliv tvůrčí činnosti, mezi kterou se analýza silničních nehod zcela jistě řadí. Systémový přístup lze také chápat jako náповědu. Prof. Janíček publikoval v (72) či v (73) celkem 21 atributů systémového přístupu (A0 až A20) rozdělených do pěti podskupin, tedy znaků, které by odlišovaly systémový přístup od přístupu nesystémového.

Pro nesystémový přístup je znakem volný, často chaotický postup bez pravidel, který má nižší úroveň řešení. Autor této práce popis atributů aplikoval pro potřeby řešené problematiky.

Tabulka 1: Atributy systémového přístupu (72) s vysvětlením autorem této práce

Podskupina 1 - premisy	Vysvětlení významu
Atribut A0	předpokládá před aplikací či před vymezením systémového přístupu správné obsahové, logické i lingvistické vymezení entity (objektu zájmu).
Atribut A1	definuje pojmovou čistotu, resp. pojmovou ujasněnost, tedy správné vymezení pojmů po obsahové i významové stránce. Jasná struktura a obsahové vymezení pojmů jsou nutným předpokladem pro zamezení vzniku nedorozumění.
Atributem A2	je správné vymezení a formulace problému. Problém je formulován a vychází z problémové situace, a to je situace, která z objektivních či subjektivních důvodů vyžaduje změnu.
Atributem A3	je strukturované členění a posuzování entit jako množiny prvků na určité rozlišovací úrovni a množiny vazeb mezi nimi.
Podskupina 2 - přístupy	
Atribut A4	zmiňuje účelovost, tedy podstatnost. Výběr podstatného je možný díky <b>vytváření systému podstatných veličin</b> při řešení problémů.
Atribut A5	zdůrazňuje komplexnost, tedy komplexní posuzování entit (objektů) ve všech souvislostech, tedy z hlediska vnitřních a vnějších vazeb.
Atribut A6	označuje hierarchičnost, tedy vzestupnou, nebo sestupnou posloupnost např. vazeb, procesů, aktivací, ovlivňování apod.
Atributem A7	je orientovanost, a to časová, příčinná či hierarchická.
Podskupina 3 - vlastnosti	
Atributem A8	je otevřenost. Za otevřenou entitu je považována taková, mezi kterou a jejím okolím existují vazby, na kterých se mohou realizovat interakce.
Atributem A9	je úroňová vyváženost. Tedy, že v množině prvků, nebo soustavě mají všechny prvky a vazby přibližně stejnou kvalitu sledovaných vlastností.
Atributem A10	je dynamičnost, tedy časová závislost sledovaných vlastností.
Atributem A11	je posuzování z hlediska stochastičnosti a determinističnosti (nakolik lze budoucí stav předvídat).
Atributem A12	je posuzování chování a stavů entit.
Atributem A13	je posuzování entit z hlediska výskytu deterministického chaosu a samoorganizace (synergie).

Podskupina 4 - trendy	
Atributem A14	je využívání poznatků z vědy a techniky.
Atributem A15	užití systémového přístupu, při řešení nestandardních situací používat progresivní a heuristické postupy.
Atribut A16	je charakterizován vytvářením algoritmů činností.
Atribut A17	zdůrazňuje nutnost analýzy, verifikace a syntézy výsledků za předpokladu, že jsou výsledky pravdivé.
Podskupina 5 - etika a odpovědnost	
Atribut A18	klade na autora nároky z hlediska odpovědnosti za výsledek.
Atribut A19	vyznačuje se dodržováním etických norem.
Atribut A20	předpokládá, že řešitel i po splnění úkolů nebo vyřešení problému sleduje další vývoj a implementaci výsledků.

Množina atributů systémového přístupu je tvořena množinou podstatných skutečností ve vztahu k analýze jakékoliv entity.

### **Jednotlivé atributy jsou velmi dobře aplikovatelné i na analýzu silničních nehod.**

Pro množinu prvků a vazeb mezi nimi vznikl pojem struktura, pro složité entity pojem systém. Pro entity s reálnými prvky se začal používat pojem *real system*, v našich podmínkách je vhodné používat pojem **soustava**.

Pro entity s abstraktními prvky se začal používat pojem *abstract system*, v našich podmínkách je vhodné používat pojem **systém**.

Opakem systémového přístupu je nesystémový přístup, pro který je charakteristické to, že myšlenkový postup při činnostech je volný, bez pravidel, nekoordinovaný a subjektivní.

Systémový přístup je chápán také jako množina podstatných činností, které by měly být komplexně respektovány, tedy neopomenuty.

## 2.2 SYSTÉMOVÉ MYŠLENÍ

Jak uvádí (2), systémové myšlení jako jeden z prvků systémové metodologie, jako nejvyšší forma psychického procesu v lidském mozku, jako geneticky podmíněná speciální forma myšlení, která na systémových objektech respektuje atributy systémového přístupu.

## 2.3 SYSTÉMOVÉ DISCIPLÍNY

Systémové disciplíny jsou disciplíny **nadoborové**, proto je lze aplikovat prakticky na jakékoliv řešení technických problémů. Do univerzálních disciplín pro řešení technických

problémů lze řadit například matematiku, statistiku, logiku, systémovou analýzu a syntézu, modelování, experiment, znalecké inženýrství, expertní inženýrství. (2)

## 2.4 SYSTÉMOVÉ ALGORITMY

Systémové algoritmy jsou zobecnělé algoritmy pro řešení oborově různých problémů, které respektují systémový přístup, myšlení a disciplíny a slouží k řešení problémů technických, společenských, socio-technických či poznávacích. V oblasti analýzy silničních nehod vždy nelze z důvodu různorodosti řešených problémů postupy algoritmizovat, cílem této práce je však na systémovém pojetí vybraných konkrétních řešených problémů ukázat možnosti.

## 2.5 VYBRANÁ SYSTÉMOVÁ TERMINOLOGIE PRO POTŘEBY ANALÝZY SILNIČNÍCH NEHOD

Vzhledem k novosti předkládané problematiky a opakovanému výskytu pojmů v rámci systémového přístupu je nutné na úvod rámcově definovat některé, autorem práce vybrané a dále v práci autorem užívané pojmy.

Definice vychází z novosti pojetí a uchopení řešení technických problémů, které definoval ve svých knihách prof. Přemysl Janíček, např. (72), (73), nebo (2).

### **Entita a její okolí**

Entita má význam čehokoliv, co lze samostatně zvažovat, např. vozidlo, řidiče, pozemní komunikaci.

**Okolí entity** je množina prvků, které nejsou prvky entity, ale vykazují k ní podstatné vazby z hlediska zájmu subjektu o entitu, přičemž okolí může být **bezprostřední** či **vzdálené** podle toho, zda má, nebo nemá s entitou přímou vazbu.

**Struktura** je souhrn prvků, vnitřní uspořádání entity. Věci kolem sebe lze zkoumat na různých úrovních podrobnosti. Pokud je entita strukturovaná, lze na vyšší rozlišovací úrovni vymezit alespoň jednu její další část.

**Interakce** je působení mezi prvky přes aktivovanou vazbu.

**Vazba** je reálný, nebo abstraktní objekt, který zajišťuje spojení alespoň mezi dvěma prvky tak, aby se tyto prvky vzájemně ovlivňovaly – mezi prvky vznikaly interakce. Mohou být pasivní a aktivní podle toho, zda nastává, nebo nenastává interakce.

Svět techniky interaguje se světem přírody a světem společenským. Vazby mezi objektem (soustavou) a okolím mohou být jednosměrné, obousměrné, přímé či zpětné a na těchto vazbách

mohou probíhat interakce. Důsledky interakcí mohou být příznivé, indiferentní a nepříznivé a mohou vyvolávat problémové situace vyžadující z různých důvodů řešení.

**Soustava** je reálná nebo abstraktní entita se systémovými vlastnostmi (strukturovanost, vazby na okolí, cílové chování). **Soustavy lze členit** podle řady kritérií (72), např. podle:

- ❖ oborového charakteru objektu:  
soustavy (1) technické, (2) ekonomické, (3) biologické, (4) politické apod.
- ❖ funkčního zaměření soustavy:  
(1) řídicí, (2) regulační, (3) informační, (4) aktivační.
- ❖ charakteru struktury objektu – soustavy (1) reálné, (2) abstraktní.
- ❖ úrovně určitosti formulací problémů a prognóz řešených na objektu – soustavy (1) tvrdé, (2) měkké, (3) smíšené.
- ❖ charakteristik struktury soustavy – soustavy (1) velké, (2) složité, (3) špatně průhledné až neprůhledné.
- ❖ interakcí soustavy s okolím – soustavy (1) otevřené, (2) uzavřené, (3) izolované.
- ❖ úrovně znalostí o struktuře soustavy:  
(1) úplně strukturované, (2) částečně strukturované, (3) nestrukturované.
- ❖ závislosti charakteristik soustavy na čase – soustavy (1) statické, (2) dynamické.
- ❖ charakteru kvantifikátoru prvků a vazeb soustavy:  
(1) deterministické, (2) stochastické, (3) chaotické.
- ❖ charakteru prvků soustavy – soustavy (1) živé, (2) neživé.
- ❖ stavů – např. soustavy (1) stabilní, (2) nestabilní (labilní).

**Systém** je abstraktní entita různého druhu, účelově vytvořena subjektem na entitě z hlediska řešeného problému. Soustava tedy může být na rozdíl od systému reálná.

**Aktivace** entity je proces, který na entitě způsobuje určité konkrétní procesy, může být samovolná, cílená, nebo případně samoaktivace.

**Aktivace člověka** vychází z reakce na aktivaci z okolí, nebo zevnitř (motivace).

**Ovlivňování** entity je jednotlivá, na dané rozlišovací úrovni zjiitelná interakce, orientovaná z okolí na entitu, která v ní ovlivňuje procesy způsobené aktivací.

**Proces** je časová posloupnost postupně na sebe navazujících a vnitřně vzájemně propojených stavů entity, procesy vznikají v reakci na aktivaci.

**Jev** je aktivita, projev či událost ve vztahu k určité entitě, kterou může člověk pozorovat svými smysly, nebo přístrojovým vybavením.



**Projev** je smyslově, nebo přístrojově zjiitelná interakce z entity do jejího okolí.

**Chování entity** je množina všech jejích projevů realizovaných a pozorovaných na entitě ve vymezené době.

**Veličina** v současnosti vyjadřuje jakékoliv charakteristiky entity, nikoliv pouze fyzikální. V souvislosti s analýzou silničních nehod jsou užívané veličiny zpravidla intervalové, tj. v technicky přijatelném rozmezí. Veličiny vznikají formalizací a kvantifikací a jsou dány svou:

- formou (např. symbol),
- obsahem (fyzikálním významem),
- rozlišovací úrovní,
- přiřazením k vymezenému etalonu,
- a kvantifikátorem.

Veličiny mohou být např. číselné, logické, fuzzy, geometrické, deterministické, intervalové, pravděpodobnostní apod.

**Chyba** je taková odchylka, která má pro subjekt negativní důsledky. Může pramenit z neznalosti, nevědomosti, nezkušenosti, nepochopení, nebo riskování.

**Problémová (nestandardní) situace** je taková situace, jejíž vyřešení vyžaduje použití i jiné než rutinní činnosti.

**Problém** jsou subjektem naformulované podstatné skutečnosti vyplývající z problémové situace a vyžadující řešení.

**Konkretizační experiment** je takovým typem experimentu, kterým se získávají konkrétní vstupní údaje použité pro řešení konkrétního řešeného problému (typické pro analýzu silničních nehod).

**Verifikační experiment** je takovým typem experimentu, kterým se ověřují vstupní a kontrolní údaje použité pro řešení konkrétního řešeného problému.

**Úkol** je delegovaná povinnost něco vykonat, v oblasti znaleckého inženýrství se jedná o povinnost vypracovat znalecký posudek. V případě, že je jednoznačně znám algoritmus řešení, hovoříme o úloze.

**Úloha** je taková situace či stav objektu, které lze vyřešit rutinními činnostmi, tedy, že subjekt zná způsob dosažení cíle řešení určitým známým a naučeným postupem, což ji odlišuje od úkolu.

**Data** jsou vyjádřením skutečnosti a myšlenek s potenciálním cílem vytvářet z nich informace.

**Informace** jsou získány zpracováním dat, jedná se tedy o zpracovaná data.

**Výpočet** je forma zpracování veličin s využitím algoritmu, v němž se realizují matematické operace.

**Výpočtové simulační modelování** je specifický způsob modelování na počítači, při kterém se opakovaně realizuje výpočtový algoritmus pro zvolenou strategii vstupních údajů s cílem analyzovat procesy probíhající na objektu. Základním problémem výpočtového simulačního modelování při analýze silničních nehod je existence a kvalita vstupních podkladů a tím i míra věrohodnosti (určitosti) výsledků modelování.

**Citlivostní analýza** je specifickým případem simulačního modelování s cílem analyzovat vliv změny hodnoty určitého vstupního parametru na hodnoty parametrů výstupních.

**Nepřímý příčinný problém** je takovým problémem, pro jehož řešení jsou vstupem důsledky a určují se příčiny.

**Neurčitost kvalitativní** lze chápat jako **objektivní** neznalost podstatných údajů.

**Neurčitost kvantitativní** lze chápat jako neznalost kvantifikovaného vyjádření veličin (rozmezí vstupních hodnot).

**Analýza** je proces rozkládání zkoumaného objektu na jeho části.

**Indukce** je myšlenkový postup od jednotlivého k obecnému – proces zobecňování.

**Dedukce** je myšlenkový postup od obecného k jednotlivému.

**Nadřazené restriktce** jsou formulované požadavky na řešení problému a podmínky pro realizaci řešení, při analýze silničních nehod zejména právní omezení, omezení daná zadavatelem, řešitelem, personální omezení, technické a často i ekonomické apod.

## 2.6 SYSTEM PODSTATNÝCH VELIČIN

**Jedním z atributů systémového přístupu (A4) je vytváření systému podstatných veličin.** Systém podstatných veličin je množinou charakteristik entity a jejího okolí, které souvisí s problémem z hlediska podstatnosti, tj. mají podstatný význam pro řešení problému a výběr použitých metod.

Veličina je dána svou formou a obsahem, rozlišovací úrovní, přiřazením a kvantifikátorem veličiny. Vytváření systému veličin na objektu je realizací vztahů mezi subjektem (řešitelem problému) a dvěma různými objekty. Objektem, který je předmětem našeho zájmu tím, že se na něm řeší problém a systémem, který je abstraktním objektem vytvořeným na objektu.

Pokud je systém veličin vytvořen na reálné soustavě, je systémem stochastickým, protože veličiny a vazby jsou stochastického charakteru a stochastických zákonitostí, tedy, že výchozí stav určuje příští stavy pouze s určitou pravděpodobností.

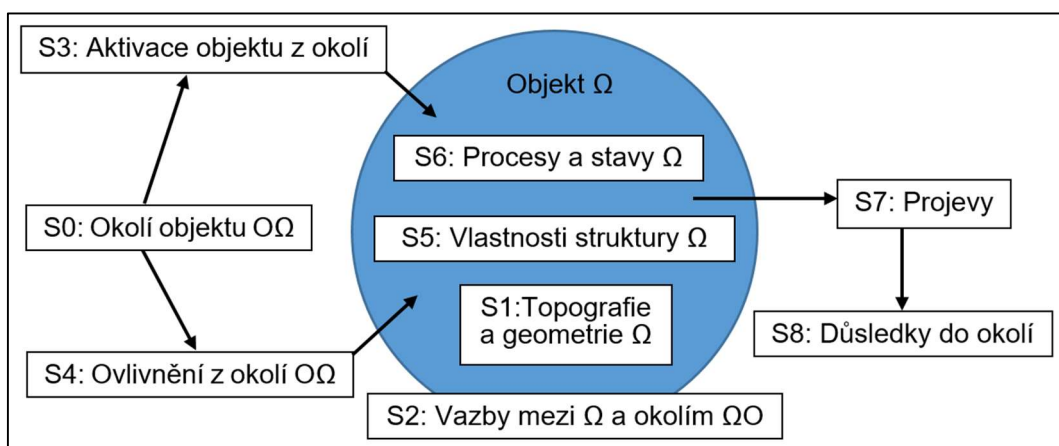
Jedná se o abstraktní proces, systém podstatných veličin obsahuje vzhledem ke strukturovanosti každého objektu podmnožiny.

Tabulka 2: Podmnožiny systému podstatných veličin (72)

Podmnožina	Obsah podmnožiny:
S0	veličiny popisující okolí objektu
S1	veličiny popisující objekt, jeho strukturu, rozmístění a geometrii ( <b>objektové</b> )
S2	veličiny popisující podstatné vazby objektu s jeho okolím ( <b>vazbové</b> )
S3	veličiny popisující aktivaci objektu ( <b>aktivační</b> )
S4	veličiny působící na objekt z okolí ( <b>ovlivňující</b> )
S5	veličiny popisující vlastnosti prvků struktury ( <b>strukturně-vlastnostní</b> )
S6	veličiny popisující procesy na struktuře objektu ( <b>procesní a stavové</b> )
S7	veličiny popisující projevy (chování) na struktuře objektu ( <b>projevové</b> )
S8	veličiny popisující důsledky projevů objektu na okolí ( <b>důsledkové</b> )

Cílem řešení je vytvoření množiny podstatných veličin, které obsahují prvky struktury objektu a jeho okolí, a které jsou podstatné z hlediska problému, jenž se na objektu řeší. Pro každý objekt je charakteristické, že má určité okolí tvar (geometrii), že v okolí zaujímá určitou polohu (topologii), že má určité vazby s okolím, přes které se realizují interakce, jenž objekt aktivují a ovlivňují. Aktivace objektu na něm vyvolává procesy a ty mění jeho stavy. Objekt se poté do svého okolí určitým způsobem projevuje, což má určité důsledky. Zanedbání podstatné veličiny systému veličin je základní chybou modelování, která vede k nesprávným a nevěrohodným výsledkům modelování.

Graficky lze systém podstatných veličin přehledně vyjádřit:



Obrázek 2: Systém veličin, vytvořeno autorem dle (72)

Při vytváření objektů se realizují tyto činnosti:

- představy,
- úvahy,
- zkušenosti,
- vědomosti,
- pokusy,
- rutinérství,
- náhoda,
- kopírování,
- riskování,
- a modelování.

## 2.7 APLIKACE VYBRANÝCH POZNATKŮ SYSTÉMOVÉHO POJETÍ NA ANALÝZU SILNIČNÍCH NEHOD

Při analýze nehod se setkáváme s interakcemi soustav či prvků přírody, techniky a společnosti (člověkem). Cílem analýzy silničních nehod je zkoumání vlastností a chování soustav, řešené úlohy lze nazývat úlohami optimalizačními či úlohami o aktivaci soustav.

V následujícím textu autor poukazuje na vybrané souvislosti analýzy nehod **s atributy systémového přístupu**.

S formulací konkrétního problému úzce souvisí formulace problémové situace, která formulaci a řešení konkrétního problému předchází.

Problémovou situací je v tomto případě stav negativní události v silničním provozu, která se udála ze stavu prostého konstatování status quo, že se nehoda udála na stav, který posune původní status quo dále k řešením konkrétních problémů:

- analyzování vzniku nehody (vyřešení, vysvětlení, popsání, rozdělení na dílčí vlivy);
- technické odvození celkového průběhu nehody tak, aby odpovídal zdokumentovaným stopám, technicky přijatelným podkladům a také lékařskému a biomechanickému pohledu;
- odvození technické příčiny nehody jako závěru zkoumání;
- odvození možností odvrácení události;
- hodnocení souladu děje a výpovědí účastníků a svědků (nejen pojistné podvody);
- případný popis negativního vlivu okolí na daném místě a návrh preventivního opatření apod.

Nutnost změnit stav, tj. analyzovat vznik silniční nehody, je dán zpravidla požadavkem zadavatelů pro jejich rozhodovací roli na základě odborného posouzení události.

Konkrétní problém lze formulovat až na základě důkladné komplexní analýzy problémové situace se zohledněním podstatného. Problémy formulované na základě studia problémové situace by měly být v přiměřené míře řešitelné, což vyplývá již z důkladného studia problémové situace.

Znaky jako strukturovanost, podstatnost či komplexnost odlišují systémový přístup od přístupu nesystémového, úzce spolu souvisí.

**Strukturovanost** v aplikaci na analýzu silničních nehod spočívá v rozčlenění problematiky konkrétní silniční nehody jako soustavy soustav (hypersoustavy) na dílčí prvky (soustavy, objekty, prvky či entity) tak, aby bylo možno popsat jejich vztahy, vazby, interakce, chování, ovlivnění, projevy či důsledky. Pokud je při analýze silničních nehod takový postup aplikován, je analýza **komplexní**.

Ne všechny skutečnosti, které se při analýze nehod vyskytují, jsou podstatné z hlediska jejich vlivu na zkoumaný jev a zejména na výsledek zkoumání. Znalost nepodstatného usnadňuje orientaci na podstatné. Odlišení **podstatného** od méně podstatného či nepodstatného opět souvisí i se strukturovaností, jelikož rozčlenění problému na jednotlivé části umožní lepší odlišení podstatného. Podstatnost je nejlépe patrná z vytváření systému podstatných veličin, kdy veličiny pro řešení daného problému méně podstatné či nepodstatné nejsou z hlediska zásady účelnosti a přiměřenosti zahrnuty. Totéž platí pro **hierarchické** posuzování řešených problémů, lze posuzovat objekt jako celek (např. deformace přední části vozidla z hlediska hloubky, rozsahu), nebo posuzovat charakter poškození výztuhy předního nárazníku či typ lomu brzdového kotouče po dopravní nehodě metalograficky. Pokud jsou posuzované objekty **nevyvážené** z hlediska úrovně posuzování, je třeba respektovat strukturu každého objektu odděleně.

Silniční nehody jsou **časově i příčinně orientované události** a ze sledu jednotlivých jevů a projevů lze odvozovat na průběh i příčinu.

Silniční nehoda je **dynamický proces**, resp. událost, která má v některém čase svůj počátek vzniku, resp. několik různých počátků vzniku, v čase se vyvíjí změnami ve struktuře, vazbách, chování, projevech i následcích. Některé aspekty mohou být závislé na dynamice vyvolávajících jevů, např. charakter úmyslného poškození karoserie nástrojem při pojistném podvodu, způsob najetí vozidla ke stromu apod.

Chování entity lze při analýze nehod částečně předpovídat. Většina užívaných metod má deterministický charakter, ale většina uvažovaných veličin má **stochastický** charakter, zpravidla se uvažuje s jejich technicky přijatelným rozmezím, tj. jedná se o veličinu **intervalovou** (součinitel adheze mezi pneumatikou a vozovkou, koeficient restituace apod.).

S analýzou silničních nehod úzce souvisí potřeba využívat poznatků vědy a techniky a používání progresivních postupů při řešení nestandardních problémů. I když mají podobné nehody podobný charakter a lze často (ne vždy) v obecné rovině **algoritmizovat**, v detailech se i jednotlivé, na první pohled shodné nehody výrazně liší.

Systémové pojetí předpokládá vždy nutnost **ověření** výsledků, a to zpravidla jinými metodami, přístupy a postupy. Případné nesoulady mezi hypotézou, jak se bude silniční nehoda při změně konkrétního parametru „chovat“ a výsledným chováním je třeba analyzovat a podrobit důsledné kritice a zejména vysvětlení. Například výsledky simulačního výpočtového simulačního modelování jsou pouze jednou dílčí částí řešení a bez analýzy souladu výsledků s jinými postupy nelze bez dalšího výsledky považovat za zcela věrohodné.

Znalec jako řešitel (analytik) silničních nehod je z podstaty své funkce, resp. profese **zodpovědný za výsledek**, a to hned z několika pohledů. Může být materiálně zodpovědný za škodu, která vznikla jeho vadným závěrem. Jako deklarovaný expert je z pohledu občanského zákoníku (74) jeho odpovědnost větší než u osob, které se za experty neprohlásí (nejsou veřejně prohlášeny). V neposlední řadě může být sankcionován dle platné právní úpravy upravující znaleckou činnost (např. přestupky v souvislosti s výkonem činnosti) a je současně i trestně odpovědný za podání nepravdivého znaleckého posudku v případě podání vědomě nepravdivého, nebo hrubě zkresleného znaleckého posudku. Stejně tak i podáním posudku neúplného (nekomplexního, nesystémového), tedy například takového, který preferuje a představuje ve sporných případech pouze jeden průběh dopravní nehody nad druhým (preferuje např. řešení výhodné pro jednu stranu sporu) bez ohledu na obtížné technické zdůvodnění závěrů, resp. vypořádání se s kompletními podklady (např. respektování subjektivních podkladů typu výpovědí v případech, kde nelze technicky prokázat přijatelnost pouze jednoho řešení).

Znalec může často pouze v omezené míře sledovat způsob **implementace** svých závěrů až do úplného dořešení problému, jelikož není účastníkem řízení a má omezenou možnost přístupu k finálnímu rozhodnutí, např. rozsudku, odvolání, protokolu z hlavního líčení apod. Na odborném závěru znalce jsou však zpravidla zahájeny první související právní kroky (zahájení trestního stíhání apod.).

S oblastí forenzních věd jsou nerozlučně spojeny **etické zásady** a normy. Pominu-li odpovědnost za výsledek, jedná se zejména o nutnost komplexního řešení problému a nezaměření okolností podstatných pro rozhodnutí bez ohledu na zadavatele a jeho zájmy a související finanční plnění.

Celkově lze říci, že soudně znalecká analýza silničních nehod je zcela v souladu se základními atributy systémového přístupu a lze na ni systémový přístup úspěšně aplikovat.

Popsané principy vycházejí částečně z obecných principů systémového pojetí, jak byly formulovány v (72).

Technické znactví v oboru dopravy se specializací na posuzování příčin silničních nehod lze chápat jakou soustavu **znalce** (subjekt, který zpracovává znalecký posudek a řeší znalecký technický problém), **znaleckého objektu** (dopravní prostředky, lidé, bezprostřední či vzdálené okolí), **znaleckého problému** (analýza silniční nehody) s dílčími podproblémy, **znalecké činnosti** (proces získávání, zpracovávání a předávání informací) a konečně **znaleckého posudku** jako dále použitelného zpracovaného a formalizovaného výsledku zkoumání.

Právě požadavky na znalecké posudky splňují znaky nutnosti užití zásad systémového přístupu, jelikož znalec analytik silničních nehod mnohdy řeší rozpory mezi nízkou informační určitostí a velkou rozhodovací významností při formulaci závěrů. Jedná se tedy o velmi odpovědnou a náročnou činnost. Z uvedeného vyplývá, že systémový přístup vyžaduje nejen řešení problémů při analýze silničních nehod, ale je nutné jej aplikovat na všechny prvky **soustavy** technického **znactví**, od osoby **znalce**, **znaleckého objektu**, **znaleckého problému**, **znalecké činnosti** až po produkt technického znactví – **znalecký posudek** z oboru dopravy.

Předmětem zájmu jsou tedy soustavy technických objektů a cílem je vysvětlení negativního jevu na základě znalosti jeho cílového stavu.

Při posuzování možných technických závad na dopravních prostředcích, které by měly vliv na vznik a průběh dopravní silniční nehody, se posuzuje aktuální, opět cílový stav objektu. Nerealizují se až na výjimky znalecké problémy predikující chování soustav do budoucna (prognostické).

K modelování při analýze silničních nehod jakožto napodobení skutečného procesu a projevu na objektu a jeho okolí je v systémovém pojetí, jak bude uvedeno dále, užíváno mentálního, výpočtového a experimentálního modelování.

Při analýze silničních nehod má valná většina řešených problémů charakter řešení **nepřímé příčinné úlohy**, kdy je známý konečný stav objektu či entity (procesy, stavy, projevy, důsledky) a řešením hledáme veličiny, které netvořily vstupy.

Jelikož se jedná ve většině aspektů o **nepřímé řešení problémů**, k modelování jsou užity pomocné **modelové objekty**, nikoliv přímo objekty, na kterých se problémy řeší.

Při analýze silničních nehod jsou entity zkoumány v závislosti na čase, tedy dynamicky. Veškeré činnosti je nutné realizovat s využitím poznatků současné vědy a techniky, aplikovat algoritmizaci tam, kde je to možné, ale přitom uvažovat se stochastickým či neznámým chováním některých prvků soustavy a zejména vlivem jednotlivých vstupních veličin. Proces řešení problému musí být vždy zakončen analýzou dosažených výsledků, řešitel je zodpovědný za věrohodnost výsledků.

Výchozím stavem poznávacího problému je vymezení zájmu subjektu o objekt a cílem je vytvoření systému podstatných veličin, které budou užity pro modelování.

Analýza silničních nehod souvisí úzce s analýzou rizik, přičemž riziko je součin pravděpodobnosti výskytu nežádoucí události a jejího důsledku.

Základním majoritním rizikem vzniku silničních nehod je lidský faktor (účastník silničního provozu).

**Nejčastějšími problémy řešenými při analýze silničních nehod jsou striktně problémy havarijní** (v souvislosti s popisem chování technické soustavy). Technické soustavy jsou tvořeny prvky a vazbami technického charakteru s různou složitostí. Soustavy při řešení silničních nehod jsou často měkké či smíšené (obsahují prvek lidského faktoru), méně často soustavy tvrdé. Měkké soustavy jsou takové, které nemají své chování popsány exaktně, resp. určitě a lze je na rozdíl od soustav tvrdých hůře strukturovat a obtížněji predikovat jejich chování.

**Havarijní problém** (2) je typem nepřímého problému a vyznačuje se tím, že výchozím stavem je havárie objektu a cílem subjektu (znalce, experta, řešitele) je s využitím dostupných, zjištěných a zpracovaných informací s využitím HW a SW prostředku zjistit příčiny negativního jevu, který na objektu vznikl. Havarijní problémy jsou obtížně řešitelné a souvisejí s valnou většinou řešených problémů při analýze silničních nehod, když expert má často k dispozici pouze poškozené objekty (často nikoliv), zprostředkované informace a listinné podklady a jeho úkolem (problémem) je nalezení průběhu a příčiny vzniku negativního jevu.

Problémy při analýze silničních nehod jsou často neostré a zasahující do jiných oborů. To je konfliktní z důvodu právních restrikcí, kdy jmenovaný expert z oblasti dopravy může samostatně



řešit pouze problémy z oblasti dopravy, pouze se souhlasem zadavatele je možná konsilience s jinými disciplínami (strojírenství, zdravotnictví, biomechanika, ekonomika, psychologie apod.).

Při aplikaci na analýzu silničních nehod je tedy cílem zjistit z dostupných podkladů primárně příčinu vzniku silniční dopravní nehody, ale i další související problémy. Havarijní problémy jsou velmi obtížně řešitelné a výsledky zkoumání mohou být víceznačné až mnohoznačné.

**V některých případech** lze při analýze silničních nehod hovořit i o řešení **přímého příčinného problému**, tedy takového, který lze řešit přímo na primárním objektu:

- problémy **hypotetické predikce chování objektů** (např. řešení možností odvrácení nehody jejími účastníky),
- případně problémy **poznávací** (získávání informací o všem podstatném, co může zvýšit informační úroveň).

**Typickým příkladem řešení přímých příčinných problémů v technickém znelectví je ale spíše oceňování majetku.**

Při řešení **přímých příčinných úloh** v aplikaci na analýzu silničních nehod jsou **vstupními** veličinami:

- veličiny z podmnožin **příčin S3 a S4**,
- a veličiny podmnožin charakterizující objekt a okolí, tj. **S0, S1, S2, S3, S4 a S5**.

**Výstupy** jsou primárně podmnožiny **následků S7 a S8** se zohledněním veličin **S6** probíhajících na objektu během působení aktivací a ovlivnění.

Často užívanou metodou při analýze silničních nehod je **experimentální zjišťování chování entity** při znaleckém experimentu, prověrce na místě či vyšetřovacím pokusu. Přímými metodami na existujícím objektu, např. vozidle, jsou ověřovány např. jeho dynamické vlastnosti (akcelerace, decelerace, jízdní stabilita...), projevy (hluk, vibrace, emise...), nebo ověření vzájemné viditelnosti z objektů navzájem. Dále je v některých případech přímými metodami (ve většině případů nepřímý problém) hodnocen na existujícím objektu i jeho technický stav pro účely potvrzení, nebo vyvrácení technické závady. V tomto případě se již jedná o kombinaci identifikačního (poznávacího) problému a problému havarijního.

V souvislosti s řešením silničních nehod jako jednotlivých problémových situací a problémů primárně v souvislosti s organizační, potvrzovací či zejména rozhodovací činností zadavatelů znaleckých posudků platí zjednodušené rozdělení řešení problému na jednotlivé **fáze** řešení.

- A. **Přípravná fáze:** V rámci přípravné fáze je nutné vymezit problémové situace, vstupní podklady a cíle řešení. K tomu je zásadní analyzovat objekty, na kterých se řeší problém, zpravidla různé dopravní prostředky, osoby a okolí. Na základě analýzy problémové situace je možné nadefinovat problém (např. analýza střetu vozidla a chodce) a strukturovat dílčí problémy (např. okamžik první optické reakce řidiče na chodce). Každý dílčí podproblém vyžaduje rešerši dostupných podkladů k jeho řešení. V rámci přípravné fáze je nutný příjem prvotních a získání dalších informací, transformace informací do použitelné podoby, tedy jejich zpracování.
- B. **Realizační fáze:** V rámci řešitelské fáze je nutné vytvořit systém podstatných charakteristik a veličin, vybrat vhodné metody a zrealizovat algoritmy. Získané výsledky je ve znaleckém inženýrství potřeba analyzovat z hlediska přesnosti, správnosti a věrohodnosti a odpovídajícím způsobem a formou pochopitelnou pro neodborníka zhodnotit a prezentovat.
- C. **Aplikační fáze:** Z důvodu mezioborovosti řešených problémů je nutná důsledná a pochopitelná interpretace odborných výsledků řešení problémů do laické podoby, jelikož rozhodovací orgány nemají potřebné znalosti a vědomosti.

Analýzu silničních nehod lze svým zaměřením a strukturou řešených problémů řadit mezi technické disciplíny, ne vždy jsou však řešené problémy, způsoby řešení, užívané charakteristiky a veličiny zcela ostře a exaktně vymezeny.

Vzhledem k interdisciplinárnímu dopadu vyřešených otázek analýzy silničních nehod je analytik s výsledkem svých řešení nejčastěji konfrontován před orgány veřejné moci, kde výsledky řešení prezentuje. Sledování odezvy je tedy řádnou, zpravidla obligatorní fází expertní či znalecké činnosti.

### 3 PROBLÉMOVÁ SITUACE

Základní znaky první skupiny atributů systémového přístupu předpokládají pojmovou určitost, vymezení problémové situace, objektu zájmu, správné vymezení problému, strukturalizaci problému, vymezení vztahů a vazeb, volbu metod, vyřešení problému a ověření výsledků řešení. Z pohledu znalectví pak s výsledky souvisí soubor znaleckých činností a vytvoření znaleckého posudku.

V **systémovém pojetí je silniční dopravní nehoda** různě složitý **proces** probíhající na entitě smíšené soustavy tvořené prvky či soustavami **účastníků** dopravní nehody, **dopravních prostředků, pozemní komunikace a prvků okolí**.

Na proces se dá nahlížet z pohledu vyšetřování silničních nehod (např. orgány činnými v trestním řízení) tak, že tento proces vznikl nejčastěji v důsledku:

- porušení povinností účastníků nehody,
- a (nebo) porušení povinností provozovatele, případně opravce vozidla,
- a (nebo) porušením povinnosti správce komunikace,
- a (nebo) výjimečně zásahem vyšší moci.

Dopravní nehodu lze chápat i jako **kritický či mezní stav**, tedy takový stav, kdy již objekt nemůže plnit svou původní funkci, přičemž mezním stavem nemusí být až střet. Kritickým (mezním) stavem jsou už jednotlivé počátky vzniku silniční nehody, jelikož **neexistuje jeden počátek nehodového děje**.

Dopravní silniční nehoda je tedy **proces**, který má původ v silničním provozu a je pro něj charakteristické, že má negativní důsledky (újmou na zdraví, škoda na majetku, životním prostředí).

**Silniční dopravní nehoda** je dle (6) nezamýšlená, nepředvídaná událost v silničním provozu na veřejných komunikacích způsobená dopravními prostředky, která měla škodlivý následek na životech, zdraví, nebo na majetku.

V systémovém pojetí je **silniční nehoda** procesem, který vznikl interakcí mezi soustavami, při které probíhají na objektu změny ve stavu či vlastnostech a vlivem aktivace dojde k viditelnému vnějšímu projevu, často s havarijními následky na životě, zdraví a majetku osob.

Okolím soustav zpravidla rozumíme jinou soustavu dopravního prostředku či prvek lidského faktoru, bezprostředním okolím dopravního prostředku je veřejná komunikace či prvky okolí komunikace.

Jednotlivé typy dopravních nehod se tedy liší typem dopravního prostředku, jeho vlastnostmi, topologií, geometrií a strukturou, typem okolí objektu a vnějšími projevy, přičemž způsob přípravy a vytváření podstatných entit, parametrů, charakteristik a veličin a důsledky do okolí jsou podobné.

Bezprostředním okolím soustav před vznikem nehody je veřejná komunikace a její okolí, letištní plocha, kolejový prostor, vzdušný prostor, či vodní plocha. Toto okolí působí svými vazbami na objekt a ovlivňuje tak dopravní prostředek během jeho pohybu. V okamžiku vzniku dopravní nehody dojde k interakci s okolím, kterým již nemusí být pouze bezprostřední okolí objektu, ale i jiné objekty vzdálenějšího okolí, např. jiné dopravní prostředky či lidé. Interakce se projevívá uvnitř soustavy dopravního prostředku a posádky na stavu samotného objektu z hlediska vlastností a struktury a také vně na okolí, přičemž důsledky jsou lidsky a materiálně významné.

Silniční nehody, které nemají znaky nahodilosti, ale naopak účelovosti jednání účastníků a končí materiálními škodami na pojištěných objektech bez vážnějších zranění účastníků, mají znaky **pojistných podvodů** v souvislosti se silničním provozem. Jedná se o události různým způsobem připravené či vyvolané, kde mají manipulace podstatných skutečností a uvedení třetí osoby v omyl při vylíčení události přinést finanční plnění. Zde prvek člověk, resp. řidič, vystupuje svým zamýšleným jednáním a z pohledu práva jsou to činy úmyslné, na rozdíl od většiny nedbalostních trestných činů v souvislosti s dopravním provozem.

Zákon o provozu na pozemních komunikacích v platném znění (75) uvádí, že dopravní nehoda je událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu.

V systémovém pojetí soudního inženýrství je **problémovou situací taková silniční nehoda, která vyžaduje ze subjektivních nebo objektivních důvodů řešení**. Problémovou situací tedy není obecně každá dopravní nehoda.

Nastala tedy nestandardní situace, o jejímž průběhu a odpovědnosti jednotlivých účastníků existují pochyby, které mají být vysvětleny. Požadavek na řešení je dán nejčastěji orgány veřejné moci za účelem posouzení odpovědnosti za protiprávní jednání účastníků.

Cílem řešení takové problémové situace je systémově (komplexně) objasnit technický průběh nehody řešením jednotlivých provázaných problémů, popsat možnosti odvrácení jednotlivými účastníky a zjistit technické a právní příčiny.

Z hlediska potřeby zadavatelů znaleckého zkoumání je cílem zjistit podíl odpovědnosti za její vznik.

O proces dopravní nehody se zajímají subjekty, které mají při jejím vzniku či řešení ze zákona nějaké povinnosti, tedy:

- sami účastníci (dodržování právních předpisů o provozu na pozemních komunikacích a odpovědnost za jejich porušení),
- pojišťovny (ekonomická likvidace následků, stanovení výše pojistného plnění),
- orgány činné v trestním řízení (v případě podezření ze spáchání trestného činu či správního deliktu),
- složky IZS (bezprostřední pomoc a likvidace následků),
- správní orgány (posuzování podezření protiprávního jednání nižší intenzity společenské škodlivosti),
- vlastníci či správci infrastruktury,
- a v případech, kdy jsou vyžadovány zvláštní odborné znalosti i **znalci**, a to na základě požadavků orgánů, občanů či organizací (řešení průběhu nehody).

Každý zájmový subjekt o proces dopravní silniční nehody může mít (a také ve skutečnosti má) jiné úkoly a jiné požadavky, z průběhu či řešení jej zajímají zpravidla jiné závěry. Existuje řada poznatků, typů modelování a metod, aplikovaných pro řešení dílčích problémů.

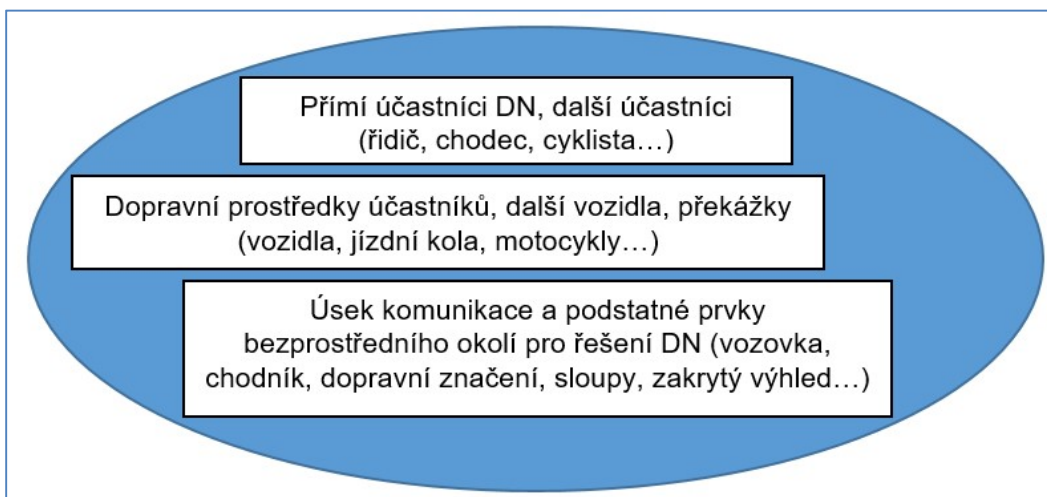
Při analýze silničních nehod, znalecké činnosti ani výuce se však nevyužívá možností a poznatků, které odpovídají současné úrovni poznání v oblasti systémové metodologie.

## 4 SYSTÉMOVÝ PŘÍSTUP K SILNIČNÍ NEHODĚ

V systémovém pojetí na makroúrovni představuje řešení silničních dopravních nehod svým charakterem řešení problémů na soustavě soustav, tj. tzv. **hypersoustavě** tvořené dílčími soustavami s rozdílnou složitostí a rozdílným prognózováním jejich chování, jak o hypersoustavě v jiných oborech hovoří i prof. Janíček (72). Při analýze silničních nehod lze tedy hovořit o hypersoustavě, protože jednotlivé soustavy (např. řidič-vozidlo) mohou být považovány za prvek hypersoustavy, v některých úvahách pak vystupují jako **samostatné** soustavy.

### **Soustavy tvořící hypersoustavu:**

- a) přímí účastníci silniční dopravní nehody, další účastníci,
- b) dopravní prostředky řízené účastníky silniční dopravní nehody a další dopravní prostředky,
- c) místo dopravní nehody a podstatné prvky okolí,
- d) vzdálený úsek komunikace a vzdálené okolí.



*Obrázek 3: Hypersoustava dopravní nehody s dílčími soustavami (autor)*

K analýze problémů na této hypersoustavě je nutné analyzovat problémovou situaci konkrétní dopravní nehody, naformulovat problém, omezit jeho hranice, jasně formulovat cíl, analyzovat nadřazené restriktce (omezení daná zadavatelem, společenské, subjektivní, finanční, právní či např. omezení řešitelská), analyzovat informační zdroje a možnosti ověření správnosti řešení.

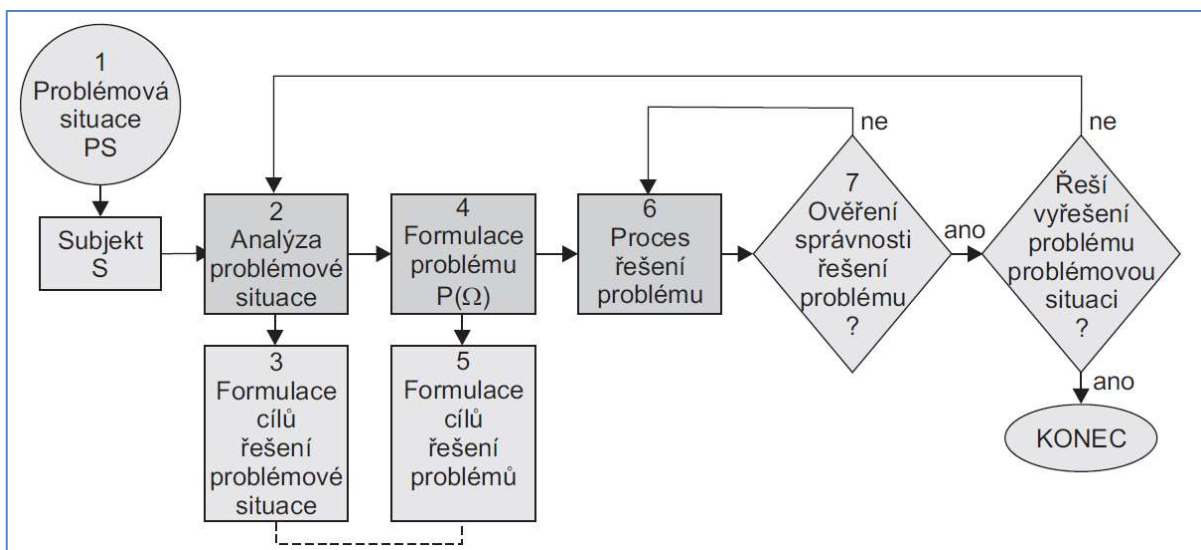
Při řešení by měly být aplikovány jednotlivé atributy systémového přístupu, systémové disciplíny, systémové algoritmy a systémové myšlení.

Řešení problému silniční dopravní nehody pro účely technického zrna je nutné strukturovat, a tedy rozdělit na řešení dílčích problémů na jednotlivých soustavách (příp. subsoustavách) s těmito kroky:

1. vymezení prvků hypersoustavy,
2. zjištění základní charakteristiky chování soustav při silniční dopravní nehodě,
3. vymezení podstatných interakcí mezi soustavami,
4. rozdělení, formulace a řešení problémů na dílčích soustavách,
5. dovození chování hypersoustavy (fáze, podstatné veličiny, metody, algoritmy...).

Problémy při analýze silničních nehod na soustavě, resp. soustavách, jsou holistického charakteru, jejich řešení tedy vyžaduje respektovat strukturu soustav, prvky a vazby mezi nimi.

Struktura řešení problémové situace představena prof. Janíčkem **je plně aplikovatelná i na analýzu silničních nehod.**



Obrázek 4: Struktura řešení problémové situace (2), str. 88

Problémovou situací je vznik dopravní nehody a její potřeba řešení. Tuto je nutno podrobně analyzovat, naformulovat dílčí cíle, resp. jednotlivé soustavy (vozidlo, chodec, cyklista, komunikace) a vazby, vytvořit na soustavách systém podstatných veličin, naformulovat problémy (např. rychlost vozidla při střetu s chodcem, korespondence zranění a poškození, dohlednost), volit metody, kterými jsou problémy řešeny (např. výpočtové či experimentální modelování), a které je možno ověřit z hlediska správnosti a aplikovat algoritmy za účelem tvorby znaleckého posudku.

K řešení analýzy silničních nehod lze tedy užít:

1. metod systémové analýzy a syntézy:
  - řešené problémy jsou mnohdy interdisciplinární, neostré či nestabilní, k řešení se užívá nejčastěji simulačního výpočtového modelování;
2. a metod logických:
  - indukce, dedukce, analýza, syntéza, abstrakce a konkretizace.

Statistické metody se užívají při tomto typu řešených problémů spíše výjimečně, spíše pro vyhodnocení dat z experimentálního modelování.

#### 4.1 PŘÍSTUPY, METODY A MODELÝ, SYSTÉM PODSTATNÝCH VELIČIN

Z charakteru **hypersoustavy** jednoznačně vyplývá, že na ní **nelze přímo vytvořit systém podstatných charakteristik a veličin**, ale **hypersoustavu je nutné rozdělit** dle konkrétní problémové situace (konkrétní řešené dopravní nehody) s ohledem na typy požadovaných řešených problémů na jednotlivé soustavy (subsoustavy).

Na **jednotlivých soustavách** lze následně **vytvořit systém podstatných veličin**, volit **metody** a aplikovat **algoritmy** řešení a **případně znaleckou činností tvořit znalecký posudek**.

Aplikace systémového přístupu pro řešení problémů hypersoustavy předpokládá vytváření **systému podstatných veličin na jednotlivých soustavách**, tedy prvcích hypersoustavy.

V souvislosti s analýzou silničních nehod lze v systémovém pojetí rozlišovat strukturovaně nejméně na tyto úrovně:

1. Metody a přístupy k řešení konkrétního problému
2. Algoritmy řešení problémů na dílčích soustavách
3. Algoritmy a zásady tvorby znaleckého posudku.

Algoritmy řešení znaleckého posudku jsou tokem informací v průběhu znalecké činnosti, řešené problémy jsou zpravidla konkrétní problémy charakteru pohybu a rázu objektů a přístupy a algoritmy řešení jsou myšlenkové, úvahové a výpočtové postupy s posloupností k řešení problémů, které závisí obecně na kvalitě vstupních materiálů a úrovni znalostí řešitele.

Základním úkolem znalce z oboru doprava se specializací na posuzování technické příčiny silniční nehody je:

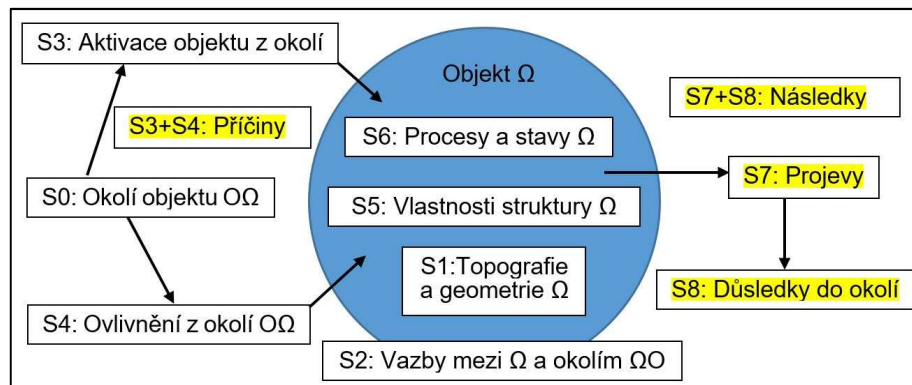
- provedení technické analýzy průběhu nehody,
- posouzení možností účastníků k zabránění jejího vzniku,
- stanovení technické příčiny vzniku nehody,
- případně posouzení technické přijatelnosti výpovědí či vzniku nehodového děje.



**Řešené problémy** analýzy silničních nehod lze rozdělit následovně:

- A: Řešení problémů spojených obecně s pohybem
- B: Řešení problémů typu ráz
- C: Řešení problémů spojených s posádkou
- D: Řešení ostatních problémů (např. pojistné podvody)

Z hlediska aplikace systémového přístupu (Obrázek 5) se jedná o řešení **nepřímých příčinných problémů (úloh)**.



Obrázek 5: *Systém podstatných veličin (76), strana 101*

Při řešení **nepřímých příčinných problémů** v aplikaci na analýzu silničních nehod jsou **vstupními** veličinami při aplikaci systémového přístupu:

- jednak podmnožiny S7 a S8, tj. **následky** silničních dopravních nehod (polohy vozidel, deformace, stopy, zranění, ekonomicky vyjádřitelná škoda),
- a také **některé** podmnožiny ze skupiny **podmnožin S0 až S5** (topologie, geometrie vozidel a okolí, strukturní a vazbové veličiny a **některé** z veličin aktivací a ovlivnění).

**Výstupy** jsou primárně podmnožiny **S3+S4** charakterizující **příčiny** a ostatní z veličin podmnožin **S0 až S5**, které nebyly použity jako vstupy.

Při analýze silničních nehod v systémovém pojetí se užívá nejčastěji metod **modelování**, kdy primární objekt (např. osobní vozidlo) nelze užít z důvodu jeho poškození, proto se modelování realizuje řešitelem na sekundárním účelově zjednodušeném modelovém objektu k objektu primárnímu (vytvořený abstraktní modelový objekt).

Jednotlivým typům modelování se podrobně věnuje ve své knize (73) prof. Janíček. Modelování označuje jako soubor činností realizovaných na modelu s cílem vyřešit problém.

Modelování je soustavou tvořenou:

- subjektem řešícím problém (znalec),
- primárním objektem, na kterém se problém řeší (reálná situace),
- modelovým pomocným objektem, který je identický či podobný z hlediska matematické, fyzikální, geometrické a jiné podobnosti,
- přenesením řešení z modelového objektu na objekt primární,
- a případně podporou, na které se modelování realizuje (SW, HW).

Ve zdroji (2) na s. 126 je uvedeno, že modelování je složeno z těchto činností:

- vytvoření systému veličin  $\Sigma(\Omega)$  přiřazeného objektu  $\Omega$ ,
- vytvoření modelového objektu  $O_M$  a jemu přiřazenému  $\Sigma(O_M)$ ,
- sestavení zobrazení mezi  $\Sigma(\Omega)$  a  $\Sigma(O_M)$ ,
- vytvoření modelového SW, využití HW,
- zajištění vstupních údajů do algoritmů modelování,
- realizace algoritmů,
- zpracování výsledků,
- a ověření výsledků (verifikace), pokud nejsou metody či výsledky dříve verifikovány.

**Tento postup je plně aplikovatelný pro analýzu silničních nehod.**

**Typy modelování aplikovatelné na analýzu silničních nehod:**

- zpracování dat a znalostí na informace, užití oborových technik a kompetencí (mentální modelování)
- zpracování teoretických informací (teoretické a formální),
- provádění experimentů (experimentální)
- zpracování číselných veličin (výpočtové) a simulační výpočtové modelování

Model je prostředek k **nepřímému** řešení problému a jeho užití musí být pro řešitele výhodnější než řešení přímé, na přímém objektu. V případě analýzy silničních nehod to vždy nemusí platit, ale z objektivních příčin přímý nepoškozený model není k dispozici.

Model je soustavou všeho podstatného pro řešení problému.

Modelový objekt umožňuje řešit problém na primárním objektu. Součástí modelování je také vytváření dílčích modelů (topologie, geometrie, aktivace apod.).

Proces modelování podle jeho vlastností a chování může být např. deterministický, statický, dynamický, stochastický apod. S modelováním úzce souvisí pojem věrohodnosti.

Modelování musí být věrohodné, výsledky musí být ověřeny (verifikovány), například jinými typy modelování. V závěru je nutné ověřit, zda přechod od determinismu ke stochastičnosti vede ke změně věrohodnosti výsledků.

Dalším typem problému je, že některé typy úloh a zejména zvolené přístupy k řešení jsou vysoce citlivé na změny vstupních veličin a drobná změna parametrů může způsobit zcela rozdílné výstupy (výsledky). Některé z problémů analýzy silničních nehod jsou výpočtově nestabilní (například použití vícetělesových modelů jednostopých vozidel či osob). Chování takových soustav je obtížně predikovatelné. Takové samostatně prezentované **řešení tedy často není dostatečně robustní.**

Postup modelování při analýze silničních nehod tak, aby byla zachována jeho věrohodnost, je dán zejména důslednou formulací problému, vytvořením systému podstatných veličin, formulací problému, vytvořením algoritmu řešení, realizací tohoto algoritmu, zpracováním výsledků, jejich analýzou s ověřením jejich pravdivosti. Velkým problémem analýzy silničních nehod je striktní závislost řešitele na kvalitě a rozsahu vstupních podkladů od zadavatele a často omezená možnost jejich doplnění či zpětného ověření v přijatelných mezích.

Detailní představení jednotlivých užívaných softwarových opor a běžně užívaných modelů řešení silničních nehod je dostupné z odborné literatury a není účelem této práce je představovat. V dalším textu jsou pouze **vybrány** některé běžně užívané metody pro pochopení řešení vybraných problémů analýzy silničních nehod a k tomu odpovídající podstatné veličiny, aby bylo možno mj. ukázat kvalitativně i kvantitativně rozdílnou úroveň modelování.

Cílem simulačního modelování je analyzovat procesy probíhající na objektu a tím určit potenciálně možná chování objektu pro předem zvolenou strategii změn týkajících se aktivace objektu, ovlivňování objektu okolím, vazeb objektu s okolím, změn ve struktuře objektu.

**Některé z metod, např. kinematické modelové objekty, jsou aplikovatelné ve výpočtovém i simulačním výpočtovém modelování a liší se pouze typem realizace výpočtového algoritmu.**

Níže jsou představeny a na vybraných problémech ukázány běžně dostupné metody a přístupy k řešení problémů při analýze silničních nehod.

#### 4.1.1 Mentální modelování, oborové techniky, nástroje a užité kompetence

**Jedná se o zcela základní a primární přístupy k řešení silničních dopravních nehod, bez kterých nelze dále realizovat ostatní typy modelování.**

U **abstraktního modelování** je objektem soustava informací. (2)

U **teoretického** modelování jako zvláštního typu abstraktního modelování je modelovým objektem teorie jako soustava správných výroků. (2)

U **mentálního modelování** je modelovým objektem **mozek**. Mentální modely jsou flexibilní na vzniklé situace, jsou jednoduché, mohou být však nepochopitelné pro jiného jedince, protože vychází z různé úrovně informací a různé úrovně tvůrčího myšlení.

Velké množství silničních nehod lze vyřešit samotným mentálním, teoretickým a abstraktním modelováním. Mentální modelování je základním pilířem a přístupem k řešení silničních nehod a branou k využití jiných druhů modelování.

Z podstaty vyplývá, že výše uvedené typy modelování jsou zcela nezbytným předpokladem pro analýzu silničních nehod a o úrovni řešení problémů rozhoduje mentální modelování a restrikce dané myšlenkovou úrovní řešitele.

Z hlediska možností tvůrčího myšlení jsou nutné zejména znalosti a schopnosti řešitele strukturovat a analyzovat jeho problém, posoudit podstatné veličiny, které jsou podstatné pro jeho řešení na různých úrovních, a to zejména úroveň tvůrčího a kombinačního myšlení, teoretické a oborové kompetence, znalosti a schopnost užití kombinace systémových disciplín při řešení problému. Mentální modelování umožňuje řešiteli z množství dostupných informací a metod vybrat takové, které jsou nejvhodnější pro řešení konkrétního problému a umožňují dosáhnout požadovaného stupně věrohodnosti výsledků. U analýzy silničních nehod se totiž často realizuje intuitivní přístup. Mohou nastat situace, kdy není možné silniční nehodu na požadovaném stupni věrohodnosti vyřešit ani přes použití nejpokročilejších metod, nejčastěji z důvodu informační neurčitosti.

Pokud odhlédneme od ostatních přístupů k řešení silničních nehod, pro řešení problémů souvisejících s analýzou silničních nehod jsou potřebné následující oborové a oborově zaměřené kompetence. Tyto jsou využívány při abstraktním, teoretickém, znalostním a mentálním modelování, podstatná je zejména jejich provázanost a celostní přístup k řešení vybraných úloh. Struktura odborné literatury vyžaduje rovněž slušné jazykové kompetence řešitele, je psána především německy a anglicky.

Jedná se zejména o tyto odborné kompetence (včetně některých vybraných zdrojů):

- Nauka o stopách a jejich zajištění (9) (10) (14) (23) (77) včetně matic stop, matic korespondence poškození a matic hypotéz (1), schopnost číst stopy, sběr vzorků a expertízy, střeptiny, kapaliny, schopnost hledat souvislosti, hledat stopy (zkušenostmi)
- Systémové disciplíny (logika, experiment, modelování, statistika...) (2) (73)
- Nauka o markantech poškození, korespondence poškození (15) (38) (9) (12)
- Lidský faktor z pohledu chování účastníků silničního provozu, reakce a distraktory, limity lidských schopností a možností (55) (57) (59), antropometrie, zranění, dynamiky pohybu posádky a biomechanika, určení osoby řidiče... (17) (9) (18) (46) (45) (14) (78) (43) (42) (37) (79) (80)
- Znalosti strukturních vlastností a deformačního chování vozidel, kolizní mechanika (81) (82) (83) (25) (7) (20)
- Technika správné fotodokumentace vč. práce s fotografickými záznamy, znalost úprav, rozpoznání manipulace obrazových záznamů (9) (11) (84)
- Videodokumentace vč. videoanalýzy kamerových záznamů, znalosti limitů, předpokladů a užívaných SW
- Časoprostorová analýza, diagramy užívané při analýze silničních nehod, možnosti odvrácení nehody (1) (10) (9) (17)
- Prohlídka a zaměřování místa nehody bezprostředně po nehodě, moderní metody zaměřování (totální stanice, stanice GNSS, 3 D skenery, drony) (18) (17)
- Fotogrammetrie pro možné doplnění vstupních dat z existujících podkladů, běžné možnosti rektifikace, nejčastěji stop a poloh objektů z fotografií, např. pomocí SW PC-RECT či Virtual CRASH (1) (17)
- Teorie vozidel, zejména dynamika a podvozky (50) (51) (52)
- Dopravní prostředky (rozličné dopravní prostředky vč. tramvají, trolejbusů, motocyklů, jízdních kol, koloběžek, elektrických dopravních prostředků, jejich specifika, vlastnosti, zejména brzdy, pneumatiky a řízení, znalosti konstrukčních skupin, dílů a názvosloví vč. znalostí zkoušení, elektroniky, diagnostiky a opravárenství, teorie, osvětlení, lakování) (50) (8) (31) (33)
- Aktivní a pasivní bezpečnost (pneumatiky, bezpečnostní pásy, airbagy, asistenty (autonomní chování moderních vozidel, noční vidění, adaptivní tempomaty, protikolizní asistenty, udržování v jízdním pruhu, hlídání slepých úhlů, kamery apod.), konstrukční odlišnosti, přehled o technických řešeních bezpečnostních

asistentů a jejich fungování, znalost jejich ovládní a ergonomie řešení u různých typů vozidel) (19) (34) (35) (36) (32)

- Zpracování dat z analogových a digitálních tachografů (85) (14)
- Znalost zásad a norem uložení nákladu, možnosti výpočtů a posouzení (86)
- Znalosti možností získávání a analýzy nehodových dat a dostupných řešení (CDR, EDR), právní regulace
- Měřicí technika a komplexní přehled o možnostech, teorie měření pro kvantifikaci vstupních veličin (pro zaměřování stop, měření dynamických veličin, světelných veličin, bezpilotní prostředky, měřicí pomůcky, zpracování a prezentace dat a výsledků – tabulkové procesory, CAD apod.) (9) (11)
- Základy dopravního inženýrství, analýza světelné signalizace (47)
- Počítačové zpracování dat, obecné znalosti modelů, možností, úrovní modelování a užívaných SW, znalost pomůcek a SW nástrojů, obsažených v jednotlivých simulačních programech a mimo ně, např. kontaktní čáry, čáry rozhledu, poloha slunce, přidané vnější silové působení, semaforey, automatické zpracování dat z tachografů apod. (87) (17) (18) (22)
- Právní předpisy, bezprostředně týkající se provozu na pozemních komunikacích, technických podmínek a schvalování vozidel v ČR (75) a okolních zemích
- Oborově zaměřené právní souvislosti (soudní řízení, orgány činné v trestním řízení, typy rozhodnutí, soudní soustava, role a postavení stran, orientace v právním textu ve spisech, znalost úkonů vyžadujících účast orgánů činných v trestním řízení, rámcová znalost judikatury) (49) (88) (89) (90) (91) (92)
- Obecná znalost možností blízkých oborů pro interdisciplinární posuzování problematiky (soudní lékařství, kriminalistika, dopravní psychologie, zrakové vnímání) (46) (53) (54) (48) (44) (56) (60)
- Dobré oborové kontakty, znalost cizích jazyků, cit pro jazyk pro srozumitelné vyjádření a pochopitelnou interpretaci výsledků a kumulované zkušenosti a kompetence získané v průběhu činnosti (tacitní znalosti).

#### 4.1.2 Výpočtové modelování

Pro řešení **nepřímých příčinných problémů** bez aplikace simulačního výpočtového modelování, tedy pomocí algoritmů pro řešení nepřímé příčinné úlohy (nepřímý algoritmus) se v analýze silničních nehod zaužíval pojem tzv. **zpětného odvíjení nehodového děje**.

Zjednodušené výpočtové modely pohybových parametrů na bázi modelové teorie základních fyzikálních závislostí typu Newtonových pohybových zákonů, zákonů zachování energie, hybnosti, momentu hybnosti či kinematických vztahů a vztahů získaných empiricky či na základě reálných prováděných experimentů, mají stále svou roli při analýze silničních nehod, a to nejen kvůli ověření a zúžení mezí výsledků simulačního výpočtového modelování.

Analýza silničních nehod disponuje množstvím metod a postupů založených na zpětném přístupu k analýze nehod, tedy od konečných poloh objektů ke vzniku nehodové situace, a to jak v oblasti popisu pohybu, tak řešení střetů různých entit. V odborné literatuře jsou běžně užívané metody i vstupní hodnoty dosazovaných veličin, empirické metody a vztahy (např. pro analýzu nehod s chodci, cyklisty, motocykly) (61) (62) (63) (64) a další publikované podklady, stejně jako konkrétní řešení expertních problémů a přístupů. (93) (94)

Existuje velké množství pomůcek pro znalce, ať už jsou to např. aplikace v tabulkových procesorech, polský software *RWD*, *WINKOL*, *CARAT*, kinematické výpočty v simulačních programech, zjednodušující aplikace pro kinematické výpočty (např. Servisní balíček podpůrných výpočtů znalce (*SBPVZ*) doc. *Drahotského*, *SWADNE Ing. Kubelky apod.*), případně pro mobilní telefony pro účely rychlé možnosti reakce znalce před soudem (aplikace doc. *Kohúta*) apod.

**Výstupní veličiny** získané **jedním typem modelování** mohou být účelně vloženy jako vstupní veličiny do **modelování jiného**, což slouží i k ověření výsledků.

Například výsledky experimentálního, teoretického či mentálního modelování mohou být užity jako vstupy do výpočtového, resp. simulačního výpočtového modelování.

#### 4.1.2.1 Výpočtové modelování (problém typu pohyb)

Příkladem takového modelování u pohybu vozidla může být i zpětné kinematické přiblížení velikostí střetových parametrů na základě zadané velikosti součinitele adheze mezi pneumatikou a obecně povrchem, intenzity zpomalení ve vztahu k dané adhezi, definovaných mezípoloh a konečných poloh (z hlediska dráhy a času).

#### **Kinematický zpětný (nepřímý) výpočtový model pohybu vozidla**

Ke stanovení nejčastěji výběhových rychlostí před řešením vlastního rázu či stanovení rychlosti vozidla, např. po ztrátě směrové stability, jsou často s úspěchem užívány jednoduché kinematické vztahy analyzující pohyb hmotného bodu.

**Vstupními** veličinami jsou nejčastěji v nejjednodušších aplikacích pouze odměřené dráhy pohybu, zvolená zpomalení, případně adheze nebo procento brzdění. Zcela nepodstatná na dané úrovni modelování je například hmotnost vozidla a nepodstatné jsou i jeho rozměry.

**Výstupní veličinou je vždy** výběhová **rychlost** a tam, kde je to relevantní i **úhlová rychlost**.

V případě užití pokročilejších metod empirického charakteru jsou nutné i pokročilejší **vstupní veličiny**.

Kupříkladu metoda stanovení výběhových parametrů dle **Marquard** (18), (68) pro stanovení výběhových rychlostí a rotací jako podstatné **vstupní veličiny** pro výpočet **translační rychlosti** uvažuje adhezi  $\mu [-]$ , úhel natočení vozidla během výběhu  $\varphi [^\circ]$ , uraženou dráhu  $s [m]$ , rozvor vozidla  $R_V [m]$ , tíhové zrychlení  $g [m/s^2]$  a konečnou rychlost  $v_K [m/s]$ , pokud není nulová. **Výstupní veličinou je počáteční rychlost**.

Jako podstatné **vstupní veličiny** pro výpočet **úhlové rychlosti** uvažuje navíc hmotnost  $m [kg]$ , moment setrvačnosti  $J_Z [kg.m^2]$ , a konečnou úhlovou rychlost  $\omega_K [rad/s]$ , pokud není nulová. **Výstupní veličinou je úhlová rychlost**  $\omega [rad/s]$ .

Metoda stanovení výběhových parametrů dle **Burg** (18), (68) pro stanovení výběhových rychlostí a rotací jako podstatné **vstupní veličiny** pro výpočet **translační rychlosti** uvažuje adhezi  $\mu [-]$ , úhel natočení vozidla během výběhu  $\varphi [^\circ]$ , uraženou dráhu  $s [m]$ , součinitel otáčení kol  $f_h [-]$ , tíhové zrychlení  $g [m/s^2]$  a konečnou rychlost  $v_K [m/s]$ , pokud není nulová.

**Výstupní veličinou je počáteční rychlost**.

Jako podstatné **vstupní veličiny** pro výpočet **úhlové rychlosti** uvažuje navíc hmotnost  $m [kg]$ , moment setrvačnosti  $J_Z [kg.m^2]$ , rozvor vozidla  $R_V [m]$  a součinitel odporu proti rotaci  $w_R [-]$ . **Výstupní veličinou je úhlová rychlost**  $\omega [rad/s]$ .

Metoda stanovení výběhových parametrů dle **McHenry** (18), (68) pro stanovení výběhových rychlostí vyžaduje nejprve kalkulaci **rychlosti úhlové**. Jako **vstupní veličiny** pro výpočet **translační rychlosti** jsou uvažovány: součinitel adheze  $\mu [-]$ , úhel natočení vozidla během pohybu  $\varphi [^\circ]$ , moment setrvačnosti  $J_Z [kg.m^2]$ , uražená dráha  $s [m]$ , rozvor vozidla  $R_V [m]$ , hmotnost  $m [kg]$ , součinitel otáčení kol  $f_h [-]$  a tíhové zrychlení  $g [m/s^2]$ . **Výstupní veličinou je úhlová rychlost**  $\omega [rad/s]$ .

**Jako vstupní veličinu** pro výpočet **translační rychlosti** uvažuje kromě výše uvedených již pouze úhlovou rychlost  $\omega [rad/s]$ . **Výstupní veličinou je počáteční rychlost**.



Pokud bychom např. zjišťovali rychlost vozidla na počátku výběhu na známé dráze rozkladem sil působících na kolo vozidla během pohybu, lze užít např. tzv. **Energetickou metodu** (18), (68).

Jako **vstupní veličiny** pro výpočet **translační rychlosti** jsou uvažovány: adheze  $\mu [-]$ , úhel natočení vozidla během rozfázovaného pohybu  $\varphi [^\circ]$  na známých dráhových úsecích  $s [m]$ , tíhové zrychlení  $g [m/s^2]$ , hmotnost  $m [kg]$ , případně zpomalení  $a [m/s^2]$ . Ze skokové změny kinetické energie lze poté zjistit výchozí výběhovou rychlost, což je hledaná **výstupní veličina**.

Např. pro obecný vztah pro výpočet mezní rychlosti v obecném prostorovém oblouku na základě odvozených vztahů jsou vstupními veličinami poloměry oblouku ( $r$ ;  $R$ )  $[m]$ , součinitel adheze v příčném směru  $\mu_y [-]$ , tíhové zrychlení  $g [m/s^2]$  a sklony oblouku v obou směrech  $[^\circ]$ .

**Výstupní veličinou** je mezní rychlost vozidla.

Tabulka 3: Systém podstatných veličin modelování vybraných problémů typu pohyb (autor)

Metoda:	Systém podstatných vstupních veličin:	Hledané výstupní veličiny:
Prostý výběh kinematicky	$s [m]$ ; $a [m/s^2]$ ; případně $\mu [-]$ ; $v_K [m/s]$	$v [m/s]$ , resp. $v' [m/s]$
Marquard	$\mu [-]$ ; $\varphi [^\circ]$ ; $s [m]$ ; $R_V [m]$ ; $g [m/s^2]$ ; $v_K [m/s]$ ; $m [kg]$ ; $J_z [kg.m^2]$ ; $\omega_K [rad/s]$	$v [m/s]$ , resp. $v' [m/s]$ ; $\omega [rad/s]$ , resp. $\omega' [rad/s]$
Burg	$\mu [-]$ ; $\varphi [^\circ]$ ; $s [m]$ ; $f_h [-]$ ; $g [m/s^2]$ ; $v_K [m/s]$ ; $m [kg]$ ; $J_z [kg.m^2]$ ; $R_V [m]$ ; $w_R [-]$	$v [m/s]$ , resp. $v' [m/s]$ ; $\omega [rad/s]$ , resp. $\omega' [rad/s]$
McHenry	$\mu [-]$ ; $\varphi [^\circ]$ ; $J_z [kg.m^2]$ ; $s [m]$ ; $R_V [m]$ ; $m [kg]$ ; $f_h [-]$ ; $g [m/s^2]$	$v [m/s]$ , resp. $v' [m/s]$ ; $\omega [rad/s]$ , resp. $\omega' [rad/s]$
Energetická metoda úbytku rychlosti	$\mu [-]$ ; $\varphi [^\circ]$ ; $s [m]$ ; $g [m/s^2]$ ; $m [kg]$ ; $a [m/s^2]$	$v [m/s]$ , resp. $v' [m/s]$
Příklad úkolu:	Systém podstatných vstupních veličin:	Hledané výstupní veličiny:
mezní rychlost vozidla v oblouku	poloměry ( $r$ ; $R$ ) $[m]$ ; $\mu_y [-]$ ; $g [m/s^2]$ a sklony oblouku v obou směrech $[^\circ]$ .	$v_{mez} [m/s]$
doba příčného přemístění vozidla	příčná vzdálenost $y [m]$ ; součinitel adheze v příčném směru $\mu_y [-]$	$t [s]$
rychlost odpoutání motocyklisty	$\mu [-]$ ; $g [m/s^2]$ ; dráha letu a sunutí $s [m]$ ; úhel odpoutání motocyklisty $[^\circ]$	$v [m/s]$
rychlost přiměřená dohledu	$a [m/s^2]$ ; zpomalení při náběhu brzd $a_N [m/s^2]$ ; reakční doba $t_R [s]$ ; doba náběhu brzd $t_N [s]$ ; vzdálenost dohledu $s [m]$	$v [m/s]$

Jak je vidět, podstatné veličiny pro takové typy výpočtu jsou obdobné, s výjimkou rozvoru není podstatná geometrie vozidla a uvedený typ modelování nedokáže zohlednit žádné jiné vlivy, které v některých případech mohou být podstatné, např. řízení, model pneumatik a jejich stav, pružení, tlumení, výšku těžiště, technický stav vozidla z hlediska řízení a brzdění, elektronické asistenty apod.

To ovšem neznámá, že uvedený typ není vhodný či použitelný pro řešení některých problémů, které nevyžadují vyšší úroveň modelování.

#### 4.1.2.2 Výpočtové modelování (problém typu ráz)

##### **A. Ráz vozidel se změnou směru pohybu a rotací během rázu**

###### **Prosté hybnostní řešení v rozmezí vstupních hodnot**

Při řešení nepřímé příčinné úlohy rázu vozidel nepřímým modelováním, u střetů, kde došlo během rázu k viditelné změně mezi předstřetovými (doběhovými) a postřetovými (výběhovými) směry pohybu vozidel, lze při řešení předstřetových parametrů užít například zákona zachování hybnosti a třetího Newtonova zákona ve formě početně-grafické metody modifikovaného diagramu rovnováhy hybností a impulsů **MDRHI**.

Jako **vstupní** veličiny slouží souřadnice bodu rázu v rovině  $x_{BR}[m]$ ;  $y_{BR}[m]$ , hmotnosti vozidel  $m_1 [kg]$ ;  $m_2 [kg]$ , interval směru pohybu vozidla po střetu  $\alpha_1' [^\circ]$ ;  $\alpha_2' [^\circ]$  (*min - max*), zjištěné velikosti výběhových rychlostí  $v_1' [m/s]$ ;  $v_2' [m/s]$  (*min - max*) a směry rychlosti vozidel před rázem  $\alpha_1 [^\circ]$ ;  $\alpha_2 [^\circ]$  (*min - max*).

Jako **výstupní** veličiny slouží hledané velikosti rychlosti vozidla před střetem  $v_1 [m/s]$ ;  $v_2 [m/s]$  (*min - max*) (*tj. hybnosti*) a velikost a směr výsledného impulsu  $I [N.s]$  (*min - max*).

Ze systému podstatných veličin je patrné, že pro řešení na dané úrovni zohledněním pouze hybnosti soustavy je na objektu vozidla podstatná pouze jeho hmotnost, nepodstatné jsou tedy např. ostatní geometrické údaje (rozvor, rozchod, poloha těžiště apod.). Rovněž nejsou podstatné některé dynamické parametry pohybu objektu, např. úhlová rychlost před střetem či po střetu či energetický rozsah poškození vozidel. Zcela nepodstatné a nezohlednitelné jsou další vlivy a veličiny.

###### **Zohlednění rotace vozidel (pokud je podstatná)**

Pokud například obě vozidla po střetu **rotovala**, je tedy podstatná nejen translační složka rychlosti, ale i rychlost úhlová, nejčastěji kolem svislé osy. Kontrola výsledků hybnostního řešení je možná např. pomocí II. impulsové věty.

Zohlednění rotace vozidel je možné i doplněním MDRHI aplikací metody diagramu rovnováhy rotačních hybností a impulsů **DRRHI**, a to zužováním mezí.

Jako **vstupní veličiny** se k těm, které byly potřebné pro řešení **MDRHI** přidávají: momenty setrvačnosti objektů k ose z:  $J_{z1} [kg.m^2]$ ;  $J_{z2} [kg.m^2]$ , výběhové úhlové rychlosti  $\omega_{z1} [rad/s]$ ;  $\omega_{z2} [rad/s]$  vypočtené např. na základě empirických vztahů (např. dle Burg, Marquard, McHenry) a vzdálenosti těžišť vozidel od bodu rázu (působíště impulsu) ve střetových polohách pro obě vozidla, tj.  $T-BR_1 [m]$ ;  $T-BR_2 [m]$ . Momenty setrvačnosti jsou již kalkulovány z rozměrů a hmotností vozidel empirickými vztahy.

Jako **výstupní** veličiny slouží hledané zúžené rozmezí velikosti dobřehové rychlosti vozidla před střetem  $v_1 [m/s]$ ;  $v_2 [m/s]$  (*min - max*) (*a hybnosti*) a velikosti a směry výsledného impulsu  $I [N.s]$  (*min - max*). Jsou nejčastěji graficky nalezeny obrazce možných řešení.

Lze také užít početní analýzu excentrického střetu (1), např. s podporou tabulkového procesoru, tato řešení mohou mít charakter intervalových řešení (řešení v mezích).

Za nepodstatné na dané úrovni modelování je tedy možné považovat všechny ostatní charakteristiky i veličiny, namátkou výšku vozidla, tvar karoserie, model pneumatik, pohon, dynamické charakteristiky, model řidiče, deformační chování apod.

### **Zohlednění energie vozidel**

Dosud byly z veličin zcela nepodstatné strukturální vlastnosti a deformační chování, např. EES, koeficient restituce a samozřejmě také tuhosti.

Jako vyšší úroveň daných možností nepřímého modelování lze tedy uvažovat s ověřením dosavadních výstupů z hlediska velikostí veličin na bázi energetické kontroly. K tomu lze např. využít metodu *Energetického prstence*.

Jako **vstupní veličiny** se k těm, které byly potřebné pro řešení **DRRHI** přidávají: EES vozidel  $EES_1 [km/h]$ ;  $EES_2 [km/h]$ , koeficient restituce  $e [-]$  a velikosti ramen působící síly (impulsu) na těžiště vozidel  $n_1 [m]$ ;  $n_2 [m]$ .

Jako **výstupní** charakteristiky a veličiny slouží hledané dále zúžené či ověřené rozmezí velikosti rychlosti vozidla před střetem  $v_1 [m/s]$ ;  $v_2 [m/s]$  (*min - max*) (*a hybnosti*), velikosti a směry výsledného impulsu  $I [N.s]$  (*min - max*) a také kontrola (ověření), že řešení vyhovuje i z hlediska energetického.

Velmi dobrým nástrojem pro modelování takových typů problémů je kromě tabulkových procesorů již zmíněný software **RWD**, který umožňuje běžné řešení nepřímých příčinných

problémů typu ráz se zohledněním výpočtů (problémů typu pohyb) pro zjištění předstřetových parametrů.

Jako **vstupní veličiny** slouží základní geometrické charakteristiky vozidel vstupujících do rovinného řešení kolize dvou vozidel, tj. délka  $L [m]$ , výška  $V [m]$ , přední převis  $PP [m]$ , rozvory jednotlivých náprav  $R_V [m]$ , rozchod jednotlivých náprav  $R_{CH} [m]$ , hmotnost  $m [kg]$ ; poloha těžiště od přední nápravy  $T-PN [m]$ , a to nejprve pro výpočet momentů setrvačnosti, např.  $J_z [kg \cdot m^2]$ . V další fázi je podstatná dráha uražená vozidly během výběhového pohybu  $s [m]$ , úhel natočení vozidla během výběhu  $\varphi [^\circ]$  a součinitel adheze mezi pneumatikou a vozovkou  $\mu [-]$ . Výběhové rychlosti translační a rotační lze zadávat přímo či využít výpočtů dle Burg, Marquard, McHenry. Jako poslední vstupní veličiny slouží zadání směru pohybu obou vozidel po střetu (úhel výběhu)  $\alpha' [^\circ]$  a zadání směru pohybu obou vozidel před střetem (úhel doběhu)  $\alpha [^\circ]$ . V případě požadavku na ověření výsledků na základě zákona zachování energie pak jako vstupní veličiny slouží i hodnoty EES obou vozidel  $[km/h]$ .

Jako **výstupní** veličiny slouží hledané velikosti rychlosti vozidla před střetem  $v_1 [m/s]$ ;  $v_2 [m/s]$  na základě zákona zachování hybnosti či kombinace zákona zachování hybnosti a energie, v případě předchozího zadání EES jako vstupních veličin.

Za nepodstatné je tedy nutné považovat všechny ostatní charakteristiky i veličiny.

Obecně je s úspěchem užíváno kombinace metod využívajících zákony zachování.

## **B. Ráz vozidel bez výrazných rotací a beze změn směrů**

Při těchto typech střetů dvou objektů je nutné zvolit jiné metody řešení a tomu odpovídají i vstupní veličiny a charakteristiky.

Například metoda **Delta V** uvažuje jako **vstupní veličiny** hmotnosti vozidel  $m_1 [kg]$ ;  $m_2 [kg]$ , celkovou deformační energii odpovídající kolizi  $E_D [J]$ , koeficient restituce  $e [-]$  a jednu z doběhových rychlostí.

Jedinou **výstupní veličinou** je druhá doběhová rychlost, resp. hledaný rozdíl doběhových rychlostí.

Například **Metoda průniku pásem** umožňuje elegantně a v rozmezí početně (jako řešení soustavy rovnic) či graficky (průsečíky přímek) řešit rázy bez výběhové rotace s tím, že vstupními veličinami jsou EES vozidel  $EES_1 [km/h]$ ;  $EES_2 [km/h]$ , hmotnosti vozidel  $m_1 [kg]$ ;  $m_2 [kg]$ , směry pohybu před střetem  $\alpha_1 [^\circ]$ ;  $\alpha_2 [^\circ]$ ; koeficient restituce  $e [-]$  a výběhové rychlosti vozidel  $v_1' [m/s]$ ;  $v_2' [m/s]$ . Pokud uijeme vstupy v rozmezí, řešením je oblast rozmezí vyhovující rozsahu vstupů.

**Výstupními veličinami** jsou doběhové rychlosti  $v_1 [m/s]$ ;  $v_2 [m/s]$  (*min-max*).

Totéž platí z hlediska vstupů o kombinaci aplikace zákona zachování hybnosti a zákona zachování energie, např. metoda ZZH+ZZE.

Aplikovat v těchto případech zákon zachování momentu hybnosti vzhledem k absenci rotace vozidel postrádá smysl.

Na shrnutí vybraných metod řešení problémů typu ráz je vidět struktura systému podstatných veličin, která je v zásadě velmi jednoduchá.

Tabulka 4: Systém podstatných veličin nepřímého modelování vybraných problémů typu ráz (autor)

Metoda:	Systém podstatných vstupních veličin:	Hledané výstupní veličiny:
DRHI	$x_{BR} [m]; y_{BR} [m]; m_1 [kg]; m_2 [kg]; \alpha_1' [^\circ]; \alpha_2' [^\circ]; v_1' [m/s]; v_2' [m/s]; \alpha_1 [^\circ]; \alpha_2 [^\circ].$	$v_1 [m/s]; v_2 [m/s]; I [N.s].$
MDRHI	$x_{BR} [m]; y_{BR} [m]; m_1 [kg]; m_2 [kg]; \alpha_1' [^\circ] (min-max); \alpha_2' [^\circ] (min-max); v_1 (min-max) [m/s]; v_2 [m/s] (min-max); \alpha_1 [^\circ]; \alpha_2 [^\circ].$	$v_1 [m/s] (min-max); v_2 [m/s] (min-max); I [N.s] (min-max).$
DRRHI	$x_{BR} [m]; y_{BR} [m]; m_1 [kg]; m_2 [kg]; \alpha_1' [^\circ] (min-max); \alpha_2' [^\circ] (min-max); v_1 (min-max) [m/s]; v_2 [m/s] (min-max); \alpha_1 [^\circ]; \alpha_2 [^\circ]; J_{z1} [kg.m^2]; J_{z2} [kg.m^2], \omega_{z1}' [rad/s]; \omega_{z2}' [rad/s]; T-BR_1 [m]; T-BR_2 [m].$	$v_1 [m/s] (min-max); v_2 [m/s] (min-max); I [N.s] (min-max).$
Energetický prstenec	$x_{BR} [m]; y_{BR} [m]; m_1 [kg]; m_2 [kg]; \alpha_1' [^\circ] (min-max); \alpha_2' [^\circ] (min-max); v_1 (min-max) [m/s]; v_2 [m/s] (min-max); \alpha_1 [^\circ]; \alpha_2 [^\circ]; J_{z1} [kg.m^2]; J_{z2} [kg.m^2]; \omega_{z1}' [rad/s]; \omega_{z2}' [rad/s]; T-BR_1 [m]; T-BR_2 [m]; EES_1 [km/h]; EES_2 [km/h]; e [-]; n_1 [m]; n_2 [m].$	$v_1 [m/s] (min-max); v_2 [m/s] (min-max); I [N.s] (min-max).$
Delta V	$m_1 [kg]; m_2 [kg], E_D [J], e [-]; v_1 [m/s] \text{ nebo } v_2 [m/s]$	$v_1 [m/s] \text{ nebo } v_2 [m/s].$
Průnik pásem	$EES_1 [km/h] (min-max); EES_2 [km/h] (min-max); m_1 [kg]; m_2 [kg], e [-]; (min-max); \alpha_1 [^\circ]; \alpha_2 [^\circ]; v_1' [m/s] (min-max); v_2' [m/s] (min-max).$	$v_1 [m/s] (min-max); v_2 [m/s] (min-max).$
ZZH+ZZE	$EES_1 [km/h] (min-max); EES_2 [km/h] (min-max); m_1 [kg]; m_2 [kg], e [-]; (min-max); \alpha_1 [^\circ]; \alpha_2 [^\circ]; v_1' [m/s] (min-max); v_2' [m/s] (min-max).$	$v_1 [m/s] (min-max); v_2 [m/s] (min-max).$

#### 4.1.3 Simulační výpočtové modelování

Nejčastěji se při analýze silničních nehod realizuje simulačního výpočtového modelování jako speciálního typu výpočtového modelování, a to formou opakované realizace přímého algoritmu s podporou výpočetní techniky pro zjištění možných hodnot vstupních parametrů.

Za řešení je považováno nalezení takových vstupních a omezujících podmínek a výsledků, které jsou v dobrém souladu se známými důsledky, jedná se o diskrétní řešení.

Simulační výpočtové modelování je v současné době základní metodou řešení problémů souvisejících s analýzou silničních nehod, přišlo s rozvojem výpočetní techniky.

Z hlediska aplikace systémového přístupu se jedná opět o řešení **nepřímých příčinných problémů (úloh)**, ale pomocí algoritmů pro řešení přímých příčinných úloh (**realizace přímého algoritmu**) a hledání diskrétních řešení.

Intervalového řešení je docíleno optimalizací okrajových podmínek a cílenou změnou vstupních veličin při hledání limitů kontrolních veličin. Cílem simulačního výpočtového modelování při analýze nehod je napodobení děje nebo procesu, kdy se pomocí výpočetní techniky pro zvolenou strategii zadávání vstupních údajů opakovaně realizují na pomocných modelových objektech výpočtové algoritmy.

Se zvolenou strategií změny vstupních údajů úzce souvisí analýza vlivu změny vstupních parametrů na výstupní parametry (**citlivostní analýza**) a také určitá **optimalizace**, kde jsou při analýze silničních nehod hledány extrémy při splnění omezujících vstupních podmínek.

Vhodně zvolený přístup k modelování umožní hledání technicky přijatelných rozmezí vstupních hodnot vybranou strategií změny hodnot na základě předem daných či známých rozmezí hodnot výstupních. Celkově lze užívané aplikace pro účely výpočtového simulačního modelování hodnotit vysoce kladně, umožňují zohlednění velkého množství vstupních parametrů s podmínkou jejich znalosti. Problémem je však neznalost vstupních parametrů, které mohou být z hlediska vlivu na výsledek podstatné a zejména volné šíření simulačních programů bez striktních požadavků na teoretické a aplikační schopnosti, znalosti a kompetence uživatelů. S tímto přichází nesprávné, vadné a nekompetentní výsledky, které jsou často bez dalšího ověření vydávány za přesné, správné a věrohodné.

Hodnocení počítačové podpory analýzy silničních nehod se věnoval ve své habilitační práci doc. Aleš Vémola, který softwarovou podporu (simulační výpočtové modelování) hodnotil jako čtvrtou úroveň vývoje řešení silničních nehod (41). Ve své práci doc. Vémola neuvádí pojem modelování.

#### 4.1.3.1 Simulační výpočtové modelování (problém typu pohyb)

Pro pohyb vozidel pro účely analýzy silničních nehod jsou užívány při přímém výpočtovém simulačním modelování kinematický nebo dynamický výpočtový model pohybu. Oba jsou částečně aplikovatelné pro řešení pohybu v kladném i záporném čase simulace.

### **Kinematický dopředný (přímý) výpočtový model pohybu vozidla**

Při užití kinematického výpočtového modelu nejsou brány v potaz dynamické síly vozidla a kinematický přímý výpočtový model pohybu vozidla pracuje se zpomalením, které je vypočteno jako součin tíhového zrychlení a podílu sumy brzdné síly na všech kolech vůči sumě normálových sil na všech kolech. Rychlost v další poloze vozidla ( $v [m/s]$ ) je kalkulována jako rychlost v předchozí poloze ( $v_0 [m/s]$ ) a připočtení součinu zrychlení ( $a [m/s^2]$ ) a předdefinovaného časového kroku ( $\Delta t [s]$ ).

Z hlediska podstatných **vstupních veličin** do simulačního modelování jsou tedy vstupy počáteční rychlost, adheze mezi pneumatikou a vozovkou ( $\mu [-]$ ), resp. střední zpomalení (zrychlení), poloha těžiště a dráha či čas potřebného výpočtu do požadované konečné polohy. V případě rozdělení pohybu na více úseků o různé délce (či různém čase) s různými středními zpomaleními pak ještě dráha či doba jednotlivých sekvencí.

**Výstupní veličinou** je konečná rychlost na konci zadaných sekvencí a konečná poloha těžiště.

### **Kinematický zpětný (nepřímý) výpočtový model pohybu vozidla**

Kinematický zpětný výpočtový model pohybu je identický jako kinematický dopředný výpočet pohybu vozidla, z hlediska aplikace SW je odlišen pouze časově. Užívá se typicky pro předstřetový pohyb vozidel tam, kde jeho úroveň postačuje.

### **Dynamický dopředný (přímý) výpočtový model pohybu vozidla**

Při užití prostorového dynamického výpočtového modelu silového působení jsou brány v potaz dynamické vlivy a vnější síly působící na vozidlo. Podélné a příčné síly pneumatiky jsou vypočítány z úhlu směrové úchylky ( $\alpha_k [^\circ]$ ) a brzdných (akceleračních sil). Zrychlení těžiště a rotační zrychlení jsou kalkulovány z vnějších sil a jsou definovány v lokálním souřadném systému vozidla a následně transformovány do globálního souřadného systému. Mezi vnější (externí) síly patří síly na pneumatikách, odpor vzduchu, tíhové zrychlení, síly spoje při připojení přívěsu (návěsu) či kontaktní síly při užití vícetělesového (multibody) výpočtového modelu.

Rovnice pohybu jsou numericky integrovány předdefinovaným integračním krokem. Takto je zjištěna změna rychlosti vozidla, úhlová rychlost a poloha nových souřadnic těžiště. Na základě parametrů tlumení a pružení jsou kalkulovány nové síly na pneumatice. Co se týká sil na pneumatice ve třech osách, svislá složka je kalkulována ze statického zatížení, podélná i příčná složka závisí na složce svislé, brzdné síle, směrové úchylce a součiniteli adheze. Dynamický model v průběhu realizace algoritmů zajišťuje, že není překročena dostupná lokální adheze.

Charakteristika modelu pneumatiky je zpravidla popisována jako funkce normálové síly a podélného a příčného skluzu, když skluz závisí na poloměru pneumatiky, složce rychlosti středu kola v podélném směru a úhlové rychlosti kola. Kromě lineárního modelu pneumatiky, závislejícím na zadané velikosti směrové úchylny pneumatik, jsou užívány i modely umožňující nelineární efekty modelování velikosti sil na pneumatice v podélném a příčném směru na velikosti skluzu (např. maximální velikost síly při 20% skluzu). Problematické je však zjištění takových závislostí u reálného a poškozeného vozidla po dopravní nehodě. S rozvojem aktivních prvků bezpečnosti byly představeny doplňkové a modifikovatelné modely ABS a ESP (jízdní stabilita vozidla) regulující brzdící síly v závislosti na skluzu, tyto modely umožňují regulovat brzdící síly a zvyšovat tak stabilitu vozidla v kritických situacích, zavedly však do modelování další, často neznámé veličiny.

Dynamické výpočtové modely umožňují zohlednění tlumení a pružení vozidla a třeba i připojeného přívěsu včetně vazbových sil. Tyto síly jsou transformovány do síly na pneumatice. V některých případech může nastat případ, kdy bude mít podstatný vliv i odpor vzduchu, obecně lze dále simulovat vliv pohonu (např. reálné zrychlení na základě úrovně akcelerace a otáček motoru při převodovém poměru) a případně použít i modely řidiče (Fuzzy, PID apod.).

Samostatným výpočtovým modelem je model procesu převrácení, jedná se o funkci, kterou lze aktivovat či deaktivovat. Výhodou je nastavení libovolných množství a typů sekvencí pohybu včetně nestandardních situací (např. změna geometrie vozidla v případě nutnosti zohlednění pro výpočet dalšího pohybu).

Po stanovení vnějších sil, které ovlivňují pohyb vozidla, probíhá vytvoření pohybových rovnic a jejich integrace ke stanovení rychlostí a poloh v novém bodě.

Z hlediska podstatných **vstupních entit, charakteristik a veličin** do simulačního modelování pohybu vozidla jsou tedy vstupy: hmotnost  $m$  [kg], geometrie vozidla z hlediska rozměrů (délka  $L$  [m], šířka  $\check{S}$  [m], výška  $V$  [m], rozvory jednotlivých náprav  $R_V$  [m], rozchod jednotlivých náprav  $R_{CH}$  [m], přední převis  $PP$  [m], dle empirických vztahů vypočtené či zadané momenty setrvačnosti, např.  $J_z$  [kg.m<sup>2</sup>], poloha těžiště od přední nápravy  $T-PN$  [m], počáteční rychlost (stejně jako další dynamické parametry jsou uvažovány v čase  $t = 0$  s), globální či lokální změny adheze mezi pneumatikou a vozovkou, poloha těžiště v ostatních osách ( $y_T$  [m] v případě podstatnější změny v příčném směru oproti podélné ose, výška těžiště v ose  $z$ :  $z_T$  [m]), natočení vozidla vůči všem osám globálního souřadného systému, primárně vůči ose  $z$ :  $nat_z$  [°], či v ostatních osách, tj.  $nat_x$  [°],  $nat_y$  [°], směr vektoru rychlosti vůči natočení v ose  $x$ :  $vni$  [°], případně do osy  $z$ :  $vnz$  [°], úhlové rychlosti (v čase  $t = 0$  s), primárně  $\omega_z$  [rad/s], případně  $\omega_x$  [rad/s],  $\omega_y$  [rad/s], střední zpomalení (zrychlení) na daných sekvencích, případně intenzita brzdění konkrétních kol, tvar



komunikace (podélné, příčné sklony, případně podklad ze zaměření místa či point cloud), dráha či čas potřebného výpočtu do požadované konečné polohy, model pneumatiky (v případě lineárního modelu velikost směrové úchylky, v případě nelineárních modelů konkrétní průběh závislosti sil na pneumatice v podélném a příčném sklonu v závislosti na velikosti skluzu), aktivovaný model funkce ABS a jeho charakteristiky vč. veličin, model funkce ESP a jeho charakteristiky vč. veličin, úhel řízení a model řízení, charakteristiky pružení a tlumení (v čase  $t = 0$  s), v případě sunutí karoserie pak součinitele tření a restituace mezi vozovkou a karoserií. Namísto definování úhlů řízení a dob zatáčení v jednotlivých fázích pohybu (sekvencích) lze předdefinovat trajektorii průjezdu vozidla.

Je možno rovněž uvažovat nelinearity nerovnoměrného zatížení, nesouměrnosti brzdění apod. V případě zadání odporu vzduchu či užití vozidla jako tažného se zapojením přívěsu se tato soustava veličin rozšiřuje o parametry přívěsu či návěsu a parametry připojení dané silově a topologicky.

**Výstupními veličinami** jsou zejména: konečná rychlost na konci zadaných sekvencí, konečná poloha těžiště, úhlové rychlosti, směr vektoru rychlosti, natočení vozidla.

#### **Dynamický zpětný (nepřímý) výpočtový model pohybu vozidla**

Z důvodu nelinearity numerických rovnic, kdy může existovat vícero řešení je proti dopřednému dynamickému výpočtu možné jeho použití pouze v případech, kdy jsou kola vozidla plně blokována nebo ve skluzu. Použití tohoto výpočtového modelu je tedy velmi omezeno.

#### **Rovinný zjednodušený výpočtový model pohybu vozidla**

Pro sledování dynamických parametrů vozidla lze užít v rámci jízdní dynamiky zjednodušený rovinný výpočtový model pohybu vozidla, který se využívá pro výpočty stability a říditelnosti. Tento se skládá ze dvou kol v podélné ose vozidla s hmotností soustředěnou do těžiště, je tedy zanedbáno klonění a klopení.

Podstatné **vstupní veličiny** jsou dle (95) a (96): hmotnost  $m$  [kg], moment setrvačnosti  $J_z$  [kg.m<sup>2</sup>], rozvor  $R_V$  [m], poloha těžiště od přední nápravy  $T-PN$  [m], poloha těžiště od zadní nápravy  $T-ZN$  [m], převod řízení  $I_R$  [-], směrová tuhost přední pneumatiky  $C_{\alpha P}$  [N/rad], směrová tuhost zadní pneumatiky  $C_{\alpha Z}$  [N/rad], rychlost  $v$  [km/h], natočení volantu  $\beta_V$  [°] jako budící funkce a čas  $t$  [s].

Podstatné **výstupní** veličiny jsou dle (95): úhel stáčení  $\varepsilon$  [rad], úhly směrové úchylky  $\alpha_k$  [°], rychlost stáčení  $\omega$  [rad/s], boční síla na přední nápravě  $F_{yf}$  [N], boční síla na zadní nápravě  $F_{yr}$  [N], směry rychlosti a souřadnice.

Tento model se však při vlastní analýze silničních nehod prakticky neužívá.

#### 4.1.3.2 Simulační výpočtové modelování (problém typu ráz)

Běžně nejvíce užívané simulační programy v Evropě, Asii, Austrálii i USA, konkrétně *PC-CRASH* a *Virtual CRASH*, užívají primárně jako základní výpočtový model střetu objektů (vozidel) mnohokrát popsaný Kudlich-Slibarův model (22) či jinak nazývaný impulsně-rázový výpočtový model umožňující diskrétní řešení.

Tento trojrozměrný model řešení střetu (lze bez problémů užít jako dvourozměrný) aplikuje výslednici rázových sil do jednoho působíště (bodu rázu) o známých souřadnicích ( $x_{BR} [m]$ ,  $y_{BR} [m]$ ,  $z_{BR} [m]$ ) umístěného do oblasti překrytí poškozených vozidel během jejich kontaktu. Model rázu objektů je postaven na restituci vyjádřené koeficientem restituce ( $e [-]$ ), nikoliv přímo na bázi strukturních vlastností a deformačního chování vozidel. Model předpokládá působení kontaktní síly v jednom bodě a v nekonečně krátkém čase. Užití modelu umožňuje zjištění výběhových parametrů objektů a vstupními údaji jsou doběhové (předstřetové) polohy a rychlosti. Výslednicí silového působení je impuls rázu ( $I [N.s]$ ) a pohyb vozidel po rázu je kromě střetových poloh a rychlostí zásadně ovlivněn natočením roviny rázu (horizontální natočení  $\gamma [^\circ]$ ) a v odůvodněných případech prostorového řešení i vertikálním natočením roviny rázu ( $\Gamma [^\circ]$ ), dále velikostí třecího kužele (tření v rázu)  $\delta [-]$ , což ovlivňuje mj. i charakter rázu (se skluzem, bez skluzu, s částečným skluzem). Ráz bez skluzu (Vollstoss, resp. Full impact) je vymezen tak, že prakticky neexistuje relativní pohyb mezi vozidly v bodě rázu na konci kompresní fáze, typicky pro centrické střety. Naproti tomu ráz se skluzem (Sliding impact) je charakteristický pro situace, že vozidla nedosáhnou společné rychlosti v době rázu a rychlost bodu rázu je tedy výrazně vyšší. Ráz s výraznějším skluzem je typem úlohy extrémně citlivé na vstupní údaje, stejně jako vícetělesové modely osob. Kontrolním parametrem pro odlišení typu rázu je kromě rychlosti bodu rázu i parametr GEV.

Poloha bodu rázu vůči obrysům překrytých vozidel na konci kompresní fáze rázu ovlivňuje hloubky deformací na kolidujících objektech, vypočtenou tuhost kolidujících objektů ( $k [N/m]$ ) v závislosti na impulsu a přerozdělení množství deformační energie ( $E_D [J]$ ) rázu vyjádřeno přerozdělením hodnoty ekvivalentní energetické rychlosti na oba kolidující objekty ( $EES [km/h]$ ), resp. hloubkami deformace na kolidujících objektech. Velikost impulsu je dána velikostí koeficientu restituce, směr impulsu je dán zejména velikostí tření v rázu a natočením roviny rázu. Koeficient restituce ovlivňuje charakter elastičnosti rázu, velikosti EES i výběhové parametry.

Při užití modelu soupravy vozidel je možné aktivovat či deaktivovat model rozlišení rázu v soupravě, tj. umožnit, či zabránit kolizím mezi individuálními vozidly soupravy.

**Vstupními** charakteristikami a veličinami do řešení rázu jsou tedy polohy na konci kompresní fáze řešení střetu, geometrické charakteristiky objektů (rozměry, rozvory, rozchody),

hmotnosti a vypočtené momenty setrvačnosti objektů, natočení objektů, velikosti a směry doběhových rychlostí objektů, doběhové úhlové rychlosti objektů, poloha bodu rázu, natočení roviny rázu, velikost tření v rázu a velikost koeficientu restituce. Natočení roviny rázu ovlivňuje zásadně směr impulsu.

**Výstupními** veličinami jsou výběhové parametry objektů, tj. směry a velikosti výběhových rychlostí, polohy, výběhové úhlové rychlosti, velikost impulsu, změny velikosti rychlostí objektů či rychlost bodu rázu (rovněž umožňující rozhodnout, zda se jednalo o ráz s částečným skluzem, plným skluzem či bez skluzu). **Výstupními** a zároveň kontrolními veličinami jsou velikost deformační energie, tuhost, hloubky deformace, hodnoty EES kolidujících objektů a hodnota parametru *GEV* jako ukazatele charakteru rázu.

Geometricky určené prvky soustavy vozidlo-vozdlo aktivují tedy velikosti rychlosti (translační a úhlové) a směry pohybu před střetem. Interakcí je silové působení mezi prvky vyjádřené pomocí impulsů (dle III. Newtonova zákona), procesní veličinou je zejména deformační energie a její přerozdělení mezi prvky na základě hloubek deformací a tuhostí a hledaným a kontrolovaným projevem jsou rychlosti pohybu prvků po střetu. Vazba probíhá mezi prvky soustavy na základě rázových parametrů.

#### 4.1.3.3 Optimalizační úlohy simulačního výpočtového modelování

Optimalizací se obecně rozumí proces výběru nejlepšího řešení, resp. eliminace špatných řešení na základě hledání extrémů. Jako příklady **optimalizačních** úloh při užití metod simulačního výpočtového modelování při analýze silničních nehod lze uvést kolizní optimizér v programu **PC-CRASH** a nástroj **Impulz Expert**.

Simulační program **PC-CRASH** umožňuje užití automatického optimalizačního algoritmu při simulačním výpočtovém modelování dopředného řešení střetu vozidel na základě zadaných poloh, směrů, parametrů střetu a velikosti deformační energie příslušné danému stupni deformace vozidla. Optimalizace umožňuje hledání vstupních hodnot (jejich extrémů) dle zadaných restrikcí se zadáním uživatelských sekvencí pohybu. Lze v současné době běžně užít tří optimalizačních algoritmů. Optimizér variuje uživatelem hledající veličiny, které ovlivňují pohyb objektů do zadaných mezipoloh a konečných poloh, a to typicky doběhovou (narázovou) rychlost, polohu bodu rázu, horizontální natočení roviny rázu, předstřetové směry a polohy vozidel, tření v kontaktní rovině rázu a velikost restituce. Současně umožňuje počítat chybu takové optimalizace. Jedná se tedy o intervalové řešení.

Vynikající, ač dnes již letitý nástroj **Impulz Expert** (SW kolegy Ing. Vlastimila Rábka, Ph.D. a dr. Šachla), který umožňuje elegantně řešit rovinný střet vozidel (hledat vstupní parametry) grafickým řešením se znázorněním nezávislých podmínek (hybnosti, energie, rotace, dotyk), kterým odpovídají matematicky vyjádřené plochy a křivky. Zužováním vstupních veličin a následnou optimalizací řešení lze nalézt řešení dobehových parametrů, výbehových parametrů i parametrů rázu tak, aby vyhovovaly nezávislým podmínkám, dr. Rábek se této problematice věnoval ve své habilitační práci (69).

Tento softwarový nástroj je tak prakticky kombinací dopředného (přímého) a zpětného (nepřímého) řešení nepřímé příčinné úlohy při střetu vozidel. Užití optimalizačních metod přináší četné výhody a nalezené řešení za předpokladu technicky přijatelných vstupních hodnot je tedy ověřeno. (69) Tento expertní software již však není funkční na PC s novějším operačním systémem.

#### 4.1.3.4 Modelování s užitím vícetělesových modelů vozidel a osob

##### **Multibody výpočtové modely**

Zejména při střetech s lidmi, resp. pomocně vytvořenými modelovými objekty pro řešení problémů při analýze silničních nehod (např. interiér vozidla vč. sedadel pro simulaci posádky), se v běžně dostupných SW pro simulační výpočtové modelování silničních nehod užívají tzv. vícetělesové modely (multibody). Vícetělesové, resp. spíše víceprvkové modelové objekty, složené z elipsoidů n-tého řádu, které jsou dány rozměry, tuhostmi, součiniteli tření a restituice. Jednotlivé elipsoidy jsou spojeny klouby definovatelných vlastností a v jednotlivých simulačních programech se liší počtem užívaných prvků, možnostmi nastavení, výpočtovým modelem a možností modifikovatelnosti včetně nastavení úhlových, silových a momentových limitů. Lze samozřejmě z elipsoidů namodelovat jakýkoli objekt a užít tak tento model i pro střet vozidel či zvířat.

Jednotlivé elipsoidy jsou dány svou topologií, geometrií (délkou ve všech osách) a stupněm elipsoidu, který může být specifikován od koule (stupeň 2). Vyšší stupeň znamená plošší strany a ostřejší rohy. Každý element má danou hmotnost a svůj vypočtený či zadaný moment setrvačnosti kolem všech os. Pro kalkulaci kontaktních sil jsou užity koeficienty tuhosti. V případě znalosti lze také specifikovat detailně koeficienty tření, jak pro kontakty s vozidlem, tak pro kontakty mezi elipsoidy navzájem a mezi elipsoidy a zemí.

Všechny běžné výpočtové vícetělesové modely pohybu jednostopých vozidel (jízdní kola, motocykly apod.) lze libovolně vytvářet a variovat z elipsoidů a přizpůsobit je tak pro konkrétní aplikaci (např. tuhosti přední vidlice, tvar nádrže motocyklu).

Po výpočtu kontaktních sil jsou pro předdefinované časové kroky kalkulovány kloubové (vazbové) síly a následně řešeny pohybové rovnice. Vícetělesové modely mají samozřejmě svá omezení, např. je nutný kontakt elipsoidu s plochou, nikoliv rohem a při vyšších rychlostech je nutné snižovat integrační kroky výpočtů. Model topologie a geometrie člověka je uvažován v počtu 14 prvků (Virtual CRASH) a 19 prvků PC-CRASH. Z principu jsou tyto modely vysoce citlivé na změny vstupních dat, a to i na velmi drobné změny a dochází ke stochastickému chování soustavy, což je uživatelem při prezentaci závěrů často taktně zamlčováno.

#### **Příklad složených soustav elipsoidů:**

Po vytvarování motocyklu ze zvoleného počtu elipsoidů (např. pomocí PC-CRASH), nastavení topologie a geometrie jednotlivých prvků a celé soustavy (klonění, klopení apod.), nastavení vazeb mezi elipsoidy lze na motocykl usadit geometrický model člověka, nastavit polohy elipsoidů člověka vzhledem k motocyklu (topologii), zadat dynamické parametry (např. shodný směr či velikost rychlosti jako u soustavy elipsoidů motocyklu, směr rychlosti do svislé osy).

Velmi nestabilními a citlivými na extrémně drobnou změnu vstupních parametrů (např. natočení končetiny o *1 stupeň*, změna rychlosti o *0,01 km/h* apod.) jsou soustavy složené z modelu topologie člověka a dopravního prostředku (obvykle jízdní kolo či motocykl). Spojením více zjednodušených vícetělesových modelů (např. dopravního prostředku a osoby) roste šíření chyb a citlivost takových výpočtů na změnu geometrickou řadou. Doby výpočtu pohybu takových soustav je nutné radikálně omezit na maximálně desetiny sekundy z důvodu nestability a šíření chyb takových řešení. Výsledky jsou ovlivněny i ne zcela exaktní znalostí vazeb a limitů vazeb kontaktujících prvků či zhoršenou možností simulace svalových předpětí (např. cyklista-sedlo, řídítka, šlapátka, aktivní odpor účastníka nehody apod.). Vhodné je např. užití vícetělesových modelů člověka, např. při problematice upřesnění nárazu hlavy do čelního skla.

**Vstupními** veličinami tzv. „multibody soustavy“ jsou prvky elipsoidů, charakteristiky a číselné veličiny prakticky všech parametrů multibody, tj. geometrie, topologie jednotlivých prvků, strukturální vlastnosti, vazbové vlastnosti a dynamické parametry (rychlost, úhlová rychlost apod.).

**Výstupem** jsou procesy, které na soustavách probíhají a stavy, kterých soustavy dosahují. Prakticky se viditelně jedná o změnu polohy jednotlivých částí v čase.

Užívání vícetělesových modelů objektů přináší často obtížně předpověditelné, nebo nepředpověditelné následky (**stochastický charakter řešení**), kdy i extrémně malá změna vstupního parametru (natočení horní končetiny chodce) může zapříčinit extrémní změnu výstupních (oblast nárazu hlavy, konečná poloha), resp. hledaných vstupních parametrů (např.

rychlost vozidla). Z charakteru tedy plyne, že se v daném případě jedná o tzv. **deterministický chaos**.

### **Multibody model vozidel**

Význam vícetělesových modelů je i při řešení rázů s objekty rozdílnými svou povahou od člověka. Typicky je možno nahradit např. vozidlo či přívěs modelem, složeným z elipsoidů typu multibody, výrazněji je této možnosti užíváno v programu PC-CRASH. Je užito rovněž výpočtového modelu rázu s lineární tuhostí s užitím restituce, v případě střetů se skluzem je využito kontaktního tření. Třecí síly vždy působí v opačném směru proti relativním rychlostem v kontaktním bodě elipsoidů.

Jako **vstupní veličiny** tedy slouží parametry tuhosti, restituce a tření, počty elipsoidů i tvary elipsoidů a tuhosti. Elipsoidy neumožňují trvalou deformaci, vozidla jsou složena z různých počtů elipsoidů dle tvaru a charakteru.

**Výstupními** veličinami jsou projevy soustavy navenek.

### **Víčetělesový výpočtový model pohybu posádky**

Běžně užívané rozšířené software (Virtual CRASH a PC-CRASH s modulem MADYMO) umožňují orientačně simulovat pohyb posádky pro účely posouzení charakteru, směru pohybu a odhadu silového působení. Tyto typy řešených problémů jsou většinou doplňkem řádně provedených analýz problémů typu pohyb a problémů typu ráz v případech, kdy probíhá konzultace s lékaři či biomechaniky za účelem vysvětlení mechanismu vzniku jednotlivých poranění a přiřazení konkrétnímu mechanismu pohybu, či alternativní nebo hypotetické posouzení chování soustavy na základě požadavků zadavatele.

Obvyklým cílem řešení problémů souvisejících s pohybem posádky je popsat chování posádky v konkrétním nehodovém ději, posoudit osobu řidiče, případně predikovat chování, projevy a následky pohybu za různých vstupních podmínek (jiná rychlost, uspořádání ve vozidle, bezpečnostní pásy apod.). PC-CRASH například obsahuje přednastavené víčetělesové modely interiéru vozidla včetně sedadel, palubní desky, volantu, které lze samozřejmě uživatelsky plně modifikovat pro konkrétní situace.

#### **4.1.3.5 Pokročilé metody simulačního výpočtového modelování**

Mimo běžně aplikovanou oblast analýzy silničních nehod se užívá modelování na bázi metody konečných prvků (*FEM*), tedy variačních metod, užívané nejčastěji pro simulace průběhu napětí a deformace v tělesech s užitím např. řešičů PAM-CRASH, LS-DYNA, RADIOSS nebo ABAQUS.

V oblasti zkoumání vývoje bezpečnostních prvků pro zmírnění následků pohybů a rázů na člověka je špičkou pro virtual prototyping (jako kombinaci výpočtového modelování a experimentu) plně škálovatelný model (i z hlediska geometrie, topologie, struktury a vlastností) člověka **Virthuman**. Tento umožňuje modelování nárazů z různých směrů, na rozdíl od běžných figurín na trhu, které jsou určeny zpravidla pro přímé testování dle nároků pro schvalování vozidel (dospělý, dítě). Skládá se z tuhých segmentů reprezentujících jednotlivé části lidského těla, které jsou spojeny klouby. Model umožňuje vyhodnocení poranění podle standardních kritérií pro nárazové zkoušky, např. *HIC, AIS, ISS, HPC, GAMBIT, WAD apod.* Výhoda modelu spočívá v jeho implementaci multibody přístupem, který umožňuje snadné pozicování modelu a vyznačuje se nízkou časovou náročností výpočtů. Model je škálovatelný na základě antropometrické databáze měřených jedinců, lze tedy na rozdíl od běžných figurín testovat i antropometricky atypické jedince.

Z pohledu soudního inženýrství se zaměřením na analýzu silničních nehod se jedná o velmi progresivní oblast. Z pohledu soudního znalectví již méně.

Z důvodu ekonomických restrikcí znalecké činnosti, informační neurčitosti vstupních nehodových podkladů, absence materiálových charakteristik objektů a konkrétních modelů a modelových objektů tyto typy modelování nejsou běžně aplikovatelné. Jejich užití při analýze nehod v systémovém pojetí tak postrádá základní aspekt, a to ověřitelnost závěrů ve vztahu k objektivně dané, velmi omezené určitosti vstupních dat.

Užívání metod konečných prvků při řešení problémů typu ráz při analýze silničních nehod pak předpokládá detailní znalost vstupních veličin, modelů, strukturních a materiálových vlastností objektů i systémový přístup řešitele.

Pokročilé metody modelování jsou vhodné pro řešení dílčích problémů analýzy silničních nehod, např.

- posouzení vlivu prvků pasivní bezpečnosti,
- posouzení charakteru a mechanismu vzniku poranění (např. pro konsilienci s lékařem či biomechanikem),
- posouzení pohybu těla,
- posouzení deformačního chování těles při detailní znalosti materiálových charakteristik a konstrukčního uspořádání modelových objektů,
- stanovení rozesazení osob ve vozidle, resp. určení osoby řidiče,
- posouzení velikosti působících sil,
- příp. detailního stanovení nárazové rychlosti při užití adekvátních srovnatelných modelových objektů.

Aplikace metody konečných prvků má daleko širší použití v této oblasti spíše u typů **přímého modelování (např. konstrukční)**, kdy je detailně znám a je k dispozici konkrétní model i modelový objekt na základě předchozích experimentů s prototypy a sledují se procesy ve struktuře a vlastnostech modelu při změnách vstupních veličin, kvantifikují se parametry. Simulační nástroj PC-CRASH již rovněž umožňuje některé pokusy o aplikaci metody konečných prvků. Z pohledu znalosti a určitosti užívaných vlastností a chování modelových objektů jsou však tyto aplikace při znalecké činnosti zatím jen obtížně použitelné.

#### 4.1.4 Experimentální (materiální) modelování

Nezastupitelnou roli při analýze nehod mají **experimenty, resp. experimentální modelování**, jako samostatná metoda doplňování vstupních údajů. Při analýze silničních nehod přicházejí do úvahy experimenty **reálné**, tj. na reálných objektech. Z hlediska oboru se jedná o experiment **technický** a z hlediska typu se jedná zpravidla o experiment **konkretizační**, který pomáhá omezovat (konkretizovat) rozsah vstupních údajů pro simulační výpočtové modelování, ověřit předpoklady či teorie, případně omezit rozsah přijatelných mezí pro formulaci závěrů. V některých případech jsou prováděny **experimenty verifikační** (např. nárazová zkouška vozidla za účelem ověření výsledků simulačního výpočtového modelování). Experiment je předem připravený, je tedy **plánovaný** a jeho dopad je **ryze praktický**.

Experiment v systémovém pojetí analýzy silničních nehod se skládá z těchto zásadních fází:

- návrhu, přípravy, realizace, vyhodnocení, verifikace a implementace závěrů.

Experiment se provádí na **materiálním** objektu (v našem případě vozidle, komunikaci, osobách). Příkladem prováděných experimentů v souvislosti s analýzou silničních nehod je např.:

- experiment zaměřený na zjišťování výhledových poměrů (ve dne za účelem ověření možností pozorování, za snížené viditelnosti zpravidla možnosti posouzení dohlednosti na překážku ze strany řidiče),
- experiment za účelem sběru geometrických dat,
- experiment za účelem identifikace a prohlídky objektů,
- experiment na ověření přijatelnosti výpovědí účastníků,
- verifikační a konkretizační experimenty pro posouzení přijatelnosti vzniku deklarovaných jevů (podjetí, charakter deformace, korespondence poškození, ověření možného poškození karoserie např. trusem, chemií či mechanicky, šíření požáru, působící zrychlení na objekt, doba běhu bez provozních kapalin, možnosti odemknutí vozidla zevnitř apod.),



- experiment zaměřený na sběr dynamických parametrů objektů (vozidla, cyklisti, inlajnisti, elektrokola apod.),
- a další experimenty zaměřené na pořizování video a fotodokumentace za různých podmínek.

Prováděné experimenty mají právní restrikce z důvodu možné záměny s úkony prováděnými v rámci trestního řízení dle trestního řádu (89) (např. prověrka na místě, či vyšetřovací pokus). Tyto provádí orgány činné v trestním řízení, znalec se jich pouze účastní a zajišťuje odborné provedení průběhu experimentu.

**Systémové pojetí konkretizačního experimentu** zaměřeného na zjišťování dohlednosti řidiče na chodce bylo zpracováno autorským týmem Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně složeným mj. i z autora této práce v rámci projektu TAČR s názvem *Posilování právní jistoty při technickém posuzování dopravních nehod s chodci za snížené viditelnosti* ve formě metodiky (97), stejně jako související Inovovaná metodika výuky řidičů za viditelnosti snížené tmou. (98)

#### 4.1.5 Srovnávací analýzy

Srovnávací analýza je nadoborová metoda, jejímž cílem je vyslovit věrohodný výrok o specifických vlastnostech typu shodnost, podobnost (z určitého hlediska), totožnost (identita) atd., dvou nebo více entit (objektů, subjektů, procesů, dějů apod.). (71)

Například zjišťování kontrolního parametru rázu vozidel EES vyžaduje srovnávací analýzu, a to na základě známých nárazových zkoušek či porovnáním s katalogy. Tento způsob práce nabývá na důležitosti v případě moderních vozidel s rozvojem běžného užití vysokopevnostních materiálů. Praxe je taková, že je nutné nalézt obdobné typy nárazových zkoušek odpovídající řešenému problému s obdobnými vozidly z hlediska konstrukce a hmotnosti a podrobně analyzovat reporty z takových zkoušek, např. veřejně dostupné testy včetně reportů NHTSA (99), IIHS či placené přístupy, např. CTS (100), DTC apod. Tyto reporty lze následně zpracovat pro účely konkrétního řešeného problému (např. stanovení EES a tuhosti přední části, zadní či boční části) z hlediska nárazových parametrů, hloubek deformací a tuhostí dotčených částí. Obdobně se jedná o aplikaci na bázi energetických rastrů, kde je nutné provádět srovnávací analýzy mezi reálným a modelovým objektem. (99) Toto řešení je poměrně časově náročné, ale v případě kolizí moderních vozidel bez např. CDR dat či jiných podpůrných aspektů (kamerové záznamy) je pro ověření intervalového rozmezí kontrolních veličin nezbytné.

Jako inspiraci k užití pro odhady tuhostí dotčených částí vozidel lze doporučit produkty společnosti 4N6XPRT, mj. poskytující reporty NHTSA (srovnávací analýzy) ve formě rychle

použitelné expertní komunitou, např. SW s názvem 4N6XPRT StifCalcs . Další produkty společnosti směřují např. do oblasti biomechaniky a nehod s chodci a cyklisty.

O srovnávací analýze lze rovněž hovořit při zjišťování tuhosti vozidel na základě databanky tuhostí, při srovnávání vstupních dat získaných experimenty apod.

Další obrovské využití je při srovnávání fotografií s podklady z archívu znalce (obdobná poškození, charakter stop apod.), nezastupitelnou roli má v případech podezření z pojistných podvodů v souvislosti s provozem silničních vozidel.

Ve větší míře je však srovnávací analýzy užíváno v jiných oblastech technického znalectví, např. v oceňovacím znalectví při porovnávacím způsobu ocenění majetku (např. stanovení obvyklé ceny vozidla), kde jsou porovnávány charakteristiky a vlastnosti oceňovaného majetku s obdobným majetkem dostupným na trhu k datu ocenění.

## 4.2 STRUKTUROVÁNÍ PROBLÉMŮ A SOUSTAV DLE FÁZÍ ŘEŠENÍ

Podle **charakteru** střetávajících se objektů (entit) lze rozdělit silniční dopravní nehody na:

- střety dvoustopých vozidel,
- střety dvoustopých a jednostopých vozidel,
- střety jednostopých vozidel,
- střety jednostopých vozidel a chodců,
- střety dvoustopých vozidel a chodců,
- střety pohybujících se chodců,
- střety vozidel a zvířat,
- hromadné střety více objektů či hybridní střety,
- střety vozidel s nepohyblivou překážkou,
- pojistné podvody (manipulované události),
- ostatní.

Pokud toto rozdělení zúžíme a aplikujeme předpoklad, že **dopravní nehoda je mezní stav**, tak se jedná o tyto typické mezní stavy:

- ztráta jízdní stability (změna pohybových charakteristik),
- střet, jako skoková změna dynamických charakteristik (ráz),
- ostatní.

Při silničních nehodách připadá do úvahy mezní stav v technice (dynamická změna parametrů, technická závada) a mezní stav člověka (např. zdravotní indispozice, únava, mikrosnánek, distrakce či jiné ovlivnění).

Podle **místa vzniku** nehody:

- nehody v intravilánu,
- nehody v extravilánu.

Podle **typu pozemních komunikací (dle zákona)**:

- nehody na dálnicích,
- nehody na silnicích,
- nehody na místních komunikacích,
- a nehody na účelových komunikacích.

Podle **geometrie tvaru vozovky**:

- nehody v oblouku,
- na přímém úseku,
- ve stoupání či klesání,
- na křižovatce,
- v místě vyústění místa ležícího mimo komunikaci,
- na křížení s jiným typem dopravy,
- kombinace výše uvedeného na obecném úseku komunikace, který vyžaduje podrobné zaměření.

Podle **stavu okolí** na nehody:

- na suchém povrchu,
- na vlhkém či mokřém povrchu,
- na zasněženém povrchu,
- na zledovatělém povrchu,
- na místně znečištěném či jinak ovlivněném povrchu (např. lokální náledí, olejová skvrna, lokální výtluk a výmol).

Podle **stavu bezprostředního okolí entit** na nehody:

- na povrchu bez výmolů a výtluků,
- na povrchu s výmoly, výtluky a podstatnými nerovnostmi.

Podle **stavu vzdáleného okolí entit** (světelných podmínek) na nehody ovlivněním z okolí:

- za viditelnosti snížené tmou,
- za viditelnosti snížené jinými ovlivněními (mlha, zakrytý výhled, oslnění apod.).

Prvky hypersoustavy jsou z hlediska podstatnosti charakterizovány **v různých** typech problémů a přístupech k řešení **zcela různě ve vztahu k přístupu, metodám a algoritmu řešení.**

Z hlediska **lidského faktoru** (řidič, chodec, cyklista, motocyklista, inlinista, svědek) jako prvku soustavy dopravní nehody (např. chodec) jsou **podstatné** z pohledu řešení dopravní nehody znalosti z hlediska antropometrie, pohybu (rychlosti, zrychlení různých účastníků, koridory pohybu), smyslového vnímání (zejména zrakové a sluchové), souvislosti mezi vnímáním, pozorností a rozhodováním, znalosti problematiky reakční doby a znalosti z oblasti biomechaniky v kombinaci s technicko-biomechanickou analýzou (biomechanická kritéria, charakter poranění a hledání souvislostí). Tyto oborové základní kompetence jsou velmi dobře popsány např. v (9). U některých typů řešených problémů je podstatná jen hmotnost jako zátěž ve vozidle či hmotnost chodce, např. pro hybnostní nebo energetické řešení střetu. U jiných typů problémů je hmotnost člověka zcela nepodstatná (např. předstřetová fáze, experiment na dohlednost apod.), ale jsou podstatné jeho vlastnosti, řidičské zkušenosti, způsoby rozhodování, ovlivnění, reakční doba, poloha ve vozidle pro výhled z vozidla, oděv, retroreflexní prvky, způsob chůze či jízdy apod.

Z hlediska **vozidla** jako prvku soustavy mohou být **podstatné** pro řešení vybraných problémů pouze jeho geometrické a topologické charakteristiky (např. vozidlo svědka, zakrytý výhled), u jiných naopak celková konstrukce a technické řešení (např. i typ a nastavení světlometů), elektronická výbava a znalost nehodových dat, technický stav apod. (řešení pohybu), u problémů typu ráz zase navíc zejména jeho strukturní vlastnosti (tuhost, deformační chování, materiály, koroze, servisní historie a způsob provedení předchozích oprav ...).

Ovlivňujícím prvkem na soustavu jsou vnější vlivy, zejména povětrnostní (počasí), a to jako prvek ovlivnění (vítr, viditelnost, oslnění, stíny, stav atmosféry, teplota), tak zejména jako charakteristika ovlivnění povrchu (led, sníh, déšť).

U prvku soustavy **komunikace** jsou **podstatné** její konstrukční uspořádání z hlediska konstrukce, geometrie, dopravního značení, aktuálního technického stavu včetně vad, spolu s dalšími podstatnými prvky komunikace a bezprostředního okolí. Vazbovou veličinou ve vztahu k ostatním objektům je adheze, zpravidla mezi povrchem a pneumatikou, podrážkou obuvi či tření a restituace při smýkání karoserie mezi karoserií a povrchem. Projevem působení objektů je vznik

stop. V případě analýzy předstřetového pohybu z pohledu vnímání ostatních účastníků řidičem je ovšem i adheze zcela nepodstatná.

Dopravní nehodu **nelze v systémovém pojetí řešit na obecné hypersoustavě**, ale v souladu s atributy systémového přístupu je obecně nutné problém strukturovat, vymezit prvky hypersoustavy dle konkrétního řešeného problému, zjistit charakteristiky chování soustavy, vymezit podstatné interakce, vymezit a formulovat dílčí problémy, tyto řešit vhodnými přístupy a metodami, nejlépe s užitím zobecněných algoritmů. Na základě vyřešení dílčích problémů je poté dovozeno chování celé soustavy, tím je vyřešena i problémová situace.

Prakticky je tedy při konkrétní silniční nehodě nutné postupovat v souladu s dvaceti atributy systémového přístupu, které byly již dříve představeny. Zmínil jsem problematiku mezních stavů v chápání silniční nehody. Mezní stav také rozděluje silniční nehodu na jednotlivé **fáze** a strukturuje se tak hypersoustava (např. problémy před vznikem mezního stavu a po něm), v nejjednodušších případech na fázi před rázem a po rázu, ale toto není zdaleka pravidlem.

Dopravní nehoda je **proces** a současně negativní **stav**. Vznik dopravní nehody je **problémovou situací** a subjekt jako prvek **soustavy technického zručnosti** - analytik (**znalec**) - je nucen proces (konkrétní nepřímý **znalecký problém**) za pomoci **znalecké činnosti** ve formě **znaleckého posudku** vysvětlit.

V jednotlivých fázích jsou problémy řešené na různých soustavách s různými prvky, o různé struktury, geometrii, topologii, různým okolím, různými vazbami, interakcemi, ovlivněními, projevy či důsledky. Proto i hierarchicky naformulované problémy z formulace a znalosti problémové situace jsou dále pro řešení strukturovány.

Prakticky všechny problémy analýzy silničních nehod je možné řešit nejlépe kombinací všech přístupů uvedených v **kapitole 4.1**.

Základním přístupem (metodou) pro zahájení řešení je **mentální modelování** s užitím oborových technik a souvisejících kompetencí. Bez tohoto přístupu nemohou být přímo aplikovány ostatní metody modelování.

V závislosti na řešeném problému je vymezena a strukturována hypersoustava, na které se problém **strukturovaně** řeší a upřesněny její podstatné prvky, vazby a **podstatné** veličiny pro **komplexní, úrovňově vyvážené** a pokud možno **algoritmizovatelné** řešení, které je dále pomocí znalecké činnosti přetaveno do formalizované podoby ve formě **znaleckého posudku**.

Problémovou situaci je nutno nejprve analyzovat, z analýzy naformulovat problémy (nikdy se nejedná pouze o jeden problém) a problémy postupně strukturovat z hlediska časového a příčinného, komplexně řešit a postupným řešením dílčích problémů s užitím přístupů, resp. metod tak vyřešit celou problémovou situaci.

Strukturování problémů u vybraných řešených problémů analýzy silničních nehod bude dále patrné i v **kapitole 5**, ale jeden příklad bude níže nastíněn. Ukázkou nutnosti strukturovat problémy pro řešení problémové situace, formulovat dílčí soustavy, volit přístupy a metody a znát systém podstatných veličin, je např. konkrétní problémová situace, která vyžaduje řešení.

#### **Příklad problémové situace:**

Vozidlo z nezjištěných příčin vyjelo v oblouku mimo komunikaci za vzniku stop na komunikaci i na okolí. Při pohybu po komunikaci v oblouku zanechalo smykové stopy, při pohybu mimo komunikaci zanechalo rycí stopy a došlo k jeho nárazu bokem do vzrostlého stromu za vzniku devastujících poranění řidiče jako jediného člena posádky. Tento zraněním na místě podlehl. Cílem řešení problémové situace je zjištění rychlosti vozidla na počátku vyjetí ve vztahu k mezní rychlosti v oblouku, i když z pohledu trestního práva bude stíhání z důvodu úmrtí pachatele orgánem činným v trestním řízení nepřípustné.

Základním problémem, který je nutno řešit, je popis pohybu vozidla před vznikem havárie.

Tento typ problému je charakterizován interakcí soustavy prvku vozidla, případně soustavy prvků vozidlo-řidič s prvky okolí. Řešené problémy je nutné strukturovat dle jednotlivých podstatných fází pohybu, jelikož defacto došlo ke vzniku nejméně dvou mezních stavů (ztráta stability a náraz do stromu).

#### **Problém č. 1 - nárazová rychlost vozidla do stromu**



Řešení spočívá v popisu chování objektu  $\Omega$  (vozidlo-řidič) ve vztahu k okolí objektu  $O\Omega$ . Bezprostředním okolím objektu  $O\Omega 1$  je strom a  $O\Omega 2$  je povrch, po kterém se pohybuje vozidlo, a který upevňuje  $O\Omega 1$ .

Systém podstatných charakteristik na objektu  $\Omega$  (vozidlo-řidič), nezmiňované skupiny charakteristik jsou méně podstatné, nebo nepodstatné.

## Podstatné charakteristiky prvku vozidlo objektu $\Omega$ :



### S1: Topologie a geometrie:

- rozměry a geometrie karoserie (délka, šířka, výška, rozvor, rozchod...)
- poloha vůči bezprostřednímu okolí
- natočení vozidla vůči všem osám
- poloha těžiště (x, y, z)
- hmotnost
- moment setrvačnosti

### S2: Vazby mezi objektem a okolím:

- pneumatika – vozovka
- karoserie – kmen stromu (střetové parametry, poloha vazby)

### S5: Vlastnosti struktury:

- koncepce a konstrukce vozidla
- tuhost dotčených částí, restituce
- stav komponent
- výbava (např. airbagy)
- model a stav pneumatik
- vyloučení technické závady

### S6: Procesy a stavy:

- dynamické parametry (rychlost, směr rychlosti a velikost úhlové rychlosti vůči všem osám)
- skoková změna dynamických parametrů v čase
- obecně změna polohy

### S7: Projevy:

- změna geometrie (deformace), přeměna energie na trvalou deformaci
- poškození okolí  $O\Omega_1$ , změny na  $O\Omega_2$

### S8: Důsledky:

- ekonomická škoda na vozidle a okolí

### Podstatné charakteristiky prvku řidič objektu $\Omega$ :



#### S1: Topologie a geometrie:

- poloha vůči vozidlu
- hmotnost

#### S2: Vazby mezi objektem a okolím:

- tělo s vozidlem
- tělo – kmen stromu
- tělo – okolí (např. při vypadnutí z vozidla)

#### S6: Procesy a stavy:

- kontakt s karoserií a okolím
- možná aktivace vozidla řízením či brzděním

#### S7: Projevy:

- změna polohy, silové působení

#### S8: Důsledky:

- zranění posádky (řidiče)

Charakteristiky či veličiny na objektu  $\Omega$  (vozidlo-řidič) méně podstatné, nebo zcela nepodstatné pro řešení tohoto problému, jsou u prvku vozidla např. antiblokovací systém, stabilizační systém, barva, limity zatáčení, rozměr pneumatik atd., u prvku řidiče např. výška, reakční doba, oblečení, natočení hlavy, směr pohledu, únava.

Strukturní charakteristiky řidiče nedokáže expert z oboru doprava bez konsilience zohlednit, stejně jako procesy, které na prvku řidič probíhají.



### Podstatné charakteristiky prvku strom OΩ1:

System podstatných charakteristik na objektu OΩ1 (okolí objektu vozidlo-řidič):



S1: Topologie a geometrie:

- rozměry stromu, zejména tvarový průměr, směr, průběh geometrie v závislosti na výšce
- poloha stromu vůči vozidlu v okamžiku kontaktu
- hmotnost stromu

S2: Vazby mezi objektem a okolím:

- vazba mezi OΩ1 a Ω (silové působení s vozidlem – parametry střetu)
- vazba mezi OΩ1 a OΩ2 (upevnění stromu v okolí)

S3 a S4: Aktivace a ovlivnění na Ω z okolí OΩ1:

- silové působení na Ω - překážka aktivující pohybové a strukturální vlastnosti vozidla

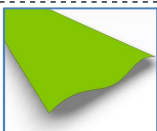
S5: Vlastnosti struktury:

- typ stromu, druh dřeviny a stáří
- vizuální stav
- skutečný „technický“ stav
- větve, anomálie mající vliv na rozsah, charakter poškození objektu

S6: Procesy a stavy:

- silové působení objektu na strukturu stromu
- případně změna polohy, otisky, opad kůry, destrukce

### Podstatné charakteristiky prvku povrch OΩ2:



S1: Topologie a geometrie:

- sklon, anomálie v geometrii v blízkosti stromu, tj. detailní profil povrchu včetně anomálií

S2: Vazby mezi objektem a okolím:

- vazba mezi OΩ1 a Ω (silové působení s vozidlem – dření, rytí ovlivňující dynamické parametry objektu Ω)
- vazba mezi OΩ1 a OΩ2 (upevnění stromu v okolí)

S3 a S4: Aktivace a ovlivnění na  $\Omega$  z okolí  $O\Omega 2$ :

- silové působení na  $\Omega$  - kontakt s pneumatikami, příp. karoserií při převrácení
- ovlivnění atmosférickými podmínkami

S5: Vlastnosti struktury:

- typ povrchu, anomálie
- aktuální stav (vlhkost, hutnění, vrstva, odpor vůči porušení...)

S6: Procesy a stavy:

- strukturální změny (vyhrnutí, stopy)

V případě volby přímého modelování problému typu ráz s užitím simulačního výpočtového modelování s podporou běžně užívaných simulačních software, např. užití Kudlich-Slibarova modelového objektu jsou nutné následující kroky:

- a) Po vyhodnocení vlastností struktury objektu a okolí musí být exaktně zadány topologické a geometrické charakteristiky objektu a okolí (rozměry, hmotnosti, typ modelu, natočení objektu vůči všem osám, úhlové rychlosti), tj. vyhodnocena poloha objektu  $\Omega$  vůči  $O\Omega 1$  a také k  $O\Omega 2$ .
- b) Pro charakteristiku vazbových veličin objektu s okolím je nutné vyhodnotit strukturní vlastnosti (tuhost, EES, resp. EBS, restituce), korespondenci (otisk), rozsah (kvantifikace deformační energie pomocí srovnávacích analýz) a charakter interakce (hloubka, skluz apod.) objektu s okolím.
- c) Pohyb objektu před vznikem vazby s  $O\Omega 1$  napoví o procesech na objektu před interakcí s  $O\Omega 1$  (směr vektoru rychlosti, úhlová rychlost objektu vstupující jako vstupní veličiny do modelování), nejlépe dle charakteru předstřetového pohybu na základě stop po interakci s vozovkou (příkopem), tedy  $O\Omega 2$ .
- d) Vyhodnocení projevu objektu po interakci s  $O\Omega 1$  (stopy, dráha, trajektorie, charakter pohybu objektu  $\Omega$  interagujícího s  $O\Omega 2$ ).
- e) Prudké dynamické změny na objektu vyvolají přeměnu energie za vzniku plastické a elastické deformace, poloha působíště síly, natočení roviny rázu, koeficient restituace s důrazem na zajištění dostatku energie, potřebné na strukturní změny a procesy na  $\Omega$  s  $O\Omega 1$  a také na projev objektu do okolí  $O\Omega 2$ .

Výše uvedené kroky by měly být ujasněny před vlastním zahájením simulačního výpočtového modelování.

Kroky nutné k realizaci výpočtového simulačního modelování:

- a) Postupná variace vstupních veličin dle zvolené strategie změny veličin (dynamické parametry objektu  $\Omega$  a vazbových veličin při ověření výstupních veličin – projevů objektu do okolí) v technicky přijatelném rozsahu respektující rozmezí výstupních veličin z přípravy simulačního modelování (EES, konečné polohy objektu, hloubky deformace, poloha bodu rázu, velikost impulsu, tuhost vozidla).
- b) Nalezení vstupních veličin, které vyhovují rozsahem, zejména rychlosti objektu.
- c) Možné upřesnění střední hodnoty rychlosti pomocí simulačního výpočtového modelování.
- d) Ověření – verifikace, zákonem zachování energie.
- e) Vyřešení problému 1 (rychlost vozidla při nárazu do stromu).

### **Problém 2: rychlost vozidla při vyjetí vozidla**

Problém 2 velmi úzce souvisí s problémem 1, jelikož objekt je u obou problémů shodný, liší se pouze prvek či prvky okolí. Hledání velikosti rychlosti rovněž úzce souvisí s řešením problému 1, neboť řešení problému 1 je vstupní veličinou, v případě analytického výpočtu nepřímým modelováním a kontrolou (výstupní veličinou) při simulačním výpočtovém modelování (přímém modelování) problému 2.

Řešení problému 2 spočívá v popisu chování objektu  $\Omega$  (vozidlo-řidič) ve vztahu k okolí objektu  $O\Omega$ . Bezprostředním prvkem okolí objektu  $O\Omega$  je komunikace, po které se pohybuje vozidlo před vznikem problému 1 – kontaktem objektu s prvkem okolí  $O\Omega_1$  (stromem), dle zvoleného přístupu může být za samostatný prvek okolí považován řidič.

Problém 2 je obtížně řešitelný samostatně bez předešlého vyřešení problému 1, nebo alespoň bez respektování projevů objektu do okolí, které byly popsány v rámci řešení problému 1.

Z hlediska simulačního výpočtového modelování lze tedy zahájit samostatně již řešením problému 2, pokud následné kroky budou respektovat řešení problému 1.

Ověření řešení obou problémů spočívá v samostatném řešení obou problémů, následné komparaci výsledků samostatných řešení i vyřešení obou problémů v rámci simulačního výpočtového modelování celého děje najednou, tj. od ztráty jízdní stability vozidla při průjezdu obloukem do konečné polohy vozidla.

### **Varianta A (objekt vozidlo-řidič):**



Systém podstatných charakteristik na objektu  $\Omega$  (vozidlo-řidič), nezmiňované skupiny charakteristik jsou méně podstatné, nebo nepodstatné.

#### Podstatné charakteristiky prvku vozidlo objektu $\Omega$ :



##### S1: Topologie a geometrie:

- rozměry a geometrie karoserie (délka, šířka, rozvor, rozchod...)
- poloha (rozmezí poloh) na počátku ztráty jízdní stability + popis trajektorie pohybu
- natočení vozidla vůči všem osám
- poloha těžiště (x, y, z)
- hmotnost a moment setrvačnosti

##### S2: Vazby mezi objektem a okolím:

- pneumatika – vozovka

##### S5: Vlastnosti struktury:

- koncepce a konstrukce vozidla
- stav komponent
- vyloučení technické závady (vlivy stavu tlumení, pružení, vůle v řízení)
- výbava (antiblokovací systém, stabilizační systém)
- model a stav pneumatik

##### S6: Procesy a stavy:

- dynamické parametry (rychlost, směr rychlosti na počátku ztráty stability respektující natočení vozidla, velikost úhlové rychlosti vůči všem osám respektující výchozí stav)
- změna dynamických parametrů v čase
- změna polohy

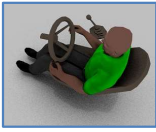
##### S7: Projevy:

- vznik stop

##### S8: Důsledky:

- ekonomická škoda na vozidle a okolí

### Podstatné charakteristiky prvku řidič objektu $\Omega$ :



S1: Topologie a geometrie:

- hmotnost

S2: Vazby mezi objektem a okolím:

- tělo – sedadlo a prvky interiéru vozidla

S6: Procesy a stavy:

- možná aktivace vozidla řízením či brzděním

S7: Projevy:

- omezení možnosti ovlivnění pohybu prvku vozidlo

S8: Důsledky:

- pohyb těla dle výslednice setrvačných sil

Charakteristiky či veličiny na objektu  $\Omega$  (vozidlo-řidič) méně podstatné, nebo zcela nepodstatné jsou např. model karoserie vozidla nebo barva, u prvku řidiče např. výška, reakční doba, oblečení, natočení hlavy, směr pohledu, únava. Strukturální charakteristiky řidiče nedokáže expert z oboru doprava bez konsultace s dalšími odborníky samostatně zohlednit.

### Podstatné charakteristiky prvku okolí (prvek komunikace) objektu $\Omega$ :



S1: Topologie a geometrie:

- tvar
- rozměry zpevněné části
- rozměry a charakter dopravního značení

S2: Vazby mezi okolím a objektem:

- vazba mezi  $O\Omega 1$  a  $\Omega$  (silové působení s pneumatikami vozidla)

S3 a S4: Aktivace a ovlivnění na  $\Omega$  z okolí  $O\Omega 1$ :

- působení na změnu směru pohybu vozidla svými geometrickými, světelnými, povětrnostními a strukturálními vlastnostmi

S5: Vlastnosti struktury:

- typ povrchu
- hustota struktury
- struktura
- adhezní vlastnosti
- vizuální stav
- skutečný „technický“ stav povrchu
- aktuální stav daný povětrnostními podmínkami
- dílčí vady a rozdíly ve struktuře, výtluky a výmoly
- výskyt skvrn provozních kapalin
- dopravní uspořádání a vlastnosti dopravního značení
- ostatní vlivy a anomálie

Při řešení tohoto problému lze při neznalosti chování řidiče zohlednit pouze jeho hmotnost, a tedy změnu polohu těžiště, za objekt považovat pouze vozidlo a za okolí komunikaci, prvek řidič či posádka bude zcela ignorován z důvodu neznalosti.

Dalším přístupem k řešení může být varianta, že za objekt bude považováno pouze vozidlo a prvek řidič bude považován za okolí objektu, který objekt aktivuje a ovlivňuje.

**Varianta B: (objekt vozidlo)**

Podstatné charakteristiky prvku vozidlo objektu  $\Omega$ :



S1: Topologie a geometrie:

- rozměry a geometrie karoserie (délka, šířka, rozvor, rozchod...)
- poloha (rozmezí poloh) na počátku ztráty jízdní stability + popis trajektorie pohybu
- natočení vozidla vůči všem osám
- poloha těžiště (x, y, z)
- hmotnost
- moment setrvačnosti

S2: Vazby mezi objektem a okolím:

- pneumatika – vozovka

S5: Vlastnosti struktury:

- koncepce a konstrukce vozidla
- technické restriky (např. limity otáčení volantů, dynamické limity)

- stav komponent
- vyloučení technické závady (vliv stavu tlumení, pružení, vůle v řízení)
- výbava (antiblokovací systém, stabilizační systém, pokročilé asistenty)
- model a stav pneumatik
- nesouměrnost brzdného účinku

#### S6: Procesy a stavy:

- dynamické parametry (rychlost, směr rychlosti na počátku ztráty stability respektující natočení vozidla, velikost úhlové rychlosti vůči všem osám respektující výchozí stav)
- změna dynamických parametrů v čase
- změna polohy

#### S7: Projevy:

- vznik stop, opuštění nastavené trajektorie pohybu, vyjetí směrem k překážce

#### S8: Důsledky:

- počátek havárie, následná ekonomická škoda na vozidle a okolí

Podstatné charakteristiky prvku řidič (jako okolí objektu  $\Omega$ ):



#### S2: Vazby mezi objektem a okolím:

- vazba mezi  $O\Omega_1$  a  $\Omega$  (silové působení řidiče pomocí horních a dolních končetin) na ovládací prvky vozidla
- vazba mezi  $O_1\Omega$  a  $\Omega$  (tíhová síla řidiče ve vazbě na sedačku)

#### S3 a S4: Aktivace a ovlivnění na $\Omega$ z okolí $O\Omega_2$ :

- řízení – způsob a charakter i parametrické vyjádření úhlu natočení
- rychlost
- brzdění
- akcelerace
- kombinace dle časových a příčinných možností

#### S5: Vlastnosti struktury:

- věk
- zkušenost
- řidičské schopnosti
- fyzický a psychický stav
- schopnost řešit krizové situace

S6: Procesy a stavy:

- změna komfortního stavu řidiče na vznik stresové situace vyžadující změnu konání

Druhým prvkem okolí je stejně jako v první variantě prvek komunikace, který je dán shodnými environmentálními veličinami.

Kroky nutné k přípravě a zahájení výpočtového simulačního modelování:

- a) Po vyhodnocení vlastností struktury objektu a okolí musí být exaktně zadány topologické a geometrické charakteristiky objektu a okolí (rozměry, hmotnosti, typ modelového objektu, natočení objektu vůči všem osám), tj. vyhodnocena poloha objektu  $\Omega$  vůči  $O\Omega$  a také k  $O\Omega 1$ .
- b) Pro charakteristiku vazbových veličin objektu s okolím je nutné vyhodnotit strukturní vlastnosti soustavy vozidla, korespondenci (se stopami či markanty na okolí) objektu s okolím.
- c) Popis prvku či prvků okolí včetně omezení a ovlivnění.
- d) Popis možných vzájemných vazeb mezi prvky okolí, např. mezi prvkem okolí řidič a prvkem okolí komunikace existuje interakce, jelikož:
  - prvek okolí komunikace ovlivňuje světelnými, povětrnostními a geometrickými charakteristikami způsob rozhodování, jednání řidiče,
  - řidič má stejně jako objekt vozidla svá omezení, která jsou dána hranicemi možností smyslového vnímání,
  - ovlivnění prvku řidiče jsou dále dána např. alkoholem, drogami, únavou, zkušenostmi, ergonomií, souladem řidiče s ovládáním a fungováním aktivních bezpečnostních prvků na objektu vozidla.
- e) Vyhodnocení projevu objektu po interakci s okolím (stopy, dráha, provozní kapaliny, trajektorie, charakter pohybu objektu a projevy aktivace řidičem (natočení kol, stav parkovací brzdy, světlomety apod.).
- f) Vyhodnocení výstupních veličin z řešení problému 1, které budou sloužit jako kontrolní pro řešení problému 2 (konečná rychlost soustavy vozidla, jeho dynamické parametry, projevy a stavy).

Výše uvedené kroky by měly být ujasněny před vlastním zahájením simulačního výpočtového modelování.



Kroky nutné k realizaci simulačního výpočtového modelování:

- a) Postupná variace vstupních veličin dle zvolené strategie změny veličin (poloha soustavy vozidla  $\Omega$  na počátku vzniku nestabilní situace a dynamické parametry objektu  $\Omega$  a vazbových veličin při ověření výstupních veličin – projevů objektu do okolí) v technicky přijatelném definovaném rozsahu včetně rozsahu parametricky vyjádřitelné aktivace prvku okolí řidič (časové a dráhové sekvence, intenzita brzdění, řízení atd.).
- b) Nalezení vstupních veličin, které vyhovují technicky přijatelnému rozsahu variovaných veličin i rozmezí řešení problému 1, zejména rozmezí rychlostí a možných poloh objektu při ztrátě jízdní stability  $\Omega$
- c) Možné upřesnění střední hodnoty rychlosti.
- d) Ověření kontrolou zpětným výpočtem na základě ujeté dráhy, variované adheze a procenta jejího využití, změna energie během pohybu, případně po rozdělení pohybu na jednotlivé fáze.
- e) Vyřešení problému 2.

Po vyřešení problému 2 musí dojít k diskusi výsledků a vyřešení obou problémů spolu nese další skutečnost, a to definování okrajových podmínek, za kterých by k problémům vůbec nedošlo. V případě, že by nedošlo ke ztrátě jízdní stability v rámci řešení problému 2, nebylo by potřeba řešit ani jeden z problémů, ba dokonce ani nehodu jako problémovou situaci.

Prevencí vzniku je definice okrajových podmínek, za kterých by nedošlo ke ztrátě jízdní stability vozidla. Z hlediska možností má prioritní roli člověk – řidič jako prvek okolí k soustavě vozidla.

### 4.3 ENTITY, PODSTATNÉ PARAMETRY, VELIČINY A JEJICH KVANTIFIKACE

**Po strukturování problémů, vytvoření množiny podstatných entit soustavy podstatných parametrů a následně systému podstatných veličin pro řešení vybraných problémů je nutná jejich kvantifikace (pokud je možná) na základě volby odpovídajících přístupů.** Kvantifikace vstupních údajů pro analýzu silničních nehod je prováděna v zásadě následujícími způsoby:

- **přímo, resp. zprostředkovaně** (délky, směry a charaktery stop, hmotnosti, oblasti a charaktery poškození, střeby, kapaliny, informace o stavu povrchu, zranění, binární hodnocení – např. aktivace airbagů, užití pásů, případně datové záznamy nevyžadující dalšího zpracování – např. zpracovaná poloha GPS jako součást

spisového materiálu, analyzované kamerové záznamy, zpracované tachografické záznamy a lékařské zprávy),

- **vlastním ohledáním, měřením a analýzami získaných dat** (zaměření místa nehody, stop, okolí a jeho prvků, ohledání vozidel, analýza videozáznamů, tachografických záznamů, vozidlových dat),
- **mentálním modelováním s užitím odborné literatury a oborových technik** (součinitele, souvislosti mezi stopami, poškozením a zraněním, změřená data, empirická data a vztahy, kontrolní parametry a závislosti parametrů),
- **srovnávací analýzou** s exaktně známými podklady (např. poškození z nárazových testů a přepočty na bázi energetických rastrů, komparace se známými průběhy, příp. charakterem stop),
- **konkretizačními či verifikačními experimenty** (zejména zjištění poloh, viditelnosti, korespondence poškození, možnosti vzniku markantů, ověření přijatelnosti výpovědí, velikosti dosažitelných hodnot zrychlení, zpomalení, příčného přemístění apod.),
- **archivem znalce a zkušenostmi** (cenný podklad, který se postupně rozšiřuje v rámci činnosti znalce – tacitní znalosti a kompetence).

#### 4.4 ALGORITMIZACE ŘEŠENÍ SILNIČNÍ NEHODY

V obecné rovině lze přístupy i postupy při řešení problémů analýzy silničních nehod částečně algoritmizovat, a to u typově obdobných situací, což bude ukázáno na příkladu v **kapitole 5** této práce. Algoritmizace postupů odlišuje pojem **úkol** od pojmu **úloha**.

Nejedná se však o totéž jako algoritmizace znalecké činnosti či algoritmizace tvorby znaleckého posudku, mezi těmito aspekty je nutné také rozlišovat.

#### 4.5 VYBRANÉ POJMY ANALÝZY SILNIČNÍCH NEHOD V SYSTÉMOVÉM POJETÍ

Analýza silničních nehod je interdisciplinárním odvětvím inženýrství, jehož přesah do práva, resp. jeho interakce s právem činí potíže s uchopením a výkladem některých pojmů, které se mohou zdát technického rázu. Zákonodárce ale shodné pojmy použil v právních předpisech (75) a právním výkladu (101), přičemž řešitelům silničních nehod je zapovězeno obzvláště v trestním řízení se k právním otázkám vyjadřovat. Přitom znalcem vylíčený technický výklad události je právně interpretován a slouží jako jeden z podkladů (často podstatný) pro rozhodnutí o porušení právních předpisů, zavinění konkrétního účastníka a uložení trestu.

Jedná se například o tyto vybrané sporné pojmy pro pochopení mezioborovosti, složitosti a zejména částečné neurčitosti problematiky:

**Náhle:** Z hlediska jazykového pojem chápeme jako něco, co se stane najednou, neočekávaně či překvapivě, případně vynuceně. Analytik silničních nehod s pojmem pracuje v technické rovině nejčastěji při hodnocení nebezpečí, zda překážka na komunikaci vznikla řidiči náhle ve vztahu k jeho aktuální či přiměřené rychlosti (např. vstup chodce do vozovky, vjetí vozidla do koridoru, neosvětlená překážka), tedy zda je schopen na vznik nebezpečí účinně reagovat. Právní předpis upravující povinnosti řidičů s pojmem náhle pracuje v otázce náhlosti změny či (nebo) rychlosti jízdy vozidla v reakci na pohyb jiného objektu, tj. nutnost či povinnost počínat si tak, aby jiný účastník nemusel **náhle** změnit své počínání k tomu, aby zabránil kontaktu či eventuálně zmírnil následky. Definování náhlosti (k přiblížení technického a právního) je možné nejlépe vyjádřením stupně náhlosti či definováním konkrétní hranice, kdy byl manévr náhlý, a kdy už nikoliv.

V otázce nutnosti změny rychlosti jízdy je technicky exaktním parametrem:

- velikost střední hodnoty zpomalení vozidla v průběhu rozhodující fáze pohybu vozidla (od vzniku nebezpečí),
- či procentuální vyjádření nutné velikosti zpomalení k zabránění kolize vůči maximálnímu dosažitelnému zpomalení na daném povrchu (např. polovina dosažitelného zpomalení konkrétního vozidla na daném povrchu).

Vzhledem k časté absenci předstřetových stop lze stupeň náhlosti předstřetového pohybu často velmi obtížně stanovit s ohledem na často nezjistitelný počátek reakce řidiče a absenci viditelných stop, pokud nejsou získána nehodová data.

V otázce nutnosti změny směru jízdy je situace výrazně složitější, neboť nutnost úrovně natočení a rychlosti natočení volantu v případě vozidel je závislá na výchozí rychlosti a v neposlední řadě na vzdálenosti, resp. času (vyjádřeno např. pomocí parametru Time to Collision), na které nebezpečí vzniklo, a to opět v kombinaci s reakční dobou řidiče. Nelze při hodnocení náhlosti opomenout lidský faktor, spočívající v možném úleku či ne zcela adekvátní reakci nezkušeného účastníka, jelikož způsob reakcí v krizových okamžicích se u žadatelů o řidičské oprávnění cíleně nevyučuje a vyučuje zpravidla až reálný silniční provoz. Nelze tak „neadekvátní“ reakci zpravidla přičítat k jeho tíži, řidič obvykle změni směr zamýšleného pohybu v reakci na výskyt jiného objektu.

Právní výklad v otázce přednosti v jízdě však předpokládá vznik jednoho (náhlá změna rychlosti), nebo druhého (náhlá změna směru). Proto pro vznik náhlosti postačuje z logického

hlediska pouze jedna skutečnost v závislosti na možnostech, ale také v závislosti na rozhodnutí účastníka, který náhlou změnu směru či rychlosti prováděl, měl nebo mohl provádět. Řidič je však schopen současně reagovat a brzdit a u moderních vozidel dosahovat prakticky plného intenzivního brzdění i za současného vyhýbání, vyhýbání je voleno v situacích, kdy řidič vyhodnotí, že brzdění není dostatečné a samo o sobě nezabrání nehodě. Rozhodování o brzdění nebo vyhýbání přichází v závislosti na náhlosti a poloze aktivačního objektu.

„Náhlost“, resp. nutnost náhlého konání nejčastěji při nutnosti reagovat na překážku, je v systémovém pojetí z pohledu pohybu vozidla řešena na objektu  $\Omega$  soustavy (**vozidlo-řidič**) s vazbou na vozovku ve formě adheze. Okolí soustavy je okolím bezprostředním, které má přímou vazbu na procesy a stavy na soustavě a okolí vzdálené či nepodstatné pro řešení tohoto typu problému. Podstatná je zpravidla geometrie komunikace, dopravní značení a případně prvky bezprostředního okolí, např. ovlivňující vzájemnou dohlednost. Ovlivněním zvenčí je například vlivem povětrnostní situace, která se může projevit na změně vazbové veličiny – adheze, ale nejčastěji projevuje ve formě snížené viditelnosti. Objekt je nejdříve při vzniku mezního stavu (hrozící nebezpečí ve formě výskytu překážky) a nejpozději na počátku reakce prvku řidiče zvenčí aktivován výskytem či vznikem překážky (**aktivační objekt  $A\Omega$** ), aktivačními veličinami jsou vzdálenost a čas  $\Omega$  od aktivačního objektu  $A\Omega$  ve vztahu ke stavům soustavy (rychlost prvku vozidlo, pozornost a reakce prvku řidiče). Soustava se navenek pro pozorovatele (aktivační objekt  $A\Omega$ ) jeví jako jednoduchý geometrický objekt, u kterého není podstatná např. jeho hmotnost, vlastnosti struktury, model pneumatik apod., tj. jako **prvek vozidlo**. Do okolí se projevuje svou změnou polohy v čase a svou topologií a geometrií, která je, či není rozpoznána a rozpoznatelná aktivačním objektem  $A\Omega$ , jelikož aktivační objekt  $A\Omega$  může být i neživého charakteru. Mezi prvky soustavy probíhá interakce (řidič obvykle ovládá vozidlo, což se navenek projevuje ve změně jeho polohy, řidič jako prvek rovněž může být ovlivněn např. alkoholem, drogami, nepozorností, únavou) a vazba mezi aktivačním objektem  $A\Omega$  a prvkem řidiče se v okamžiku počátku reakce řidiče na aktivační objekt mění na interakci. Ta může probíhat jedním či oběma směry v závislosti na tom, zda aktivační objekt interaguje s objektem  $\Omega$ . Objekt  $\Omega$ , resp. prvek řidič interaguje s aktivačním objektem na základě jeho geometrie, topologie a projevu navenek (např. viditelnost) v době, kdy je vyhodnocen jako nebezpečí (signální aktivační pozice objektu).

Posouzení náhlosti manévru objektu  $\Omega$  je problémem, který je řešen při analýze možností odvrácení střetu za účelem posouzení technické příčiny, resp. právní odpovědnosti účastníků. Proto je důsledkem objektu  $\Omega$  skutečnost, zda by došlo k jinému projevu objektu  $\Omega$  do okolí, pokud by byl prvkem řidič jiným způsobem aktivován (přiměřená rychlost, jiné nižší, např. polovičně

dosažitelné zpomalení, jiný způsob reakce apod.), tedy zda by prvek řidič jinak interagoval s vozidlem v reakci na aktivační objekt  $A\Omega$  za jiných okolností (jiných aktivačních veličin).

Podstatnými veličinami na prvku řidič jsou jeho reakční doba a počátek reakce ve vztahu k poloze aktivačního objektu (vzdálenost) a čas do kolize, další veličiny nejsou zcela exaktního charakteru (způsob reakce, řidičské kompetence, schopnost řešit krizové scénáře, volba způsobu reakce apod.). Velmi podstatná je vazbová veličina adheze omezující procesy a projevy. U vozidla je podstatná jeho rychlost v závislosti na jeho poloze a při realizaci manévrů změny směru a rychlosti jsou podstatné i jeho vlastnosti ve vztahu k aktivacím od řidiče (pneumatiky, prvky aktivní bezpečnosti pro realizaci možných způsobů reakce). U aktivačního objektu jsou podstatné zpravidla jeho rozměry, viditelnost a poloha.

**Bezpečnostní (bezpečná) vzdálenost:** S tímto pojmem opět úzce souvisí i pojem náhle, neboť z právního hlediska v ČR nebyla bezpečnostní vzdálenost dodržena, pokud by se řidič zadního vozidla nevyhnul srážce s před ním jedoucím vozidlem v případě jeho náhlého snížení rychlosti nebo zastavení. Bezpečná vzdálenost je z technického pohledu snadno určitelná, v případě znalosti dosažení parametrů náhlosti. Z tohoto úhlu pohledu, pokud nedojde ke srážce, pak byla bezpečná vzdálenost v českých podmínkách z pohledu práva dodržena. Tedy, pokud dostane analytik nehody zadání, co se rozumí náhlostí z pohledu právního (číselnou hodnotu zpomalení, procentuální vyjádření zpomalení vůči zpomalení maximálnímu na dané adhezi), není pro něho nejmenším problémem bezpečnostní vzdálenost vypočítat. Za současných podmínek v ČR není prakticky možné zkrácení vzdálenosti řidičem bez srážky sankcionovat jako porušení prevence či zásad bezpečné či defenzivní jízdy. Pro vymáhání takových právních povinností by muselo dojít k přeměně právního výkladu na exaktní technické vyjádření spočívající například:

- v dodržení vzdálenosti ujeté odpovídající rychlostí za dobu *1 sekundy, 2 sekund* apod.,
- výskytu viditelných značek informujících o vzdálenosti mezi vozidly (na značce je však zpravidla napsáno „bezpečný odstup“),
- případně ve vyjádření poměru vzdálenosti vůči rychlosti vozidel (např.  $\frac{1}{4}$  rychlosti v km/h vyjádřena v metrech, tj. *20 m* při rychlosti *80 km/h*).

Dynamický (za jízdy vozidla) odhad vzdálenosti se však jeví jako obtížnější oproti odhadu časovému.

Dá se říci, že systémové pojetí posuzování bezpečnostní vzdálenosti je obdobné jako u problematiky náhlé překážky. Pouze s tím rozdílem, že objektem zadního vozidla je soustava **řidič-vozdlo  $\Omega_1$**  a **aktivačním objektem je vpředu jedoucí vozidlo, resp. soustava řidič-**

**vozidlo  $\Omega_2$** , resp. její změna polohy projevující se ve zkracování vzdálenosti (aktivace), na kterou musí být soustava  $\Omega_1$  schopna odvrátit vzájemný kontakt ve vztahu k vlastnostem prvku vozidlo a řidič  $\Omega_1$ . Ovlivněním zvenčí je například vlivem povětrnostní situace, která se může projevit nejčastěji ve změně vazbové veličiny adheze. Objekt je nejdříve při vzniku mezního stavu (změna polohy  $\Omega_2$ , resp. projev v rozsvícení brzdových světel) a nejspíše na počátku reakce prvku řidiče objektu  $\Omega_1$  zvenčí aktivován a aktivačními veličinami jsou vzdálenost, resp. čas mezi  $\Omega_1$  a  $\Omega_2$  ve vztahu k stavům soustav (rychlosti  $\Omega_1$  a  $\Omega_2$ , pozornost a reakce prvku řidiče  $\Omega_1$ , vlastnosti prvku vozidlo  $\Omega_1$ , vazbová veličina je adheze). Soustava  $\Omega_2$  se navenek pro  $\Omega_1$  jeví jako jednoduchý geometrický objekt, u kterého není podstatná např. jeho hmotnost ani prvek řidič, vlastnosti struktury či model pneumatik apod., tj. pouze jako **prvek vozidlo** a projevuje se do okolí pouze svou geometrií a změnou polohy v čase. Z pohledu soustavy  $\Omega_2$  je soustava  $\Omega_1$  jako celek nepodstatná.

Podstatnými veličinami na prvku řidič objektu  $\Omega_1$  jsou jeho reakční doba a počátek reakce ve vztahu k aktivaci  $\Omega_2$ , další veličiny nejsou exaktního charakteru (způsob reakce, řidičské kompetence, schopnost řešit krizové scénáře, volba způsobu reakce ve vztahu k obdobným schopnostem řidiče soustavy  $\Omega_2$  apod.). Velmi podstatná je vazbová veličina adheze omezující procesy a projevy. U obou prvků vozidla  $\Omega_1$  i  $\Omega_2$  jsou podstatné jeho vlastnosti ve vztahu k pokynům od řidiče (pneumatiky, prvky aktivní bezpečnosti pro realizaci možných způsobů reakce). U aktivačního objektu jsou podstatné zpravidla jeho rozměry, viditelnost a poloha.

**Přiměřená rychlost:** Ve statistikách nehodovosti se nepřiměřená rychlost objevuje často jako příčina vzniku dopravních silničních nehod. Přiměřenost je nutné vždy vztahovat k nějaké skutečnosti (přiměřenost čemu?), kterou lze či někdy také nelze v přiměřené míře předvídat, např. **stavu či povahu vozovky vč. lokálních ovlivnění, stavebně technickému stavu, dopravní situaci, povětrnostním podmínkám, stavu řidiče. Dá se tedy říci, že vždy okolí soustavy řidič-vozidlo**, zpravidla se jedná o aspekty, které jsou po řidiči požadovány zákonem. Přiměřená rychlost může být různá za stejné geometrie komunikace i ovlivnění okolí, a to např. v závislosti na přiměřenosti výskytu překážky (dopravní situace). V jednom případě se může například překážka vyskytovat ve formě stojící (např. odstavené vozidlo za směrovým obloukem), v jiném případě může obdobná překážka za směrovým obloukem, např. najet z místa ležícího mimo komunikaci a zkrátit taky onu dráhu na zastavení z přiměřené rychlosti.

Z hlediska systému podstatných veličin lze u problematiky přistoupit k vysvětlení systému podstatných veličin:

**Nepřiměřená rychlost** je projevem (projevová veličina) dosažení limitního stavu aktuálního průjezdu vozidla (objektu) vůči **vnějším okolnostem bezprostředního okolí objektu**. Projevuje vznikem mezního stavu v chování objektu (vozidla), např. ztráta jízdní stability při průjezdu obloukem. Aktivací k projevu a potažmo i důsledku nepřiměřené rychlosti je impuls prvku soustavy vozidlo-řidič. **Povaha** vozovky může být v systémovém pojetí dána geometrickými, resp. objektovými vlastnostmi (poloměr oblouku, stoupání, šířka), strukturně-vlastnostně, např. chemickým složením povrchové vrstvy komunikace a fyzikálními vlastnostmi povrchu, vadami a poruchami ve struktuře (stavebně-technické) či veličinami pro řidiče či objekt aktivačními (výskyt vodorovného značení, svislého značení). Viditelným projevem interakce nepřiměřeně jedoucího objektu (vozidla) a okolí (komunikace) je vznik stop, které zanechá objekt na okolí. Důsledkem jsou škody na životě, zdraví a majetku.

**Stav vozovky** úzce spjatý s **dopravní situací** je stavová veličina vyjadřující její aktuální stav při aktuálním působení vnějších vlivů:

- Počasí – atmosférické či povětrnostní vlivy předpokládatelné (sníh, déšť, voda na povrchu, náledí, zmrazky, vítr, kroupy, napadané listí) či obtížně předpokládatelné (mastná skvrna provozních kapalin, vysypaná vrstva štěrku, lokálně zhoršená adheze vlivem např. vytékající vody, olejová skvrna, či padlý strom) – povětrnostní vlivy mohou rovněž měnit strukturně-vlastnostní, resp. vazbové veličiny s okolím, projevové veličiny a často i důsledky. Ve vztahu ke stavu vozovky může být déšť aktivační veličinou.
- Provoz ostatních účastníků provozu (pohybující se a stojící objekty).

**Dopravní situaci** jako pojem lze technicky definovat v obecném významu jako soustavu charakterizující okolí vozidla a v úzkém slova smyslu např. jako množinu charakterizující projevy, stav, hustotu, intenzitu a chování ostatních účastníků vůči okolí vozidla včetně řízení dopravy, ale stejně tak i souhrn stavebně-technického stavu (geometrie) komunikace, charakteru a uspořádání okolí.

Nepřiměřenost rychlosti vozidla lze spatřovat rovněž vůči předpokládatelným okolnostem, tedy mlze, viditelnosti snížené tmou či obtížněji předpokládatelným okolnostem v důsledku oslnění protijedoucím vozidlem, oslněním světelným reklamním zařízením apod.

Z hlediska analýzy silničních nehod a právního vnímání, resp. právní interpretace technické analýzy, se může pohled lišit. Platí ovšem totéž, co v případě bezpečnostní vzdálenosti.

Pokud dostane analytik silniční nehody zadání, aby zjistil přiměřenou rychlost vozidla a zadání nebude více upřesněno, může si prakticky zcela sám dle vlastního uvážení nadefinovat podmínky přiměřenosti (záleží na úrovni jeho mentálního modelování), a to i u rozmezí vstupních veličin (např. reakční doba řidiče), tj. lze uvažovat např. rychlost přiměřenou:

- vzdálenosti dosvitu světlometů vozidla na vozovku,
- vzdálenosti nutné pro odlišení tmavě oděného chodce od okolí,
- vzdálenosti prvního možného spatření překážky ovlivňující nebo omezující charakter jízdy,
- výhledu do oblouku apod.

**Reakce řidiče:** Pod pojmem reakce řidiče si lze představit zejména **způsob reakce řidiče** při analýze okolní dopravní situace spočívající v aktivaci vozidla ve formě:

- konání (brzdění, řízení, akcelerace, řízení + kombinace uvedeného),
- nekonání (šok, nemožnost konání – nedostatek času nebo nepotřebnost konání při pouhém smyslovém sběru ne nebezpečných informací).

Pod pojmem reakce řidiče si však lze představit i číselné vyjádření možnosti konání či nekonání řidiče (optická, psychická a svalová složka **reakční doby**) ve vztahu ke konkrétním podmínkám (stav řidiče, věk, možnosti rozlišení nebezpečí, ovlivnění řidiče, distraktory, časové možnosti vzhledem k poloze výskytu nebezpečí).

Analytik dopravních nehod nemá zpravidla možnost ověřit délku reakční doby konkrétního řidiče po nehodě. Může vycházet z dostupných experimentálně zjištěných podkladů s využitím odborných pramenů a při absenci stop na místě nehody může pouze předpokládat délku a často i způsob reakce řidiče ve vztahu k poloze a rychlosti vozidel či chodců v průběhu nehodového děje a konečným polohám. Otázky prodloužené reakční doby lze řešit v závislosti na signálních pozicích okolních objektů, které řidiče aktivují.

Pokud je po řidiči požadováno konání, musí být pro řidiče vznikající nebezpečí dostatečně adresné a zřetelné, tj. například dostatečný zásah jiného objektu do jízdního pruhu, případně zcela zřejmé nezastavování příjezdějího vozidla či přicházejícího chodce.

Otázka posuzování požadavků na řidiče není otázkou pro analytika silničních nehod a je zpravidla hodnocena právně, přičemž existují výrazné rozdíly mezi technickou a právní interpretací průběhu nehodového děje.



**Příčné přemístění, resp. vyhýbání, resp. odbočování:** Nejčastějším typem silničních nehod ve správním řízení jsou kolize na křižovatkách, např. kolize vlevo odbočujícího vozidla a vozidla jej předjíždějícího v oblasti křižovatky, jelikož není předjíždění v prostoru křižovatky striktně omezeno.

Pro analýzu takového typu nehody je také podstatné, kdy začal, který z manévrů, kdy a jakým způsobem na sebe mohli účastníci vzájemně reagovat a za jakých okolností mohli nehodě zabránit.

Čistě technicky manévr odbočení, resp. příčného přemístění objektu, začíná změnou směru jízdy z původního směru jízdy, přičemž samotnou délku pohybu, resp. jeho počátek, lze matematicky či experimentálně ověřit. Pokud vezmeme do úvahy aktivaci ukazatele změny směru jízdy, pak lze říci, že počátek manévru lze spatřovat v aktivaci ukazatele, ale samostatný ukazatel na druhé straně bez dalšího není bezpodmínečným předpokladem o budoucím manévru. S aktivací ukazatele změny směru jízdy je zase úzce spojen pojem „**včas**“, stejně jako při označování překážky tak, aby byla včas viditelná nebo při „včasném“ vyhýbání. Z hlediska osoby řidiče soustavy řidič-vozdlo lze však za počátek považovat již rozhodování řidiče před odbočením. Vlastnímu odbočování předchází úkony spočívající nejméně v kontrole situace za vozidlem.

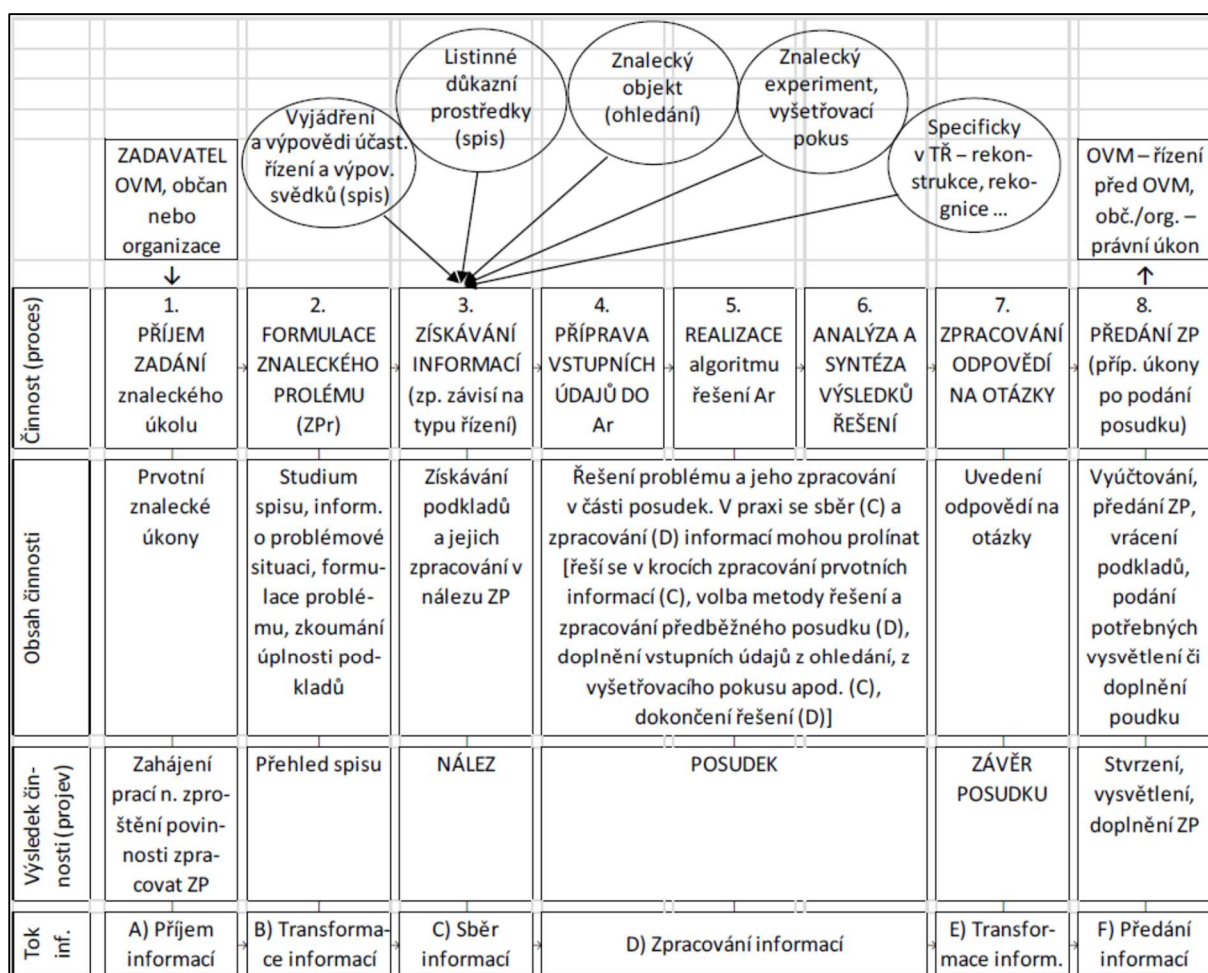
Ze strany nezávislého pozorovatele (okolí odbočující soustavy řidič-vozdlo) lze za počátek odbočování bez ohledu na ukazatel změny směru jízdy považovat až pro pozorovatele dostatečně viditelnou změnu směru, resp. příčné polohy odbočujícího objektu.

## 4.6 ODRAZ VE ZNALECKÉ ČINNOSTI

Jak bylo dříve řečeno, **znalectví v oblasti analýzy nehod je zejména o důsledném zpracování informací od jejich získání, přes doplňování, analyzování až po zpětné předání ve zpracované použitelné formě.** Velmi dobře zpracoval tok informací ve znalecké činnosti doc. Robert Kledus v rámci e-learningové výukové opory na základě předchozích známých poznatků (76).

Výkon znalecké činnosti rozdělil na činnosti (proces), jejich obsah, výsledek a tok informací.

Znaleckou činnost jako strukturovanou činnost lze rozdělit do osmi kroků (fází) od příjmu informací do předání znaleckého posudku. Každá fáze je charakterizována svým obsahem a výsledkem vyjádřeným materiálně ve formě znaleckého posudku.



Obrázek 6: Tok informací ve znalecké činnosti (76)

Nelze říci, že by byla některá z fází více či méně důležitá, obecně se jedná o práci s informacemi.

Požadované připravované přísné nároky předpokládají, že osobnost znalce bude mít hluboké odborné, oborové teoretické a metodologické znalosti, znalosti právní a ekonomické tvůrčí schopnosti, dobré komunikační schopnosti a v neposlední řadě morální a etické vlastnosti při svých činnostech. Dále musí být znalec schopen zvládat stresové situace, ovládat emoce a chovat se po všech stránkách zodpovědně a bez projevů arogance trpělivě vysvětlovat své závěry.

**Znalec v systémovém pojetí** by měl správně chápat obsah pojmů, správně formulovat problémy, strukturovaně uvažovat, rozlišovat podstatné od nepodstatného, mít schopnost posuzovat věci dynamicky, algoritmizovat některé své činnosti a být samozřejmě zcela nezávislým a eticky jednajícím.

#### 4.7 ODRAZ VE ZNALECKÉM POSUDKU

Odraz systémového přístupu ve znaleckém posudku týkajícím se analýzy silniční nehody je v uplatňování následujících zásad.

*Tab. 5: Odrazy zásad systémového přístupu do znaleckého posudku analýzy silniční nehody, zpracováno dle (72)*

<b>Zásada:</b>	<b>Odraz zásady ve znaleckém posudku:</b>
Pravdivosti	Posudek musí podat co nejvíce pravdivý obraz zkoumané dopravní nehody na současné úrovni poznání a daném stupni určitosti vstupních podkladů. V případě absence určitosti podkladů by měl obsahovat variantní řešení průběhu nehody a variantní řešení možností odvrácení střetu. V případě, že nejsou podklady určité, v některých případech není možné pravdivý posudek podat. Posudek by však jednoznačně neměl obsahovat početní chyby mající vliv na výsledek.  Závěry posudku by měly být především kvalitativně správné, polemika o kvantitativních závěrech může obecně nastat z důvodu nižší exaktnosti poměrně často.
Systémovosti	Posudek musí být vytvářen systémově, tj. respektovat systémový přístup a jeho atributy s důrazem na vše podstatné, formulovat a strukturovat problém a jeho řešení, zpracovatel by měl uplatňovat systémové myšlení a užívat systémové metody a algoritmy. Pokud se tak děje, i sebe složitější problém s řešením zpracovaným do formy posudku (jako jeden z prvků soustavy znalectví) je srozumitelný i pro laika, přezkoumatelný a uchopitelný.
Účelovosti	Posudek by měl užívat přístupů, metod a postupů, adekvátních rozsahu potřebné úrovně a požadavků zkoumání, avšak se zohledněním všeho podstatného. V případě užití jiné, než adekvátní úrovně modelování se jedná o formální chybu, která zpravidla nemá vliv na výsledek. Současně se však obecně obvykle nejedná o vědeckou práci, ačkoliv řešení dílčích problémů může mít charakter vědecké činnosti.

Kauzality	Posudek musí jasně vyjadřovat příčinnou logickou souvislost mezi příčinou vzniku negativní události a následkem a musí být v souladu s obsahem předložených spisových podkladů, tedy neměl by být v rozporu s obsahem spisového materiálu.
Komplexnosti	Závěry musí vycházet z komplexního přístupu k řešení problému, zásada zahrnuje komplexnost problémovou (problém musí být řešen ve všech vnitřních a vnějších souvislostech) a komplexnost kooperační (při řešení se uplatňuje interdisciplinární přístup). I zdánlivě nesouvisející problémy a nepříjemné varianty by měly být zmíněny.
Úplnosti	Zahrnuje úplnost na efektivní úrovni, z hlediska úplnosti globální (zahrnuje odpovědi na všechny otázky) i lokální (každá otázka zodpovězena v plné šíři dotazu). V případě, že otázky není možno technickým znalcem vyřešit, není ostudou či nekompetencí toto přiznat.
Přiměřené jednoznačnosti	Odpovědi na položené otázky by měly být alespoň přiměřeně jednoznačné, a to na základě plné odpovědnosti a etiky znalce, souladu s obsahem spisového materiálu po pečlivé znalecké činnosti.
Věcnosti	Posudek by měl obsahovat pouze podstatné skutečnosti, měl by být věcně správný, ale neměl by být učebnicí či skripty, neměl by obsahovat zbytečné kapitoly.
Efektivní ohraničenosti	Prvotní formulací problémové situace a problému, volbou efektivních metod za přispění efektivního myšlení by měl znalecký posudek řešit pouze řešený problém a jeho bezprostřední okolí v míře potřebné nejvýše pro zodpovězení položených otázek.
Úrovňové vyváženosti	Žádná řešitelská část posudku by neměla svou úrovní zpracování vybočovat (ani nízkou ani vysokou kvalitou).
Ověřitelnosti	Postupy i závěry musí být ověřitelné a být ve formě, která umožní jejich přezkum (např. protokol ze simulačního výpočtového modelování, data ze zaměření či experimentů, originální fotodokumentace v elektronické podobě v případě nočních fotografií apod.).
Sdělitelnosti	Znalecký posudek je často součástí dokazování a je interpretován laiky z dané problematiky. Musí být odborný, ale současně psán stylem a slohem takovým, aby byly jeho závěry široce sdělitelné nejen odborníkům, ale zejména laikům, aby je pochopil i člověk bez vzdělání, kterým může být účastník nehody. Účastník nehody by měl chápat závěry znaleckého posudku v plném rozsahu.

## 5 VYBRANÁ KONKRÉTNÍ PROBLÉMOVÁ SITUACE

**Systémový přístup při soudně inženýrské analýze silničních nehod** je možné aplikovat tak, že vytvoříme u jednotlivých řešených problémů soustavu podstatných entit, ze které vytvoříme systém podstatných entit, veličin, přístupů, metod a algoritmů, které umožňují řešení problému na přiměřené úrovni s ohledem na nadřazené restriktce.

**Problémovou situací** je proces dopravní nehody a následný požadavek zadavatele znaleckého posudku či expertízy na posouzení odpovědnosti za vznik a průběh dopravní nehody.

**Problémem** je strukturované technické řešení dopravní nehody, tento úkol je svěřen expertovi, zpravidla se nejedná o problém jeden.

**Expert (znalec)** musí být schopen rozdělit řešení problému (úkol) na jednotlivé dílčí problémy, znát algoritmy řešení znaleckého posudku (tok informací ve znalecké činnosti), ale zejména zvolit účelný, optimální a úrovnově vyvážený přístup k řešení na systému podstatných veličin na současné úrovni poznání a zvolit optimální algoritmus řešení konkrétního problému. Tím vytvoří systém.

Samotnému řešení problémů typu pohyb či ráz vždy předchází mentální modelování.

### 5.1 STŘET VOZIDEL NA KŘIŽOVATCE (NEHODA „O PŘEDNOSTI V JÍZDĚ“)

#### 5.1.1 Problémová situace, vymezení fází a typů problémů

Příkladem **problémové situace** je silniční nehoda tří vozidel na křižovatce **se zraněním**, která může být v první fázi oznámena a vylíčena zpravodajským (laickým až bulvárním) či odbornějším, avšak v této fázi nejednoznačným způsobem (policejní mluvčí, mluvčí hasičů, bulvární reportáž s jednoznačným viníkem) a vzniká potřeba situaci prověřit z hlediska posouzení odpovědnosti a finančních nároků v souvislosti např. s adhezním řízením.

Jednalo se o excentrický střet na křižovatce se třemi pruhy v extravilánu bez výrazného skluzu vozidel, kdy se osobní **vozidlo 1** jedoucí za denní doby po hlavní komunikaci rychlostí (na první pohled) vyšší, než v místě svislým značením stanovených **70 km/h**, střetlo svou pravou přední částí s osobním **vozidlem 2**, které přejíždělo předmětnou křižovatku napříč zleva doprava vůči **vozidlu 1**. Došlo k zachycení pravé zadní části **vozidla 2** pravou přední částí **vozidla 1**. Hlavní komunikace byla v prostoru křižovatky třípruhová, přičemž z obou směrů byl prostřední pruh hlavní komunikace určen pro odbočení vlevo. Obě vozidla po střetu rotovala, **vozidlo 2** do konečné polohy, **vozidlo 1** do místa nárazu se soupravou, která se pohybovala v protisměru (**vozidlo 3**).

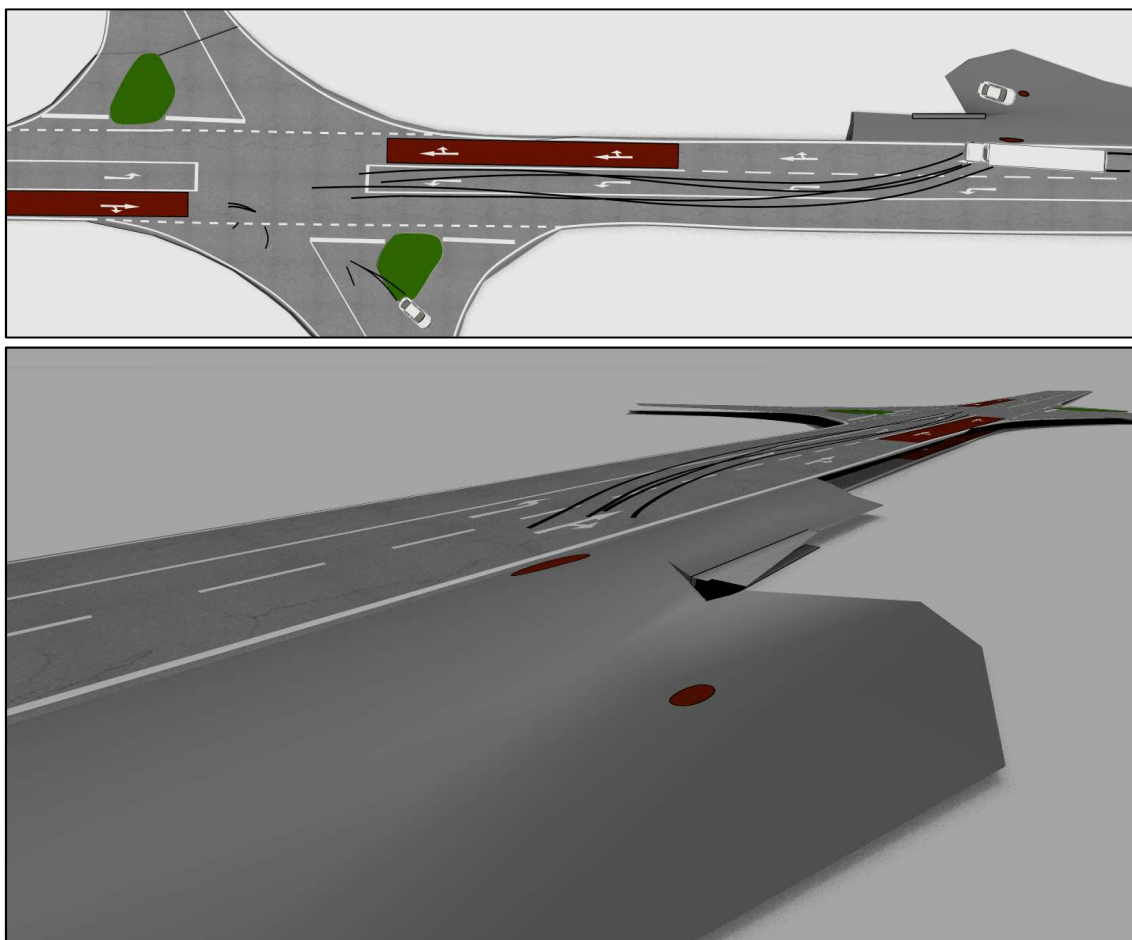
Po střetu se soupravou bylo **vozidlo 1** odraženo na příkopu do konečné polohy. Došlo ke zranění všech osob v osobních vozidlech (celkem 3 lidé) a materiální škodě na všech vozidlech a také drobně na okolí komunikace (obrubník a pole). Pro zachování obecnosti a představitosti čtenáři nepřikládám veškeré materiály ve formě obrázků.

Z pohledu policie, resp. orgánů činných v trestním řízení v přípravném řízení vzniká podezření na spáchání trestného činu (88), tedy prověřování, zda došlo k naplnění znaků přečinu proti zdraví z nedbalosti řidičem **vozidla 1** spočívající v porušení chráněného zájmu (ochrana zdraví), případně posouzení protiprávního jednání (90) řidiče **vozidla 2** porušením zákona spočívajícím v „nedání přednosti v jízdě“ (75). Právní kvalifikace a další okolnosti budou předmětem dalšího šetření v souvislosti se vzniklým následkem (újma na životě či zdraví a její vývoj) a vývojem v čase. Dále je zkoumána objektivní (jednání, následek přečinu a příčinný vztah mezi nimi) i subjektivní stránka (zavinění) konkrétního přečinu (ublížení na zdraví z nedbalosti).

Vozidlo 1 přijíždělo po hlavní komunikaci o třech jízdnicích pruzích dle Obrázek 7 zleva doprava a skončilo vpravo nahoře v příkopě po rotaci a výběhu vlevo. Vozidlo 3 přijíždělo zprava doleva za vzniku stop a zastavilo v konečné poloze v pravém jízdnicím pruhu po střetu s vozidlem 1. Vozidlo 2 přejíždělo předmětnou křižovatku z vedlejší komunikace na obrázku shora dolů a skončilo za vzniku četných stop po pohybu na ostrůvku druhé vedlejší komunikace.

Odpovědnost za zavinění nehody (ani technická příčina) není na první pohled z důvodu možné vyšší rychlosti řidiče **vozidla 1** jedoucího po hlavní komunikaci zcela zřejmá. Policií jsou zahájeny úkony trestního řízení, stíhání konkrétní osoby dosud není zahájeno, jelikož není zcela prokázáno, probíhá dokazování (prověřování) dle trestního řádu (89), nad jehož průběhem bdí státní zastupitelství. V určité fázi po shromáždění podkladů vyvstane potřeba zcela objektivně zjistit průběh a příčinu dopravní nehody (technickou a právní) a vyřešit tak problém pro další postup trestního řízení. Do hry vstupuje **znalec** (pokud již nebyl dříve přítomen prvotním úkonům na místě nehody), který je přibrán policií v souladu s (89) formou opatření.

**Problémovou situací** je tedy konkrétní dopravní nehoda jako **hypersoustava**, strukturovaný objekt s úkolem nalezení jejího řešení z hlediska technického i právního, které není rutinního charakteru.



*Obrázek 7: Střet tří vozidel s vyznačením stop a konečných poloh, geodeticky zaměřený polygon včetně příkopu s vyznačením konečné polohy vozidla 1 (autor)*

Obecným znaleckým problémem je technické řešení takové dopravní nehody (realizace inženýrských a znaleckých činností na objektu ve formě znalecké činnosti s výstupem ve formě znaleckého posudku jako výsledku znaleckého zkoumání, který bude následně interpretován jako další z podkladů o rozhodnutí pro postup trestního řízení, jelikož správní řízení z důvodů zranění osob obou podezřelých řidičů není pravděpodobné, ať již bude výsledek jakýkoliv.

### 5.1.2 Formulace problémů, volba přístupů a metod, algoritmus řešení

Obecnou základní hypersoustavu předmětné nehody k řešení problémové situace tvoří prvky:

- přímí účastníci jako řidiči tří vozidel, navíc jeden přímý účastník, jedoucí jako spolujezdec a dva svědci,
- tři zúčastněná vozidla a jedno vozidlo svědka, druhý ze svědků pozoroval nehodu mimo své vozidlo,

- předmětný úsek komunikace z hlediska geometrie a topologie (pokud jsou podstatná pro řešení) a vlastností k datu události (třípruhová hlavní komunikace v prostoru křižovatky, příkop, kde skončilo **vozidlo 1** v konečné poloze, vodorovné a svislé značení v prostoru křižovatky (podstatné prvky), charakter a vlastnosti povrchu, prvky ovlivnění, komunikace a okolí v předmětném případě obsahovala velké množství stop od pohybu jednotlivých vozidel,
- vzdálenější okolí (požadované omezení rychlosti **vozidla 1** svislým značením na *70 km/h* umístěné cca *300 m* před křižovatkou, možné omezení výhledu na příjíždějící **vozidlo 1** z **vozidla 2** vlivem stromů), možné oslnění (ovlivnění) sluncem apod.

Hypersoustavu je nutné strukturovat na dílčí soustavy na základě jednotlivých fází řešení z hlediska časového průběhu řešení, použitých metod a podstatných charakteristik.

V daném případě lze silniční nehodu rozdělit na jednotlivé fáze, které samy o sobě souvisejí s vhodností metod a úrovní modelování.

**Základní problémy** související s vyřešením konkrétní **problémové situace** lze formulovat i z hlediska časového průběhu a sousledu takto:

- (1) *Popište pohyb vozidel dle zanechaných stop a stanovte místa střetů a střetových poloh všech tří vozidel*
- (2) *Zjistěte střetové rychlosti všech tří vozidel*
- (3) *Stanovte odpovídající (a signální) polohy vozidel 1 a 2 před jejich střetem, případně 3*
- (4) *Posudte možnosti zabránění střetu řidiči vozidel 1 a 2*
- (5) *Posudte technickou přijatelnost všech výpovědí*

O každém prvku hypersoustavy jsou známy, případně v průběhu řešení doplňovány a kvantifikovány podstatné veličiny, které mohou, či nemusí být pro řešení konkrétního problému podstatné.

Podstatné veličiny pro řešení jednotlivých problémů jsou také v průběhu řešení různé. Veličiny, které mohou být pro řešení jednoho problému podstatné (např. hmotnost vozidla) pro řešení problému týkajícího se stanovení rychlosti vozidla, jsou pro řešení jiného problému, (přijatelnost výpovědí či poloha místa střetu) zcela nepodstatné a jejich nesprávná kvantifikace nemusí být chybou s vlivem na výsledek. Vytvořením systému podstatných veličin se ze soustav stává systém.



Obecně jednoznačně platí, že veličiny pro řešení daných problémů při analýze nehod lze účelně dělit i popisovat dle typů a struktury uvedené v kapitole 2.6, jak již bylo ukázáno v kapitole 4.2.

Základní podstatná zdokumentovaná data problémové situace (nikoliv informace) jsou poskytnuta policií (protokol o DN, plánek místa DN, fotodokumentace, tachografický záznam pohybu soupravy, technické průkazy, lékařské zprávy, zpráva o počasí, příp. kamerový záznam z okolí) a upřesněna návštěvou řešitele na místě nehody bezprostředně po nehodě (ideální stav, kdy řešitel může přímo využít svých kompetencí a hledat data pro řešení problémů, zejména hledat stopy a koordinovat možnosti dokumentace) i s časovým odstupem (v průběhu řešení, kdy vyvstane potřeba řešit konkrétní problém, např. zaměřit sklon příkopu či ověřit experimentálně dohlednost – konkretizační experiment), stejně jako bezpodmínečně nutná prohlídka zúčastněných vozidel (zejména vozidla 1 a 2). V konkrétním případě bylo toto všechno komplexně splněno.

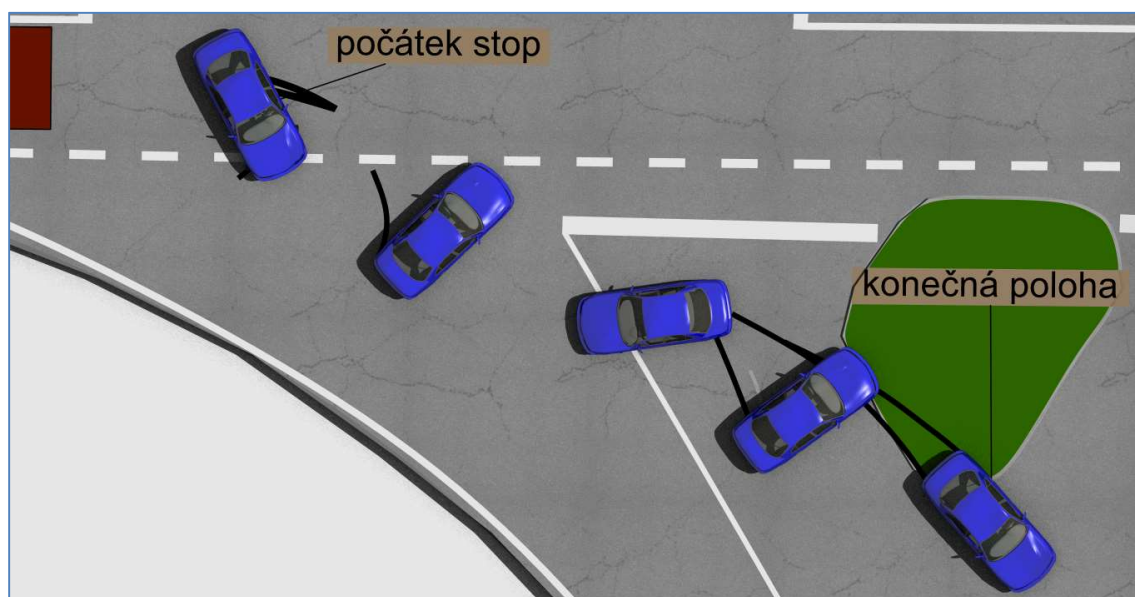
**Problém (1): Popište pohyb vozidel dle zanechaných stop a stanovte místa střetů a střetových poloh všech tří vozidel**

Při řešení tohoto podstatného ale popisného problému, je nutné vycházet z komplexní hypersoustavy se zohledněním všech jejích prvků. Základním přístupem ke strukturovanému a komplexnímu řešení problémů je **teoretické, abstraktní a zejména mentální modelování s užitím tacitních znalostí a oborových technik** (kapitola 4.1.1). Zde není třeba provádět ostatní druhy modelování a vynechání mentálního modelování by přineslo hned v úvodu závažné nedostatky, které by se projevil i u dalších navazujících řešených problémů.

Charakterem pohybu se rozumí při řešení přiřazení jednotlivých vazeb jednotlivým prvkům soustav. V předmětném případě bylo na místě zanecháno velké množství stop od pohybujících se vozidel 1, 2 i 3 v průběhu nehodového děje. Nejjednodušším případem jsou blokovací stopy od nákladní soupravy (vozidlo 3), které jsou v přímém směru a bez výraznější změny charakteru. Odpovídají tedy brzdění vozidla po zásahu řidičem až do konečné polohy soupravy, a to před střetem i po střetu s vozidlem 2, což lze vysvětlit křížením stop obou vozidel v jejich průběhu. Aktivací k brzdění vozidla 3 jeho řidičem byl pohyb vozidla 1 a střet vozidel 1 a 2. Výchozí rychlost soupravy před vznikem stop lze orientačně ověřit tachografickým záznamem, ale to v této fázi a při řešení tohoto problému opět není podstatné.

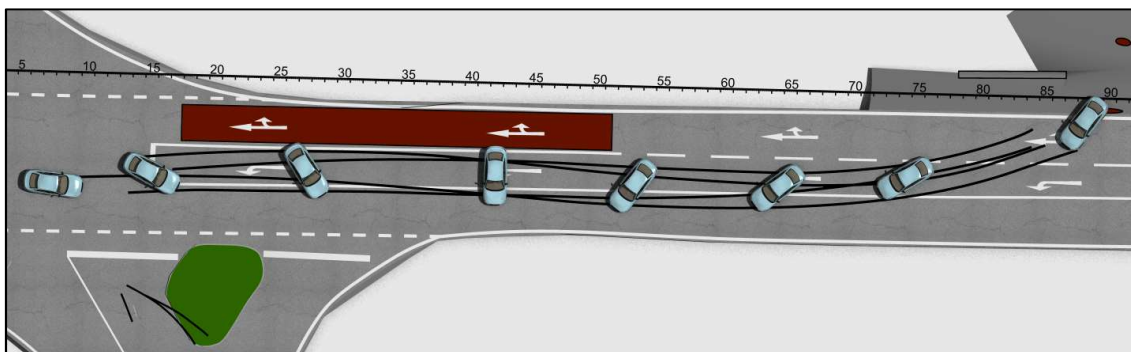
Vozidlo 2 naproti tomu prudce změnilo charakter a směr svého pohybu po střetu s vozidlem 1, stejně jako vozidlo 1, které mezi střety urazilo dráhu za současné rotace více než 90 metrů.

U vozidla 2 lze mentálním modelováním s důrazem na charakter vazby mezi částmi vozidla (pneumatiky, disky a části podvozku) a krytem komunikace (stopy dřecí, rycí, smykové, stopy kapalin), silnou intenzitu excentrického nárazu, a tedy rotaci, a tedy zcela omezené možnosti řidiče během takového postřetového pohybu ovlivnit směřování vozidla z hlediska úhlů i vzdálenosti, analyzovat charakter pohybu. Mentálním modelováním lze charakter pohybu popsat bez nutnosti kvantifikace veličin jako rotační s úhlem pootočení vozidla během postřetového pohybu cca 720 stupňů, čemuž odpovídají i stopy střepein a kapalin. Z hlediska kvantifikovatelných veličin jsou tedy podstatné pouze úhel, průběh úhlu rotace a uražená dráha vozidla, ostatní veličiny jsou pro řešení tohoto problému nepodstatné.



Obrázek 8: Charakter pohybu vozidla 2 – průběh pravotočivé rotace do konečné polohy (autor)

Složitější situace je u vozidla 1. Toto vozidlo zanechalo na komunikaci velké množství stop, vozidlo utrpělo poškození na obou předních stranách, a i v konečné poloze zůstalo zaryto pravou přední stranou do svahu příkopu a pole. Z výpovědí z důvodu jejich rozporů a nepřijatelnosti nelze pohyb rekonstruovat. Z hlediska délky stop není rozporu, podstatné je však (z důvodu velkého množství stop i obtížné) stanovení detailního průběhu rotace vozidla a přiřazení jednotlivých stop pneumatikám vozidla 1 mezi dvěma střety (analogie s vozidlem 2), které v tomto případě poskytnou informaci i o poloze při střetu s vozidlem 3 (pomocí výpovědí neupřesněno z důvodu zásadních nesrovnalostí). Vozidlo 1 se bez ohledu na místo střetu a natočení při střetové poloze s vozidlem 2 dle zanechaných stop pohybovalo kombinací rotačního a translačního pohybu, rotovalo na dané dráze vpravo o úhel cca 120 stupňů, viz Obrázek 9.



Obrázek 9: Průběh rotace vozidla 1 mezi nárazy dle zanechaných stop – přiřazení stop jednotlivým pneumatikám – mentální modelování (autor)

S ohledem na nález vozidla 1 v konečné poloze (poloha, natočení a zarytí do příkopu) je zřejmé, že vozidlu 1 musel být vozidlem 3 udělen impuls (vozidlo 3 aktivovalo vozidlo 1) opět excentricky, tentokrát před jeho těžiště, který způsobil prudkou změnu pohybu vozidla 1 na pravotočivou rotaci o úhel dalších nejméně cca 230 stupňů. S ohledem na podstatně rozdílnou hybnost obou vozidel nezpůsobil tento kontakt (náraz) signifikantní změnu rotace vozidla 3, rotace se zastavila s pomocí zarytí levého předního rohu vozidla 1 do svahu příkopu a zeminy. Nebýt nárazu vozidla 3, vozidlo 1 by již spíše pouze zacouvalo a narazilo zadní částí do příkopu bez význačnější rotace. Tímto byl mentálním modelováním vysvětlen vznik stop a jejich identifikace jednotlivým vozidlům pro vysvětlení charakteru pohybu objektů.

K řešení druhé části tohoto typu problému, tj. **stanovení střetových poloh a míst střetů** vozidel, lze v daném případě rovněž využít pouze mentálního modelování. Jak vyplynulo z teoretických poznatků, zejména fotodokumentace poškozených vozidel, vozidlo 1 narazilo nejprve do vozidla 2, a to bezprostředně před vznikem stop z obou vozidel. Pro stanovení **míst střetů** lze tedy využít poznatky z dříve vyřešeného problému s doplněním o pečlivé studium obrazové dokumentace a zpracování dat z této dokumentace s využitím **tacitních** znalostí a **srovnávacích analýz** s archívem znalce.

Stopy vozidla 2, tedy obloukové stopy pneumatik a podvozkových částí vozidla, měly po nárazu charakter smykový (Obrázek 10), dřecí (Obrázek 11) a později rycí při pohybu vozidla 2 před vyvýšený ostrůvek. Na tyto stopy navazovaly stopy střepin, viz Obrázek 12.





Obrázek 10: Smykové a dřecí stopy zadních kol vozidla 2, další stopy po rotaci (policie)



Obrázek 11: Detail a spojení smykových stop zadních kol a zadní části vozidla 2 (policie)



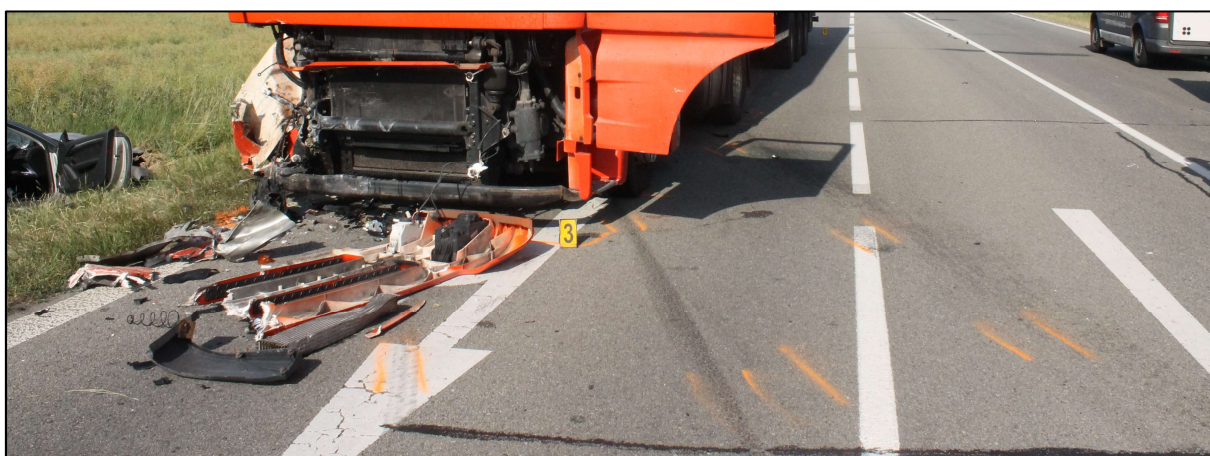
Obrázek 12: Navazující smykové a rycí stopy vozidla 2 a jeho konečná poloha (policie)



Stopy vozidla 1 navazovaly s prodlevou na stopy vozidla 2, což odpovídá dílčí změně rotace po střetu a pohybu karoserie v úvodní postřetové fázi s vozidlem 2. Stopy vozidla 1 pokračovaly, jak bylo výše uvedeno, až do oblasti střetu s vozidlem 3, avšak nebyly zdokumentovány z důvodu jejich výskytu pod stojícím vozidlem 3, viz Obrázek 14.



*Obrázek 13: Počátek a průběh smykových stop vozidla 1 (policie)*



*Obrázek 14: Průběh stop vozidla 1 pod vozidlo 3 a poškození vozidla 3, vlevo v poli vozidlo 1 (policie)*

Představu o poloze stop a místě střetu vozidel 1 a 3 si bylo možné udělat **až** teprve z leteckého snímku (pořízený multikoptérou) po odstavení vozidla 3 z konečné polohy, jelikož



policie po odstavení soupravy další doplnění ohledání neprováděla. Na snímku (Obrázek 15) je viditelné i poškozené vozidlo 3 v konečné poloze.



*Obrázek 15: Stopy vozidla 1, jeho konečná poloha a oblast střetu s vozidlem 3 po jeho odstavení (autor)*

Pro stanovení střetových poloh vozidel je podstatné rovněž jejich poškození odpovídající vzájemné korespondenci a odhadu tuhosti dotčených částí, tentokrát již v souladu s výše uvedeným, tedy s polohami vozidel v přibližných místech střetů. Na snímku (Obrázek 16) je viditelné poškození vozidla 2, jednalo se o silný náraz za zadní nápravu do poměrně měkkého zavazadlového prostoru tohoto vozidla vybaveného tažným zařízením.



*Obrázek 16: Poškození vozidla 2 po nehodě při prohlídce znalcem (autor)*

Vozidlo 1 bylo poškozeno na obou předních a bočních stranách. Pravá přední část odpovídá střetu s vozidlem 2 (Obrázek 17), levá boční část odpovídá střetu s vozidlem 3 (Obrázek 18), což je v souladu s vyřešením první dílčí části tohoto problému.



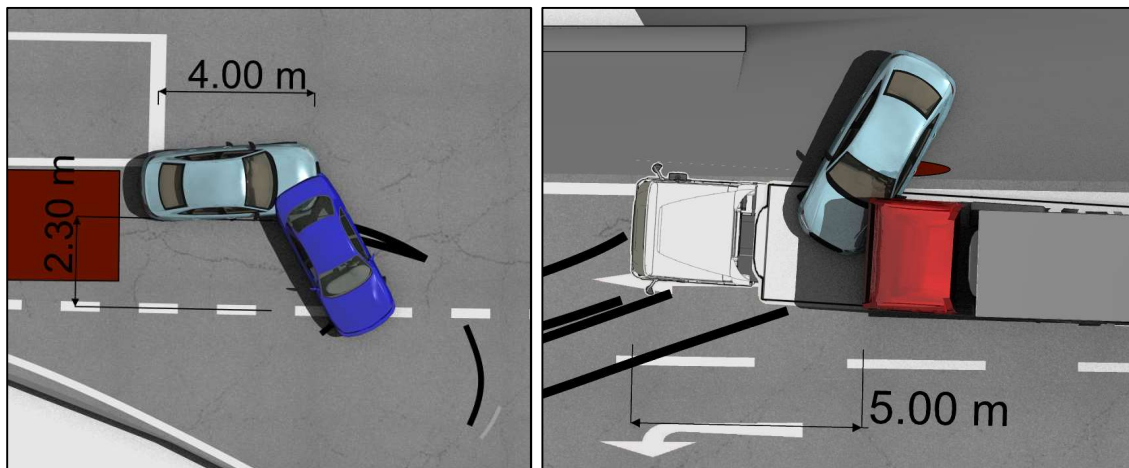


Obrázek 17: Poškození vozidla 1 po střetu s vozidlem 2 (autor)

Místa střetů a střetové polohy lze tedy stanovit na základě mentálního modelování v souladu s výskytem stop, jejich přiřazení v průběhu nehodového děje, charakterem pohybu a poškozením vozidel se zohledněním odhadu tuhosti dotčených částí tak, jak je uvedeno níže, viz Obrázek 19. Takto odvozené střetové polohy opět umožňují zvolit v další fázi řešení různou úroveň modelování.



Obrázek 18: Poškození vozidla 1 po střetu s vozidlem 3 a poškození vozidla 3 (autor a policie)



Obrázek 19: Střetová poloha v místě střetu vozidel 1 a 2 (vlevo) a vozidel 1 a 3 (vpravo) - (autor)

### **Problém (2): Zjistěte střetové rychlosti všech tří vozidel**

K řešení tohoto typu problému je nutné mentální modelování (kapitola 4.1.1) doplnit o jiné typy modelování, a tedy využít buď výpočtové modelování (kapitola 4.1.2) nebo simulační výpočtové modelování (kapitola 4.1.3) za užití srovnávacích analýz (kapitola 4.1.5).

Při užití **výpočtového modelování** je nutné hypersoustavu strukturovat na jednotlivé fáze s různými prvky dílčích soustav. Např. při užití metod pro stanovení výběhových parametrů je nutné oddělit jednotlivé fáze tak, že řešitel:

- začne výběhovým pohybem vozidel 1 a 3 po jejich vzájemném střetu,
- dále analyzuje tento střet k nalezení doběhových parametrů (ověření energetickou bilancí),
- analyzuje brzdění vozidla 3 před střetem a smýkání vozidla 1 mezi střety,
- analyzuje výběhový pohyb vozidla 2,
- a analyzuje střet vozidel 1 a 2 (ověření energetickou bilancí).

Pro pohyb vozidla 3 do konečné polohy lze užít efektivně běžných metod výpočtového modelování založených na výpočtu rovnoměrně zpomaleného pohybu a získat tak výběhovou rychlost vozidla 3 po střetu s vozidlem 1. Podstatnou veličinou je v nejjednodušším případě opět pouze dráha pohybu a odpovídající zpomalení vozidla při pohybu do zastavení v souladu s výskytem blokovacích stop, viz Tabulka 3. Soustavou je pouze vozidlo 3 a povrch komunikace s odpovídající vazbou, ostatní aspekty a veličiny jsou nepodstatné. Vzhledem k plnému brzdění řidičem je tento prvek rovněž již v obou veličinách zohledněn. Vyšší úroveň modelování není nutná.

V případě výběhu vozidla 1 po druhém ze střetů by podobný přístup ne zcela postačoval, jelikož by nezohlednil výraznou rotaci vozidla 1 po střetu. Jako vstupy a podstatné veličiny slouží např. odměřená dráha, adheze, rozměry vozidla, hmotnost, úhel pootočení, konečná rychlost při náhlém zarytí vozidla do příkopu, profil příkopu a jeho strukturní vlastnosti, stejně jako konečná úhlová rychlost vozidla a vyhodnocení stupně otáčení pneumatik během výběhu, resp. možného letu vozidla bez kontaktu pneumatik a povrchu po určitou dobu. Opět se problém řeší na soustavě vozidlo 1 a povrch, když na rozdíl od předchozího nepostačuje popis povrchu pouze adhezí mezi pneumatikou a komunikací, resp. příkopem ve formě zpomalení, ale jsou podstatné i geometrie prvku příkopu a jeho vlastnosti. Z hlediska prvků posádky ve vozidle je v daném případě podstatné pouze jejich rozložení (2 pasažéři a náklad) z hlediska hmotnosti a polohy těžiště, řidič po předchozí rotaci zcela ztratil kontrolu nad vozidlem. Výstupem je výběhová rychlost a úhlová rychlost vozidla 1 po střetu s vozidlem 3.



Jako vstupní veličiny pro řešení dalšího podproblému dále slouží k řešení střetu vozidel 1 a 3, viz Tabulka 4, podstatné jsou tedy správné údaje o vozidle (geometrické parametry vč. polohy těžiště a bodu rázu) a přijatelné hodnoty střetových parametrů. Vzhledem k rotaci vozidla 1 by mohlo být chybou při řešení střetu vycházet pouze z translační hybnosti bez zohlednění rotační hybnosti nebo alespoň bez ověření pomocí zohlednění rotační složky kinetické energie vozidla 1 po střetu (vyšší úroveň modelování). Nepostradatelné je minimálně provedení energetické bilance řešení střetu s předchozím odhadem EES příslušných poškození vozidel na základě mentálního modelování, tacitních znalostí (viz kapitola 4.1.1) či srovnávacích analýz, viz kapitola 4.1.5. Při užití výpočtového modelování je vhodná početní analýza excentrického střetu či metody kombinující využití zákonů zachování hybnosti, rotační hybnosti a energie. Pro řešení vlastního střetu v krátkém čase (problém typu ráz) opět nejsou podstatné prvky řidičů, pro řešení tohoto problému (odhad skokové změny dynamických parametrů) ostatně ani vlastnosti příkopu apod. Ověření energetickou bilancí musí vést k technicky přijatelným výsledkům ve vztahu k pohybovým parametrům obou vozidel, tedy k ověření dle tachografického záznamu soupravy a zcela jistě nenulové rychlosti (translační i rotační) vozidla 1 při střetu s vozidlem 3, což je dáno charakterem a směrem jeho postřetového pohybu.

Při užití simulačního výpočtového modelování a rozdělení řešení přímým modelováním na 2 samostatné střety (úseky řešení) řešitelné postupně nejprve od druhého z nich by hrozilo nezohlednění či nepřijatelnost některých vstupních parametrů (např. úhlová rychlost vozidla 1, směr vektoru jeho rychlosti při smýkání vzad apod.). Ideálním stavem by bylo ověření výsledků nepřímého modelování (výpočtového s intervalovým odhadem rozsahů vstupních veličin) pomocí modelování přímého (simulačního výpočtového s diskrétním řešením pro konkrétní přijatelné kombinace vstupních veličin), avšak řešeného jako jeden celý děj již od prvního střetu do konečných poloh všech vozidel. Při modelování střetu simulačním výpočtovým modelováním lze užít i vícetělesového (silového modelu) střetu vozidel, avšak použití tohoto typu jiného modelového objektu by nepřineslo „lepší“ výsledky. Použití tzv. MESH modelu s užitím v běžně dostupných simulačních SW (např. PC-CRASH) není možné z důvodu absence relevantních geometrických a strukturálních modelových objektů. Do úvahy by rovněž připadalo řešení s pomocí pokročilých metod modelování s využitím FEM (4.1.3.5), a to v případě dostupnosti daných geometrických a strukturálních vlastností konkrétních modelových objektů a zaměřeného okolí, tj. komunikace a zejména tvaru příkopu. Zde se do hry dále dostávají ekonomické aspekty provádění takových analýz určených do oblasti soudně-znalecké. Řešení tohoto typu problému s užitím geometrických modelů člověka je zcela nadbytečné.

Výstupem řešení jsou tedy doběhové rychlosti obou vozidel (vozidel 1 a 3) při jejich střetu. V této fázi lze dále současně opět zjistit výchozí rychlost soupravy na základě délky blokovacích stop a zpomalení při brzdění, opět v kontextu s ověřením dle tachografických dat.

Jelikož je poměrně detailně popsán charakter pohybu vozidla 1 mezi střety z hlediska dráhy, charakteru a směrů stop včetně jejich křížení, lze opět užít v další fázi modelování metod nepřímého výpočtového modelování, stejně jako v případě výběhu po druhém ze střetů, pouze s tím rozdílem, že jsou navíc podstatné i konečné údaje úhlové a translační rychlosti, které v tomto případě nejsou nulové. Zásahy řidiče vozidla 1 do řízení či brzdění nejsou z důvodu rotace vozidla a zlomení sedadla řidiče příliš reálné, řidiče lze tedy v dané fázi rovněž zanedbat.

*V konkrétním příkladu lze uvedeným postupem nepřímého modelování zjistit výběhovou rychlost vozidla 1 po střetu s vozidlem 2 (na počátku vzniku smykových stop vozidla 1) na cca 103 až 115 km/h, úhlovou rychlost po střetu s vozidlem 2 na cca 0,8 rad/s.*

Jelikož je poměrně detailně popsán charakter pohybu vozidla 2 po střetu s vozidlem 1, je možné zjistit na základě úhlu pootočení a dráhy rotačního pohybu, případně po rozdělení drah rotace na dvě fáze (povrch komunikace a povrch ostrůvku) i výběhovou rychlost vozidla 2. Vliv řidiče je opět v této fázi zcela nepodstatný, jelikož charakter nárazu neumožňoval řidiči zasahovat do řízení či brzdění v průběhu tak razantní rotace, např. dle postupů výpočtového modelování problémů typu ráz.

*V konkrétním příkladu lze uvedeným postupem nepřímého modelování zjistit výběhovou rychlost vozidla 2 po střetu s vozidlem 1 (na počátku vzniku smykových stop vozidla 2) na cca 48 až 54 km/h, úhlovou rychlost lze uvažovat v průměru až okolo 5,8 rad/s.*

Pro stanovení doběhových rychlostí obou vozidel opět slouží vypočtené výběhy a rotace, parametry rázu z hlediska umístění bodu rázu vůči těžišti, posouzení charakteru rázu a energetické zhodnocení bilance střetu pomocí kombinací metod, založených na zachování hybnosti a energie soustavy dvou vozidel (zde je opět nutný odhad EES). Úhlové rychlosti vozidel i jejich případné odchylky směru vektoru rychlosti od natočení vozidel před střetem je možné objektivně zanedbat, obě vozidla se pohybovala před střetem prakticky v přímém směru.

*V konkrétním příkladu lze uvedeným postupem nepřímého modelování zjistit doběhovou rychlost vozidla 1 na cca 120 až 136 km/h, doběhovou rychlost vozidla 2 na cca 25 až 30 km/h.*

Při užití **simulačního výpočtového modelování pohybu a rázu** (viz popisy vstupních, výstupních a kontrolních veličin v kapitole 4.1.3) lze postupovat v daném konkrétním příkladu tak, že vlastní počátek řešení bude zahájen na počátku střetu vozidel 1 a 2, případně tak, že bude

nejprve vyřešen (z důvodu dlouhého výběhu a obtížného modelování takto dlouhého pohybu vozidla 1) střet vozidel 1 a 3. Střetové parametry budou použity jako kontrolní pro řešení střetu vozidel 1 a 2.

Dělení pohybu při užití simulačního výpočtového modelování však vždy přináší rizika ve formě nesouladu jednotlivých podstatných veličin ve styčných bodech jednotlivých fází.

K dílčím odhadům před zahájením řešení střetů lze užit simulačního výpočtového modelování pomocí dynamického přímého výpočtového modelu pohybu vozidla, např. vozidla 3 během brzdění v přímém směru, či kinematický zpětný nepřímý výpočtový model pohybu vozidla pro počáteční odhady možného rozjezdu vozidla 2 z místa rozjezdu do střetu s vozidlem 1 (pokud se mělo rozjíždět z nulové rychlosti).

V daném případě lze efektivně užit jak simulačního výpočtového modelování problému typu pohyb (kapitola 4.1.3.1) a typu ráz (kapitola 4.1.3.2), tak i optimalizačního modelování (kapitola 4.1.3.3), které může ulehčit počáteční odhady a omezit extrémy, resp. použitelné rozmezí vstupních veličin, např. stran směrů vektorů rychlostí, rotací a parametrů rázu (koeficient restituace, EES, tření apod.). Optimalizační úlohy simulačního výpočtového modelování je nutné v konkrétním případě užit strukturovaně pro řešení dílčích podproblémů (např. řešení jednotlivých rázů či optimalizace rotací a translací vozidel 1 a 2). V daném případě jím nelze vyřešit celý nehodový děj najednou. Optimalizace je vhodnou pomůckou zejména pro variaci střetových parametrů, např. polohy bodu rázu, roviny rázu v oblasti překrytí při užití Kudlich-Slibarova modelu rázu. Modelování problému těchto problémů typu pohyb a ráz spočívá ve variaci vstupních hodnot a sledování odezvy vozidel v souladu s dříve, např. mentálním modelováním popsaným charakterem pohybu s omezením extrémů.

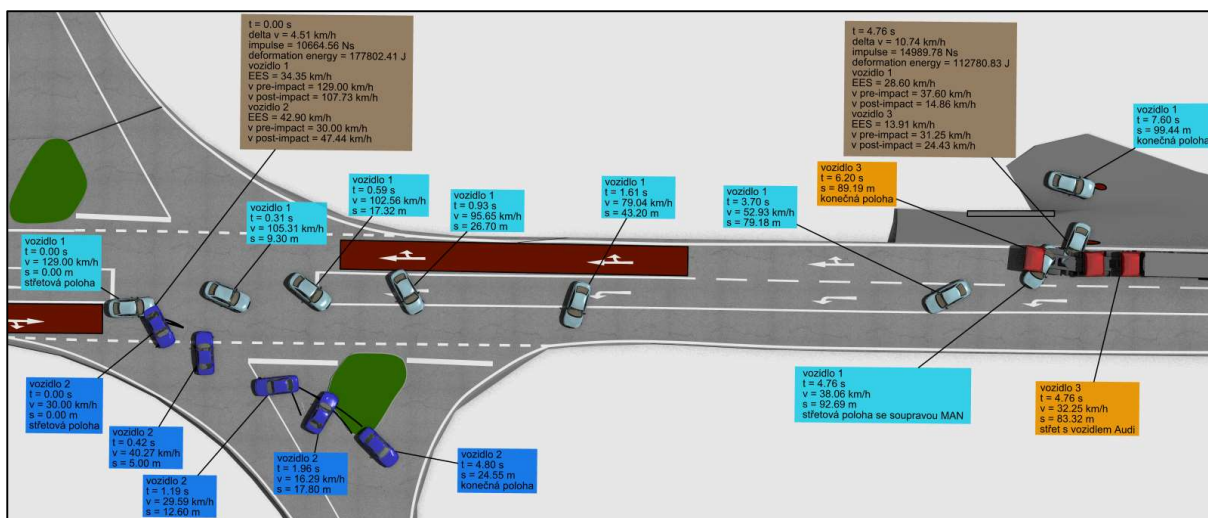
Modelování s užitím vícetělesových modelů je v tomto případě zcela nadbytečné a nepřineslo by v daném případě lepší výsledky, ani se nejedná o vyšší úroveň modelování.

Užití pokročilých metod modelování (zejména obou rázů) by bylo v tomto případě možné pouze při dostupnosti modelových objektů (vozidel) pro užití FEM včetně jejich materiálových vlastností a při respektování uživatelských a zadavatelských restrikcí. Z hlediska výsledků by v daném případě pro popis technické příčiny vzniku nehodového děje nepřineslo v daném případě kvalitativně odlišné výsledky.

Užití simulačního výpočtového modelování tedy může přinést přesnější výsledky či kvalitnější výstupy s ohledem na množství veličin, které je nutno zadávat pro zahájení takového

typu modelování. Přináší však zpravidla vyšší nároky na řešitele a jeho práci a přináší větší rizika při nesprávném použití bez ověření jinými metodami modelování, viz Obrázek 20.

Primárním však nejsou schopnosti ovládnání příslušných SW řešitelem, spíše pak komplexní znalosti vlivu jednotlivých podstatných parametrů na výsledek, zejména se jedná o vektory rychlosti, rotace, střetové parametry, dynamické parametry. Samotné ovládnání SW je algoritmizovatelné a v podstatě jednoduché, v rukou nezkušené obsluhy však způsobí velké škody.



Obrázek 20: Jedno z přijatelných řešení s užitím simulačního výpočtového modelování (autor)

Užití výše uvedených typů modelování nevyžadovalo dosud striktní závislost řešitele na subjektivních podkladech, zejména výpovědích účastníků a svědků. Pro tyto problémy byly tyto informace nepodstatné.

*V konkrétním příkladu lze uvedeným postupem přímého simulačního modelování zjistit dobřovou rychlost vozidla 1 na cca 129 km/h, dobřovou rychlost vozidla 2 na cca 30 km/h.*

**Problém (3): Stanovte odpovídající (a signální) polohy vozidel 1 a 2 před jejich střetem**

K vyřešení, resp. upřesnění výsledků tohoto typu problému, se již řešitel zpravidla neobejde bez dalších pomocných dat, resp. informací, které nemusí být technického charakteru, ale mohou být striktně subjektivní.

V daném případě se jedná zejména o přijatelnost následujících vstupních údajů:

- a) charakter a směr pohybu a intenzita brzdění vozidla 1 před střetem,
- b) a otázka případného zastavení vozidla 2 před rozjezdem do místa střetu.

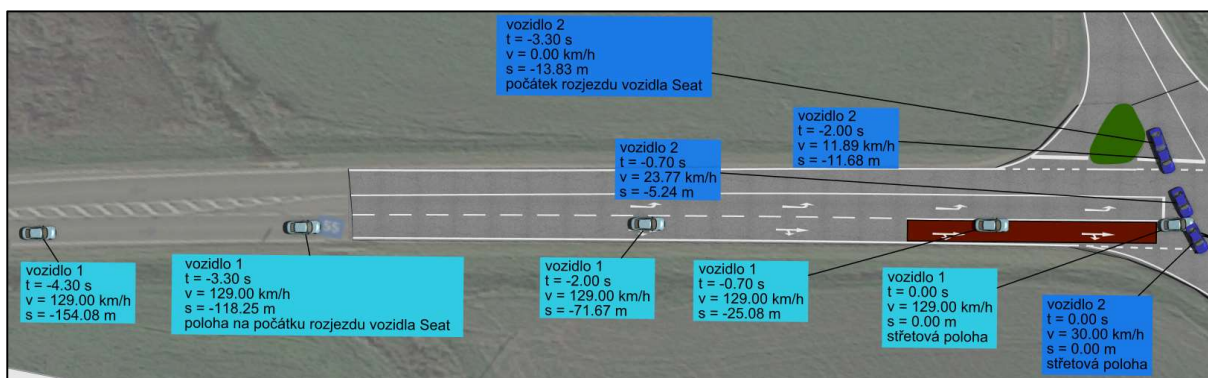
Výpověď řidiče vozidla 1 neupřesnila odpověď ani na jednu z otázek a stopy po brzdění tohoto vozidla před střetem nebyly dokumentovány, mohly by být nalezeny jedině vyčtením

nehodových dat či užitím např. optické detekce nezřetelných stop na místě. Řidič vozidla 1 i v průběhu svého výslechu vypovídal v souladu se svým, bohužel nesprávným předpokladem, že v místě byla v jeho směru jízdy předpisy stanovená rychlost na *90 km/h*, namísto skutečných *70 km/h*. Výpověď svědka jedoucího původně před vozidlem 1, který byl dle svých slov rychle předjet vozidlem 1 (sám jel dle své výpovědi rychlostí cca *100 km/h*) upřesnila, že vozidlo 1 před střetem s vozidlem 2 s velkou pravděpodobností skutečně nebrzdilo. Řidič vozidla 2 logicky uvedený první bod nebyl schopen posoudit (o vozidle 1 ani nevěděl, natož aby mohl posoudit průběh jeho rychlosti či změny rychlosti), stejně jako řidič vozidla 3, který pouze popsal velmi rychlou jízdu vozidla 1, přestože se pohybovalo proti němu. Zkušenost řidiče vozidla 3 tedy umožnila za daných ztížených okolností rozpoznat vyšší rychlost protijedoucího vozidla díky jeho rychlé změně polohy vůči okolí.

Z výše uvedeného lze předpokládat, že vozidlo 1 pravděpodobně jelo rovnoměrným pohybem stran rychlosti.

V blízkosti předmětné křižovatky se nacházel objekt jako součást prvku blízkého okolí vybavený pohyblivou kamerou, která zachytila stojící vozidlo 2 na hranici křižovatky, resp. v místě, odkud se rozjíždělo. Další pohyb ani střet již kamera nezaznamenala z důvodu snímání jiného prostoru. I druhá z neznámých okolností tedy mohla být objasněna se zavedením předpokladu rovnoměrně zrychleného přímočarého pohybu vozidla 2 (resp. reálného zrychlení s postupným řazením rychlostních stupňů) z nulové rychlosti na dostupné dráze. Vliv obou řidičů z důvodu absence reakcí lze tedy pro tento problém opět zanedbat, signální pozice budou tedy užity až pro řešení následujícího problému. Aktivace řidiče vozidla 1 signální polohou vozidla 2 tedy pravděpodobně nezpůsobila změnu rychlosti vozidla 1 před střetem, mohla způsobit mírnou změnu jeho směru

Z důvodu těchto skutečností není v daném případě nutné užít žádných pokročilých metod modelování a podstatnými veličinami jsou pouze dráha, zrychlení zrychleného pohybu a čas, postačuje užití metod mentálního modelování a oborových technik s kombinací nejjednoduššího zpětného kinematického výpočtového modelování pohybu, viz Obrázek 21.



Obrázek 21: Význačné polohy vozidel 1 a 2 před střetem vč. signální pozice v čase 2 sekundy (autor)

Počátek rozjezdu vozidla 2 mohl nastat v čase cca 3,3 sekundy před střetem, když mohlo být vozidlo 1 (při rychlosti 120 až 136 km/h) ve vzdálenosti 110 až 125 m před místem střetu. Signální pozice pro jednoznačné rozpoznání pohybu vozidla 2 řidičem vozidla 1 (aktivace) nastala nejpozději v čase 2,0 sekundy před střetem, když bylo vozidlo 1 ve vzdálenosti cca 67 až 76 m před místem střetu.

#### **Problém (4): Posudte možnosti zabránění střetu řidiči vozidel 1 a 2**

Dalším problémem k řešení je popis možností, které měli zejména řidiči vozidel 1 a 2 k tomu, aby nehodě zabránili, jelikož řidič vozidla 3 tvořil okolí jejich soustavy a působil pouze v interakci k řidiči vozidla 2 při jeho rozhodování před vjezdem do křižovatky. Ovlivnil tedy dílčím způsobem pomocí polohy svého vozidla rozhodování řidiče vozidla 2.

Lze opět vycházet od nejobecnějších teoretických možností s užitím mentálního modelování (řidič vozidla 2 by počkal s vjetím na hlavní komunikaci až po projetí vozidla 1), až po výpočtové a simulační výpočtové modelování různých variant kombinace pohybu obou vozidel. Kromě toho se v analýzách objevují i možnosti, které nelze považovat za zcela relevantní k řešení předmětného problému (např. užití jiné trasy, zdržení, resp. dodržení pravidel silničního provozu, např. 1 km před místem nehody, nepředjíždění vozidla svědka apod.). Takových možností může být celá řada a řešitel opět musí vycházet od podstatného k méně podstatnému ve vztahu ke vzniku nehody, tedy od jednotlivých počátků. V daném případě nelze hovořit o jednom jediném počátku nehodového děje, který by nastal v jednotném čase pro oba zúčastněné řidiče. Při řešení tohoto typu problému lze považovat za podstatné zejména osoby řidičů a jejich rozhodovací a odhadovací schopnosti a zkušenosti, případně řidičské kompetence a případné ovlivnění okolím. Za zcela nepodstatné lze hodnotit při řešení tohoto typu problému většinu parametrů vozidel (strukturní vlastnosti, hmotnost, model pneumatik, charakteristiky pružení a tlumení, vazbové vlastnosti vozidla k povrchu).

V konkrétním případě došlo jednoznačně k překročení rychlosti vozidla 1 ve vztahu ke svislému dopravnímu značení, které omezovalo cca ve vzdálenosti 300 m od místa střetu rychlost vozidel jedoucích po hlavní komunikaci na 70 km/h. Porovnáním uvedené vzdálenosti a doby potřebné pro dojezd k místu střetu s rozdílnými rychlostmi s podstatnou vzdáleností a dobou relevantní pro vznik nehody je zřejmé, že vozidlo 1 by se nacházelo v okamžiku rozhodování řidiče vozidla 2 o vjetí na hlavní komunikaci ve výrazně jiné poloze. Lze se tedy samozřejmě vyjádřit k tomu, zda by došlo ke stejnému nehodovému ději za předpokladu respektování rychlosti vozidla 1 již od počátku omezení, ale taková skutečnost není zcela relevantní ke způsobu jízdy řidiče vozidla 2 a jeho rozhodování před rozjezdem do křižovatky a je příliš vzdálená pro posouzení možností odvrácení střetu.

S ohledem na otevřený výhled z místa rozjezdu vozidla 2 směrem k příjezdu vozidla 1 na vzdálenost cca 200 m od místa střetu je otázkou, z jakého důvodu řidič vozidla 2 v celém průběhu nehodového děje neregistroval vozidlo 1 (tedy v době rozhodování, rozjezdu, jízdy bližšími pruhy). Pokud uvážíme horní mez rozmezí rychlosti vozidla 1 před střetem (136 km/h), pak bylo toto vozidlo řidičem vozidla 2 viditelné od času téměř 5,3 sekund před střetem, když vlastní rozjezd započal až v čase cca 3,3 sekundy před střetem. Toto lze vysvětlit tím, že vlastní poslední kontrola vpravo a rozhodnutí o vjetí vozidla 2 na hlavní komunikaci nastalo v čase více než 2 sekundy před rozjezdem (a poslední kontrola tedy proběhla směrem vlevo), což koresponduje s údaji dle provedených měření doby trvání pohybu hlavy, fixace a doby odhadu vzdálenosti a rychlosti vozidla jedoucího po hlavní komunikaci řidičem vozidla vjíždějícího z vedlejší komunikace.

Z analýzy střetových poloh, rychlosti vozidla 2 a místa střetu vyplynulo, že vozidlo 2 potřebovalo k dokončení opuštění koridoru pohybu vozidla 1, resp. i jeho jízdního pruhu, dodatečný čas o délce cca 0,5 sekundy (tedy celkem cca 3,8 sekundy od počátku rozjezdu), což je relativně málo a postačovalo by tedy na dané dráze nepříliš výrazné snížení rychlosti vozidla 1, resp. jeho pozdější dojetí do místa střetu.

V době, kdy se řidič vozidla 2 rozhodoval o vjetí na hlavní pozemní komunikaci, tj. v čase cca nejméně 1 sekundu před rozjezdem (4,3 sekundy před střetem nejpravděpodobněji kontrolou vlevo), bylo vozidlo 1 cca 150 m od MS, což byla jednoznačně dostatečná dráha k tomu, aby stihl předmětnou křižovatku projet, pokud by se vozidlo 1 pohybovalo přiměřenou rychlostí. Pokud by mělo vozidlo 1 do místa střetu přijet v době, kdy by bylo vozidlo 2 bezpečně mimo jeho jízdní koridor (v čase cca 4,8 sekundy od počátku rozhodování řidiče vozidla 2), stačilo by, aby se pohybovalo konstantní rychlostí cca 112 km/h a méně.

V době, kdy se řidič vozidla 2 začal rozjíždět do křižovatky (cca 3,3 sekundy před střetem), bylo vozidlo 1 nejméně 110 m od MS a stačilo by, aby do místa střetu došlo v čase 3,8 sekundy od rozjezdu vozidla 2. Pokud by mělo vozidlo 1 do místa střetu přijet v době, kdy by bylo vozidlo 2 bezpečně mimo jeho jízdní koridor (v čase cca 3,8 sekundy od počátku rozjezdu vozidla 2), stačilo by, aby se pohybovalo rychlostí cca 104 km/h a méně namísto nejméně 120 km/h.

S ohledem na výrazně vyšší rychlost vozidla 1, než byla přiměřená a výrazně vyšší, než byla v místě stanovená (70 km/h), nevytvořil tedy svým pohybem řidič vozidla 2 řidiči vozidla 1 náhlou překážku, tedy takovou, která by vznikla na vzdálenost kratší, než by bylo možné z přiměřené, resp. stanovené rychlosti zastavit vozidlo, resp. nebyla by nutná jakákoliv korekce směru či rychlosti. Pokud by se řidič vozidla 1 pohyboval přiměřenou rychlostí, k nehodě by nedošlo.

Řidič vozidla 2 měl možnost nehodě zabránit pouze tehdy, pokud by se v čase kratším než 2 sekundy před rozjezdem podíval směrem vpravo a správně by rozpoznal výrazně vyšší rychlost vozidla 1 a vyčkával by s přejezdem křižovatky. Je otázkou jiného než technického posouzení, zda takovou rychlost vozidla 1 předpokládat mohl či případně měl.

#### **Problém (5): Posudte technickou přijatelnost všech výpovědí**

Jedná se obecně o relativně snadný problém spočívající v porovnání ověřených výsledků se subjektivně vylíčeným dějem, ke kterému lze opět užít především metod mentálního modelování, případně srovnávacích analýz. V daném případě byl registrován jediný rozpor subjektivně vylíčeného děje a objektivně zjištěných skutečností, a to v rychlosti vozidla 1, když výpověď jeho řidiče bylo stran popisu rychlosti možno prohlásit za technicky nepřijatelnou.

### 5.1.3 Zpracování znaleckého posudku

Zpracování znaleckého posudku je především o toku informací a plnění zásad, viz kapitola 4.6 a kapitola 4.7.

Samotné zpracování znaleckého posudku je nutné odlišovat od zpracování analýzy nehodového děje, jelikož obsahové i formální požadavky na znalecký posudek vycházejí z právní úpravy, která se může měnit a tyto požadavky jsou společné pro veškeré obory znalecké činnosti i přes jejich rozdílnosti. Naproti tomu přístup k řešení problémů nemusí přísně reflektovat osnovu znaleckého posudku, jak je požadována.

Pravidlem by však mělo být, že ze znaleckého posudku z oboru doprava zaměřeného na technickou analýzu nehodového děje musí být nejméně patrné:

- z jakých veškerých informací zpracovatel vycházel,



- jaké údaje doplňoval v průběhu, z jakého důvodu a zda v souladu se svým postavením,
- jaké přístupy, metody a postupy zvolil a proč,
- jaké entity, prvky, vazby a veličiny jsou podstatné pro řešení,
- jak kvantifikoval vstupní veličiny, zda zvolil intervalové či diskrétní řešení,
- k jakým výsledkům dospěl a jak tyto výsledky ověřil,
- a jak jsou výsledky v souladu s obsahem spisového materiálu.

Současně musí řešitel samozřejmě odpovědět na úkoly zadavatele, a to srozumitelně a co nejvíce jednoznačně.

Struktura posudkové části znaleckého posudku by tedy měla reflektovat tyto nároky na obsahovou stránku, dále představené zásady (4.7), být psána srozumitelným a jednoduchým jazykem, ale přitom vyhovovat formálním požadavkům.

#### 5.1.4 Interpretace závěrů řešení a proces rozhodování

Tato činnost náleží adresátům zpracovaného znaleckého zkoumání, a to zejména orgánům činným v trestním řízení, advokátům, správním orgánům a účastníkům. Pochopení a práce se závěry analýzy nehodového děje a znaleckého posudku je odvislá od úrovně jeho zpracování, souladu se zásadami pro podobu znaleckého posudku (viz kapitola 4.7) a také úrovně adresátů a schopností se závěry tvůrčím způsobem pracovat. Znalecký posudek je zpravidla pouze jedním z důkazů. Rozhodovací proces a proces výkladu práva je určen soudům.

V obdobných případech silničních nehod lze predikovat rozhodovací praxi soudů v trestních věcech nejčastěji ve formě rozhodnutí Nejvyššího soudu ČR, např. u nehod s chodci ve dne (67) a v noci (66), v případech překročení rychlosti u nehod „o přednosti v jízdě“ se problematice z technického pohledu věnovala např. práce (65).

Při stanovení technické příčiny silniční nehody je vhodné postupovat eliminační metodou (stejně jako např. v případě leteckých nehod), tedy postupným a systémovým vylučováním jednotlivých možných příčin včetně odpovídajícího zdůvodnění. V případě technické příčiny nehody spočívající v závadě techniky je situace jednodušší, u lidského faktoru je situace vždy složitější.

Technickou příčinu předmětného představeného nehodového děje si dovoluji interpretovat v konkrétním představeném případě ve vyšší rychlosti vozidla 1 (způsobu jízdy), přestože bylo vozidlo 1 pro řidiče vozidla 2 viditelné již při jeho rozjezdu, resp. v době před rozjezdem, pokud by se řidič před rozjezdem přesvědčil o situaci vpravo za situace, kdy si byl

vědom bezpečné polohy vozidla 3 v okamžiku rozjezdu. Z výpovědi řidiče vozidla 2 vyplynulo, že vozidlo 1 neviděl, tedy neposuzoval ani jeho změnu polohy v průběhu příjezdu ke křižovatce.

Podobná měření časové náročnosti jednotlivých manévrů řidičů a odhadů rychlostí jsou často součástí diplomových a disertačních prací a s výhodou je využíváno metody eyetrackingu.

(80) (79)

Následný komentář k právnímu posouzení takového jednání ve vztahu k následkům na zdraví a materiální škodě (zavinění, míra porušení povinností, trest) již řešiteli nepřísluší a je omezeno pouze na jeho tichý a nezveřejněný „pocit“.

## 6 PŘÍKLADY A DŮSLEDKY NESYSTÉMOVÉHO PŘÍSTUPU

Smyslem této kapitoly není poučovat či kázat, ale naopak pozitivně upozornit na některé možné vlivy absence základních aspektů systémového přístupu na výsledek řešení. V některých případech nemusí mít nesystémový přístup k řešení problémové situace zásadní vliv na výsledek. Jedná se např. o situace, kdy řešitel užije buď samostatně pouze mentálního modelování v případech, kdy o technické příčině nehody není sporu, např. z důvodu přesvědčivosti a jednoznačnosti podkladů pro stanovení vstupních veličin.

Ve sporných případech však může mít absence systémového přístupu zásadní vliv na výsledek, a to, pokud se řešitel svým přístupem zaměří více či pouze na dílčí aspekty a nevěnuje dostatečnou a komplexní pozornost celkové situaci. Důsledky nesystémového pojetí na výsledek mohou být fatální (až např. v nesprávném rozhodnutí soudu, který se spolehne na takový odborný podklad) a příčiny takového přístupu různorodé.

Nesystémový přístup k řešení se projeví nejen při vlastní analýze nehody a výsledku řešení, ale i při schopnosti řešitele prezentovat závěry analýz, tyto pochopitelně interpretovat a zejména reagovat na věcnou kritiku nejčastěji právních zástupců. Typicky se jedná o dotazy na zohlednění (resp. nezohlednění) těch a těch aspektů a vlivů při analýze silniční nehody. Formulací problémů a vytvořením systému podstatných veličin lze odlišit podstatné od nepodstatného (vytvořit systém) a tím představit a následně přetvořit řešitelské pochody do formy pochopitelné laikům. Systémovým přístupem k řešení lze tak omezit prostor pro nutné doplňování řešení analýzy silniční nehody o další aspekty a varianty, typicky ve formě nutnosti rozšiřovat či upřesňovat znalecké posudky dalšími doplňky či dodatky.

Nesystémový přístup snadněji generuje chyby, tedy takové jevy, které mají negativní vliv na výsledek řešení problémů. Chyby lze obecně dělit na chyby kvalitativního a kvantitativního charakteru. Speciální závažné místo mají při analýze silničních nehod chyby, které mají vliv na posouzení **kvalitativně** odlišného průběhu nehodového děje, tedy takového, který je svým základním vylíčením a charakterem zcela odlišný od reality. Typickým příkladem je nesprávné posouzení charakteru poškození mající vliv na posouzení samotné přijatelnosti nehodového děje (např. pojistné podvody), odlišné posouzení pořadí střetů u vícekolizních nehod, záměna směrů příjezdu jednotlivých dopravních prostředků či záměna při ztotožnění stop končící např. nesprávným posouzením příčné polohy objektů. Tyto chyby nepramení primárně z odlišné kvantifikace vstupních veličin, ale z provedeného nesprávného či žádného mentálního modelování, zejména vlivem rutinního přístupu k řešení.

Naproti tomu **kvantitativní** chyby při analýze silničních nehod jsou dány zejména nesprávnou kvantifikací intervalů hledaných veličin (nejčastěji dynamických parametrů, např. rychlost, zpomalení, zrychlení, čas, dále posouzení poškození, souřadnic místa střetu, parametrů rázu, kontrolních parametrů). Tyto typicky způsobují nesprávné výsledky stran hledaných rychlostí pohybu objektů a s tím související interpretaci takto získaných výsledků. Což je však zásadní, **i kvantitativní chyba může ve finále způsobit kvalitativně nesprávný výsledek.**

Obecně jsou chyby v systémovém pojetí způsobeny nevhodně definovanou problémovou situací a zvoleným přístupem k řešení problémové situace s následnou formulací problémů (obecně kapitoly 3 a 4), absencí jakékoli strukturalizace problémů (kapitola 4.2) a absencí výběru podstatných entit a veličin (kapitola 4.3). Samotná zvolená úroveň modelování pro řešení problémů nemusí být chybou a nižší úroveň modelování nemusí a priori přinést horší (méně správné) či věrohodné výsledky. Zvolení vyšší úrovně modelování, než by bylo potřebné pro řešení konkrétního problému (i přes dílčí neznalost některých vstupních veličin), je spíše formální chybou, pokud je součástí řešení odpovídající mentální modelování a provázanost s ostatními přístupy.

Není nutné při analýze silničních nehod za každých okolností užívat jiných přístupů k řešení nad rámec mentálního modelování a srovnávacích analýz. Výpočtové modelování může upřesnit hypotézy vzniklé mentálním modelováním, omezit oblast řešení a dále kvantifikovat a formalizovat výsledky. Simulační výpočtové modelování může ověřit výsledky a přinést pro laika „přesvědčivější“ výsledky. Experimentální modelování zpravidla doplňuje a upřesňuje mozaiku neznámého v průběhu řešení.

**Chyby vznikají** velmi často při absenci **provázanosti mezi jednotlivými přístupy k řešení** či při nadměrné a nezdůvodněné preferenci jednoho přístupu na úkor jiného. Obecně souvisejí s restrikcemi na straně řešitele a velmi často jsou ovlivněny restrikcemi danými zadavatelem (zejména dokumentační podklady a obsah spisu). Nejprve krátce o důsledcích nesystémového pojetí řešení, které jsou dány restrikcemi na straně řešitele.

### **Mentální modelování a srovnávací analýzy**

Mentální modelování je zcela zásadním přístupem k řešení silničních nehod, lze hovořit o řešitelských restrikcích a v případě jeho absence či nízké úrovni také o negativních dopadech na výsledek za každých okolností. Obecně chyby nastávají **vždy** při nízké, nebo žádné použité úrovni mentálního, případně teoretického a abstraktního modelování (kapitola 4.1.1) a často nutných srovnávacích analýz (4.1.5). Tyto chyby mají často zásadní dopad na kvalitativně nesprávné

vylíčení události a není je možné dále odstranit jinými užitými typy modelování, které aplikují a rozvíjejí mentální modelování. I při jiných typech modelování může dojít ke kvalitativním chybám.

Typickými příklady je nesprávné posouzení stop a jejich přiřazení konkrétním objektům (ignorace přítomnosti nebo záměna identifikace konkrétní stopy konkrétnímu objektu, záměna charakteru stopy a s tím související nesprávná kvantifikace veličin, např. pro simulační modelování). Dále lze uvést např. nesprávné posouzení poškození na objektech z hlediska charakteru, rozsahu a energetického hlediska, nesprávné posouzení dokumentace místa nehody bez prohlídky místa nehody, absence posouzení charakterů a odlišností dopravních prostředků, lidského faktoru, prvků aktivní a pasivní bezpečnosti, neznalosti oborových technik a souvislostí s přesahem do příbuzných oborů apod.

### **Výpočtové a simulační výpočtové modelování**

Pro účely požadavku zadavatele na kvantifikaci podstatných veličin se řešitel neobejde bez dalších přístupů, které jsou popsány v kapitolách 4.1.2 a 4.1.3. Chyby pramenící z těchto typů modelování jsou úzce spojeny s mentálním modelováním a následným strukturováním problémů a soustav. Stejně jako v případě mentálního modelování je podstatný samotný řešitel, bez jehož odborných kompetencí může být užito i pokročilých metod modelování, a přesto nastanou chyby. Naproti tomu simulační výpočtové modelování může řešiteli ukázat cestu v případě, kdy samotné mentální modelování nepostačuje (např. precizace oblasti místa střetu, dynamických parametrů vozidel, možného obecného průběhu nehody s vysvětlením jednotlivých stop, prvotní odhad rychlostí objektů apod.). Zásadní otázkou je tedy strukturování problémů a rozdělení řešení na dílčí problémy, vytvoření systému podstatných veličin na dané úrovni poznání a kvantifikace a formalizace jednotlivých veličin (kapitola 4.3). Znalost jednotlivých přístupů, modelů a modelových objektů řešitelem je samozřejmá, stejně jako nutnost doplnění o podklady získané pomocí srovnávacích analýz (kapitola 4.1.5).

Chyby vznikající při výpočtovém modelování kromě odborných kompetencí řešitele vznikají zejména při nesprávné strukturalizaci problémů při rozdělení řešení na jednotlivé fáze a při kvantifikaci vstupních veličin. Jako příklad výpočtového modelování lze uvést např. **chybně zvolené metody**, např. při zjištění výběhových parametrů objektů, např. **zanedbání podstatných** rotací, zanedbání rozdílných fází pohybu, při chybné úrovni řešení problémů typu pohyb a ráz, nebo **dosazení technicky nepřijatelných vstupních hodnot podstatných veličin, bez ověření, které by na chyby upozornilo**.

Při **simulačním výpočtovém modelování** se problémy na straně řešitele dále množí z důvodu většího množství často **pouze volených hodnot** a obtížnější přímé predikci vlivu

konkrétní velikosti vstupních hodnot, resp. i konkrétní jedné vstupní hodnoty na komplexní výsledek řešení. Současně se nelze spolehnout pouze na jedno diskrétní řešení s jednou zvolenou kombinací vstupních veličin, které je typickým výstupem simulačního výpočtového modelování.

Je nutné hledat extrémy se zohledněním technicky přijatelných rozmezí hodnot vstupních veličin. Se zvolenou vyšší úrovní modelování musí být nutně spojeny vyšší nároky na rozsah známých informací, detailní znalost vlivu změny konkrétních vstupních veličin na výsledek se zohledněním přenosu chyb a také vyšší nároky na řešitele, a to i z hlediska jeho odpovědnosti za výsledek, etiku a schopnosti obhájení výsledku před odbornou veřejností.

### **Experimentální modelování**

Doplnění informací pro možnou analýzu nehodového děje prostřednictvím konkretizačních či verifikačních experimentů (kapitola 4.1.4) se jeví jako nezbytné a absence může rovněž způsobit jak chyby kvalitativní (chybné posouzení možného spatření chodce), tak chyby kvantitativní (nesprávné dosazení vstupních veličin pro posouzení přiměřené rychlosti, chybně dosazené dynamické parametry apod.).

#### **Příklad problémové situace:**

Tragická smrtelná silniční nehoda osobního vozidla a chodce v noční době mimo obec a vzniklá potřeba situaci popsat.

#### **Nesystémovost přístupu k řešení takové nehody se typicky projeví:**

##### **1) v nedostatečně provedeném mentálním modelování, v daném případě tedy např.:**

- ✓ v chybném přiřazení stop chodce, vozidla, střepin a kapalin, nalezené oblasti místa střetu,
- ✓ v chybném posouzení konstrukce a poškození vozidla, přiřazení jednotlivých poškození k pohybu chodce,
- ✓ v chybném posouzení trajektorie pohybu vozidla a možného vlivu dynamických parametrů, možné trajektorie chodce před střetem vzhledem k okolním restrikcím,
- ✓ při absenci konsilience s lékařem z důvodu posouzení korespondence charakteru a mechanismu poranění a stanovení postavení chodce vůči vozidlu,
- ✓ v chybném posouzení výpovědi řidiče a případně svědků,
- ✓ při absenci zohlednění geometrie komunikace a absenci detailní prohlídky vozidla,
- ✓ v chybném posouzení mechanismu pohybu chodce po střetu s vozidlem a možného popisu průběhu letu a sunutí do konečné polohy (pokud je známa).

Jak je vidět již v této fázi, pokud by došlo k pochybením v úvodní fázi, tyto nebude možno opravit užitím jiných přístupů, jelikož již došlo k narušení systému podstatných veličin.

**2) v nesprávně provedeném výpočtovém modelování, např.:**

- ✓ při volbě nesprávných přístupů (např. užití odhozových diagramů či empirických vztahů při nárazu chodce na roh vozidla s částečným překrytím), bez verifikace jiným přístupem,
- ✓ v nesprávném rozdělení problémové situace (hypersoustavy) na jednotlivé fáze pohybu či nesprávném zanedbání rozfázování a strukturování výpočtů,
- ✓ při volbě nesprávných vstupních údajů (rychlost chodce, rozměry, zpomalení vozidla po střetu, stav brzdění v okamžiku střetu).

**3) v nesprávně provedeném simulačním výpočtovém modelování, např.:**

- ✓ při nesprávné volbě počátku řešení,
- ✓ při nesprávné nebo pouze jedné diskrétní střetové poloze při nemožnosti exaktního vyloučení jiných poloh,
- ✓ při nesprávných či zanedbaných podstatných vstupních entitách a veličinách (tvar vozidla, topologie, geometrie), absenci ověření vlivu změny vstupních veličin na výsledek (např. ve formě optimalizačních úloh),
- ✓ při absenci kontroly a souladu výsledků se spisovým materiálem,
- ✓ při množství pohybových sekvencí v rozporu s výsledky mentálního modelování,
- ✓ při pouze jednom diskrétním řešení (jedna rychlost vozidla a jedna rychlost chodce, přestože nebylo možné jednoznačně popsat polohu chodce v kontaktní fázi s vozidlem (např. poloha končetin), i když je známá vysoká citlivost změny vybraných podstatných veličin na výsledek analýzy,
- ✓ při volbě neadekvátně vysoké úrovně modelování a současné neznalosti vstupních veličin s nalezením jednoho uspokojivého řešení s ukončením hledání dalších diskrétních vlivů, volba nesprávných vstupních údajů či modelových objektů.

**4) v nesprávně provedeném nebo žádném experimentálním modelování, např.:**

- ✓ neprovedením vyšetřovacího pokusu za účelem posouzení vzájemné dohlednosti účastníků před nehodou za srovnatelných podmínek, přestože byla omezená dohlednost,
- ✓ a tím prakticky nemožným objektivním zjištěním možného pohybu před střetem a ověření možností účastníků nehodě zabránit v souladu s fyziologickými limity.

**5) v absenci provázanosti a kontroly výsledků rozdílnými přístupy a metodami, např.:**

- ✓ v celkové neprovázanosti a nelogické skladbě analýzy nehody,
- ✓ v prohlášení výsledků simulačního výpočtového modelování za věrohodné, přestože nebyly ověřeny jinými metodami, případně jsou s nimi v rozporu.

## **6) v nevhodné interpretaci výsledků ve formě znaleckého posudku, např.:**

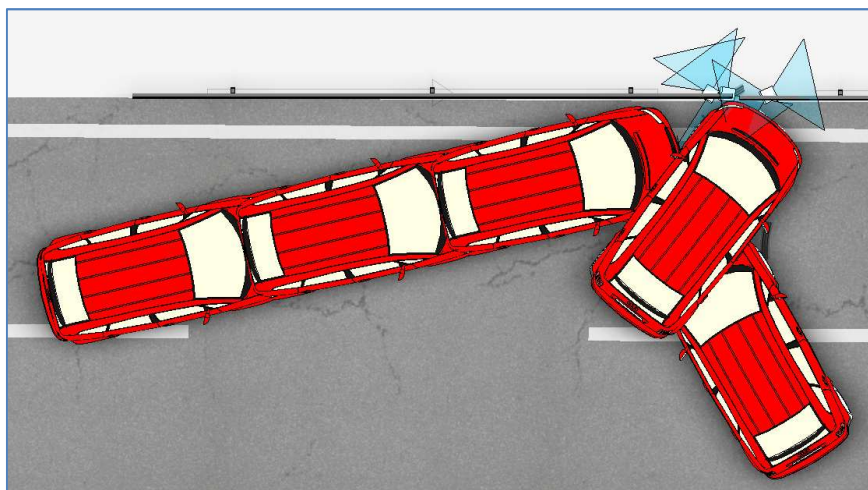
- ✓ obsahu,
- ✓ formě,
- ✓ struktuře,
- ✓ chybějících myšlenkových a logických pochodech (systémové disciplíny),
- ✓ nesouladu se spisovým materiálem,
- ✓ chybějícím výsledkům a absenci přezkoumatelnosti a přesvědčivosti.

Následek takových pochybení pak způsobí omezenou, resp. prakticky nulovou věrohodnost výsledků. Nutně se projeví nejen při analýze nehody, ale i při následném zpracování znaleckého posudku a jeho obhajobě u soudu v případech, že analýza má charakter znalecké činnosti a výsledkem znalecké činnosti je další prvek soustavy znalectví, a to znalecký posudek. Může způsobit kvalitativně či kvantitativně zcela nesprávné posouzení nehodového děje (posouzení náhlosti pohybu chodce, přiměřenosti rychlosti apod.) a ve finále až v kvalitativně nesprávné právní posouzení této technické události.

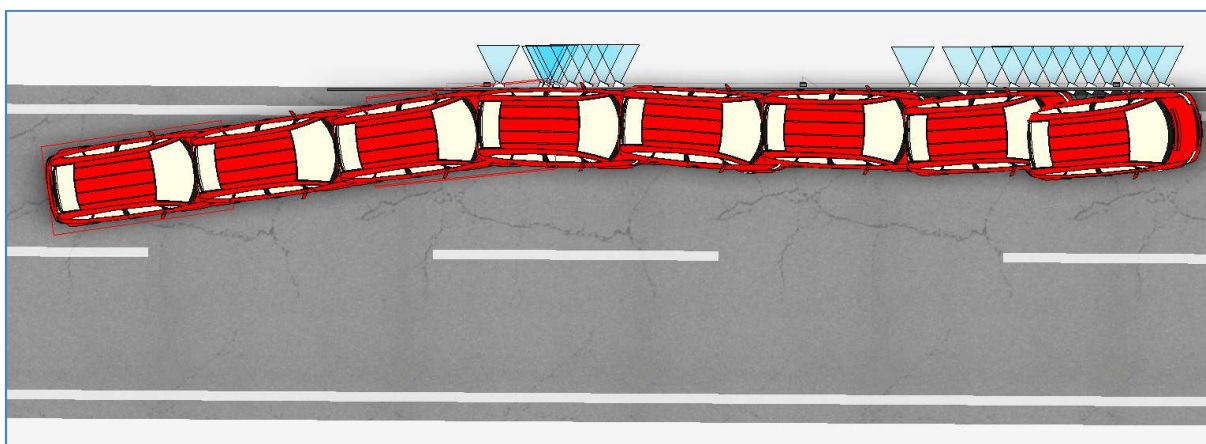
Není cílem uvádět odstrašující případy řešitelských restrikcí, tak na ukázkou představím pouze jeden příklad z tisíců, kdy řešitel svou neznalostí principů a obsluhy simulačního výpočtového modelování zásadně ovlivnil kvalitativní průběh silniční nehody. Při řešení pojistných podvodů je vždy k diskuzi, zda a v jaké míře užívat simulačního výpočtového modelování. Důvody jsou převážně v absenci podkladů z místa nehody (nevolání policie, neznalost konečných poloh, omezená možnost prohlídky např. na dálnici nebo s časovým odstupem apod.), když přichází vícečetné řešení často jako návod pro změny výpovědi pachatelů v další fázi řízení. V této fázi se také často ukazují řešitelské restrikce. V následujícím příkladu uživatel simulačního programu modeloval bez patřičné znalosti výpočtového simulačního modelování podezřelou dopravní nehodu ze strany pojišťovny, která mohla mít v některých aspektech znaky pojistného podvodu, jednalo se o náraz do svodidel na dálnici. Řešitel modeloval svodidla z více částí a tyto umístil vedle sebe. Nejenže při kontaktu s vozidlem docházelo k vzájemnému kontaktu jednotlivých částí svodidla, ale došlo k tomu, že vozidlo kontaktující hranu navazující části svodidla s užitím defaultních (výchozích) hodnot zcela změnilo směr pohybu vlivem nesprávného natočení roviny rázu a vysoké hodnoty tření, přestože se jednalo jednoznačně z logiky věci o ráz se skluzem. Takto nesprávně domněle simulovaný děj pak posloužil řešiteli jako argument k tvrzení, že k nehodě tímto způsobem nedošlo, protože by se vozidlo muselo od svodidla odrazit do pravého pruhu dálnice (Obrázek 22). Neproběhlo tedy řádné, resp. žádné mentální modelování a zcela nesprávné výpočtové simulační modelování a na základě těchto chyb byl řešitelem prohlášen řidič za osobu



páchající pojistný podvod, přitom nejen výsledky experimentálního modelování (provedené jízdní zkoušky při vysokých rychlostech vozidel se svodidly), ale zejména správně provedené výpočtové simulační modelování by prokázaly, že technicky přijatelný pohyb vozidla by byl odlišný a v souladu s průběhem poškození a vylíčeným pohybem řidičem (Obrázek 23).



*Obrázek 22: Orientace roviny rázu se skluzem při kontaktu vozidla se svodidlem, nesprávná orientace roviny rázu a vysoké tření v rázu při modelování pomocí více částí svodidel nárazem roh s následným ovlivnění pohybu (autor)*



*Obrázek 23: Orientace roviny rázu se skluzem při kontaktu vozidla se svodidlem, správná orientace roviny rázu, velikost tření i restituice při modelování pomocí jedné části svodidel (autor)*

Jak bylo uvedeno výše, ne vždy je však za nejednoznačné výsledky morálně odpovědný znalec a v případě zadavatelských restrikcí nemusí pomoci ani systémové pojetí k řešení ze strany znalce.

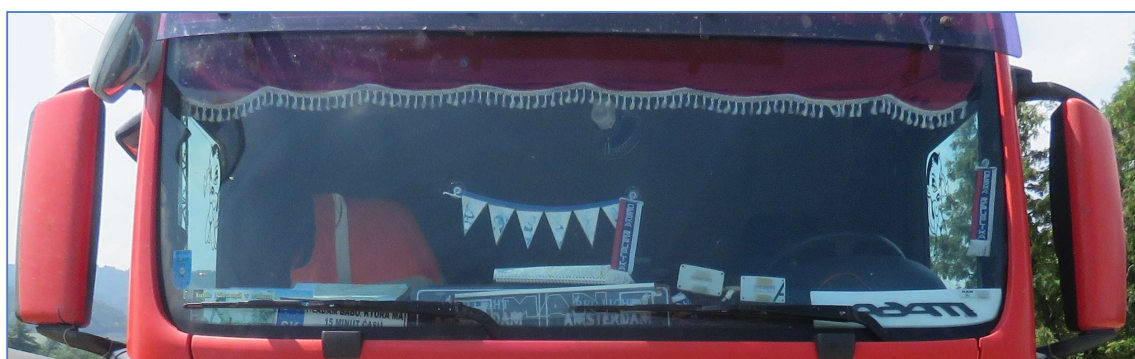
Typicky se jedná o nekvalitní zajištěné podklady ze strany policie, nejčastěji ve formě:

- absence podstatných podkladů,

- nekvalita podkladů.

### **Příklad problémové situace dané technickými restrikcemi na straně zadavatele.**

Dopravní nehoda nákladního vozidla a jízdního kola na okružní křižovatce. Vozidlo přijíždělo k okružní křižovatce a zleva, z nejbližší větve, se na okružní křižovatku připojil cyklista jedoucí na horském jízdním kole. Z důvodu klesání poměrně vysokou rychlostí (více než 35 km/h), zařazené převodové poměry nebyly policií zdokumentovány. Ve výhledu se nacházel částečně stromový porost (nezdokumentován žádnou fotografií). Nákladní vozidlo mělo v zorném poli řidiče umístěny prvky (Obrázek 24), které mohou omezovat výhled z vozidla (třásně a vlaječky). Policie dále bohužel nechala vozidlo odjet bez dokumentace z kabiny, současně nebyla stažena data z tachografického zařízení.



*Obrázek 24: Pohled na přední část nákladního vozidla (policie)*

Došlo k těžkému zranění cyklisty (pánev, žebra vpravo), který byl zachycen ve vzpřímené poloze pravým předním rohem nákladního vozidla, zadní kolo jízdního kola bylo přejeté nákladním vozidlem (Obrázek 25). Vylíčení události oběma účastníky se lišilo. Řidič uvedl, že přibrzdil před vjezdem na okružní křižovatku, cyklistu neviděl až do střetu, cyklista popisoval delší stání nákladního vozidla, a to ještě i v průběhu své jízdy po kruhovém objezdu. Odjetí vozidla nákladní přepravy způsobilo prakticky nemožné zpětné provedení znaleckého experimentu či vyšetřovacího pokusu (experimentální modelování) na výhled z kabiny vč. omezení vlivem vlaječek, sloupku, zrcátka a vzrostlého stromového porostu při technicky přijatelné trajektorii pohybu nákladního vozidla i cyklisty před střetem z výšky očí konkrétního řidiče.



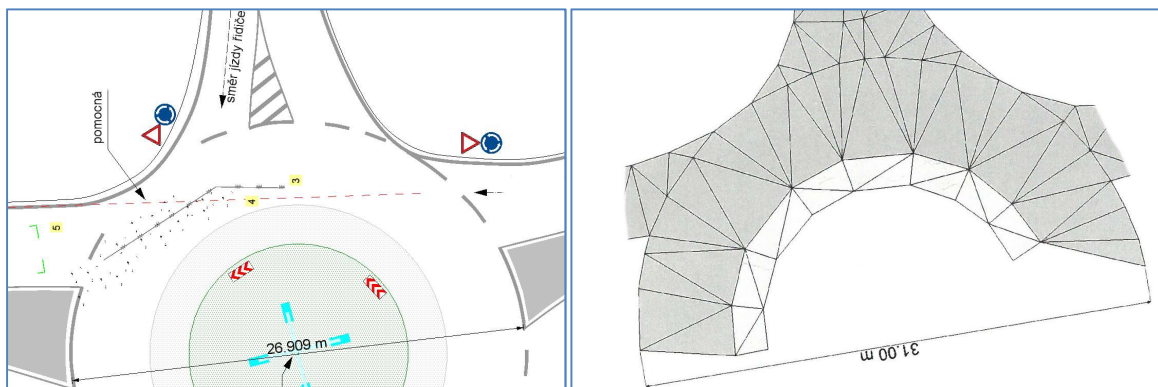
*Obrázek 25: Plasty z pravého předního rohu NA, jízdní kolo a poloha těla u vzdálenějšího kužele (policie)*

Tento rozpor vzniklý velkou mírou laxností při zajištění podkladů je obtížně napravitelný tak, aby umožnil jednoznačnou věrohodnost závěrů analýzy nehody, a to i při plně systémovém přístupu řešitele k řešení takové silniční nehody.

#### **Příklady problémové situace dané technickými restrikcemi na straně zadavatele.**

Dopravní nehoda nákladního vozidla a malého motocyklu na okružní křižovatce. Nákladní vozidlo najíždělo plynule na kruhový objezd a zleva se připojil motocykl, přičemž nebylo zřejmé, který z objektů vjel na okružní křižovatku jako první. Policie opět jako v minulém případě opomněla zajistit tachografický záznam a při vyšetřování s časovým odstupem již nebyl k dispozici, o čemž policie učinila pouze úřední záznam popisující opomenutí konkrétního policisty. Velkým omezením však jsou zejména dokumentační schopnosti ve formě nesprávných plánek, do kterých jsou následně ať již správně či nesprávně kresleny zajištěné stopy. V tomto případě byl zásadně nesprávný poloměr okružní křižovatky (o 4 metry v průměru), který způsobil také nesprávné tvary jednotlivých větví a zakreslení stop. Do takto nesprávného plánu byla dále zcela nevhodně umístěna pomocná rovina měření (červená čárkovaná linie), od které byly kótovány stopy (Obrázek 26). Samostatnou kapitolou jsou dokumentační schopnosti a měřicí chyby a postupy, které jsou s časovým odstupem prakticky neopravitelné. Chybějící tachografický záznam nedovolil upřesnění rychlosti nákladního vozidla při průjezdu oblastí místa nehody, ani neumožnil prověřit okolnost možného přibrzdění vozidla.

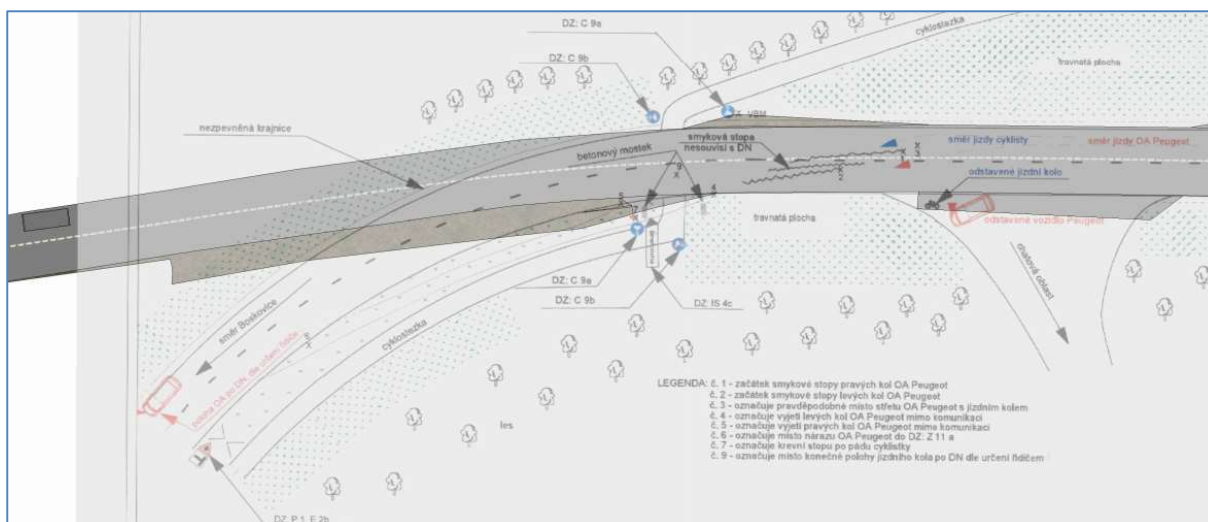




Obrázek 26: Nesprávný plánek policie a geodetické zaměření znalcem

Takový rozpor by za předpokladu, že by nebyl včas odstraněn řešitelem způsobil odlišné posouzení trajektorie pohybu obou účastníků.

Poslední ukázkou tohoto typu restrikcí je situace porovnání plánu policie a geodetického zaměření při střetu osobního vozidla a cyklisty (Obrázek 27), nesoulad je patrný vlevo. Pokud by byla silniční nehoda řešena na plánu policie, kde je patrný ostrý směrový oblouk vlevo, limitovalo by to mezní rychlost vozidla i celkový výběhový pohyb a přineslo by to zcela zásadně nesprávné výsledky. Často je řešitel konfrontován u soudu příslušnou stranou s dotazy na možnosti znalecké korekce plánek v případech jejich nesouladu. Bez praktického měření na místě znalcem by odhalení takových pochybení ani nemuselo nastat, nejčistějším řešením je přepracování plánu v průběhu zpracování analýzy silniční nehody.



Obrázek 27: Porovnání plánu policie a geodetického zaměření znalcem

Zcela zásadní pro další řešení jsou případy, kdy je možné prakticky celou silniční nehodu vyřešit na místě vhodnou dokumentací za pomoci mentálního modelování. Jako jeden z příkladů poukazují na situaci kritické nehody typu střetu dvou jízdních kol na cyklostezce, kde jsou

bezprostřední fotodokumentace a související úkony zcela zásadní, zejména pokud dojde k prodeji či likvidaci kola během následného vyšetřování a zjevnému rozporu ve výpovědích účastníků. Detailním proměřením výškové a směrové korespondence poškození (řídítka, sedla, vidlice), zdokumentováním zařazených převodů, konečných poloh kol i osob, rekonstrukce posedu účastníků na jízdní kola s korespondencí kontaktů těl a posunu objektů na stopy lze stanovit příčnou polohu objektů na cyklostezce a na místě zdokumentovat. Pokud je toto opomenuto, nastávají stejně jako u výše zmíněných restrikcí dohady a variantní řešení s nejednoznačnými výsledky, zlepšení nemusí přinést ani následné dobře provedené experimentální modelování.

Nelze nezmínit restrikce právní (zapovězené vyjadřování řešitelů k právním otázkám) a otázky restrikcí ekonomických, kdy z ekonomických důvodů, jsou voleny nižší úrovně modelování či zrychlení a zjednodušené analýzy či požadovány nižší formy výstupů, např. ve formě odborných vyjádření, nemluvě o dlouhodobém neřešení problémů znalectví včetně otázek odměňování.

Toto by však nemělo být omluvitelnou překážkou pro neaplikování systémového pojetí.

## 7 STRUKTURA VÝUKY PŘEDMĚTU ANALÝZA SILNIČNÍCH NEHOD

Analýzu silničních nehod jako výukový předmět v systémovém pojetí je nutno chápat jako otevřenou, dynamickou a flexibilní soustavu.

**Otevřenost** soustavy je díky interdisciplinárnímu charakteru předmětu dána její vazbou na okolí, zejména vazbou na základní předměty technického i humanitního charakteru typu matematika, fyzika, teorie vozidel, základy práva apod.

**Dynamičnost** soustavy je dána možnou proměnností struktury předmětu v čase, např. v souvislosti s vývojem nových metod, vývojem znalostí o konstrukci vozidel, chování vozidel, chování člověka apod.

Pedagogická **flexibilita** soustavy analýzy silničních nehod umožňuje přednášet předmět na různých úrovních pro rozdílnou strukturu posluchačů. V následujících pasážích navrhuji osnovu výuky předmětu v systémovém pojetí na základě soustavy základních vertikálních modulů, protnutých pomocí horizontálních větví s další větvenou strukturou vyučovaných oblastí.

Za základní vertikální kameny (moduly) předmětu navrhuji:

1. **Úvod do analýzy silničních nehod**
2. **Oborové znalosti, techniky a nástroje, modelování mentální**
3. **Modelování pohybu a střetu (výpočtové modelování)**
4. **Experimentální modelování**
5. **Algoritmy řešení silniční nehody**
6. **Tvorba znaleckých posudků vč. jejich prezentace a interpretace závěrů**

Modul 1. Úvod do analýzy silničních nehod by obsahoval následující dva horizontální moduly:

**Základní informace** (začlenění problematiky, základní pojmy, soustava znalectví, tok informací ve znalecké činnosti, problémové situace a základní informace o dělení řešených problémů, typy problémů obecně).

**Návaznosti** (vybrané souvislosti: matematika, fyzika, soudní inženýrství a soudní znalectví vč. soustavy znalectví, vybrané kapitoly soudního lékařství, psychologie, biomechaniky, teorie vozidel, konstrukce vozidel, diagnostiky a opravárenství a dále systémové disciplíny a právo).

Modul 2. Oborové znalosti, techniky a nástroje by obsahoval následující horizontální moduly:

**Mentální modelování, teoretické a abstraktní modelování, srovnávací analýzy** (vstupní data a podstatné veličiny pro řešení problémů, techniky pro řešení problémů s analýzou nehod, hledání souvislostí a vazeb, práce s daty a jejich zpracování, práce s informacemi).

**Stopy** (nauka o stopách, členění stop, hledání a přiřazení)

**Dokumentace a analýza dokumentačních podkladů** (fotodokumentace, videodokumentace, videozáznamy, ohledání místa a objektu, tachografické záznamy)

**Diagramy** (typy závislostí, užívané diagramy při analýze silničních nehod, signální plány)

**Matice** (odrazu, korespondence poškození, zranění apod.)

**Měření, měřicí a dokumentační technika** (kvantifikace vstupních údajů, typy analyzovatelných dat)

**Software** (pro přípravu modelování, výstupy, zpracování dat a pomocné nástroje pro řešení problémů spojených s řešením pohybu a rázu)

Modul 3. Modelování pohybu a střetu by obsahoval následující horizontální moduly:

**Výpočtové modelování problémů typu pohyb** (modely, přístupy, fáze, působící síly, podstatné veličiny)

**Optimalizační úlohy řešení pohybu** (kombinace zpětných a dopředných řešení optimalizací do předem omezených vstupních podmínek)

**Simulační výpočtové modelování problémů typu pohyb** (modely pohybu, pneumatik, přívěsu, převrácení)

**Vícetělesové modelování vč. simulace pohybu posádky** (zejména modelování pohybu lidského faktoru)

**Úvod do teorie rázu** (vstupní, výstupní a kontrolní veličiny, tuhost, deformační energie, stanovení kontrolních veličin)

**Výpočtové modelování problémů typu ráz** (metody řešení, např. MDRHI, DRRHI, průnik pásem, početní analýza excentrického střetu, delta V, zákony zachování apod.)

**Simulační výpočtové modelování problémů typu ráz**

**Optimalizační úlohy řešení problémů typu ráz** (vícekriteriální optimalizace hledaných vstupních údajů pro zadané výstupní či kontrolní údaje)

### **Vícetělesové modelování vč. simulace pohybu posádky**

#### **Modelování střetu s užitím metody konečných prvků vč. simulace pohybu posádky**

Modul 4. Experimentální modelování by pojednával o úloze, přípravě, realizaci a implementaci závěrů experimentů (konkretizační, příp. verifikační) pro analýzu silničních nehod. Verifikační experimenty spočívají nejčastěji v ověření výsledků získaných jinými přístupy, např. s pomocí simulačního výpočtového modelování.

Modul 5. Algoritmy řešení silniční nehody vč. interpretace závěrů by pojednával o konkrétních postupech pro tvorbu komplexní soudně inženýrské analýzy silniční nehody na základě zvolených metod pro konkrétní typy silničních nehod (střet dvou vozidel, střet vozidla s chodcem, specifika jednotlivých typů problémů a volba úrovně odpovídajících metod a postupů). Ověření závěrů a jejich vhodná, logická a pochopitelná podoba interpretace pro účely rozhodování o odpovědnosti účastníků.

Modul 6. Tvorba konkrétních znaleckých posudků vč. jejich prezentace a interpretace závěrů by pojednával o přípravě konkrétních výstupů znaleckého zkoumání v souladu s právní úpravou. Kromě konkrétních výstupů by obsahoval i prezentaci a argumentaci výsledků studentem ve formě řízené diskuze simulující soudní jednání za účasti stran.



## 8 ZÁVĚR

Albert Einstein kdysi prohlásil, že „žádný problém nemůže být vyřešen na stejné úrovni myšlení, která jej stvořila“.

V předložené práci byl představen a aplikován systémový přístup a systémové pojetí k problematice analýzy silničních nehod s důrazem na nutnost komplexního, zodpovědného a pokorného přístupu řešitele (analytika) k této často málo určité, exaktní či jednoznačně řešitelné problematice. Autor se v práci snažil naznačit systémové pojetí teoreticky i na praktických příkladech, stejně jako omezení a mantinely, které jsou s problematikou úzce spojeny a mají vliv na výsledek zkoumání, který nemusí být nepodstatný. S rozvojem moderních vozidel, zejména prvků autonomního řízení, kolizních asistentů, pokročilých adaptivních tempomatů, nočního vidění apod. souvisí rovněž nová nutnost posuzovat detailněji interakci mezi řidičem a vozidlem včetně prvků ovlivnění a aktivace této soustavy, tím rostou i požadavky na osobu analytika.

V práci byly představeny a současně odděleny přístupy a metody řešení silničních nehod od znalecké činnosti s výsledkem ve formě znaleckého posudku.

Cílem autora bylo mj. i zdůraznit, že vyšší úroveň řešení problémů, např. ve formě vyšší úrovně modelování, nemusí přinést „lepší“, pravdivější či přesnější výsledky, jelikož tato ne zcela exaktní vědní oblast výrazně závisí zejména na úrovni a kvalitě vstupních podkladů a zejména řešitelských schopnostech (nikoliv schopnosti obsluhovat konkrétní výpočetní nástroj). Proto autor při řešení silničních nehod zdůraznil spíše přístup mentálního modelování, tacitních znalostí a srovnávacích analýz.

Celkově práce přinesla poněkud odlišný pohled a možná i částečně kontroverzní pohled na vybrané problémy analýzy silničních nehod, kdy cílem nebylo analyzovat jednotlivé veškeré dílčí problémy s problematikou spojené, ale komplexněji popsat problematiku jako celek, a to odlišením systémového přístupu k řešení od přístupu nesystémového, přitom často s negativními následky běžně užívaného.

V práci byly pro porovnání zmíněny stručně některé příklady aplikace nesystémového přístupu s následky, které jsou s takovým řešením spojeny.

Závěrem byla představena struktura výuky předmětu Analýza silničních nehod tak, aby pokud možno co nejlépe odpovídala soudobým požadavkům na rozsah a kvalitu i poznatkům z oblasti systémového pojetí se začleněním úzce souvisejícího předmětu Simulačního výpočtového modelování při analýze silničních nehod, který je vyučován na Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně samostatně.

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) BRADÁČ, Albert. Soudní inženýrství. Dot. 1. vyd. Brno: CERM, 1999, 725 s. ISBN 80-720-4133-9.
- (2) JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. 1. vyd. Praha: Grada, 2013, 592 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.
- (3) Zákon o znalcích a tlumočnících. In: ČR. 2011, 36/1967 Sb.
- (4) Dopravné nehody. 1. vydání. Bratislava: Respo, s.r.o., 2003. ISBN 80-968953-5-4.
- (5) CHMELÍK, Jan. Dopravní nehody. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2009, 540 s. ISBN 978-80-7380-211-0.
- (6) PORADA, Viktor. Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi. Praha: Linde, 2000, 378 s. Vysokoškolská právnická učebnice. ISBN 80-720-1212-6.
- (7) KASANICKÝ, Gustáv. Teória pohybu a rázu pri analýze a simulácii nehodového deja. 1. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2001, 350 s. ISBN 80-710-0597-5.
- (8) KASANICKÝ, Gustáv a Pavol KOHÚT. Analýza nehôd jednostopových vozidiel. 1. vydání. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline - EDIS, 2000. ISBN 80-7100-598-3.
- (9) Unfallrekonstruktion. 1. Aufl. Münster: Autorenteam, 2007, s. 649-1254. ISBN 30-001-9419-3.
- (10) BURG, Hrsg. Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion: Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation ; mit 145 Tabellen. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg, 2007. ISBN 978-383-4801-722.
- (11) Handbook of Accident Reconstruction: [accident investigation, vehicle dynamics, simulation. 1st ed. [Washington: CreateSpace Independent Publishing Platform], 2013. ISBN 978-149-2328-421.
- (12) BAKER, J. a Lynn FRICKE. Traffic Crash Investigation. 11. Evanston, Illinois: Northwestern University Center for Public Safety, 2014. ISBN 978-1-63315-175-8.
- (13) FRICKE, Lynn. Traffic Crash Reconstruction. 2. Evanston, Illinois: Northwestern University Center for Public Safety, 2010. ISBN 0-912642-03-3.
- (14) Unfallrekonstruktion und -gutachten in der verkehrsrechtlichen Praxis: Handbuch für Juristen, Sachbearbeiter und Beteiligte. Münster: ZAP, 2011. LexisNexis. ISBN 978-3-89655-587-8.
- (15) WEBER, Michael a Juristische [UA.]. Die Aufklärung des Kfz-Versicherungsbetrugs: Grundlagen der Kompatibilitätsanalyse und Plausibilitätsprüfung. 1. Aufl. Münster: Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke, 1995. ISBN 39-804-3830-9.
- (16) HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER, Petr DUB, ed. Fyzika. 2., přeprac. vyd. Brno: VUTIUM, 2013. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-4123-1.
- (17) ZEBALA, Jakub, Stanislav GACA, Witold JORDAN, Aleksander KURANOWSKI, Adam REZA a Wojciech WACH. Wypadki drogowe: vademecum biegłego sądowego. Wyd. 2 zm. Kraków: Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, 2006. ISBN 83-874-2532-X.
- (18) PROCHOVSKI, Leon, Jan UNARSKI, Wojciech WACH a Jerzy WICHER. Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych. 1. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-832-0616-880.

- (19) WICHER, Jerzy. Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego. Wyd. 3 rozsz. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2012. ISBN 978-832-0618-358.
- (20) WACH, Wojciech. Wiarygodność strukturalna rekonstrukcji wypadków drogowych. Kraków: Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, 2014. ISBN 83-87425-14-1.
- (21) WACH, Wojciech a [TRANSL. ELŻBIETA HAN-WIERCIŃSKA]. Simulation of vehicle accidents using PC-Crash. Institute of Forensic Research. Kraków: Institute of Forensic Research Publishers, 2011. ISBN 83-874-2568-0.
- (22) STEFFAN, Hermann a Andreas MOSER. PC-CRASH: A Simulation program for Vehicle Accidents: Technical manual, součást instalace software PC-CRASH. Version 8.3. Linz: DSD, 2010.
- (23) RIVERS, R. Technical traffic crash investigators' handbook: (level 3) : a technical reference, training, investigation and reconstruction manual. 3rd ed. Springfield, Ill.: Charles C. Thomas Publisher, 2010. ISBN 03-980-7908-0.
- (24) VAN KIRK, Donald. Vehicular accident investigation and reconstruction. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 2001, xxv, 481 p.
- (25) HUANG, Matthew. Vehicle crash mechanics. Florida: CRC Press, 2002. ISBN 0-8493-0104-1.
- (26) RUSSELL, C. Equations and formulas for the traffic accident investigator and reconstructionist. Third edition. Tucson, Arizona: ., 2014. ISBN 978-1936360239.
- (27) DAILY, John., Nathan SHIGEMURA a Jeremy. DAILY. Fundamentals of traffic crash reconstruction. USA. Jacksonville, Fla.: Institute of Police Technology and Management, University of North Florida, 2006. ISBN 978-1-8845-6663-9.
- (28) STRUBLE, Donald. Automotive accident reconstruction: practices and principles. 1. Boca Raton, FL: CRC Press, 2014. ISBN 978-1466588370.
- (29) BRACH, Raymond a R. BRACH. Vehicle accident analysis and reconstruction methods. 2nd ed. Warrendale, Pa.: SAE International, 2011. ISBN 978-0-7680-3437-0.
- (30) KÜHN, Matthias, Robert FRÖMING a Volker SCHINDLER. Fußgängerschutz: Unfallgeschehen, Fahrzeuggestaltung, Testverfahren : mit 159 Abbildungen und 40 Tabellen. 1. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. ISBN 978-3-540-34302-8.
- (31) BACKFISCH, Klaus. Das große Reifenbuch: Technik, Sicherheit, Fahrdynamik, Tuning : alles über Reifen und Räder. 1. Königswinter: Heel Verlag, 2006. ISBN 978-3-89880-656-5.
- (32) BODZIAK, William. Tire tread and tire track evidence: recovery and forensic examination. 1. Boca Raton: CRC Press, 2008. ISBN 978-0-8493-7247-6.
- (33) REIF, Konrad. Automobilelektronik: eine Einführung für Ingenieure : mit 349 Abbildungen und 38 Tabellen. 4., überarb. Aufl. Wiesbaden: Vieweg Teubner, 2012. ATZ/MTZ-Fachbuch. ISBN 978-3-8348-1498-2.
- (34) SEIFFERT, Ulrich. a Lothar. WECH. Automotive safety handbook. 2nd ed. Warrendale, Pa.: SAE International, 2007. ISBN 978-0-7680-1798-4.
- (35) PETERS, George a Barbara PETERS. Automotive vehicle safety. 1st pub. Warrendale: SAE, 2002. ISBN 07-680-1096-9.

- (36) KRAMER, Florian. Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen: Biomechanik - Simulation - Sicherheit im Entwicklungsprozess : mit 346 Abbildungen und 31 Tabellen. 3., überarb. Aufl. Wiesbaden: Vieweg Teubner, 2009. ATZ/MTZ-Fachbuch. ISBN 978-3-8348-0536-2.
- (37) Interakce lidského těla s interiérem vozidla: Sborník převzatých cizojazyčných publikací. Vlastimil Rábek. Žilina: EDIS, 2009. ISBN VPRA-SCP-2009-06-01.
- (38) Analýza příčin vzniku a průběhu škodných událostí v oboru pojištění motorových vozidel: (sborník tuzemských a převzatých cizojazyčných publikací) = *Analyse der Ursachen von Schadenereignissen im Bereich der Kfz-Versicherung : (Sammelbuch inländischer und übernommener fremdsprachigen Veröffentlichungen)*. Olomouc: V. Rábek, 2012, 365 s. ISBN 978-80-260-3061-4.
- (39) RÁBEK, Vlastimil. Vnímání a rozhodování účastníků silničního provozu - noční doba: (sborník tuzemských a převzatých cizojazyčných publikací) = *Menschliche Wahrnehmung und Entscheidungsprozesse in Straßenverkehr - Nachtzeit : (Sammelbuch inländischer und übernommener fremdsprachigen Veröffentlichungen)*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014, 319 s. ISBN 978-80-7395-816-9.
- (40) Vnímání a rozhodování účastníků silničního provozu - denní doba: (sborník tuzemských a převzatých cizojazyčných publikací) = *Menschliche Wahrnehmung und Entscheidungsprozesse in Straßenverkehr - Tageszeit : (Sammelbuch inländischer und übernommener fremdsprachigen Veröffentlichungen)*. Olomouc: Properus, 2014, 350 s. ISBN 978-80-904944-2-8.
- (41) VÉMOLA, Aleš. Komplexní hodnocení podpory analýzy silničních nehod simulačním programem. Brno, 2008. Habilitační práce. VUT v Brně.
- (42) HAMILL, Joseph, Kathleen KNUTZEN a Timothy DERRICK. Biomechanical basis of human movement. 4th edition. Philadelphia: Wolters Kluwer Health, 2015. ISBN 978-1451177305.
- (43) KNUDSON, Duane. Fundamentals of biomechanics. 2nd ed. New York, NY: Springer, 2007. ISBN 978-0387493114.
- (44) BURKE, Michael. Forensic medical investigation of motor vehicle incidents. 1. Boca Raton, FL: CRC Press, 2007. ISBN 978-0-8493-7859-1.
- (45) HIRT, Miroslav. Dopravní nehody v soudním lékařství a soudním inženýrství. Vyd. 1. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4308-0.
- (46) HIRT, Miroslav a František VOREL. Soudní lékařství. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2015-2016. ISBN 978-80-247-5680-6.
- (47) KOČÁRKOVÁ, Dagmar, Josef KOCOUREK a Martin JACURA. Základy dopravního inženýrství. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-0104-233-5.
- (48) SAFERSTEIN, Richard. Criminalistics: an introduction to forensic science. 12th edition. NY, NY: Pearson Education, 2018. ISBN 978-0134477596.
- (49) IVOR, Jaroslav. Trestné právo, kriminalistika, bezpečnostné vedy a forenzní disciplíny v kontexte kontroly kriminality: pocta *prof. JUDr. Ing. Viktorovi Poradovi, DrSc., Dr. h. c. mult. k 70. narodeninám*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2013. ISBN 978-80-7380-440-4.

- (50) VLK, František. Automobilová technická příručka. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-9681-4.
- (51) VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
- (52) VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- (53) ŠUCHA, Matúš. Dopravní psychologie pro praxi: výběr, výcvik a rehabilitace řidičů. Vyd. 1. Praha: Grada, 2013. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-4113-0.
- (54) ŠTIKAR, Jiří, Jiří HOSKOVEC a Jana ŠMOLÍKOVÁ. Psychologie v dopravě. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2003. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 80-246-0606-2.
- (55) SHINAR, David. Traffic safety and human behavior. 1. Bingley: Emerald, 2007. ISBN 978-0-08-045029-2.
- (56) WICKENS, Christopher. Engineering psychology and human performance. 2nd ed. New York, NY: HarperCollins Publishers, 1992. ISBN 06-734-6161-0.
- (57) CACCIABUE, Carlo a EDITOR. Modelling driver behaviour in automotive environments critical issues in driver interactions with intelligent transport systems. 1. London: Springer, 2007. ISBN 978-184-6286-186.
- (58) KRAUSS, David a Paul OLSON. Forensic aspects of driver perception and response. Fourth edition. Tucson, Arizona: Layers & Judges, 2015. ISBN 978-1-936360-33-8.
- (59) SMILEY, Alison a Gerson ALEXANDER. Human factors in traffic safety. Third edition. Tucson, Arizona: Layers & Judges, 2016. ISBN 978-1-933264-88-2.
- (60) ŠIKL, Radovan. Zrakové vnímání. 1. Praha: Grada, 2012. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-3029-5.
- (61) WOOD, Denis, Jessica ELLIOTT, Mathew LYONS, Sylvain AUGY, Colin GLYNN a Ciaran SIMMS. Predicting the pedestrian pre-impact *speed from the pedestrian projection distance and vehicle damage measurements*. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2012, 227(2), 164-178. DOI: 10.1177/0954407012451081. ISSN 0954-4070. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0954407012451081>
- (62) WOOD, D, R ALLIOT, C GLYNN, C SIMMS a D WALSH. Confidence limits for motorcycle speed from slide distance. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2008, 222(8), 1349-1361. DOI: 10.1243/09544070JAUTO731. ISSN 0954-4070. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1243/09544070JAUTO731>
- (63) WOOD, Denis, Colin GLYNN a Darren WALSH. Estimation of the collision speed in a collision of a motorcycle or scooter with a car from individual vehicle deformation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2013, 228(3), 295-309. DOI: 10.1177/0954407012471272. ISSN 0954-4070. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0954407012471272>
- (64) WOOD, D, C GLYNN a D WALSH. Motorcycle-to-car and scooter-to-car collisions: speed estimation from permanent deformation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2009, 223(6), 737-756. DOI:

10.1243/09544070JAUTO1069. ISSN 0954-4070. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1243/09544070JAUTO1069>

- (65) BĚLOUŠKOVÁ, Kristýna. Interpretace výsledků technické analýzy nehody na křižovatce ve vztahu k právním rozhodnutím. Brno, 2015. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Marek Semela, Ph.D.
- (66) DANĚK, Vladimír. Právní souvislosti nočních dopravních nehod s chodci. Brno, 2017. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Marek Semela, Ph.D.
- (67) ROŽKOVÁ, Magdaléna. Okolnosti a právní důsledky dopravních nehod vozidel s chodci v denní době. Brno, 2017. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Marek Semela, Ph.D.
- (68) SEMELA, Marek. Analýza silničních nehod I: e-learningový text. Vyd. 2. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2014, 83 s. ISBN 978-80-214-5037-0.
- (69) RÁBEK, Vlastimil. Problém vícečetných řešení v analýze rázu vozidel. Brno, 2016. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně.
- (70) TOKAŘ, Stanislav. Zpracování vybrané terminologie při analýze silničních nehod. Brno, 2017. Disertační práce. Vysoké učení technické Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
- (71) KLEDUS, Robert. Systémové pojetí oceňování majetku. Brno, 2008. Habilitační práce. VUT v Brně.
- (72) JANÍČEK, Přemysl. Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky: hledání souvislostí : učební texty. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 2 sv. ISBN 978-80-7204-554-9.
- (73) JANÍČEK, Přemysl. Systémová metodologie: brána do řešení problémů. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014, [365] s. v různém stránkování. ISBN 978-80-7204-887-8.
- (74) Občanský zákoník. In: . Praha: Sbírka zákonů, 2012, ročník 2012, Zákon č. 89/2012 Sb.
- (75) Zákon o provozu na pozemních komunikacích. In: 361/2000 Sb. 2016.
- (76) KLEDUS, Robert. Obecná metodika soudního inženýrství. Vyd. 2. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2014, 105 s. ISBN 978-80-214-5041-7.
- (77) PROCHAZKA, David, Jozef KAISER, Martin BILÍK, Marek SEMELA a Albert BRADÁČ. Detection of tire tread particles using laser-induced *breakdown spectroscopy*. Spectrochimica Acta Part B. 2015, 108(1), 1-7. ISSN 0584-8547.
- (78) BUCSUHÁZY, Kateřina a Marek SEMELA. Case study: Reaction Time of Children According to Age. Procedia Engineering, 2017. 2017, 187(), 408-413. ISSN 1877-7058.
- (79) SEDLÁK, Robert. Komplexní analýza obvyklé doby pozorování jedoucího vozidla a okolních podmínek pro vyhodnocení dopravní situace. Brno, 2014. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Albert Bradáč, Ph.D.
- (80) BAŘINA, Jakub. Studie doby potřebné pro rozhled a rozhodnutí při dání přednosti v jízdě. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Marek Semela, Ph.D.
- (81) COUFAL, Tomáš. Analýza tuhosti přední části vozidel. Brno, 2014. Disertační práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.

- (82) COUFAL, Tomáš a Marek SEMELA. Determination of Selected Crash Parameters in Head- on Vehicle Collision with Rollover. PROMET– Traffic & Transportation. Zagreb, 2016, 28(1), 81-89. ISSN 0353-5320.
- (83) TOKAŘ, Stanislav, Marek SEMELA, Martin BILÍK a Albert BRADÁČ. Comparison of selected impact parameters by side vehicle crash tests with computational software results. In: *International Conference on Traffic and Transport Engineering ICTTE*. Belgrade: SCIENTIFIC RESEARCH CENTER LTD BELGRADE, 2016, s. 634-641. ISBN 978-86-916153-3- 8. ISSN 978-86-916153-3- 8.
- (84) RUSS, John. Forensic uses of digital imaging. Second edition. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 978-1-4987-3307-6.
- (85) ZEMAN, Petr. Možnosti využití dat digitálního tachografu pro práci znalců. Brno, 2010. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Josef Libertín, CSc.
- (86) PTÁČEK, Petr a Aleš KAPLÁNEK. Přeprava nákladu v silniční nákladní dopravě. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4257-2.
- (87) SEMELA, Marek. Analýza silničních nehod II: e-learningový text. Druhé. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2014, 83 s. ISBN 978-80-214-5038-0.
- (88) Trestní zákoník. In: . Praha: Sbírka zákonů, 2009, ročník 2017, Zákon č. 40/2009 Sb.
- (89) Zákon o trestním řízení soudním (trestní řád). In: . Praha: Sbírka zákonů ČR, 1961, ročník 2017, Zákon č. 141/1961 Sb.
- (90) Zákon o odpovědnosti za přestupky a řízení o nich. In: . Praha: Sbírka zákonů, 2011, ročník 2012, 89/2012 Sb.
- (91) Občanský soudní řád. In: . Praha: Sbírka zákonů, 2017, ročník 2017, Zákon č. 99/1963 Sb.
- (92) VETEŠNÍK, Pavel, Luboš JEMELKA, Lukáš POTĚŠIL, Eva VETEŠNÍKOVÁ, Zuzana ADAMEOVÁ a Lukáš BOHUSLAV. Dopravní právo. V Praze: C.H. Beck, 2016. Praktická knihovna (C.H. Beck). ISBN 978-80-7400-409-4.
- (93) FRIEDEL, Daniel. Analýza doby příčného přemístění motocyklů. Brno, 2013. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Marek Semela, Ph.D.
- (94) ŠPLÍCHAL, David. Jízdní dynamika motocyklů. Brno, 2017. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Marek Semela, Ph.D.
- (95) DOLEŽAL, Kamil. Výpočtová analýza jízdního chování vozidla. Brno, 2016. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.
- (96) BLAŽÁK, Ondřej. Analýza měření jízdní dynamiky vozidel s využitím matematického modelování. Brno, 2010. Disertační práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Zdeněk Kaplan CSc.
- (97) KLEDUS, Robert, Marek SEMELA, Albert BRADÁČ a Aleš VÉMOLA. Inovovaná metodika zjišťování dohlednosti na chodce za viditelnosti snížené tmou [online]. Brno, 2015 [cit. 2016-02-27]. Dostupné z: [www.usi.cz](http://www.usi.cz). Certifikovaná metodika. Vysoké učení technické v Brně.
- (98) KLEDUS, Robert, Marek SEMELA, Albert BRADÁČ a Aleš VÉMOLA. Inovovaná metodika výuky autoškol - jízda za viditelnosti snížené tmou [online]. Brno, 2015 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: [www.usi.cz](http://www.usi.cz). Certifikovaná metodika. VUT v Brně.

- (99) NHTSA Vehicle Crash Test Database. National Highways Traffic Administration [online]. b.r. [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/database/veh/veh.htm>
- (100) Crash test service, Crashtest-Datenbank. CTS [online]. Münster: online, 2018 [cit. 2018-08-01]. Dostupné z: <https://www.crashtest-service.com/>
- (101) KUČEROVÁ, Helena. Zákon o silničním provozu s komentářem a judikaturou. 3. Praha: Leges, 2008. Komentátor. ISBN 978-80-7502-105-2.



## SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A ZKRATEK

$\mu$ [-]	součinitel adheze mezi pneumatikou a vozovkou
$\mu_y$ [-]	součinitel adheze v příčném směru
$a$ [ $m/s^2$ ]	zrychlení
ABS	antiblokovací systém vozidla
ADAC	autoklub mj. testující vozidla (SRN) <a href="http://www.adac.de">www.adac.de</a>
AIS	Abbreviated Injury Scale - škála hodnocení poranění
$a_N$ [ $m/s^2$ ];	zpomalení při náběhu brzd
Burg	metoda pro stanovení výběhových parametrů
CTS	Crash test service (Německo) <a href="https://www.crashtest-service.com/">https://www.crashtest-service.com/</a>
$C_{aP}$ [ $N/rad$ ]	směrová tuhost přední pneumatiky
$C_{aZ}$ [ $N/rad$ ]	směrová tuhost zadní pneumatiky
DEKRA	testování vozidel (SRN) <a href="https://www.dekratechnologycenter.de/">https://www.dekratechnologycenter.de/</a>
Delta V	metoda pro stanovení rozdílů rychlostí při rázech bez rotace
DRRHI	diagram rovnováhy rotačních hybností a impulsů
DSD	Dr. Steffan Datentechnik (Rakousko) <a href="http://www.dsd.at">www.dsd.at</a>
DTC	Dynamic test center (Švýcarsko) <a href="https://www.dtc-ag.ch/">https://www.dtc-ag.ch/</a>
$e$ [-]	součinitel restituace
$E_D$ [J]	deformační energie
EES [ $km/h$ ]	ekvivalentní energetická rychlost
Energetická metoda	metoda výpočtu výběhové rychlosti na bázi energie
Energetický prstenec	grafická metoda kontroly hybností a momentu hybností pomocí energie
ESP	systém jízdní stability
EVU	Evropská společnost pro výzkum a analýzu nehod <a href="http://www.evonline.org">www.evonline.org</a>
FEM	metoda konečných prvků (Finite Element Method)
$f_h$ [-]	součinitel blokování kol
$F_{yf}$ [N]	boční síla na přední nápravě
$F_{yr}$ [N]	boční síla na zadní nápravě
GAMBIT	Generalized Acceleration Model for Brain Injury Threshold,
GEV	kontrolní parametr rázu
HIC	Head Injury Criterion – kritérium pro hodnocení poranění hlavy
HPC	Head Performance Criterion - kritérium hodnocení poranění hlavy
$I$ [ $N.s$ ]	impuls rázu
IES	Ústav soudních expertíz (Polsko) <a href="http://ies.krakow.pl">ies.krakow.pl</a>
IIHS	Institut pojišťoven pro silniční bezpečnost (USA) <a href="http://www.iihs.org">www.iihs.org</a>
Impulz Expert	SW pro optimalizaci řešení 2D rázu vozidel (Šachl, Rábek)
$I_R$ [-]	převod řízení
ISS	Injury Severity Score - hodnocení závažnosti poranění na základě sumy maximálních poranění
ITAI	Společnost pro vyšetřování silničních nehod (Velká Británie) <a href="http://www.itai.org">www.itai.org</a>

$J_z$ [kg.m <sup>2</sup> ]	moment setrvačnosti vozidla (objektu) k ose z
$k$ [N/m]	tuhost
$L$ [m]	délka vozidla (objektu)
$m$ [kg]	hmotnost
Marquard	metoda pro stanovení výběhových parametrů
McHenry	metoda pro stanovení výběhových parametrů
MDRHI	modifikovaný diagram rovnováhy hybností a impulsů
$n$ [m]	rameno vektoru rázové síly k těžišti vozidla
$nat_x$ [°]	natočení vozidla vůči ose x
$nat_y$ [°]	natočení vozidla vůči ose y
$nat_z$ [°]	natočení vozidla vůči ose z
NHTSA	Národní úřad pro bezpečnost v dopravě (USA) <a href="http://www.nhtsa.gov">www.nhtsa.gov</a>
PC-CRASH	simulační SW pro analýzu silničních nehod (Rakousko) <a href="http://www.dsd.at">www.dsd.at</a>
PP [m]	přední převis vozidla (objektu)
Průnik pásem	početně grafická metoda pro řešení střetů bez rotace
$r$ [m]	poloměr oblouku
$R_{CH}$ [m]	rozchod nápravy, rozchod nápravy
$R_V$ [m]	rozvor nápravy, rozvor nápravy
RWD	software pro modelování pohybu a střetu vozidel (Polsko)
SAE	Společnost automobilních inženýrů (USA) <a href="http://www.sae.org">www.sae.org</a>
StifCalcs	SW nástroj od firmy 4N6XPRT pro hodnocení deformačního chování vozidel z nárazových zkoušek
$\check{S}$ [m]	šířka vozidla (objektu)
$t$ [s]	čas
$T-BR$ [m]	vzdálenost těžiště od bodu rázu
$t_N$ [s]	doba náběhu brzd
$T-PN$ [m]	vzdálenost těžiště vozidla (objektu) od přední nápravy
$t_R$ [s]	reakční doba
$T-ZN$ [m]	poloha těžiště od zadní nápravy
$v$ [m/s]	rychlost
$V$ [m]	výška vozidla (objektu)
$v_0$ [m/s]	rychlost v předchozím časovém kroku
Virtual CRASH	simulační SW pro analýzu silničních nehod (Slovensko)
$v_K$ [m/s]	rychlost na konci kalkulovaného pohybu
$v_{ni}$ [°]	směr vektoru rychlosti vůči podélné ose vozidla (objektu)
$v_{nz}$ [°]	směr vektoru rychlosti vozidla (objektu) v ose z
WAD	Whiplash Associated Disorder - hodnocení poranění krční páteře
$w_R$ [-]	součinitel odporu proti rotaci
WREX	World Reconstruction Exposition (USA)
$x_{BR}$ [m]	souřadnice bodu rázu v ose x
$x_T$ [m]	souřadnice těžiště vozidla (objektu) v ose x

$y_{BR}$ [m]	souřadnice bodu rázu v ose y
$y_T$ [m]	souřadnice těžiště vozidla (objektu) v ose y
$z_{BR}$ [m]	souřadnice bodu rázu v ose z
$z_T$ [m]	souřadnice těžiště vozidla (objektu) v ose z
ZZH+ZZE	kombinace zákona zachování hybnosti a energie pro početní řešení rázu
$\alpha$ [°]	směr pohybu vozidla před rázem
$\alpha'$ [°]	směr pohybu vozidla po rázu
$\alpha_k$ [°]	směrová úchylka pneumatiky
$\beta_V$ [°]	natočení volantu
$\gamma$ [°]	horizontální natočení roviny rázu
$\Gamma$ [°]	vertikální natočení roviny rázu
$\delta$ [-]	tření v rázu
$\Delta t$ [s]	předdefinovaný časový krok
$\varphi$ [°]	úhel pootočení objektu během pohybu
$\omega_K$ [rad/s]	úhlová rychlost na konci kalkulovaného pohybu
$\omega_x$ [rad/s]	úhlová rychlost vozidla (objektu) v ose x
$\omega_y$ [rad/s]	úhlová rychlost vozidla (objektu) v ose y
$\omega_z$ [rad/s]	úhlová rychlost vozidla (objektu) v ose z

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Schéma systémové metodologie (2).....	15
Systém veličin, vytvořeno autorem dle (72).....	23
Hypersoustava dopravní nehody s dílčími soustavami (autor) .....	34
Struktura řešení problémové situace (2), str. 88 .....	35
Systém podstatných veličin (76), strana 101 .....	37
Tok informací ve znalecké činnosti (76) .....	86
Střet tří vozidel s vyznačením stop a konečných poloh, geodeticky zaměřený polygon včetně příkopu s vyznačením konečné polohy vozidla 1 (autor) .....	91
Charakter pohybu vozidla 2 – průběh pravotočivé rotace do konečné polohy (autor).....	94
Průběh rotace vozidla 1 mezi nárazy dle zanechaných stop – přiřazení stop jednotlivým pneumatikám – mentální modelování (autor) .....	95
Smykové a dřecí stopy zadních kol vozidla 2, další stopy po rotaci (policie).....	96
Detail a spojení smykových stop zadních kol a zadní části vozidla 2 (policie) .....	96
Navazující smykové a rycí stopy vozidla 2 a jeho konečná poloha (policie).....	96
Počátek a průběh smykových stop vozidla 1 (policie).....	97
Průběh stop vozidla 1 pod vozidlo 3 a poškození vozidla 3, vlevo v poli vozidlo 1 (policie) .....	97
Stopy vozidla 1, jeho konečná poloha a oblast střetu s vozidlem 3 po jeho odstavení (autor).....	98
Poškození vozidla 2 po nehodě při prohlídce znalcem (autor).....	98
Poškození vozidla 1 po střetu s vozidlem 2 (autor) .....	99
Poškození vozidla 1 po střetu s vozidlem 3 a poškození vozidla 3 (autor a policie) .....	99
Střetová poloha v místě střetu vozidel 1 a 2 (vlevo) a vozidel 1 a 3 (vpravo) - (autor).....	99
Jedno z přijatelných řešení s užitím simulačního výpočtového modelování (autor).....	104
Význačné polohy vozidel 1 a 2 před střetem vč. signální pozice v čase 2 sekundy (autor).....	106
Orientace roviny rázu se skluzem při kontaktu vozidla se svodidlem, nesprávná orientace roviny rázu a vysoké tření v rázu při modelování pomocí více částí svodidel nárazem roh s následným ovlivněním pohybu (autor) .....	117
Orientace roviny rázu se skluzem při kontaktu vozidla se svodidlem, správná orientace roviny rázu, velikost tření i restituace při modelování pomocí jedné části svodidel (autor) .....	117
Pohled na přední část nákladního vozidla (policie) .....	118
Plasty z pravého předního rohu NA, jízdní kolo a poloha těla u vzdálenějšího kužele (policie)....	119
Nesprávný plánec policie a geodetické zaměření znalcem.....	120
Porovnání plánu policie a geodetického zaměření znalcem.....	120

## SEZNAM TABULEK

Atributy systémového přístupu (72) s vysvětlením autorem této práce .....	17
Podmnožiny systému podstatných veličin (72).....	23
Systém podstatných veličin modelování vybraných problémů typu pohyb (autor) .....	45
Systém podstatných veličin nepřímého modelování vybraných problémů typu ráz (autor) .....	49
Odrazy zásad systémového přístupu do znaleckého posudku analýzy silniční nehody, zpracováno dle (72) .....	87

## SEZNAM SOUVISEJÍCÍCH PUBLIKACÍ AUTORA

KŘIŽÁK, M.; BRADÁČ, A.; SEMELA, M.; MIKULEC, R. Restrictions of Using Speedometer Readings for Determining Vehicle Collision Speed. In *Road and Rail Infrastructure V, Proceedings of the Conference CETRA 2018*. Zagreb: Department of Transportation, Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, 2018. s. 1659-1664. ISBN: 978-953-8168-25-3.

STÁŇA, I.; BUCSUHÁZY, K.; SEMELA, M.; JÍLEK, T.; BURIAN, F.; SVOZILOVÁ, V.; VALLOVÁ, O. Subjektivní vnímání bezpečnostní vzdálenosti. In *Expert Forensic Science 2018*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Purkyňova 464/118, 612 00 Brno, 2018. s. 225-232. ISBN: 978-80-214-5600-6.

SEMELA, M.; PANČÍK, J.; VÉMOLA, A.; KLEDUS, R.; BRADÁČ, A. Auto recalls and software quality in the automotive sector. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, 2018, roč. 5, č. 17, s. 1-8. ISSN: 2032-9407.

MIKULEC, R.; TOKAŘ, S.; SEMELA, M. Case study of vehicle side crashes with trams. In *Proceedings of the 5th International Conference on Road and Rail Infrastructures - CETRA 2018. Road and Rail Infrastructure V*. Zagreb: Department of Transportation, Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, 2018. s. 1393-1399. ISBN: 978-953-8168-25-3. ISSN: 1848-9850.

BUCSUHÁZY, K.; STÁŇA, I.; SEMELA, M.; SVOZILOVÁ, V.; VALLOVÁ, O. Analysis of selected types of advertisement influencing the driver's visual attention in real road traffic. In *Proceedings of the 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure - CETRA 2018. Road and Rail Infrastructure V*. Zagreb: Department of Transportation University of Zagreb, 2018. s. 1083-1088. ISBN: 978-953-8168-25-3. ISSN: 1848-9850.

BILÍK, M.; TOKAŘ, S. et al. Parametry zderzenia - wyniki z testów zderzeniowych najnowszych modeli samochodu Škoda. *Paragraf na drodze*, 2017, roč. 19, č. numer specjalny, s. 7-21. ISSN: 1505-3520.

BUCSUHÁZY, K.; SEMELA, M. Case Study: Reaction Time of Children According to Age. *Procedia Engineering*, 2017, roč. 187, č. C, s. 408-413. ISSN: 1877-7058.

BUCSUHÁZY, K.; SVOZILOVÁ, V.; STÁŇA, I.; VALLOVÁ, O.; SEMELA, M.; JÍLEK, T.; BURIAN, F. Analysis of selected distracting factors influencing motoric component of reaction time using electromyography. In *INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRAFFIC DEVELOPMENT, LOGISTICS & SUSTAINABLE TRANSPORT*. Croatia: 2017. s. 41-50. ISBN: 978-953-243-090-5.

BILÍK, M.; SEMELA, M.; BRADÁČ, A.; KLEDUS, R.; BELÁK, M.; MAXERA, P.; STÁŇA, I.; BUCSUHÁZY, K.; VÉMOLA, A. *Noční nehoda trolejbusu a chodce*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilíně, 2017.

SEMELA, M.; COUFAL, T. Determination of Selected Crash Parameters in Head- on Vehicle Collision with Rollover. *PROMET- Traffic & Transportation*, 2016, roč. 28, č. 1, s. 81-89. ISSN: 0353-5320.

BUCSUHÁZY, K.; SVOZILOVÁ, V.; VALLOVÁ, O.; SEMELA, M.; SEKORA, J.; BELÁK, M.; MAXERA, P.; KLEDUS, R. Analysis of driver reaction time using the acquisition of biosignals. In *International Conference on Traffic and Transport Engineering ICTTE, November 24 - 25, 2016*. Belgrade, Serbia: City Net Scientific Research Center Ltd., 2016. s. 68-74. ISBN: 978-86-916153-3- 8.

PANÁČEK, V.; SEMELA, M.; ADAMEC, V.; SCHÜLLEROVÁ, B. Impact of Usable Coefficient of Adhesion between Tyre and Road Surface by Modern Vehicle on its Dynamics while Driving and Braking in the Curve. *TRANSPORT*, 2016, roč. 31, č. 2, s. 142-146. ISSN: 1648-3480.

SEMELA, M.; KLEDUS, R.; KUHVROVÁ, K.; LORENCOVÁ, M.; JANÍČEK, P. Systems approach to limit states in assessment of buildings. In *Conference proceedings, Book 5, Volume III. International multidisciplinary geoconference SGEM*. 1. Sofia (Bulgaria): STEF92 Technology Ltd., Sofia, Bulgaria, 2016. s. 593-604. ISBN: 978-619-7105-67- 4. ISSN: 1314-2704.

PROHAZKA, D.; BILÍK, M.; PROHAZKOVÁ, P.; BRADA, M.; KLUS, J.; POŘÍZKA, P.; NOVOTNÝ, J.; NOVOTNÝ, K.; TICOVÁ, B.; BRADÁČ, A.; SEMELA, M.; KAISER, J. Detection of visually unrecognizable braking tracks using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, a feasibility study. *Spectrochimica Acta Part B*, 2016, č. 118, s. 90-97. ISSN: 0584-8547.

ADAMEC, V.; SCHÜLLEROVÁ, B.; ADAM, V.; SEMELA, M. Issues of Hazardous Materials Transport and Possibilities of Safety Measures in the Concept of Smart Cities (extended version). *EAI Endored Transactions on Smart Cities*, 2016, roč. 1/ 2016, č. 1, s. 1-8. ISSN: 2518-3893.

MAXERA, P.; BELÁK, M.; KLEDUS, R.; SEMELA, M.; BUCSUHÁZY, K.; SVOZILOVÁ, V. Analysis of Drivers Conduct while Driving over Three Different Pedestrian Crossings by Using Eyetracking Method. In *International Conference on Traffic and Transport Engineering ICTTE, Novembre 24 - 25, 2016*. 1. Belgrade, Serbia: City Net Scientific Research Center Ltd., 2016. s. 1081-1091. ISBN: 978-86-916153-3- 8.

TOKAŘ, S.; SEMELA, M.; BILÍK, M.; BRADÁČ, A. Comparison of selected impact parameters by side vehicle crash tests with copmputational software results. In *International Conference on Traffic and Transport Engineering ICTTE*. Belgrade, SERBIA: SCIENTIFIC RESEARCH CENTER LTD BELGRADE, 2016. s. 634-641. ISBN: 978-86-916153-3- 8.

BRADÁČ, A.; SEMELA, M.; BILÍK, M.; KLEDUS, R.; SUMEC, S.; ŠKODA, J. Comparison of Halogen and Xenon Headlamps in Terms of Pedestrians' Visibility. In *Proceedings of the 21st*

*International Conference LIGHT SVĚTLO 2015*. first. Brno, Czech Republic: Brno University of Technology, 2015. s. 133-137. ISBN: 978-80-214-5244- 2.

SEMELA, M.; PANÁČEK, V.; VÉMOLA, A. Parametry dynamiki ruchu samochodów wyposażonych w system ESP w określonych manewrach. *Paragraf na drodze*, 2015, roč. 1, č. 1, s. 297-310. ISSN: 1505- 3520.

KUNOVSKÝ, M.; SEMELA, M.; SVOZIL, M. Analysis of dynamic movement of vehicle body and its effects to vehicle crew using monitoring and measuring system. In *Proceedings of International Scientific Conference "MODERN SAFETY TECHNOLOGIES IN TRANSPORTATION - MOSATT 2015"*. *Proceedings of International Scientific Conference Modern Safety Technologies in Transportation - MOSATT*. 1st edition. Kosice, Slovakia: PERPETIS, s.r.o., 2015. s. 113-118. ISBN: 978-80-971432-2- 0. ISSN: 1338- 5232.

MAXERA, P.; KLEDUS, R.; SEMELA, M. Analysis of Drivers' Conduct while Driving over Pedestrian Crossing by Using Eyetracking Method. In *Proceedings of International Scientific Conference "MODERN SAFETY TECHNOLOGIES IN TRANSPORTATION - MOSATT 2015"*. *Proceedings of International Scientific Conference Modern Safety Technologies in Transportation - MOSATT*. 1st edition. Kosice, Slovakia: PERPETIS, s.r.o., 2015. s. 140-146. ISBN: 978-80-971432-2- 0. ISSN: 1338- 5232.

PROHAZKA, D.; KAISER, J.; BILÍK, M.; PROHAZKOVÁ, P.; KLUS, J.; POŘÍZKA, P.; NOVOTNÝ, J.; NOVOTNÝ, K.; BRADÁČ, A.; SEMELA, M. Detection of tire tread particles using laser-induced breakdown spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part B*, 2015, roč. 108, č. 1, s. 1-7. ISSN: 0584-8547.

SEMELA, M.; COUFAL, T. Research of Impact Parameters for Traffic Accident Analysis in Case of Small Overlap Crash Test. *2nd Annual International Conference on Forensic Science - Criminalistics Research*, 2014, roč. 2, č. 1, s. 1-9. ISSN: 2382- 5642.

KLEDUS, R.; SEMELA, M.; MAXERA, P.; KUNOVSKÝ, M. Analysis Of Drivers Conduct While Driving Over Modern Pedestrian Crossings. In *Proceedings 22nd Annual Congress Firenze 2013*. Florence: EVU Italia, 2013. s. 107-117. ISBN: 978-88-903072-7- 0.

KLEDUS, R.; SEMELA, M.; BRADÁČ, A. Experimental Research on the differences in a driver' s perception of objects from stationary and moving vehicles. *International Journal of Forensic Engineering*, 2012, roč. 1, č. 2, s. 167-182. ISSN: 1744- 9944.

KLEDUS, R.; BRADÁČ, A.; SEMELA, M.; CUPAL, M. Experimental research of differences in driver' s perception of objects from the stationary and moving vehicles. In *13. EAEC 2011 European Automotive Congress 13. - 16. 6. 2011 (Valencia) - Programme and proceedings (DVD-ROM)*. EAEC. Valencia (Španělsko): EAEC 2011, 2011. s. 1-11. ISBN: 978-84-615-1794- 7.