

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**TECHNICKÁ FAKULTA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Michal Kuhn**

**2011**

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**TECHNICKÁ FAKULTA**

**Katedra vozidel a pozemní dopravy**

**Soudní znaleství v dopravní nehodovosti**

Bakalářská práce

**Michal Kuhn**

Studijní obor: Silniční a městská automobilová doprava

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.

PRAHA 2011

## **Zadání Bakalářské práce:**

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Akademický rok 2009/2010

### **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**Michal Kuhn**

obor Silniční a městská automobilová doprava

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze  
čl. 16 určuje tuto bakalářskou práci.

Název práce: **Soudní znaleství v dopravní nehodovosti**

#### **Osnova bakalářské práce:**

1. Úvod
  2. Soudní inženýrství v dopravní nehodovosti
  3. Cíl práce a metodika
  4. Analýza dopravních nehod
  5. Trendy v soudním inženýrství
  6. Závěr
  7. Seznam literatury
  8. Přílohy
-

Rozsah hlavní textové části: 30 - 40 stran


Doporučené zdroje:

1. VUT-ÚSI Brno 1987 - Soudní inženýrství
2. VUT-ÚSI Brno 1985 - Příručka znalce analytika silničních nehod I. a II.
3. Ing. Gustáv Kasanický, CSc, 1996 - Súčasně a perspektívne možnosti analýzy dopravných nehod
4. MS.ČR 1990 - Znalecký standard č. II, MS.ČR 1991 - Znalecký standard č. III, MS.ČR 1991 - Znalecký standard č. IV, MS.ČR 1992 - Znalecký standard č. V
5. VUT-ÚSI Brno 1982 - Učební texty předmětů postgraduálního studia technického znalectví
6. Pavol Kohút, Gustáv Kasanický 2000 - Analýza nehod jednostopových vozidel
7. HOYLE, D. Automotive quality systems handbook. 2. vydání. Amsterdam: Elsevier Butterworth Heinemann, 2005. 709 s. ISBN 0-7506-6663-3

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011

  
.....  
Vedoucí katedry



  
.....  
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

---

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem **Soudní znalectví v dopravní nehodovosti** vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v příloženém seznamu

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

V Praze dne 5.4.2011

.....

podpis

## **Poděkování:**

Mé poděkování patří zejména mému vedoucímu práce, kterým byl pan Doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc. Děkuji mu za obětavé a pečlivé vedení při realizaci bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat všem pedagogům fakulty za dobrou výuku, své rodině za trpělivost a svým kolegům za zajímavé studijní zážitky.

## **Soudní znalectví v dopravní nehodovosti**

**Abstrakt:** Tato Bakalářská práce se zabývá problematikou a postupem řešení dopravních nehod, zevrubným rozbořem analýz dopravních nehod a jejich použitím a uplatněním v současné moderní době. Jsou zde popsány náležitosti k této činnosti a formát zapisování výsledných dat. Zcela patrně zde převažuje technická analýza, ze které je nutno v dnešní době vycházet.

**Klíčová slova:** Soudní inženýrství, znalec, střet, dopravní nehoda, soudní posudek.

## **Forensic expertising in traffic accident rate**

**Summary:** The Bachelor thesis is concerned with questions relating to procedures which are applied to dealing with traffic accidents. It also contains analyses of accidents and their application in modern nowadays. There is a detailed description of all qualifications needed for expert's job and also process for recording observed facts. Technical analysis markedly predominates over the rest of analyses and it's base for forensic engineering.

**Key words:** Forensic engineering, officially appointed expert, collision, traffic accident, legal opinion.

## **Obsah:**

strana

<b>Úvod</b> .....	1
<b>1. Soudní inženýrství v dopravní nehodovosti</b> .....	4
<b>2. Cíl práce a metodika</b> .....	6
<b>3. Analýza dopravních nehod</b> .....	7
<b>3.1. Aplikace základních principů fyziky a mechaniky ve znalecké praxi</b> ....	9
3.1.1. Základní veličiny.....	9
3.1.2. Doplnující jednotky.....	10
3.1.3. Tření.....	11
3.1.4. Zpomalení vozidla.....	12
3.1.5. Výpočet rychlosti vozidla ze zanechaných stop.....	12
3.1.6. Vliv boční adheze na výpočet.....	13
3.1.7. Rychlost přiměřená dohledu.....	13
3.1.8. Maximální rychlost v oblouku.....	14
3.1.9. Určování nárazové rychlosti.....	15
<b>3.2. Metody analýzy dopravních nehod</b> .....	17
3.2.1. Střet vozidla s vozidlem nebo pevnou překážkou.....	17
3.2.1.1. Metoda zpětného výpočtu.....	18
3.2.1.2. Metoda dopředného výpočtu.....	19
3.2.1.3. Metoda EES.....	19
3.2.2. Střet vozidla s chodcem.....	20
3.2.2.1. Kinematika a dynamika nehod s chodci.....	22



<b>4. Trendy v soudním inženýrství .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. Využití výpočetní techniky při analýze dopravních nehod .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.1. PC – CRASH .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1.2. KOLIZIE .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1.3. Virtual – Crash .....</b>	<b>31</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>33</b>
<b>Seznam literatury .....</b>	<b>35</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>37</b>

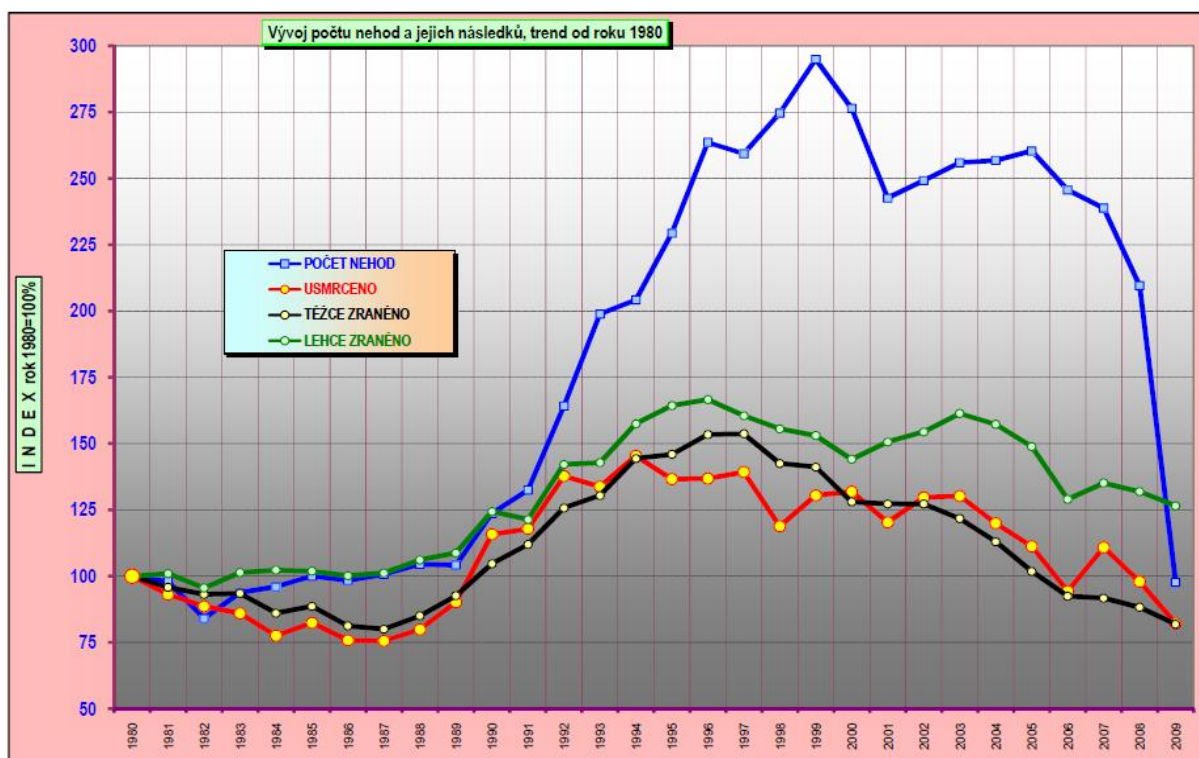
## Úvod

Soudní inženýrství je obsáhlá disciplína, která zasahuje do většiny odvětví např. strojírenství, zemědělství, ekonomiky, zdravotnictví atd. V podstatě jedna z nejjednodušších definic soudního inženýrství, zní takto: „Úřední objasňování příčin negativních technických jevů pro řízení před státními orgány.“

Pro bližší procitnutí uveďme příklad na jednom z výše jmenovaných odvětví např. lékařství. Tam tuto roli zastává patologie. Zjednodušeně řečeno zkoumá všechny abnormality, které jsou v rozporu s řádnou funkcí těla. To znamená, je-li pochybnost o skutečné příčině smrti, provede se soudní pitva a tu musí provádět úřední znalec – v našem případě soudní lékař. A obdobně je tomu i v technice.

Potřeba odborného znaleckého dokazování vyvstala až s rozvojem vědy a techniky na přelomu 18. a 19. století. Pokusy o zapojení „Znalé osoby“ se datují už od doby 16.století - v době inkvizice. Tyto osoby byly však přibírány pouze k ohledání. Při zkoumání vývoje soudního znalectví je také nutno neopomenout další důležitá data jako např. 1787 - první zjištělý seznam znalců, 1873 - uzákonění znaleckého posudku jako samostatného druhu soudního důkazu.

Přestože motorismus a jeho vývoj změnil tvář naší planety, v současné době se spíše zkoumají jeho negativní dopady. Na základě tohoto zkoumání vznikají různorodé statistiky. Jedna z nich například dokládá, že se od roku 1980 mnohonásobně zvýšil počet nehod a s nimi spojené následky.



Obrázek č. 1 ( [www.policie.cz](http://www.policie.cz) )

Na vývoj technologií pro pasivní a aktivní bezpečnost, které by předešly dopravním nehodám a jejich následkům jsou věnovány velké finanční investice. Nutno však dodat, že procento dopravních nehod v posledních letech i přesto vzrostlo. Samozřejmě je to dáno i zvýšením počtu vozidel v provozu. S růstem dopravních nehod rostou i nároky na odbornou způsobilost osob, které tyto nehody vyšetřují. Taktéž je nutné si uvědomit, že se zvyšuje komplikovanost nehod a rizika kriminální činnosti s nimi spojené. Kriminální činnost je zapříčiněna zvyšujícími se cenami motorových vozidel, náhradních dílů a nákladů na jejich opravu. Vystala nutnost zainteresování třetí osoby – osoby znalé. Osoby, která odborně, objektivně a nezáujatě prošetří vzniklou situaci.

Soudní inženýrství v dopravní nehodovosti je poměrně nový obor, který byl založen s rozvojem motorismu pro zvýšení bezpečnosti silničního provozu. Zkoumá příčinu, průběh a důsledek dopravních nehod. Dalo by se i říci, že se jedná o vědní obor. Znalec v oboru dopravy vychází z konkrétního fyzikálního děje. Každá nehoda je důsledkem působení sil, které mají definované směry a velikosti. Znalec, aby našel řešení a meze ve kterých mohla nehoda probíhat, musí brát v úvahu zanechané stopy, rozsah a způsob poškození, polohu jednotlivých předmětů, rozsah a způsob deformací, případně i rozsah a způsob zranění.

Dále nesmíme zapomínat na eliminování různých sil působících v určitý okamžik a určitým směrem na účastníky dopravní nehody. Bez důkladné technické analýzy není možné komplexně analyzovat dopravní nehodu a ani správně určit opatření pro zpětnou vazbu na snížení počtu dopravních nehod a jejich následků.

Z tohoto všeho lze usuzovat, že znalec musí vycházet nejen z mechaniky, dynamiky, matematiky, fyziky, nauce o materiálech a mnoha jiných oborů, ale i z oborů environmentálních a ekonomických. Je také důležité mít osvojené logické myšlení a důvtip. A v neposlední řadě dostatek zkušeností. Je nutné neustále porovnávat všechna nasbíraná data s technickými možnostmi, které se v dnešní době ze dne na den mění v důsledku technologického rozvoje a také je nutné k vypracování seriózního znaleckého posudku, aby znalec rozpoznal rozdíly mezi informacemi subjektivními a informacemi objektivními.

Samozřejmě i tento obor, jako množství jiných oborů, prošel určitou modernizací a to hlavně použitím sofistikovaných výpočetních programů. K tomu se dostaneme v dalších podkapitolách.

Zakladatel vědeckého pojetí soudního inženýrství u nás, Ing. Jiří Smrček, definoval obor „Soudní inženýrství“ takto: „Soudní inženýrství se zabývá zkoumáním příčin, průběhu a důsledků negativních technických jevů všech oborů. Jejím významným použitím v rámci hledání materiální pravdy je objasňování těchto jevů pro účely řízení před státními orgány zejména v řízení trestním a občanskoprávním, arbitrážním, případně i pro potřeby správních orgánů.“ ( Ing. Smrček Jiří. *Základy soudního inženýrství.* ) Níže si všechny tyto složky soudního znalectví vysvětlíme.

## **1. Soudní inženýrství v dopravní nehodovosti**

Znalecká činnost se dělí na množství oborů. Znalec může být jmenován ve více oborech zároveň. Obory se dále dělí na odvětví a specializaci. Znalec, který se chce zabývat komplexními rozbory vzniku, průběhu a příčin dopravních nehod pro účely občansko-právního a trestního řízení. Musí být jmenován v oboru dopravy, odvětví silniční a městská doprava a se specializací posuzování příčin silničních nehod. Znalec nejen v oboru dopravy je osoba se speciálními odbornými znalostmi. Znalec musí před ustanovením do funkce mít české státní občanství, v současné době vlastnit diplom z vysoké školy. Následuje doložení praxe v daném oboru, které v dřívější době stačilo. Tyto tři dokumenty spolu se žádostí o jmenování musí uchazeč dále předložit příslušným orgánům. Návrhy na jmenování mohou podat i státní orgány, vědecké instituce, vysoké školy, dále organizace, v kterých pracují osoby přicházející v úvahu. Znalce jmenuje ministr spravedlnosti, ale zpravidla tím pověřuje krajský soud v místě bydliště znalce. Prověřuje se morálně politický profil a vyžaduje se výpis z rejstříku trestů. Splní-li uchazeč požadované podmínky a je-li v daném místě potřeba znalců, nastává vlastní jmenování a to složením slibu a převzetím jmenovací listiny. ( Doc. Ing. Bradáč Albert, CSc. *Soudní inženýrství.* ) Znalecký slib se skládá tomu, kdo znalce jmenuje a zní takto: „ Slibuji, že při svém znalecké činnosti budu přesně dodržovat právní předpisy, že znaleckou činnost budu konat nestranně podle svého nejlepšího vědomí, že budu plně využívat všech svých znalostí, a že zachovám mlčenlivost o skutečnostech, o nichž jsem se při výkonu znalecké činnosti dozvěděl “. ( Doc. Ing. Bradáč Albert, CSc. *Soudní inženýrství.* )

Složení slibu potvrdí znalec svým podpisem v knize slibů. Po tomto důležitém administrativním kroku obdrží znalecký deník a potvrzení opravňující k objednávce a převzetí znalecké pečeti. Následuje pouze zapsání do seznamu znalců. Nyní může soudní znalec oficiálně vykonávat svou znaleckou činnost před státními orgány, též orgány na které přešly úkoly státních orgánů a samozřejmě i znaleckou činnost v souvislosti s právními úkony občanů nebo organizací. Ovšem i v průběhu jeho profesní činnosti probíhá každoročně zvyšování kvalifikace formou seminářů, symposií a konferencí, při rozsáhlejších změnách pak krátkodobými kurzy.

Povinnost znalce je řádný výkon jeho činnosti a to ve stanovené lhůtě. Dále je povinen vykonávat svoji činnost osobně. Znamená to, že nemůže část práce svěřit k provedení další osobě. Výjimkou jsou některé práce přípravné, které nemusí znalec vykonávat osobně, a je možné přibrání konzultanta k posuzování zvláštních dílčích otázek. O možnosti přibrání konzultanta je však třeba předem požádat státní orgán, který znalce pro podání posudku ustanovil. Do posudku znalec uvede důvody přibrání konzultanta, přičemž však znalec nese odpovědnost za celý posudek, včetně konzultované části.

Znalecký posudek je v řízení před soudem, státním notářstvím, vyšetřovatelem, prokurátorem a ostatními státními orgány, brán jako důkazní prostředek k poznání skutečnosti.

Znalecký posudek:

- Je jedním z důkazních prostředků a není ostatním důkazům nadřazený.
- Slouží k tomu, aby byla objasněna důležitá okolnost s použitím zvláštních odborných znalostí.
- Je hodnocen ve smyslu obecné procesní zásady platné pro hodnocení důkazů a je proto vyvratitelný.

( Doc. Ing. Bradáč Albert, CSc. *Příručka znalce – Analytika silničních nehod.* )

Znalec je povinen podat posudek, pokud není vyloučen z důvodů podjatosti. Pokud by znalec vypracování bezdůvodně odmítl, sdělí státní orgán tuto skutečnost krajskému soudu, v jehož obvodu je znalec zapsán.

Pro odvolání znalce a jeho vyškrtnutí zákon stanovil pět možných důvodů:

- Dodatečně se ukáže, že nebyly splněny všechny podmínky jmenování nebo tyto podmínky odpadly.
- Nastane skutečnost pro kterou nemůže znalec svou činnost nadále vykonávat.
- Znalec i přes výstrahu neplní nebo porušuje své povinnosti.
- Organizace, u které je znalec zaměstnán, prokáže, že znalci tato činnost brání v řádném výkonu pracovních povinností.
- Žádost znalce o odvolání.

O odvolání z funkce rozhoduje stejný orgán, který znalce jmenoval.

( Doc. Ing. Bradáč Albert, CSc. *Příručka znalce – Analytika silničních nehod.* Ostrava.)

## **2. Cíl a metodika**

Cílem této práce je provést rešerši současných způsobů vyhodnocení dopravních nehod a provést vlastní analýzu jednotlivých používaných postupů při řešení dopravních nehod a zevrubné řešení její problematiky.

Metodika vypracování:

- Náhled do náležitostí soudního inženýrství.
- Shrnutí základních souvislostí fyziky a mechaniky s touto činností.
- Rozdělení, užití a možná problematik používaných metod analýzy dopravních nehod.
- Možnosti využití výpočetní techniky.
- Možný vývoj spojený s touto činností.
- Závěrečné shrnutí zde popsané tematiky.

### **3. Analýza dopravních nehod**

Postup při analýze dopravní nehody je přibližně následující. V první řadě je nutno vzít v úvahu, že každá nehoda je svým charakterem specifická, tudíž na ni nelze použít žádnou obecnou šablonu postupu.

Na začátku znalecké práce obdrží znalec spis, ve kterém je obsažen záznam o dopravní nehodě, protokol, plánek a fotografie. V těchto dokumentech je obsaženo, kdy a kde k nehodě došlo, kdy se dostavila policie a co na místě zjistili. V těchto záznamech vytvořených Policií ČR jsou zaprotokolovány výpovědi zúčastněných osob a osob svědčících o nehodě. U plánu se musí zkontrolovat uvedené měřítko a zdali odpovídají v něm zakreslené skutečnosti. Je též nutné si zkontrolovat, zda vyznačené stopy vzhledem k typu vozu zúčastněného, v právě šetřené nehodě, mohly být jím zanechány. Předložené stopy může znalec posoudit např. podle toho, zda je jejich šířka v souladu s rozchodem, rozvorem a šířkou pneumatik předmětného vozu. A zdali je vůbec možné, aby mohly být v daném rozsahu zanechány. Pokud se vyskytne určitá pochybnost, je nutné vše přeměřit, nebo stopy nepoužívat jako jediný podklad pro analýzu. Nejdůležitějším podkladem, spadajícím do objektivních informací, jsou fotografické snímky. Můžeme podle nich doplnit polohy důležitých předmětů a bodů.

Všechny tři výše uvedené podklady si musí znalec navzájem porovnat. Souhlasí-li údaje z těchto podkladů a vzájemně si odpovídají, získává znalec použitelné technické podklady, ze kterých při zpracování posudku může vycházet. Zjistí-li během podrobnějšího přezkoumání předložených podkladů sebemenší nedostatky, je nutné, aby osobně navštívil místo dopravní nehody a získal potřebné informace, nebo je nechal zadavatelem doplnit. Pokud však zjistí jakýkoliv rozdíl, nesmí provádět žádné změny na předložených podkladech bez vědomí zadavatele posudku. Pouze tento orgán může provést doplňky a změny. Pokud se jedná například o zhlédnutí vozidel a následné upřesnění rozsahu deformací, které z fotografie nejsou dobře patrné, nebo si chce znalec ověřit stav vozovky a jiných pevných předmětů, není nutné, aby volal vyšetřovatele. Zjistí-li však, že fotografické snímky nebyly provedeny správným postupem - například nebyly zachovány kolmé osy k fotografovaným předmětům nebo byly špatně zaznamenané rozměry deformací, musí z důvodu zkreslení žádat o nové zhotovení fotodokumentace.



Dále je tu možnost provádět i „ vyšetřovací pokus “ z popudu znalce, nebo orgánů činných v trestním nebo správním řízení, i opakované předvolání a výslechy svědků. Po doplnění podkladů, které jsou důležitou součástí analýzy, kterou znalec přispívá k hledání materiální pravdy, se znalec konečně dostává do fáze zpracování vlastního znaleckého posudku. ( Ústav soudního inženýrství v Brně. *Učební texty vybraných předmětů.* )

První a velice podstatnou částí znaleckého posudku je nález. Nález je požadován na základě ustanovením § 13 vyhlášky č. 37/67 Sb.. Je to systematické shrnutí obsahu spisu, především z technického hlediska. Na tyto údaje se posléze v soudním posudku navazuje. V dalším obsahu nálezu jsou uváděny výpovědi, z nichž se uvádějí pouze důležité okolnosti z technického hlediska nebo důležitá fakta, spojená bezprostředně s dopravní nehodou.

Jako první se vždy uvádí výpověď obviněného, nebo obžalovaného. Poté následují výpovědi ostatních účastníků nehody nebo svědků. Je zde použit určitý kodex. V posudku je žádoucí používat vždy jména, nikoliv označení obviněný nebo obžalovaný. Otázku právního posouzení řeší soud. Zde je nutné podotknout, že znalec za žádných okolností nesmí budovat svůj technický posudek na svědeckých výpovědích. Tyto údaje jsou pouze informační. Člověk většinou v těchto situacích nedokáže vnímat všechny aspekty. „V kritických situacích řidič spotřebuje veškerou energii na saturování nejdůležitějších vjemů a jednání např. jen zrak spotřebuje 25%.“ Teprve po nehodě dokáže dodatečně vydedukovat, jak k ní pravděpodobně došlo a na základě svých znalostí a zkušeností teprve reprodukuje celý děj, tak jak se mu postupně vybavuje. V nálezu se tedy uvádí vše důležité ze spisu a dalších skutečností, zjištěných ohledáním, vyšetřovacím pokusem, rekognoskací apod. Mohou se k němu připojit i lékařské zprávy a posudky k objasnění sil působících na tělo.

Ve vlastním posudku bude popsán celý postup analýzy průběhu dopravní nehody podložený příslušnými výpočty. Do výpočtů se musí zahrnout všechny aspekty dopravní nehody a vzít v úvahu všechny zajištěné důkazy. Zde musí znalec podle svých znalostí a zkušeností usoudit, kterou z metod řešení použije, aby se dobral k prokazatelně správným a přezkoumatelným závěrům. Je nutné, aby se při výpočtu nezanedbaly všechny z technického hlediska podstatné stopy a výpočty se provedly dle lidských a fyzikálních možností. Největší procento chybných výpočtů se může stát, díky špatně a někdy až nereálně určeným vstupním parametrům, jako např. délce reakční doby řidiče, koeficientu adheze, účinnosti brzd, rychlosti chůze apod. Pokud soudní znalec nemá dostatek podkladů

a domnívá se, že technická analýza je nemožná, může vypracování znaleckého posudku odmítnout, aby se nedopustil „spekulace“.

Potom, co je celá analýza nehodového děje podrobně zpracována, je vypracován závěr, případně zodpovězeny znalci položené otázky.

Písemný znalecký posudek musí být sešit, jednotlivé stránky očíslovány, sešivací šňůra připevněna k poslední straně posudku a přetištěna znaleckou pečeti.

### **3.1. Aplikace základních principů fyziky a mechaniky ve znalecké praxi**

Větší množství níže uvedených vzorců a principů vychází ze středoškolského učiva. Základem každého výpočtu, kromě dosazovaných hodnot, jsou také jejich rozměry. Je zde vyžadovaná mezinárodní soustava jednotek SI. Jednotky uváděné touto soustavou jsou tzv. koherentní. To znamená, že výpočty podle základních vzorců se obejdou bez jakýchkoliv konstant, jako tomu bývalo dříve.

Pro znaleckou praxi jsou důležité zejména:

#### **3.1.1. Základní veličiny**

1. Délka označovaná (  $l$  ) nebo (  $s$  ) [m].
2. Hmotnost označovaná (  $m$  ) [kg].
3. Čas (  $t$  ) [s].

Hmotnost se zjišťuje vážením. Je totiž stejná při jakékoliv přitažlivosti ( zemské nebo i jiné ).

Další, nazývané doplňující jednotky jsou koherentně odvozovány následujícím způsobem:

### **3.1.2. Doplnující jednotky**

4. Rychlost (  $v$  ) je dráha za čas.

$$v = \text{délka} / \text{čas} [\text{m s}^{-1}] \quad (1)$$

5. Zrychlení (  $a$  ) respektive zpomalení je změna rychlosti za čas.

$$a = \text{rychlost} / \text{čas} [\text{m s}^{-2}] \quad (2)$$

6. Síla (  $F$  ) je dle II. pohybového zákona.

$$F = \text{hmotnost} \cdot \text{zrychlení ( zpomalení )} [\text{kg m s}^{-2}] ; [\text{N}] \quad (3)$$

při síle přitažlivé dosazujeme normálové tíhové zrychlení (  $g$  ) = 9, 80665 [  $\text{m s}^{-2}$  ]

7. Práce (  $A$  ) nebo (  $W$  ) je síla na dráze.

$$A = F \cdot s [\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}] ; [\text{J}] \quad (4)$$

8. Výkon (  $P$  ) je práce za čas.

$$P = A / t [\text{kg m}^2 \text{s}^{-3}] ; [\text{W}] \quad (5)$$

9. Hybnost (  $H$  ) je součin hmoty a rychlosti.

$$H = m \cdot v [\text{kg m s}^{-1}] \quad (6)$$

### 3.1.3. Tření

Tření je základem zejména pro výpočet brzdění vozidel. Dle Coulombova vztahu síla tření  $T$ .

$$T = N \cdot \mu \quad [\text{N}] \quad (7)$$

Na vodorovné rovině:

$$N = G = m \cdot g \quad [\text{N}] \quad (8)$$

$$T = m \cdot g \cdot \mu \quad [\text{N}] \quad (9)$$

kde ( $N$ ) [N] je normálová síla ( kolmá k podložce ), ( $\mu$ ) [-] je součinitel tření ( možno užívat  $i$  a  $f$  ) a  $g$  je normálové tíhové zrychlení [ $\text{m s}^{-2}$ ]

$$\text{Z druhého pohybového zákona síla } T = m \cdot a \quad [\text{N}] \quad (10)$$

Porovnáním obou rovnic:

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot \mu \quad (11)$$

$$a = g \cdot \mu \quad [\text{m s}^{-2}] \quad (12)$$

kde ( $a$ ) [ $\text{m s}^{-2}$ ] je největší hodnota zpomalení, které lze na vodorovné podložce při daném součiniteli tření dosáhnout

Na vozovce s podélným sklonem ( do  $20^\circ$  ) po úpravě a zjednodušení příslušných vztahů.

$$a = g \cdot ( \mu + \text{tg } \alpha ) \quad [\text{m s}^{-2}] \quad (13)$$

kde ( $\alpha$ ) [ $^\circ$ ] je podélný sklon vozovky

$$\text{tg } \alpha = p / 100 \text{ , kde } p \text{ je klesání v } \%$$

$$+ \text{tg } \alpha \text{ - do stoupání}$$

$$- \text{tg } \alpha \text{ - s kopce}$$

( Ústav soudního inženýrství VUT v Brně. *Učební texty vybraných předmětů.* )

### **3.1.4 Zpomalení vozidla**

Zpomalení vozidel v přímé jízdě při brzdění na vodorovné silnici při součiniteli adheze ( $\mu$ ) [-] lze stanovit, jak již bylo uvedeno, hodnotou nejvýše  $a = g \cdot \mu$  [ $\text{m s}^{-2}$ ], a to za předpokladu, že veškerá tíha vozidla ( $G$ ) [N] je využita na tření. Vyšší hodnoty nelze dosáhnout, nižší však ano.

Vozidla jsou povinna vyvinout zpomalení stanovené vyhláškou č. 41 / 1989. Je však někdy dosaženo vyššího. To je možné dvěma způsoby:

- využití většího brzdného momentu ( účinnější brzdy )
- snížení hmotnosti brzděného vozidla

Dle II. pohybového zákona při stejné brzdné síle ( $F$ ) [N] ( konstantní moment a poloměr kola)  $a = F/m$  [ $\text{m s}^{-2}$ ] vyplývá, že čím se zvětšuje hmotnost vozidla, tím se snižuje zpomalení a naopak.

Je důležité uvážit i rozložení tíhy při brzdění. Vlivem klopného momentu dochází k odlehčení zadních kol a jejich snadnější možnosti zablokování u vozidel s lehčí zádí. Některé typy vozidel zanechávají smykové stopy ( ne všemi koly ) a přitom dosahují jen zpomalení blízkého předepsanému. Pokud však vozidlo zanechá smykové stopy všemi koly, je potřeba počítat na rovině  $a = g \cdot \mu$  [ $\text{m s}^{-2}$ ]. Kde ( $\mu$ ) [-] je součinitel smykového tření při brzdění kol blokováním.

( Ústav soudního inženýrství VUT v Brně. *Učební texty vybraných předmětů.* )

### **3.1.5. Výpočet rychlosti vozidla ze zanechaných stop**

1. Souvislé stopy na jednom druhu povrchu.

a) do zastavení

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot a \cdot s} \text{ [m s}^{-1}\text{]} \quad (14)$$

kde ( $a$ ) [ $\text{m s}^{-2}$ ] je zpomalení vyvolané brzděním, ( $s$ ) [m] je dráha brzdění

b) do určité rychlosti

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot a \cdot s + v_1^2} \quad [\text{m s}^{-1}] \quad (15)$$

kde ( a ) [m s<sup>-2</sup>] je zpomalení vyvolané brzděním, ( s ) [m] je dráha brzdění, ( v<sub>1</sub> ) [m s<sup>-1</sup>] požadovaná rychlost.

2. Stopy při různé adhezi.

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot (s_1 \cdot a_1 + s_2 \cdot a_2)} \quad [\text{m s}^{-1}] \quad (16)$$

### **3.1.6. Vliv boční adheze na výpočet**

Při brzdění v oblouku se část adheze spotřebuje na vyrovnávání odstředivé síly. Pak je třeba sestrojít adhezní kružnici, do této vynést adhezi potřebnou na překonání odstředivé síly a jen vektorový zbytek je možno použít na zpomalování.

Při plném využití boční adheze i bez brzdění, může vozidlo zanechávat stopu na vozovce. Boční adheze také způsobuje, že přemístění v příčném směru na vozovce ( například z pravého pruhu do levého pruhu ) lze provést v čase, limitovaném spodní hranicí závislou právě na adhezi a velikosti příčného přemístění. Tímto se dají určovat možnosti řidiče k zastavení nebo vyhýbání se překážce.

( Ústav soudního inženýrství VUT v Brně. *Učební texty vybraných předmětů.* )

### **3.1.7. Rychlost přiměřená dohledu**

Podle dříve uvedeného pak platí, že :

celková brzdná dráha = dráha projetá za reakční dobu + dráha vlastního brzdění.

Z určité rychlosti ( v<sub>0</sub> ) [m s<sup>-1</sup>] lze zastavit zpomalením ( a ) [m s<sup>-2</sup>] na dráze ( s ).

$$s = v_0 \cdot t_r + \frac{v_0^2}{2 \cdot a} \quad [\text{m}] \quad (17)$$

kde ( t<sub>r</sub> ) [s] je doba reakce

Úpravou tohoto vzorce dostáváme rychlost (  $v_0$  ) [m s<sup>-1</sup>], ze které lze zastavit na dráze (  $s$  ) [m].

$$v_0 = -a \cdot t_r \cdot \sqrt{a^2 \cdot t_r^2 + 2 \cdot a \cdot s} \quad [\text{m s}^{-1}] \quad (18)$$

kde (  $t_r$  ) [s] je doba reakce

Vzorec lze použít i například pro rychlost přiměřenou dohlednosti např. dosvitu světlometů. Při jízdě obloukem je nutno zpomalení (  $a$  ) [m s<sup>-2</sup>] redukovat.

### **3.1.8. Maximální rychlost v oblouku**

Maximální rychlost v oblouku závisí na boční adhezi a na geometrických poměrech vozovky. Pro neklopenou zatáčku lze stanovit takto:

$$v_{\max} = \sqrt{\mu \cdot g \cdot r} \quad [\text{m s}^{-1}] \quad (19)$$

kde (  $\mu$  ) [-] je boční adheze a (  $r$  ) [m] je poloměr zatáčky

U klopené zatáčky je situace komplikovanější. Lze stanovit takto:

$$v_{\max} = \sqrt{r \cdot g \cdot \frac{\text{tg } \beta + \mu}{1 - \mu \cdot \text{tg } \beta}} \quad [\text{m s}^{-1}] \quad (20)$$

kde (  $\beta$  ) [°] je příčný sklon ( obvykle nejmenší )

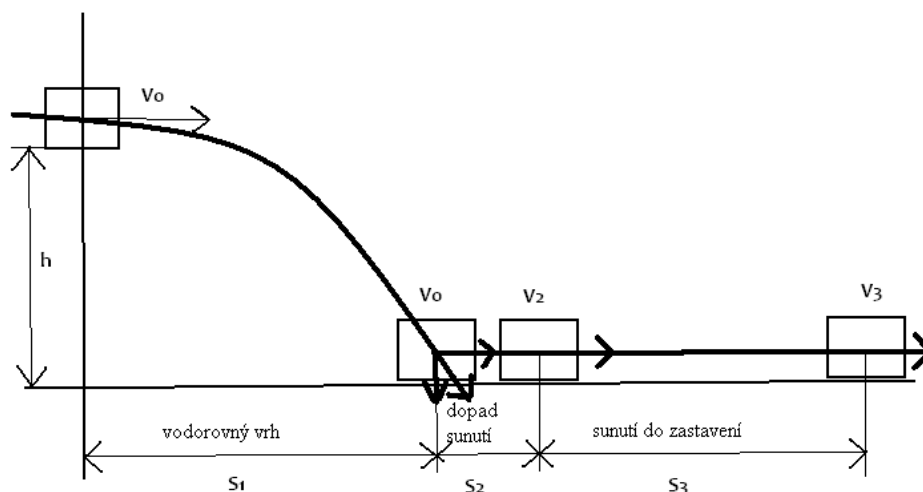
Jiným způsobem vypočtenou rychlost vozidla v blízkosti zatáčky je vždy nutno srovnávat s takto zjištěnou možností zatáčku projet. Není to však vždy rychlost přiměřená dohledu.

( Ústav soudního inženýrství VUT v Brně. *Učební texty vybraných předmětů.* )

### 3.1.9. Určování nárazové rychlosti

#### 1. Z letu po střetu

Ze vzdálenosti odhození předmětů od místa střetu ( například střepiny skla ) lze určit jejich nejvyšší možnou rychlost po střetu dle obr. 2



**Obrázek č. 2 ( Autor )**

- Předmět letí – vrh vodorovný rychlostí ( $v_0$ ) [ $\text{m s}^{-1}$ ] z výšky ( $h$ ) [ $\text{m}$ ], po vodorovné dráze ( $s_1$ ) [ $\text{m}$ ] za čas ( $t_1$ ) [ $\text{s}$ ]. Nezmenšenou vodorovnou + nabytou svislou složkou rychlosti ( $v_y$ ) [ $\text{m s}^{-1}$ ] těleso dopadá. Svislá složka se postupně ruší ( náraz ), zároveň se těleso sune po vozovce. Na konci této fáze má rychlost vodorovnou ( $v_2$ ) [ $\text{m s}^{-1}$ ]. Uražená dráha ( $s_2$ ) [ $\text{m}$ ] za čas ( $t_2$ ) [ $\text{s}$ ]. Těleso se třením ( rovnoměrně zpomalený pohyb ) z rychlosti ( $v_2$ ) [ $\text{m s}^{-1}$ ] zastavuje na dráze ( $s_3$ ) [ $\text{m}$ ] za čas ( $t_3$ ) [ $\text{s}$ ].

Použitím a úpravou příslušných vzorců lze najít nejvyšší možnou původní rychlost ( $v_0$ ) [ $\text{m s}^{-1}$ ]. Původní rychlost mohla být nižší, pokud se těleso po dráze ( $s_2$ ) [ $\text{m}$ ] respektive ( $s_3$ ) [ $\text{m}$ ] na místo sunutí koulelo. Nemohla však být vyšší. Součinitel tření po vozovce je třeba určit pokusem nebo odhadem zkušených soudních znalců. Druhou fází ( dopad ) lze při vyšších rychlostech ( $v_0$ ) [ $\text{m s}^{-1}$ ] a malých výškách ( $h$ ) [ $\text{m}$ ] zanedbat.

Z této úvahy také vyplývá, že na příklad místo nálezů střepin skla z oken nemusí být vždy místem nárazu.

( Ústav soudního inženýrství VUT v Brně. *Učební texty vybraných předmětů.* )



## 2. Teorie rázu dvou těles

Rychlost jednoho tělesa před rázem ( např. vozidlo před střetem ) je možno určit z teorie rázu, známe-li rychlosti obou těles po rázu a jednu rychlost před rázem, směry pohybu před i po rázu a hmotnosti těles.

Dle rovnic hybnosti pro tělesa o hmotnosti  $m_1 - m_n$  (kg) platí

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 (+ \dots + m_n \cdot v_n) = m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot v_2 (+ \dots + m_n \cdot w_n) \quad (21)$$

Takto jednoduše lze postupovat ovšem pouze při přímém ( v přímce ) a centrickém ( do těžiště ) rázu. Z rovnice lze zjistit libovolnou z rychlostí těles při znalosti rychlosti ostatních.

( Ústav soudního inženýrství VUT v Brně. *Učební texty vybraných předmětů.* )

## 3. Z rozsahu zranění posádky vozidla

Setrvačná síla při střetu působí v původním směru pohybu a její velikosti jsou úměrné následnému zranění. Zde je třeba z rozsahu deformace vypočítat zpomalení při střetu a uvážit, zda je toto zpomalení úměrné rozsahu zranění posádky vozidla. Obráceně lze z odpovídajícího rozsahu zpomalení ( případně přetížení, pokud jsou vyjádřeny v násobcích tíhového zrychlení [g] ) hrubě určit možný rozsah nárazových rychlostí.

( Ústav soudního inženýrství VUT v Brně. *Učební texty vybraných předmětů.* )

## 4. U osobních automobilů

Je možné nárazovou rychlost s určitou přesností určit z korelačních vztahů mezi poměrnou deformací a nárazovou rychlostí, vypracovaných odbornými laboratořemi. Hrozí zde však nebezpečí nepřesností vzhledem k různým konstrukcím porovnávaných vozidel, rozdílnému stupni koroze, možnosti předešlých deformací a jejich nekvalitních oprav, nepřímosti a excentricitě rázu a další.

( Ústav soudního inženýrství VUT v Brně. *Učební texty vybraných předmětů.* )

### 5. Z principu akce a reakce

Tímto způsobem lze nárazovou rychlost zjistit při střetu s pevnou překážkou, například při nárazu do zábradlí, sloupů, pokud je u nich zjistitelný ohybový moment nutný k deformaci. Tento moment byl při nárazu vyvolán silou, působící v určité výšce od deformovaného průřezu. Lze odvodit sílu, která deformaci způsobila. Stejná síla ( dle principu akce a reakce ) působila i na vozidlo a to po určité dráze. Součin síly a dráhy dává práci. Z této síly pak již vypočteme rychlost na začátku deformace sloupu – nárazovou rychlost vozidla.

( Ústav soudního inženýrství VUT v Brně. *Učební texty vybraných předmětů.* )

## **3.2. Metody analýzy dopravních nehod**

Při analýze dopravní nehody, všeobecně rozlišujeme dva hlavní postupy, a to střet vozidla s chodcem a vozidla s jiným vozidlem, popřípadě pevnou překážkou.

### **3.2.1. Střet vozidla s vozidlem nebo pevnou překážkou**

Dále rozdělujeme do tří fází:

- pohyb před srážkou
- srážku
- pohyb po srážce

Pohyb vozidla je ve všech třech fázích vyjádřen pomocí sil na kolech, které jsou ovlivněné hnací silou, brzdou silou, řízením, jízdou v zatáčce, smýkáním, odporem vzduchu a sklonem vozovky. Ve fázi srážky vstupují dodatečně do výpočtu deformační síly.

Na výpočet změny rychlosti v čase srážky, případně rychlosti na začátku srážky, byly vyvinuty různé metody. Pro každou z těchto metod platí určité předpoklady, které se navzájem podle typu srážky odlišují.

Všechny metody je možné rozdělit do tří základních:

1. Metoda využívající klasický výpočet rázů (hybnost a moment hybnosti).
2. Metoda využívající EES (ekvivalentní energetickou rychlost), hybnost, moment hybnosti, energii.
3. Metody, využívající výpočet sil (pohybové rovnice)

Z přehledu je jasné, že první dvě metody využívají tzv. „zpětné metody“. To znamená, že vycházíme ze známé konečné polohy vozidla. Výpočty probíhají zpětně po zanechaných stopách, až po určení rychlosti před překážkou. Třetí metoda je založena na simulování průběhu nehodového děje, změnou vstupních údajů tak, aby po dosazení do vzorců, zabezpečily určení konečné polohy, totožné se skutečnou.

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )

### **3.2.1.1. Metoda zpětného výpočtu**

Do této kategorie patří metody, které využívají konečné podmínky nehody. Z tohoto je patrné, že výpočty vedeme od konečné (ve většině případů známé) polohy vozidla. Při tomto způsobu výpočtu se znalec nezajímá pouze o exaktní průběh rychlosti a zpomalení, v závislosti na čase nebo dráze, ale hraniční jsou hodnoty na začátku a konci jednotlivých fází. Proto je tento výpočet jednodušší a je možné lehce kontrolovat vlivy jednotlivých parametrů.

Nehodový děj je možno rozdělit na jednotlivé fáze: - fáze reakce  
- fáze náběhu brzdného účinku  
- fáze před srážkou  
- fáze střetu  
- fáze po střetu

Výpočet nehodového děje je možné nejlépe znázornit matematickým modelem pohybu vozidla po dobu nehodového děje. Při výpočtu platí tato zjednodušení:

- střet probíhá v nekonečně krátkém čase
- střet probíhá na nulové dráze
- rychlost po dobu reakce je konstantní

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )

### **3.2.1.2. Metoda dopředného výpočtu**

Základem této metody je možnost využití matematického modelu vozidla. Plně využitelné jsou v této době pouze dvojdimenzionální modely vozidel. Použití třídimenzionálních modelů je omezené množstvím vstupních údajů a je možné jen za použití výpočetní techniky.

Při použití tohoto způsobu se využívá

- Okrajové vstupní podmínky, jako například poškození, stopy, výpovědi svědků o místě nehody a technicky přijatelné rychlosti v momentě střetu.

- Matematický model vozidla počítaný diferenciálními rovnicemi až po okamžik zastavení vozidla.

Výpočet se porovnává se skutečnými konečnými polohami z plánu, fotodokumentací.

Pokud vypočítané hodnoty nesouhlasí se skutečnými, výpočet se opakuje se změnami ve vstupních hodnotách.

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )

### **3.2.1.3. Metoda EES**

Prvotní podnět pro zavedení pojmu EES vznikl na základě výzkumů firmy Mercedes – Benz. Výzkum se zabýval závislostí mezi poškozením vozidla a zraněním posádky.

Byl zaveden pojem EES ( Energy Equivalent Speed ) pomocí které se dá vyjádřit deformační energie.

$$E_{DEF} = 1/2 \cdot m \cdot (EES^2) \text{ [J]} \quad (22)$$

kde  $EES = (v_1^2 - v_2^2)^{-1/2}$  ,  $v_1$  je rychlost pohybu před střetem a  $v_2$  je rychlost po střetu

Z tohoto vyplývá, že energeticky ekvivalentní rychlost odpovídá spotřebované deformační energii. Zjednodušeně ji lze definovat jako velikost nárazové rychlosti vozidla do absolutně tuhé, neformovatelné překážky.

Způsobů a metod zjišťování EES je více druhů. Základem každé metody je zjištění rozsahu deformací. To zjišťují znalci v současné době většinou z fotodokumentace nebo ohledáním vozidla a porovnáním s etalonem reálných vozidel , střetů a objektivně určených nárazových rychlostí.

### **3.2.2. Střet vozidla s chodcem**

můžeme dále rozdělit na základě vzájemných kontaktů na:

- čelní střet (úplné překrytí)
  - brzděné vozidlo
  - nebrzděné vozidlo
- čelní střet (částečné překrytí)
  - vstupující chodec do koridoru
  - vystupující chodec z koridoru
- boční střet
  - typická
  - atypická
- přejetí
  - jednoduché
  - složité

Určení, do které skupiny a podskupiny nehoda patří, je základní úlohou znalce, protože pro každou skupinu platí vlastní rekonstrukční metoda. Při rekonstrukci dopravních nehod

s chodci se nejčastěji používá metoda zpětného výpočtu tzv. „metoda zpětného odvíjení nehodového děje“.

#### Čelní střet – úplné překrytí

Chodec se nachází při tomto typu nehody celým tělem v oblasti vnitřního příčného obrysu vozidla. Tělo chodce je při střetu zrychleno na rychlost vozidla.

1. Při střetu chodce s vozidlem, které naplno brzdí, se chodec od vozidla odpoutá, a po letu vzduchem padá na vozovku, kde se po fázi sunutí úplně zastaví. Pro tento případ se ke střetu publikují velmi precizně zpracované výsledky výzkumu, ze kterých je možné určit místo nehody a nárazovou rychlost.
2. Při střetu, při kterém vozidlo nebrzdí v čase střetu, mohou nastat tyto případy:
  - chodec zůstává až do začátku brzdění na vozidle a potom padá na vozovku. Podle polohy chodce na vozidle a intenzity brzdění může být chodec vezený na vozidle až do zastavení vozidla, kdy padá na vozovku.
  - chodec padá po nárazu podél boku vozidla a jeho konečná poloha je za konečnou polohou vozidla.
  - chodec přeletí přes vozidlo, při většině případů zanechává stopy v podobě poškozené střechy.

Vzdálenosti odhození jsou totožné s hodnotami pro brzděné vozidlo.

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )

#### Čelní střet – částečné překrytí

Oproti střetu s úplným překrytím se v tomto případě nenachází chodec celým tělem v příčném obrysu vozidla. Tato geometrie nehody nevede neodvratně ke sklouznutí těla chodce po boku vozidla. Je třeba rozlišovat dva různé případy, podle směru pohybu chodce.

1. Chodec vstupující do koridoru pohybu vozidla, přichází do kontaktu pouze s okrajem přední části vozidla. Nejčastěji jen nohou, kterou právě vykročil. Po prvním kontaktu dochází k rotaci těla okolo podélné osy. Téměř všechna energie nárazu se mění na rotační energii těla chodce, které naráží obvykle do boku vozidla. Zde zanechává stopy v podobě poškození vozidla a tomu odpovídající zranění chodce.

2. Chodec vystupující z koridoru pohybu vozidla. Zde také dochází ke kontaktu pouze s okrajem přední části. Nejčastěji s nohou, kterou udělal krok. Po prvním kontaktu dochází k rotaci těla. Energie nárazu se změní na rotační energii a tělo rotuje okolo podélné osy. Chodec obvykle nenaráží na bok vozidla.

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )

### Boční střet

O typickém bočním střetu hovoříme tehdy, pokud dojde ke kontaktu těla s boční částí vozidla. Pokud chodec při svém pohybu narazí do boční části vozidla, je odhozen za pomyslnou čáru boku vozidla (proti směru svého pohybu).

Pokud chodec stojí a nebo se pohybuje ve směru pohybu vozidla, hovoříme o atypickém bočním střetu. Tělo je zachyceno vyčnívajícími částmi vozidla, bývá ihned odhozené a nezanechává na vozidle žádné další stopy a nedochází k druhotnému kontaktu.

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )

### Přejetí

Při přejetí se chodec dostává pod půdorysný obrys vozidla. Nemusí být ani někdy přejet koly.

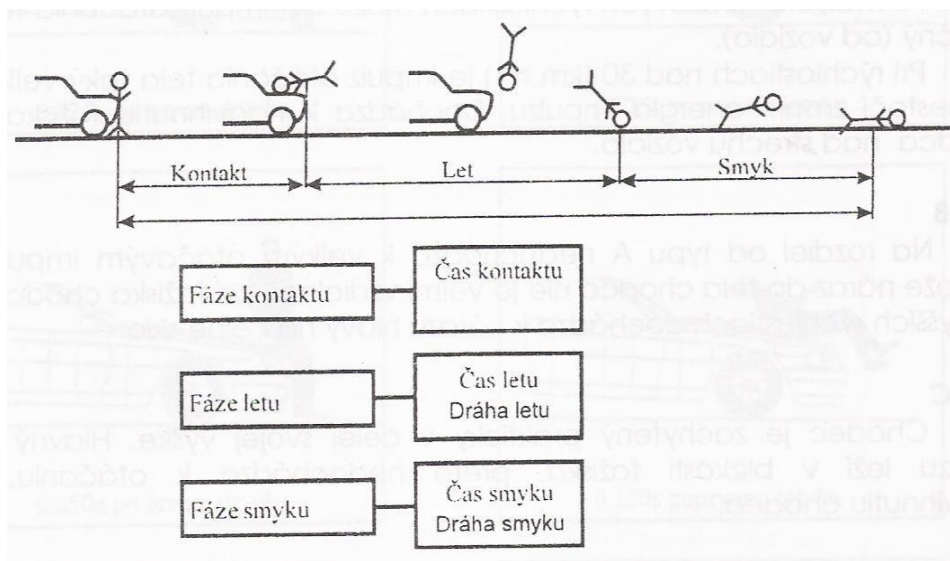
Jednoduché přejetí nastává, když nedojde k předcházejícímu kontaktu vozidla s chodcem. To značí, že chodec už ležel na vozovce z jiných příčin.

Složitě přejetí je tehdy, když chodec je nejprve vozidlem sražen a poté přejet. K tomuto případu dochází převážně při trambusovém typu karoserie a malém zpomalení vozidla.

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )

### **3.2.2.1. Kinematika a dynamika nehod s chodci**

Z pozice chodce se dá nehoda mezi vozidlem a chodcem rozdělit do třech fází – kontakt, let, pád (smyk chodce na podložce).

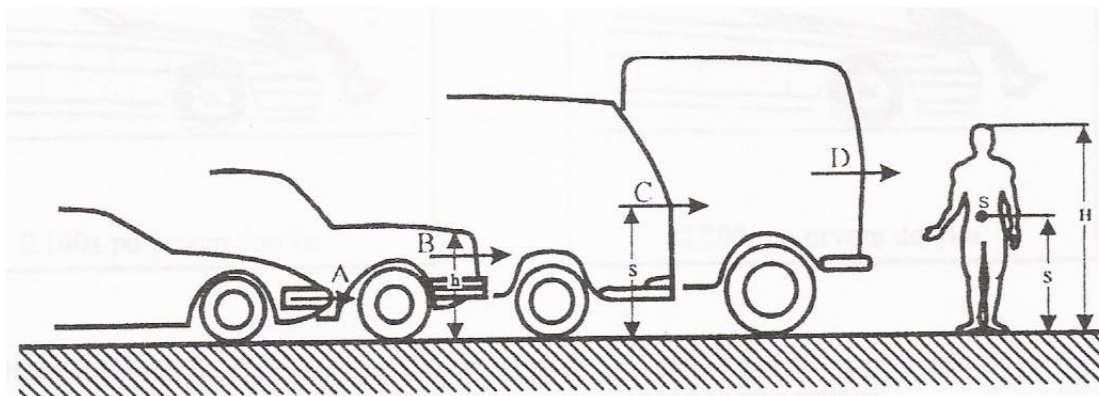


Obrázek č. 3

(Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )

Fáze kontaktu začíná od prvotního dotyku a končí odpoutáním těla od vozidla. Energie, udělená tělu chodce v době nárazu, se spotřebuje při fázi pádu na vozovku.

Pokud chceme vyšetřit přesný pohyb chodce po dobu nehodového děje, musíme znát tvar a rozměry vozidla. Vozidla rozdělujeme podle tvaru přední části.



Obrázek č. 4

(Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )



### TYP A

Při klínovité přední části vozidla dochází k prvotnímu kontaktu chodce s nárazníkem, což způsobuje rotaci těla okolo těžiště směrem k vozidlu. V dalším kroku se tělo odpoutá od vozidla a dopadá před přední část ve vzdálenosti, která je závislá na nárazové rychlosti.

Při malých nárazových rychlostech může být impulz otáčení těla i opačný (od vozidla).

Při rychlostech nad  $30 \text{ kmh}^{-1}$  je impulz otáčení těla tak velký, že se nestačí pohltit energie impulsu. Dochází k nadzdvihnutí těžiště chodce nad střechu vozidla.

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )

### TYP B

Na rozdíl od typu A nedochází k velkým otáčkovým impulsům, protože náraz do těla chodce není příliš vzdálený od těžiště chodce. Až při vyšších rychlostech dochází k nárazu hlavy na čelní sklo.

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )

### TYP C

Chodec je zachycený prakticky v celé své výšce. Hlavní bod nárazu leží v blízkosti těžiště, proto nedochází k otáčení a nadzdvihnutí těla chodce.

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )

### TYP D

Na rozdíl od typu C leží hlavní bod nárazu nad těžištěm těla chodce. To vede k otáčení těla chodce směrem od vozidla. Nebezpečí přejetí chodce je při tomto typu velmi vysoké a je způsobené právě záporným otáčením těla chodce a malou vzdáleností odhození. Chodec bývá odhozený přímo před vozidlo.

Pohyb chodce od prvního dotyku po odpoutání se od vozidla a s tím související poloha poškození místa na vozidle, je závislý od typu přední části vozidla ( A až D ), směru a rychlosti pohybu chodce.

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )

## **4. Trendy v soudním inženýrství**

V současné době můžeme charakterizovat tři vývojové stupně, neboli tři trendy analýz dopravních nehod. Nejčastěji se využívají všechny tři současně, aby se tím co nejvíce omezily případné možnosti chyb, nebo aby se doplnily chybějící informace, popřípadě ověřila jejich správnost.

První stupeň analýzy byl protěžován především v dřívějších dobách, kdy nebyla možnost použití moderní výpočetní techniky. Dobou typickou pro tuto analýzu jsou sedmdesátá léta. Dnes se tato analýza aplikuje už jen zřídka, přetrvává zejména u starších a dále se nevzdělávajících znalců. Tato analýza je nazývána „ opisným způsobem “. Opírá se především o zkušenosti znalce a je zde využito minimum výpočtů. To vede k velkému procentu mylných závěrů. Znalec též nemůže těmito výpočty potvrdit správnost svých závěrů. Při současném stavu vědy a techniky se dají považovat takto podané posudky za technicky nepřijatelné.

Druhý stupeň analýzy se nazývá „ Technická analýza “. V té se současně využívají poznatky mechaniky, fyziky, geometrie a matematiky. Pohyb vozidla je popisován matematickým modelem, i když velice zjednodušeným. Pohyb více vozidel je vzájemně korelovan v závislosti dráhy a času. Ve velké míře se využívá grafické metody a experimentální zkoušky. Například brzdné zkoušky nebo různé druhy CRASH – testů. CRASH - testy se využívají nejhojněji při získávání dat o střetu dosti rozdílných účastníků provozu. Střet auto – vlak, auto – cyklista, auto – motocyklista, auto – chodec. Dalo by se tvrdit, že bez vysokoškolského vzdělání příslušného směru a speciální nastavbové výuky (například na ÚSI-VUT v Brně nebo na ÚSI-VŠDS v Žilině), je prakticky nemožné využít těchto poznatků. Výskyt nesprávných výsledků je při striktním dodržování postupů poměrně malý. I když určité množství dat, které se dosazují do potřebných výpočtů, jsou neznámé. Záleží tedy na soudním znalci, potažmo jiných expertech, jaké hodnoty do těchto neznámých veličin dosadí. Jedná se tedy především o lidský faktor, technický stav, povětrnostní podmínky, pohyb oddělených a odražených částí a různé součinitele. Nejčastější chyby ve výsledcích tedy vznikají špatným posouzením okolností vzniklé dopravní nehody.

Třetí vývojový stupeň vyvstal až při dostatečném rozvoji výpočetní techniky a především její cenové dostupnosti. Vyvinuly se programy pro analýzu dopravních nehod.

Ve výpočetních programech se používají složité matematické modely vozidel. Modelování a následné simulace se provádí nejen plošně, ale i prostorově. Programy využívají rozsáhlé databáze technických údajů o vozidlech, pneumatikách apod. Většina moderních programů má automatickou kontrolu výsledků a při chybě upozorní uživatele na nesprávný postup. Některé programy umožňují 3-dimenzioální grafické zobrazení, pohled z libovolné výšky, směru, pozice. Grafické výstupy jsou proto srozumitelné pro všechny uživatele. Simulace je možné vykonávat přímo v naskenovaných pláncích nebo fotografiích z míst dopravních nehod. Soubory formátu .bmp .jpg apod. Při využívání této analýzy dopravních nehod jsou nutná, kromě hardwarového a softwarového vybavení, i přesná vstupní data a dostatečné teoretické znalosti znalce. Možnost chybného výsledku je při správném používání programu minimální, ale musíme opět brát v úvahu kvalitu vstupních dat jako u předchozího stupně. Některá vstupní data musí zadat opět sám znalec, na základě zkušeností a dostupných prostředků. Tím může dojít ke zkreslení analýzy nehodového děje.

#### **4.1. Využití výpočetní techniky při analýze dopravních nehod**

V předešlých kapitolách jsem uvedl metody používané při analýze dopravních nehod. U většiny z nich je možné využít výpočetní techniku na řešení. V dnešní době se počítačové programy již velice hojně využívají ke komplexní analýze dopravních nehod. Kromě níže popsaných programů můžeme zdůraznit ještě EVU – DOS, CARAT, PC – RECT sloužící k rektifikaci fotografií z místa dopravní nehody.

#### **4.1.1. PC – CRASH**

Tento program sloužící k simulaci dopravních nehod vyvinula firma Dr. Stefan DATENTECHNIK GmbH. ve spolupráci se sdružením PROFUR ( Rakousko – německé sdružení znalců ). Program umožňuje simulovat většinu nehodových situacích. Byl vyvinut pro práci v prostředí MS – WINDOWS.

Největší předností PC – CRASH je použití výpočetních modulů, od jednoduchého kinematického až po složitý. Všechny vykonávané výpočty jsou ihned automaticky znázorňovány graficky a je možné, je znázornit i pomocí čísel.

Určité množství standardních situací je předdefinováno. To v některých situacích spolu s funkcí „Pomoc“ znalci ulehčuje práci.

V programu je možné využít přímé napojení na databanku vozidel ( například EVU, VISKO a další ) a využít i rozměrové obrysy vozidel AUTOWIEV ve formátu .DXF. Program dále umožňuje tisknout ve zvoleném měřítku a je kompatibilní s ostatními programy rozhraní MS – WINDOWS.

##### Technická základna

Program umožňuje vykonávat výpočty ve dvou základních režimech:

- dopředný výpočet
- zpětný výpočet

K tomuto obsahuje dva základní matematické modely:

- kinematický model vozidla
- kinetický model vozidla

Dále program obsahuje model soupravy vozidla s přípojným vozidlem a dva modely pro výpočet rázu:

- dopředný výpočet pomocí hybnosti
- hybnost / točivost

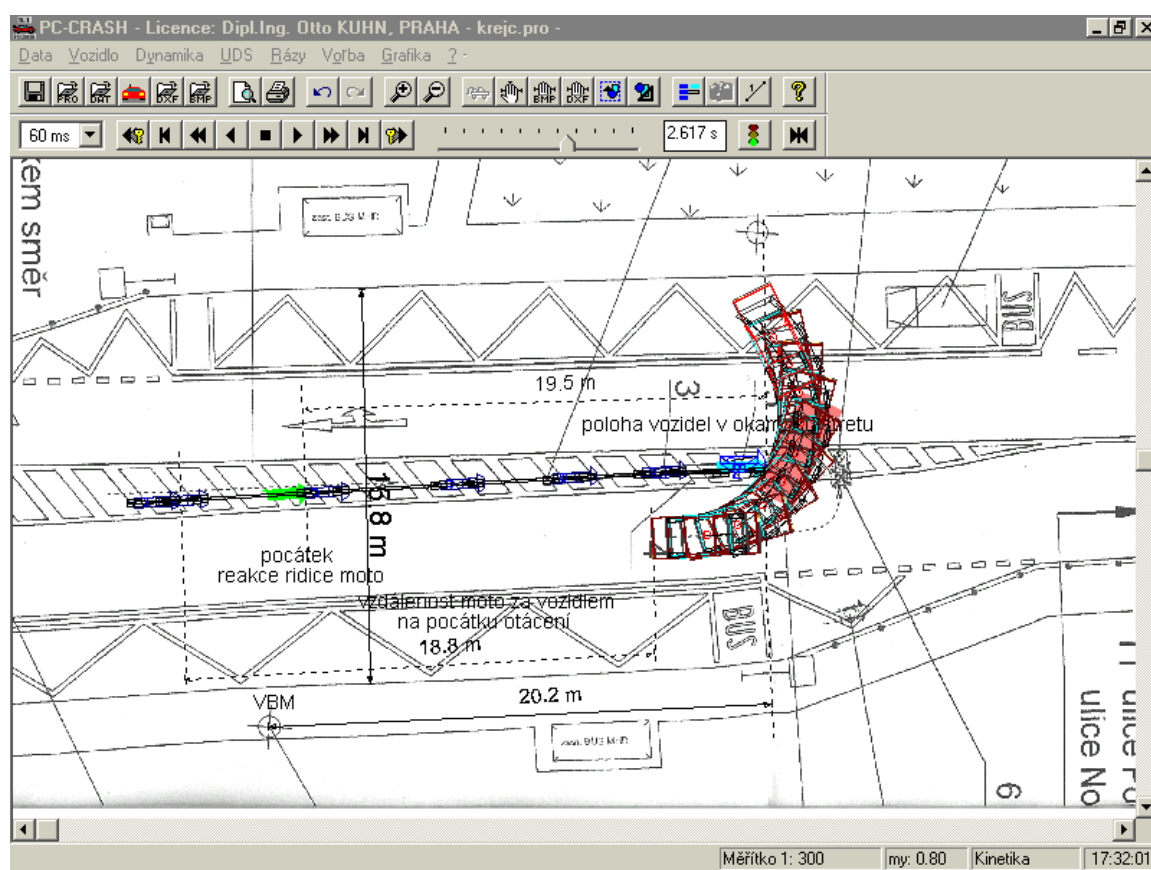
Při dopředném výpočtu je pohyb vozidla popsán pomocí kladných časových úseků. Vozidlo se může pohybovat jak kladnou, tak i zápornou rychlostí. Pro výpočet tohoto pohybu je možné použít kinematický nebo kinetický model.

Kinematický model se používá při jednotlivých výpočtech pohybu jako základ analýzy „dráha – čas“ a tento model využívá hodnotu středního zpomalení.

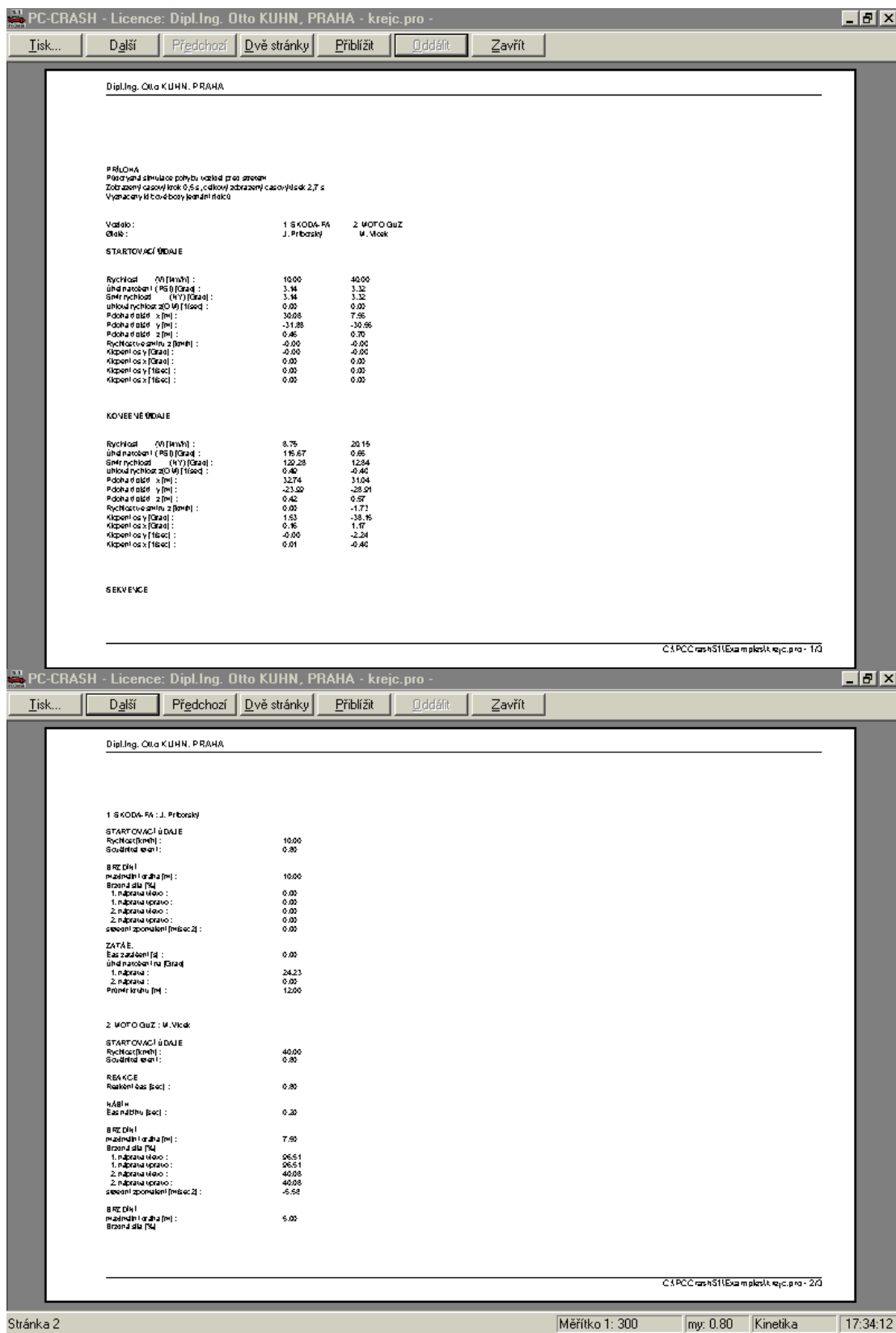
V případě jízdy zatáčkou je pro výpočet použita geometrie povrchu vozovky ( poloměr, sklony ).

Program nekontroluje, jestli síly na kolech překročily maximálně možné síly. Kinetický model využívá při simulacích následující:

- výpočet sil na kolech ( boční a podélné )
- použití Newtonových zákonů ( pohybové rovnice )
- numerická integrace šesti pohybových rovnic
- výpočet změněných sil na kolech ( pro všechny kola )



Obrázek č. 5 ( PC-CRASH 5.1 )



Obrázek č. 6, 7 ( PC-CRASH 5.1 )

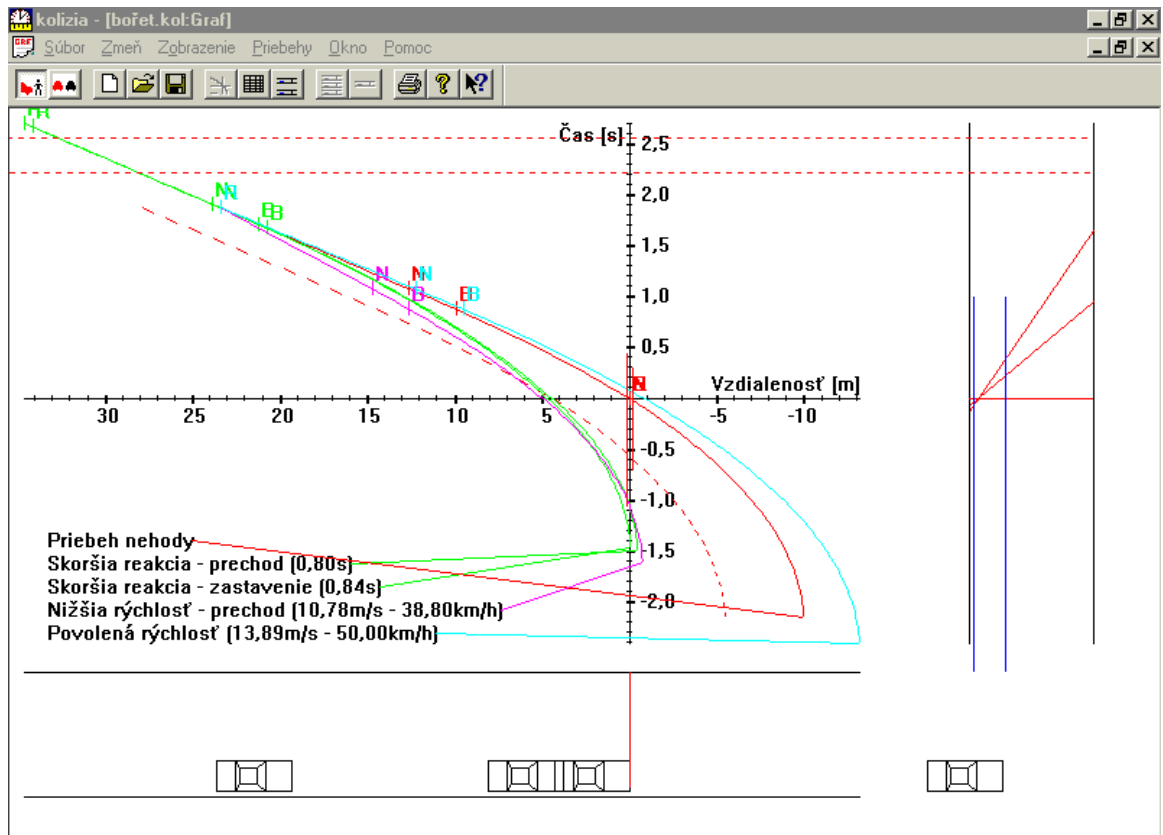
#### **4.1.2. KOLIZIE**

Tento program je určen na řešení střetu vozidla s chodcem. Výhodami je jednoduchost ovládání, pracovní rozhraní MS – WINDOWS. Program, kromě simulace převažujícího průběhu nehodového děje, jako je střet s chodcem během brzdění vozidla, také umožňuje analyzovat střet ještě před úsekem plného brzdění. Např. ještě před dobou náběhu brzdného účinku nebo dobou reakce řidiče. Program umožňuje simulovat brzdění vozidla na více druzích povrchu vozovky s různými součiniteli adheze. Pravděpodobně největší předností tohoto programu je možnost analyzovat vystoupení chodce nejen zpoza pevné, ale i zpoza pohyblivé překážky. Zastavení vozidla může být spojené i s nárazem na pevnou překážku.

Výsledky výpočtu, které se zobrazují automaticky po změně vstupních parametrů, jsou matematický model pohybu vozidla a chodce s možností zjištění způsobu vedoucího k odvrácení střetu ze strany řidiče (dřívější reakce, nižší rychlost jízdy apod.)

V programu jsou použity kinematické výpočty.

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.*)



Pre získanie nápovedy stlač F1 20. 02. 2011 17:47:46

Úsek	Rýchlosť [m/s]	Rýchlosť [km/h]	Dráha [m]	Vzd. od zrážky [m]	Doba trvania [s]	Čas od
Reakcia (1)	$v_1 = v_1$ 19,49	70,15	$s_1 = v_1 t_1$ 15,59	19,43	$t_1 = t_1$ 0,80	1,00
Nábeh brzd (2)	$v_2 = v_1 + a_1 t_2$ 19,49	70,15	$s_2 = v_1 t_2 + a_1 t_2^2 / 2$ 3,84	3,84	$t_2 = t_2$ 0,20	0,20
Zrážka (3)	$v_3 = v_1(m_1 + m_2) / m_1$ 18,91	68,06	0,00	-0,00	0,00	0,00
Brzdzenie (4)	$v_4 = \sqrt{v_3^2 + 2a_2 s_4}$ 15,76	56,72	21,40	21,40	$t_4 = (v_4 - v_3) / a_2$ 2,72	2,72

Vstupné údaje : Zrážka s cyklistom s dĺžkou 1,80 m  
Miesto zrážky: 0,50 m od pravého okraja  
Šírka vozovky 7,20 m  
Koridor je 0,30 m od pravého okraja  
Vozidlo : Šírka 1,80 m  
Dĺžka 4,30 m  
Hmotnosť 1500,00 kg  
Chodec : Minimálna rýchlosť 4,03 m/s (14,50 km/h)  
Maximálna rýchlosť 6,94 m/s (25,00 km/h)  
Hmotnosť 300,00 kg

**PRÍLOHA nr. 6**  
Výpočet možnosti fidiče SEATu zabrániť stretnú.  
Grafické zobrazenie závislosti v diagrami dráha - čas

Pre získanie nápovedy stlač F1 20. 02. 2011 17:48:14

Obrázek č. 8, 9 ( KOLIZIE )



### **4.1.3. Virtual - Crash**

Program vytvořený na universitě v Maďarsku pracuje s rozsáhlou databází vozidel, která je průběžně aktualizována. Podporuje jak 2D tak 3D simulace. Pro rekonstrukci nehod obsahuje několik modulů.

#### 1. Výpočet EES 1

Pomocí tohoto modulu je možné vypočítat EES čelního poškození vozidla. Základem jsou empirické vztahy zveřejněné firmou Mercedes – Benz.

#### 2. Výpočet EES 2

Pomocí tohoto modulu umožňuje výpočet EES z libovolné strany poškozeného vozidla, pokud je známo EES druhého vozidla.

Vstupními údaji v obou modulech je hloubka deformace, její šířka a hmotnost vozidel.

#### 3. Kinematika

S tímto modulem se počítají všechny kombinace vztahů rychlost – dráha – čas. Výpočet umožňuje definovat šest různých intervalů průběhu jízdy.

#### 4. Chodec 1

Slouží k výpočtu nárazové rychlosti vozidla, které v momentu nárazu nebrzdilo. Výpočet zohledňuje různé úhly odhození chodce.

#### 5. Chodec 2

Slouží k výpočtu nárazové rychlosti vozidla, které po dobu nárazu brzdilo.

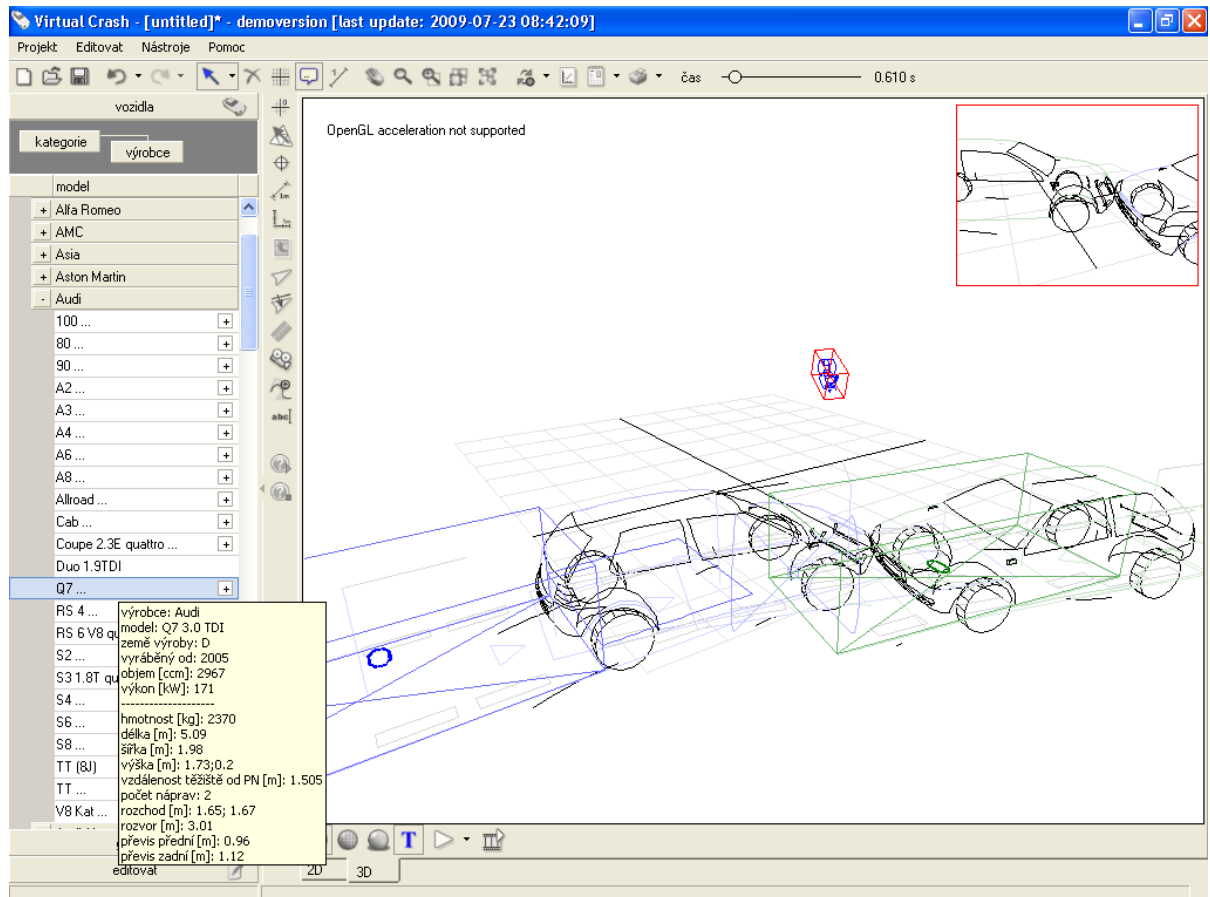
#### 6. Energetická bilance

Tento modul slouží pro výpočet nárazové rychlosti vozidla při střetu se stojícím vozidlem. Výpočet využívá zákona zachování energie.

## 7. Zabránění nehodě

Modul počítá všechny kinematické veličiny pro časové a prostorové zabránění nehodě.

( Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* )



obrázek č. 10 ( Virtual-Crash )

## Závěr

Rok co rok se objevují nové postupy a možnosti řešení analýz dopravních nehod, ale ne vždy jsou správné a dají se kvalitně v dané situaci uplatnit. Je vždy důležité, vycházet ze základních teoretických vztahů fyziky, dynamiky, kinematiky a logiky. Přestože jsou tyto disciplíny úzce spjaté, ne vždy spolu korelují.

Každým rokem se mění technologie, nejen vozidel z pohledu aktivní a pasivní bezpečnosti, ale především jejich vyspělost v podobě elektroniky. Ta nám zabezpečuje nejen komfort, ale především bezpečnost jízdy. Jsou zde možnosti předávání dat z jízdy vně vozidla a jejich ukládání, ale i pomocí rádiových vln na větší vzdálenost. Tento systém tzv. „telemetrie“ se již delší dobu využívá v motorsportu a jiných odvětvích, kde je nezbytně nutné zpracovávat přesná a aktuální data.

Je patrné, že nejmodernější výpočetní programy na analýzu dopravních nehod vyžadují kvalitní vstupní data. Právě kvalita vstupních dat je v dnešní době největší slabinou správně provedené analýzy dopravních nehod. Proto je zde snaha inženýrů o vývoj obdoby tzv. „černé skříňky“ využívané v leteckém průmyslu, která by měla možnost snímat a ukládat důležité veličiny po dobu dopravní nehody. Lze tvrdit, že tento systém je přelom v technické analýze řešení dopravních nehod. Jsou však zde velké nároky na cenu, kompatibility a univerzálnost. Obdobné zařízení vyvíjí a testuje firma MANNESMANN KIENZE. Přístroj UDS 2165 má velikost standartního autorádia, lze jednoduše instalovat do většiny moderních vozidel. Využívá stávající snímače vozidla. Přístroj snímá rychlost, podélné a příčné zrychlení, rotaci vozidla, použité veškeré osvětlení, polohu pedálů, funkci zapalování a čas. Tyto vstupy zaznamená v časovém úseku 30 sekund před střetem, během střetu a 15 sekund po střetu. Montáž přístroje zabere asi 2 až 2,5 hodiny práce. V dnešní době je toto považováno za nejmodernější a nejpřesnější získávání potřebných vstupních dat. Přesto díky nárokům kladeným v této době na automobilky, začlenění do sériové výroby není zcela reálné. Vyžaduje čas a zůstává se tedy pouze u experimentů, ale určitě do budoucna lze s tímto systémem počítat.

Stejné nároky jsou kladeny i na znalce. Měl by co nejvíce aktualizovat své databáze, výpočetní techniku a především rozšiřovat své vědomostní obzory ve svém oboru. Větší množství programů k této práci určené, je každým rokem aktualizované.

Cílem této práce bylo podat ucelený přehled o způsobech a možnostech analýzy dopravních nehod. Práci znalce, postupy zpracování soudního posudku a jeho náležitosti, požadavky na osobu, která se chce této funkci věnovat. Nebyla zde možnost, vzhledem k rozsahu práce, uvést všechny používané varianty analýzy a podrobněji je popsat, vyzdvihnout jejich přednosti i zápory, proto je práce zaměřena pouze na nejvíce v praxi používané. Není zde také rozebrána související problematika jako reakční čas řidiče, posouzení zranění posádky vozidla a jejich vzájemné působení jako systému a další. Tato tematika je velice obsáhlá a k jejímu důkladnému prozkoumání je nezbytné mít více prostoru, více zkušeností a znalostí. Podrobněji bych se chtěl danou problematikou zabývat v navazující magisterské závěrečné práci.

Tato práce je založena zejména na autorově tříleté praxi ve znalecké kanceláři AUTO-MOTO-Kuhn.

## **Seznam literatury:**

- Doc. Ing. Bradáč Albert, CSc. *Soudní inženýrství*. Brno. 1987. vydalo VUT v Brně. první vydání. první vydání. 282 s.
- Doc. Ing. Bradáč Albert, CSc. a kolektiv. *Soudní inženýrství*. Brno. 1999. vydalo Akademické nakladatelství s.r.o. Brno. 720 s.
- Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod*. VŠDS v Žilině. 1996. 150 s.
- Ústav soudního inženýrství VUT v Brně. *Učební texty vybraných předmětů*. VUT v Brně. 1982. druhé vydání. 259 s.
- Kolektiv autorů pod vedením Doc. Ing. Bradáč Albert, CSc. *Příručka znalce – Analytika silničních nehod*. Dům techniky ČSVTS Ostrava. 1985. 299 s.
- Ing. Smrček Jiří. *Základy soudního inženýrství*. Brno. 1975.
- Ing. Vorel František MUDr. Fialka Jiří, *Metodika odhadu nárazové rychlosti vozidla na základě zranění chodce*, periodikum Znalec I/95.
- MS.ČR, Znalecké standard č.II, MS.ČR., 1990.
- MS.ČR, Znalecké standard č.III, MS.ČR., 1991.
- MS.ČR, Znalecké standard č.IV, MS.ČR., 1991.
- MS.ČR, Znalecké standard č.V, MS.ČR., 1992.
- Ing. Kuhn Oto. [www.auto-znalec.cz](http://www.auto-znalec.cz)

## **Seznam obrázků:**

č.1 – [www.policie.cz](http://www.policie.cz)

č.2 – Autor

č.3 – Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* VŠDS v Žilině. 1996

č.4 – Ing. Kasanický Gustáv, Csc. *Současné a perspektivní možnosti analýzy dopravních nehod.* VŠDS v Žilině. 1996

č.5 – PC – CRASH 5.1

č.6 – PC – CRASH 5.1

č.7 – PC – CRASH 5.1

č.8 – KOLIZE

č.9 – KOLIZE

č.10 – Virtual - Crash