



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Ondřej Malík

**RYCHLÉ URČENÍ NÁSLEDKŮ NEHOD ZALOŽENÉ NA
KOLIZNÍ RYCHLOSTI**

Bakalářská práce

2018



K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Ondřej Malík

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Rychlé určení následků nehod založené na kolizní rychlosti**

Název tématu (anglicky): **Fast determination of the consequences of accidents based on collision velocity**

Zásady pro vypracování

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

- Prostudujte systémy vozidla, které zabraňují kolizím
- Z hlediska biomechanického prostudujte metody pro hodnocení následků nehod a způsoby jejich výpočtů
- Navrhněte metody pro rychlé hodnocení následků nehod založené na znalosti kolizní rychlosti. Vycházejte z dostupných dat a využijte mechanismy soudního inženýrství
- Porovnejte výsledky jednotlivých metod
- Uveďte reálný příklad využití


Ondřej Malík
jméno a podpis studenta

.....22. června 2017..... V Praze dne



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)


Seznam odborné literatury: A. Bradáč, Soudní inženýrství. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997
F. Vlk, Elektronické systémy motorových vozidel. Praha: František Vlk, 2002


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Hnilica**
Ing. Josef Mík, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **22. června 2017**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **27. srpna 2018**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia




.....
doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků


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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Ondřej Malík
jméno a podpis studenta

V Praze dne 22. června 2017

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak Ing. Janu Hnilicovi a Ing. Josefu Míkovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytovali po celou dobu mého studia.

Prohlášení

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

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

Nemám závažný důvod 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 27.8.2018

.....
podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

RYCHLÉ URČENÍ NÁSLEDKŮ NEHOD ZALOŽENÉ NA KOLIZNÍ RYCHLOSTI

bakalářská práce
srpen 2018
Ondřej Malík

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je analyzovat vývoj bezpečnosti na pozemních komunikacích zaměřený na autonomní vozidla, schopnosti asistenčních systémů těchto vozidel, vývoj legislativy, vývoj spotřebitelských testů Euro NCAP. Dále zde shrnuji možnosti odhadnutí následků nehod na základě kolizní rychlosti a pokouším se popsat novou metodu, která vychází ze soudního znaleství.

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is to analyze the development of road safety focused on autonomous vehicles, the capability of assistance systems of these vehicles, the development of legislation, the development of Euro NCAP consumer tests. I also summarize the possibilities of estimating the consequences of accidents based on the collision rate and try to describe a new method based on the forensic expertise.

KLÍČOVÁ SLOVA

systemy ve vozidle, biomechanika poranění, Euro NCAP, Evropská hospodářská komise OSN, určení následků nehod, soudní znaleství, HIC

KEY WORDS

vehicle systems, injury biomechanics, Euro NCAP, European Commission, accident consequences, forensic experts, HIC

Obsah

1	ÚVOD	7
2	Systémy vozidel.....	10
2.1	Systémy podporující stabilitu jízdy vozidla	10
2.1.1	ABS – protiblokovací brzdový systém.....	11
2.1.2	ASR – protiprokluzový systém.....	11
2.1.3	EBD – elektronická distribuce brzdné síly	11
2.1.4	ESC – elektronická stabilizace jízdy.....	12
2.1.5	BA – brzdový asistent.....	12
2.1.6	Shrnutí kapitoly 2.1.....	12
2.2	Systémy podporující řidiče	12
2.2.1	ACC – adaptivní řízení podélného pohybu vozidla	13
2.2.2	LDWS – asistenční systém udržování jízdního pruhu.....	13
2.2.3	ABN – automatické nouzové brzdění.....	14
2.2.4	DAS – systém monitorování řidiče	14
2.2.5	BSM – kontrola mrtvého úhlu	15
2.2.6	Shrnutí kapitoly 2.2.....	15
3	Biomechanická kritéria poranění.....	16
3.1	Kritérium poranění hlavy – HIC (Head Injury Criterion).....	16
3.2	Kritérium poranění krku – NIC (Neck Injury Criterion).....	17
3.3	Kritérium poranění hrudníku – VC (Viscous elasticity).....	17
3.4	Kritérium ThCC (Thoracic Compression Criterion).....	18
4	Euro NCAP	19
4.1	Současné zkoušky Euro NCAP	19
4.2	Roadmap 2025 [4].....	20
4.2.1	Celkové hodnocení	21
4.2.2	Autonomní řízení.....	25

4.3	Shrnutí kapitoly 4.....	26
5	Evropská hospodářská komise OSN	27
5.1	Automatické řízení.....	27
5.2	Pokročilý nouzový brzdový systém.....	27
5.2.1	Test nárazu vozidlo/vozidlo	28
5.2.2	Test nárazu vozidlo/chodec	28
5.2.3	Test nárazu vozidlo/cyklista.....	28
6	Určení poranění na základě kolizní rychlosti.....	29
6.1	Metoda P. Wramborg – 2005.....	29
6.1.1	Čelní srážka	30
6.1.2	Boční srážka.....	30
6.1.3	Srážka s chodcem nebo cyklistou.....	31
6.2	Metoda D. C. Richards – 2010.....	31
6.2.1	Porovnání metody P. Wramborga a reálných dat D. C. Richardse	33
6.3	Soudní znaleství.....	33
6.4	Reálná data a jejich zpracování.....	38
7	ZÁVĚR.....	41
	Citovaná literatura.....	43
	Seznam obrázků.....	46
	Seznam tabulek.....	47

Seznam použitých zkratek

EHK	Evropská hospodářská komise OSN
FW	náraz do bariéry
HIC	kritérium poranění hlavy
HMI	interakce mezi strojem a člověkem
KiSi	boční náraz
LRR	radar s dlouhým dosahem
NIC	kritérium poranění krku
ODB	náraz s přesahem 40 %
SRR	radar s krátkým dosahem

1 ÚVOD

O autonomních vozidlech se hovoří jako o velké budoucnosti, která má zvýšit kvalitu, kapacitu, výkon, a hlavně bezpečnost provozu na pozemních komunikacích. Jenže realita, jak bude skutečně vypadat postupné začleňování autonomních vozidel do provozu, kde minimálně z počátku budou převažovat hlavně vozidla klasická, se od těchto představ může značně lišit. Je bezesporu pravdou, že v okamžik prvního, legislativně schváleného pohybu autonomního vozidla na evropské silnici, budou i ostatní vozidla opatřena systémy, které se budou rozdílit mezi nimi a samoříditelnými vozidly snažit zmenšovat. Ale jestli se bezpečnost zlepší nebo zhorší, je otázkou.

Kromě varianty, že se autonomní vozidlo potká s neautonomním vozidlem s vysokým stupněm autonomnosti, je zde také možnost, že dojde k míjení s vozidlem staršího typu, které nebude mít automatizaci žádnou. V tomto případě bude vše záležet na tom, jak si bude samoříditelné vozidlo umět zmonitorovat prostor kolem sebe a vyhodnotit přítomnost vozidla bez automatizace.

K tomu, aby vozidlo disponovalo schopností rozeznat jiné vozidlo, ale i chodce, cyklistu nebo neočekávanou překážku, je zapotřebí spolehlivost a přesnost samotných vozidel, jejich systémů a jednotlivých senzorů. Co se týče výpočetní stránky, již dnes jsou počítače na vysoké úrovni a ve spojení s kvalitně vytvořeným softwarem, by mohly tvořit dobré řídicí prostředí. Navíc je pravděpodobné, že v případě selhání software či hardware bude připraven záchranný mechanismus, který bude počítat i se záložním počítačem. Větší problém vidím v kvalitě dat, která jsou vstupem pro zmíněné výpočty. Pokud bude kvalita dat detekovaných senzory špatná, tak bude pro software náročné dobře rozhodovat. Proto se v jedné z částí této práce pokusím popsat jednotlivé systémy, které zabraňují kolizím.

Autonomní vozidlo si tedy můžeme představit jako zařízení, které má za úkol eliminovat lidskou chybu. V případech, kdy dochází k nejvážnějším nehodám, tedy čelní střet, nehody v křižovatkách, srážka s pevnou překážkou, srážka chodce, cyklisty nebo motorkáře, může být příčinou únava, nepozornost, přehlédnutí – lidské chyby. Ty by pravděpodobně automatizace měla být schopna anulovat. Problém by mohl nastat při

situacích, kde se uplatňuje lidský odhad a úsudek. Například přizpůsobení rychlosti z důvodu namrzlého povrchu. Nebo předvídání brždění vozidla před křižovatkou ještě před tím, než se rozsvítí brzdová světla vozidla vpředu. V těchto případech by mohly být autonomní vozidla naopak slabší než člověk.

Musíme si také uvědomit, že pokročilé systémy mají omezenou oblast činnosti danou z fyzikálních vlastností: příkladem může být pohyb autonomního vozidla po dálnici v odpoledních hodinách směrem na západ za deštivého počasí. Vozidlo je v autonomním módu a spoléhá se na automatické podélné vedení, jež závisí na datech z přední videokamery. Náhle přestane pršet a počasí se promění ve slunečné. Slunce svítí přímo do kamery a jelikož je pozemní komunikace mokrá, odráží další paprsky z povrchu přímo do objektivu kamery. Autonomní mód za těchto okolností není schopen provozu.

Při představě všech možných chyb, které mohou nastat a tím omezit schopnost samočinnosti vozidla, se naskytá myšlenka, že místo nehod s vážnými následky se začnou objevovat méně vážné nehody, které způsobí nedokonalost systémů vozidla. Příklady těchto nehod mohou být vyjetí z jízdního pruhu, pokud nebude možné identifikovat vodorovné dopravní značení nebo nedobrzdnění před překážkou v důsledku neodhadnutí situace.

Na základě předchozího odstavce se začala diskutovat otázka, zdali budou autonomní vozidla opravdu o tolik bezpečnější, jak říkají nejrůznější prognózy. Z tohoto vznikl nápad velké počítačové simulace, která bude řešit smíšený provoz vozidel autonomních i klasických. Bylo jasné, že pokud chceme, aby měl výsledek vypovídající hodnotu, je potřeba velkého množství dat. Proto byla zvolena forma simulace, která řeší pouze směr a rychlost nárazu. V této situaci nastal problém vyhodnocování těchto dat. A to je právě problém, který řeším v této bakalářské práci.

Cílem je navrhnout a vyzkoušet metodu, která by měla sloužit jako nástroj pro rychlé vyhodnocení dat ze simulace. Tedy z nárazové rychlosti a směru nárazu určit následky na zdraví, které se při jednotlivých nehodách odehrají. V případě funkčnosti této metody by bylo možné stanovit vývoj vážnosti nehod po schválení a začlenění autonomních vozidel do provozu.

Jelikož se hodnocení následků nehod opírá o lidská biomechanická kritéria, pro lepší pochopení bych chtěl jednu z následujících kapitol věnovat právě tomuto tématu. Budu se věnovat výpočtům biomechanických kritérií člověka. Jedno z nich, kritérium poranění hlavy, použiji k vyhodnocení dat v praktické části.

Otázkou také je, jaký směr a jakou rychlost bude mít vývoj vozidel v následujících letech. Proto je zde kapitola, která shrnuje plány na zkoušení vozidel v roce 2025 podle přední spotřebitelské organizace, kterou je Euro NCAP a také připravovaná legislativa pro zkoušení vozidel, kterou připravuje Evropská hospodářská komise OSN.

Poslední částí této bakalářské práce bude praktické ověření navržené metody, které bude vyhodnocovat reálná data ze saňových testů. K dispozici bude nárazová rychlost a zrychlení v hlavě. Tato data nejdříve vyhodnotím pomocí kritéria HIC a následně použiji inverzní metodu soudního znaleství. Poté oba výsledky porovnáám a potvrdím nebo vyvrátím funkčnost metody.

2 Systémy vozidel

Pro lepší představu bezpečnosti vozidel, se v této kapitole budu zabývat vybraným technologickým vybavením vozidel se zaměřením na systémy, které se podílí na zabraňování kolizí.

Tyto systémy se rozdělují do dvou skupin: systémy podporující stabilitu jízdy vozidla a systémy podporující řidiče. [1]

2.1 Systémy podporující stabilitu jízdy vozidla

Jedná se o systémy, které zasahují do řízení (ovládání brzd a otáček motoru), a tak zlepšují jízdní stabilitu vozidla. Pomáhají při akceleraci, deceleraci, ale i při změně směru jízdy nebo anulují odlišnosti vyvolané vozovkou. [2]

V případě nutnosti jsou tyto systémy aktivovány automaticky, aniž by řidič mohl jejich činnost ovlivnit. Tyto systémy musí pracovat okamžitě a přesně. Zásahy provádí tak, že řidič ani nepozná, že k nim došlo a považuje je za normální. Asistenční systémy podporující stabilitu jízdy vozidla jsou například:

- ABS – protiblokovací brzdový systém;
- ASR – protiprokluzový systém;
- EBD – elektronická distribuce brzdné síly;
- ESC – elektronická stabilizace jízdy;
- BA – brzdový asistent. [2]

2.1.1 ABS – protiblokovací brzdový systém

Při razantním brzdění v kritické situaci může, obzvláště na kluzké vozovce, docházet k zablokování kol. Tak dojde ke ztrátě kontroly nad směrovým vedením vozidla. V tomto případě dojde k aktivaci systému ABS.

ABS neustále monitoruje a vyhodnocuje otáčení všech kol vozidla. Pokud zjistí prokluz kola – odvaluje se pomaleji než ostatní, sníží na něm působící brzdny tlak. Díky snížení tlaku (odbrzdění kola) nedochází k zablokování kola při brzdění a ani ke ztrátě adheze mezi kolem a vozovkou. Největší brzdny účinek nastává, pokud je kolo ve skluzu přibližně 15 %. [1] [2]

2.1.2 ASR – protiprokluzový systém

Pokud při akceleraci je přenášený kroutící moment vyšší než maximální fyzikálně daný přenositelný moment, dojde k prokluzování kol. Tím dojde ke ztrátě boční síly a vozidlo se stane směrově nestabilní. [2] [3]

Prokluz je detekován rozdílem otáček kol na poháněné a nepoháněné nápravě. Po zjištění prokluzu dojde k přibrzdění prokluzujících kol, případně ke snížení otáček motoru. Tak se zastaví prokluz kola a umožní se jeho ovládání a přenos hnací síly na vozovku. [1]

2.1.3 EBD – elektronická distribuce brzdny síly

Při brzdění dochází přirozeně k odlehčování zadní nápravy, a tak může dojít k zablokování kol. EBD rozdělí brzdny účinek na přední a zadní nápravu podle aktuálního zatížení a zamezuje přebrzdění zadní nápravy dříve, než dojde k aktivaci ABS. [1] [2]

2.1.4 ESC – elektronická stabilizace jízdy

Systém elektronické stabilizace jízdy porovnává požadovanou a skutečnou dráhu vozidla (podle natočení volantu, směru jízdy, otáček kol, příčného a podélného zrychlení, natáčení vozu, polohy plynového pedálu). ESC při detekci smyku, pomocí sjednocení systémů ABS a ASR, přibrzdí adekvátní kolo tak, že vytvoří točivý moment a vozidlo se tak dostává do požadované polohy. [1] [3]

2.1.5 BA – brzdový asistent

Brzdový asistent je od roku 2009 povinnou výbavou všech nově prodaných aut v Evropské unii. Monitoruje rychlost sešlápnutí brzdového pedálu a jeho tlak. Aktivuje se, pokud dojde k dostatečně rychlému sešlápnutí pedálu, ale nedostatečnou silou. V tomto případě systém dokáže zajistit okamžité zvýšení tlaku v brzdové soustavě a tím dokonale využít výkon všech čtyř brzd. Může dojít ke zkrácení brzdné dráhy až o 20 %. [1] [2]

2.1.6 Shrnutí kapitoly 2.1

Všechny systémy podporující stabilitu jízdy vozidla se dnes nacházejí v téměř každém novém vozidle. Úroveň těchto systémů je velice pokročilá, a proto nepředpokládám, že jejich další vývoj bude znamenat velké pokroky v bezpečnosti na pozemních komunikacích.

2.2 Systémy podporující řidiče

Na asistenční systémy podporující řidiče je v posledních letech kladen důraz hlavně s ohledem na potenciál autonomního řízení. Jedná se o prvky, které nejen informují řidiče, ale i částečně přebírají kontrolu nad vozidlem. Řidič má ovšem vždy úplnou zodpovědnost.

Oproti systémům podporující stabilitu jízdy vozidla, u kterých se čeká maximálně větší vyladění a zpřesnění, mají systémy podporující řidiče cestu vývoje otevřenou. V následujících letech se očekává, že dojde k takovému pokroku, že automobily a jejich systémy budou moci postupně přebírat část úkonů řidiče, a tím odstartovat cestu k plně autonomním vozidlům. Jestliže budou systémy fungovat naprosto precizně, bude to mít kladný vliv na bezpečnost silničního provozu. [2]

Asistenční systémy podporující řidiče jsou například tyto:

- ACC – adaptivní řízení podélného pohybu vozidla;
- LKAS – asistenční systém udržování jízdního pruhu;
- ABN – automatické nouzové brzdění;
- DAS – systém monitorování řidiče;
- BSM – kontrola mrtvého úhlu;
- ABN – automatické nouzové brzdění.

2.2.1 ACC – adaptivní řízení podélného pohybu vozidla

Tento systém využívá vstupy od dvou senzorů (LRR – radar s dlouhým dosahem a SRR – radar s krátkým dosahem). Na základě dat z obou radarů dokáže ACC určit odstup od vozidla vpředu a pomocí své aktuální rychlosti dokáže vypočítat a udržovat bezpečný odstup. Systém svými senzory neustále monitoruje prostor před vozidlem. Pokud řídicí jednotka vyhodnotí, že vzhledem k rychlosti jízdy a odstupu od překážky nebo vozidla může dojít ke kolizi, zaručí zařízení maximálně rychlý nárůst tlaku v brzdovém systému a tím garantuje dosažení nejkratší možné brzdné dráhy. [1] [2]

2.2.2 LDWS – asistenční systém udržování jízdního pruhu

Vstupem tohoto systému je nejčastěji videozáznam, který využívá většina automobilek. V reálném čase se z videa detekuje vodorovné dopravní značení a pomocí zásahů do

řízení (elektronického ovládní volantu) se vozidlo udržuje v jízdním pruhu. Tato funkce je však časově omezena a z legislativních důvodů vyžaduje pozornost řidiče. [1] [3]

V následujících letech se očekává vývoj i tohoto systému, protože aktuálně systém pracuje relativně spolehlivě jen při ideálních podmínkách, tedy pokud je komunikace značena podélným značením, a pokud je v dobrém stavu. Roli hraje také osvětlení.

2.2.3 ABN – automatické nouzové brzdění

Systém automatického nouzového brzdění vychází ze stejných senzorů jako adaptivní řízení podélného pohybu vozidla a může být zapojen i videozáznam. Právě na tento systém bude pravděpodobně kladen velký důraz. Euro NCAP rozšíří testování o zranitelné účastníky dopravy, tedy chodce a cyklisty. [4]

Další problém, který budou muset automobilky řešit, je funkčnost při snížené viditelnosti. Ve spojitosti s autonomními vozidly došlo k řadě dopravních nehod, přičemž nejvážnější se odehrála v Arizoně, kde vozidlo společnosti UBER ve tmě srazilo chodkyni. [5]

2.2.4 DAS – systém monitorování řidiče

Jedná se o systém, který každá automobilka řeší různými způsoby. Jako první tento systém začala využívat automobilka Toyota v roce 2006, když umístila kameru do interiéru vozu a únavu vyhodnocovala pomocí frekvence pohybů očních víček. [2] [6]

Například společnost Volvo odhaluje únavu řidiče vyhodnocováním způsobu jízdy, když sleduje záznam z kamery monitorující vozovku a data z otáčení volantu. Systém rozezná neklidný způsob řízení od normálního. [7]

Tento systém má potenciál v zamezení nehod, které jsou způsobeny únavou, nebo zdravotním stavem řidiče. V případě špatné kondice řidiče může znemožnit nebo přerušit jízdu.

2.2.5 BSM – kontrola mrtvého úhlu

Systém kontroly mrtvého úhlu pomáhá řidičům identifikovat jiná vozidla v okolí vozu včetně míst, kam řidič nemusí vidět. Mrtvý úhel typicky vzniká v místech zastíněných sloupky, ale mohou ho tvořit i spolujezdci. Mrtvý úhel eliminují zrcátka, avšak jsou místa, která zpětná zrcátka nedokáží pokrýt. Například klasickým problémem na dálnici je, pokud při předjíždění automobil najede do místa, kde už není vidět ve zpětném zrcátku a zároveň je ukryto za B sloupkem mezi předními a zadními dveřmi. K identifikování těchto míst se vyvíjejí asistenti pro sledování okolí vozu. [3]

O snímání okolí vozu se nejčastěji starají ultrazvukové detektory (dosah až 6 metrů) nebo radarové detektory (dosah až 60 metrů). Detektory se umísťují do zadního nárazníku nebo pod zpětná zrcátka. Radarové detektory zajišťují sledování vzdálenějšího okolí vozidla a snaží se identifikovat blížící se vozidla. Ultrazvukové senzory se soustředí na bližší okolí. Pokud ultrazvukové senzory identifikují jiné vozidlo uvnitř snímaného prostoru, informují řidiče nejčastěji rozsvícením diod ve zpětném zrcátku. Záleží však na výrobcích – například Volvo má svůj systém postaven pouze na radarových detektorech.

2.2.6 Shrnutí kapitoly 2.2

Systémy podporující řidiče budou s největší pravděpodobností hlavní hybnou silou k dosažení plně autonomního vozidla. Hlavní roli bude hrát jejich kvalita a preciznost, a také to, jak si automobilky poradí se zpracováním dat ze sensorů.

3 Biomechanická kritéria poranění

Biomechanika je obor mechaniky, který se zabývá studiem mechanických vlastností živých organismů. [8]

Biomechanika poranění jsou následky a reakce živých organismů na působení vnější síly. [8]

Biomechanické kritérium poranění je empiricky odvozený matematický výraz, který se určuje na základě porovnání fyzikálních veličin a vážnosti zranění, které působením těchto sil vzniká. Postupným soustředěním se na tuto oblast byla stanovena celá řada kritérií a nejdůležitější z nich jsou popsány níže. [8]

3.1 Kritérium poranění hlavy – HIC (Head Injury Criterion)

Poranění hlavy vzniká při zrychlení mozkové hmoty a je jedním z nejvážnějších poranění, která vznikají při nehodách. HIC je velmi často používané kritérium poranění pro hodnocení vážnosti zranění, které vyvolalo zrychlení v hlavě. [8]

Jedná se o maximální obsah pod křivkou, která je vytvořena superpozicí všech tří os zrychlení v čase. Stanovuje se v intervalu 36 ms (nedojde-li ke kontaktu hlavy s pevným objektem) nebo 15 ms (dojde-li ke kontaktu hlavy s pevným objektem). Limitní hodnota HIC pro přežití je 1000. [8] [9]

$$HIC = \max_{t_1, t_2} \left\{ (t_2 - t_1) \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right)^{2.5} \right\} \quad (1)$$

- t_1, t_2 – mezní hodnoty intervalů
- a – výsledné zrychlení v $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$

3.2 Kritérium poranění krku – NIC (Neck Injury Criterion)

Poranění krční páteře způsobuje moment, který působí při nehodě a je vyvolán setrvačnou silou hlavy. NIC sleduje korelaci mezi poraněním a prouděním kapaliny (gradientem) uvnitř krční páteře. Mezní hodnota pro toto kritérium NIC je stanovena na $15 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$. Ohybový moment krku kolem osy y musí být menší než 57 Nm. [10]

$$NIC = a_r \cdot 0,2 + v_r^2 \quad (2)$$

- a_r – zrychlení hlavy
- v_r – rychlost těžiště hlavy

3.3 Kritérium poranění hrudníku – VC (Viscous elasticity)

Kritérium viskozity hodnotí poranění hrudníku podle stlačení hrudníku a podle rychlosti tohoto stlačení. Tyto hodnoty jsou měřeny na hrudníku, pokud se jedná o čelní náraz, nebo jsou měřeny na žebrech, pokud se jedná o boční náraz. Kritickou hodnotou je $VC = 1 \text{ m/s}$. [8] [10] [11]

$$VC = \frac{Y}{k} \cdot \frac{dY}{dt} \quad (3)$$

- Y – stlačení hrudníku/žeber
- k – konstanta figuríny

3.4 Kritérium ThCC (Thoracic Compression Criterion)

Kritérium stlačení hrudníku ThCC se uplatňuje při zkoušení čelního nárazu vozidla. Toto kritérium se měří mezi přední a zadní stěnou dutiny břišní a stanovuje se dle hodnoty okamžitého stlačení hrudníku. Maximální přípustná hodnota stlačení je 50 mm. [12]

4 Euro NCAP

Euro NCAP je mezinárodní spotřebitelská organizace, která provádí široké spektrum zkoušek vozidel. Testy vyhodnocuje a vozidlům uděluje adekvátní počet hvězd, kdy nejvíce je možné získat 5 hvězd. K založení této organizace došlo v prosinci roku 1996. [4]

4.1 Současné zkoušky Euro NCAP

V oblasti bezpečnosti dospělé posádky se zkouší:

- test nárazu do deformovatelné bariéry s přesahem 40 % (rychlost 64 km/h),
- test nárazu do plné nedeformovatelné bariéry (rychlost 50 km/h),
- test nárazu mobilního deformovatelného vozíku do boku testovaného vozidla (rychlost 50 km/h),
- test nárazu vozidla na kůl (rychlost 32 km/h),
- test nárazu zezadu (rychlost 16–24 km/h),
- test zastavení za modelem vozidla (rychlost 10-50 km/h).

V oblasti bezpečnosti dětské posádky se zkouší:

- test nárazu mobilního deformovatelného vozíku do boku testovaného vozidla (rychlost 50 km/h),
- test upevnění a instalace dětské sedačky ve vozidle.

V oblasti zranitelných účastníků provozu se zkouší:

- test nárazu hlavy do kapoty vozidla (rychlost 40 km/h),
- test nárazu stehenní částí dolní končetiny do vozidla (rychlost 40 km/h),
- test nárazu lýtkovou částí dolní končetiny do vozidla (rychlost 40 km/h),

- test zastavení před přecházejícím chodcem (rychlost chodce 8 km/h; rychlost vozidla 20-60 km/h),
- test zastavení za cyklistou,
- test zastavení před cyklistou, který křížuje vozidlu cestu.

V oblasti asistenčních systémů se zkouší:

- test elektronické kontroly stability (rychlost 80 km/h, otočení volantů o 270°),
- test bezpečnostních pásů (upozornění na nepřipoutání),
- test asistenčního systému rychlosti,
- test automatické nouzové brzdy (rychlost 30-80 km/h; překrytí 50 %).

4.2 Roadmap 2025 [4]

Roadmap 2025 je plán, který určuje, na co se budou testy Euro NCAP zaměřovat s výhledem do roku 2025. Je zde popsáno, na co by se automobilky měly zaměřit při vývoji svých automobilů, aby měly výborné hodnocení a plný počet hvězd. Nově by se mělo od roku 2020 začít testovat monitorování řidiče, tedy případné užití alkoholu před jízdou, rozptýlení nebo únava. Po rozpoznání nevyhovujícího stavu o tom systémy upozorní řidiče diodou nebo zvukovým signálem. Má tu být ale také možnost automatického nouzového řízení (AES), které by mohlo být legislativně možné v roce 2022.

Euro NCAP pro hodnocení vozidel vyhodnocuje čtyři oblasti. Adult Occupant – bezpečnost dospělých ve vozidle, Child Occupant – bezpečnost dětí ve vozidle, Vulnerable Road Users – zranitelní účastníci provozu, Safety Assist – asistenční systémy. V budoucnosti se bude pro hodnocení Euro NCAP používat také simulace, které mají zajistit širší a robustnější přístup k posuzování testů.

4.2.1 Celkové hodnocení

Bezpečnostní prvky automobilů můžeme rozdělit do tří skupin – primární, sekundární a terciální. Euro NCAP se zaměřuje na všechny tři. Jádrem však byla a bude sekundární bezpečnost. Nicméně prvky primární a nově i terciální bezpečnosti vozidel začínají při hodnocení nabývat na významu. Kvůli vývoji nových technologií Euro NCAP začne do svého hodnocení začleňovat nové testy, které jsou uvedeny níže.

Do roku 2025 se předpokládá, že bude vozidlům umožněno rozhodování mezi různými scénáři. Například pokud před vozidlo vstoupí chodec, bude se vozidlo rozhodovat, jestli spustí krizové brzdění nebo jestli vykoná zásah do řízení (výhybný manévr).

4.2.1.1 Aktivní (primární) bezpečnost

Do aktivní bezpečnosti zahrnujeme systémy, technická zařízení a vlastnosti vozidla, které pomáhají řidiči předcházet nebo zabránit dopravním nehodám. Jedná se například o protiblokovací systém (ABS) nebo protiprokluzový systém (ASR). [8]

Euro NCAP se v oblasti aktivní bezpečnosti bude soustředit na následující:

Monitorování řidiče

Více než 90 % silničních nehod je způsobeno lidskou chybou. Systém monitorování řidiče by se proto měl podle Euro NCAP zaměřit hlavně na dodržování rychlosti, nedovolení řízení v případě užití drog nebo alkoholu před jízdou a upozornění, pokud systém rozpozná únavu, nepozornost či rozptýlení. V budoucnu by měl přijít taky systém pro posuzování zdravotního stavu řidiče. Již dnes existují systémy, které vyhodnocují a upozorňují na kritické situace a podporují řidičovo chování.

Euro NCAP předpokládá rozvoj systému monitorování řidiče a nastiňuje možné efektivní způsoby řešení. Pokud systém rozezná zhoršené či rozptýlené chování řidiče, pak by vozidlo mělo mít možnost zásahu do řízení a vykonat záchranný výhybný manévr; zahájit

autonomní jízdu na bezpečné domácí stanoviště; povolit zvýšenou citlivost elektronické stability; spustit podporu jízdy v pruhu; dodržovat nejvyšší povolenou rychlost. Hodnocení v testech Euro NCAP bude založeno na tom, jak spolehlivě a přesně bude zjištěn stav řidiče a jak se systém na základě analyzovaného stavu řidiče zachová.

Automatické nouzové řízení (AES)

Automatické nouzové řízení je systém, který je schopen převzít kontrolu nad vozidlem v krizových situacích. Jeho potenciál je hlavně v zamezení či zmírnění následků nehod. První krok, který Euro NCAP provede, bude testování systému podpory jízdy v pruhu, které začlení do celkového hodnocení v roce 2020. Rozšíření testování na komplexní systém AES se uskuteční podle časového rámce legislativních změn, které by automatické nouzové řízení povolovaly, očekává se však, že by to mělo být v roce 2022.

Automatické nouzové brzdění (AEB)

Jedná se o systém, který na základě vstupů z radarů a kamer monitoruje okolní prostředí vozidla a v případě nutnosti upozorní řidiče a zahájí nouzový brzdící manévr, který má zabránit potenciálnímu konfliktu. Tento systém je zahrnut do celkového hodnocení již od roku 2014, kdy se začalo testovat odvrácení kolize „car-to-car“. V roce 2015 byl přidán test nehody automobilu a chodce přecházejícího přes přechod pro chodce.

Euro NCAP očekává, že technologie automatického nouzového brzdění se bude v příštích letech dále rozvíjet a určila proto tři prioritní oblasti, v nichž bude systém hodnocení aktualizován, aby zachytil pokrok průmyslu:

- 1) Podle průzkumu německých pojistitelů bylo zjištěno, že 17 % kolizí mezi vozidlem a chodcem se odehraje na parkovištích při zadním vyjíždění z parkovacího místa. Kvůli této skutečnosti Euro NCAP plánuje od roku 2020 zahrnout do jeho testů scénář, který ověří schopnost vozidel detekovat přítomnost osob za zádi automobilu a adekvátně na to reagovat (automatické brzdění, zabránění akceleraci).
- 2) Další nebezpečná místa na pozemních komunikacích jsou křižovatky. Od roku 2020 se plánují testovat scénáře, které ověří funkčnost systému AEB při zastavení

na stop čáře, pokud svítí červený signál; zastavení zkoušeného vozidla, pokud jiný objekt nedá přednost v jízdě (do testů by měly být zahrnuty automobily, pěší, cyklisté a elektrická kola).

- 3) Kombinované posuzování přesnosti automatického řízení a brzdění, aby se zabránilo kolizi s jinými účastníky silničního provozu – plánováno testovat od roku 2022.

V2X komunikace

V2X komunikace znamená komunikaci mezi vozidly, ale také mezi vozidlem a infrastrukturou. Komunikací se rozumí přenos provozních dat. Jde například o vysílání nouzového elektronického brzdného světla, informace o blížícím se motocyklistovi nebo informace o práci na silnici v předu před vozidlem. Kvůli možnosti identifikace možného rizika dříve, než ho mohou detekovat senzory na vozidle nebo sám člověk, se předpokládá potenciál pro zlepšení bezpečnosti provozu a zároveň zvýšení efektivity dopravy. Bohužel tento způsob komunikace je závislý na vybudování infrastruktury pro síť 5G, proto Euro NCAP zatím plánuje zařazení testů komunikace V2X až v roce 2024.

4.2.1.2 Pasivní (sekundární) bezpečnost

Pasivní bezpečnost se uplatňuje až ve chvíli, kdy dojde k dopravní nehodě. Proto do pasivní bezpečnosti vozidel řadíme konstrukční prvky, které mají za úkol minimalizovat následky střetu. Mezi prvky pasivní bezpečnosti řadíme deformační zóny, opěrky hlavy, bezpečnostní pásy atd. Euro NCAP se v období do roku 2025 bude v oblasti pasivní bezpečnosti zaměřovat hlavně na ochranu posádky při nárazu zezadu a na ochranu chodců a cyklistů. [8]

Ochrana posádky při nárazu zezadu

Z testů, které si Euro NCAP nechal udělat bylo zjištěno, že by mohlo dojít ke snížení velikosti pulzu, protože by pak lépe odpovídal skutečnosti. Tato skutečnost bude přezkoumána a reakce by mohla přijít k roku 2020.

V současnosti se provádí pro simulaci nárazu vozidla do chodce řada testů: náraz dospělého i dítěte hlavou do vozidla; náraz holení části nohy do vozidla; náraz lýtkové části nohy do vozidla. Aktuálně se testy provádí jen s impaktory, tedy technickými zařízeními, které představují jen část lidského těla, např. hlavu nebo holenní kost. Dvě nezávislé studie (FlexPLI with Upper Body Mass; EC Seniors Project; Horizont 2020; 2017) a (aPLI; Isshiki; 2016) zjistily nedokonalost testu v podobě chybějící hmotnosti hrudi těla, a to hlavně pro holenní zkoušky. Jakmile bude dostupné technologické řešení tohoto problému, Euro NCAP začne tyto testy zkoušet.

4.2.1.3 Terciární bezpečnost

Jedná se o nově se rozvíjející část bezpečnosti vozidel, která zahrnuje technologie, jejichž úkolem je redukovat zdravotní následky nehod. Patří sem například detekce dítěte nebo dostupnost informací o konstrukci, bezpečnostních systémech a pohonu vozu.

Zachraňování, vyprošťování a bezpečnost

Složky integrovaného záchranného systému vyžadují detailní, ale snadno srozumitelné informace, které se týkají konstrukce kolidujících vozidel. Jedná se hlavně o přítomnost vysokopevnostní oceli a kompozitních materiálů. Důležitá je také znalost pohonu, tedy jestli se jedná o spalovací, elektrický či vodíkový pohon. Vhodná je také informace o počtu aktivovaných airbagů.

Detekce dětí ve vozidle

Je pravda, že počet dětí zapomenutých ve vozidlech je oproti počtu nehod zanedbatelný. I tak je toto číslo naprosto neakceptovatelné. Proto se Euro NCAP rozhodl, že od roku 2022 bude udělovat body do celkového hodnocení za systém, který odhalí dítě ve vozidle a upozorní řidiče na nevhodné podmínky pro ponechání samotného dítěte ve vozidle i na krátký časový úsek.

4.2.2 Autonomní řízení

Euro NCAP uznává, že nové technologie a systémy aktivní bezpečnosti přináší více a více bezpečnosti na silnici. Potenciální zvýšení bezpečnosti může přinést také automatizace, ale to za předpokladu, že bude mít minimálně stejné schopnosti jako člověk. Stěžejní to pak bude hlavně v komplikovaných dopravních situacích. Proto je tu jasný zájem na podporu povědomí o nových technologiích mezi spotřebiteli a zvýšení tlaku na jejich zavedení tak, aby zvýšení bezpečnosti bylo opravdu realizováno. Zároveň je podle Euro NCAP důležitá důkladná kontrola těchto systémů tak, aby nepředstavovaly nová rizika a s tím i možné negativní dopady na bezpečnost.

4.2.2.1 Automatické funkce

Vývoj autonomních vozidel bude pravděpodobně velmi rychlý a hlavně evoluční. V tuto chvíli nenabízí plnou automatizaci ve všech situacích žádné vozidlo. Nicméně na trhu již můžeme pozorovat dosažení úrovně 3, která umožňuje řidiči „pustit volant“ a ponechat vozidlo v automatickém režimu, musí však být kdykoliv připraven řízení převzít zpět pod svou kontrolu.

Současné možnosti automatických funkcí jsou charakterizovány hlavně podélným a příčným ovládáním, tedy možností systému zasahovat do akcelerace, decelerace a do ovládání volantu. V dané chvíli tyto funkce vyžadují, aby řidič hlídal jejich bezpečný chod.

I nadále se předpokládá postupný vývoj pokročilých systémů, proto se předpokládá i postupné posuzování jednotlivých funkcí a systémů zvlášť. Tyto funkce a systémy by poté měly být systematicky posuzovány v následujících scénářích: parkoviště, městská komunikace, meziměstská komunikace, dopravní kongesce, dálnice.

4.2.2.2 Zkoušení a hodnocení

Euro NCAP chce i nadále věnovat pozornost primárně podpoře bezpečnějších vozidel a poskytování relevantních informací spotřebitelům. U autonomních vozidel se budou

zkoušky zaměřovat hlavně na technické dokonalosti a interakci člověka a počítače (Human Machine Interaction - HMI), půjde o aktivace systémů (např. ACC), deaktivace autonomního řízení (například na konci VDZ), převzetí řízení člověkem. Dále se bude také zkoumat porozumění a očekávání řidičů na základě informací od výrobců.

4.3 Shrnutí kapitoly 4

Euro NCAP si za skoro 22 let své existence vybudoval silnou pozici. Díky synergii se spotřebiteli, kteří berou v potaz výsledky jeho zkoušení, vytvořil tlak na výrobce automobilů. Ti se snaží dosáhnou nejlepšího hodnocení a k tomu je nezbytné, aby své vozy navrhovali bezpečnější.

Podle plánů Euro NCAP se v budoucnu dočkáme dalšího zlepšování bezpečnosti na komunikacích ve všech oblastech, a to i v oblasti automatizovaných funkcí.

5 Evropská hospodářská komise OSN

Evropská hospodářská komise OSN je další autoritou, která ovlivňuje dění v automobilovém průmyslu. Ze zápisů jednání jejich pracovních skupin jsou dále zpracovány dva okruhy, které se přímo účastní automatizace vozidla. Jsou jimi automatické řízení a pokročilý nouzový brzdový systém.

5.1 Automatické řízení

V oblasti automatického řízení se EHK zaměřuje hlavně na systém držení vozidla v jízdních pruzích a na systém změny jízdního pruhu. Systémy by měly být v harmonii s řidičem. To znamená, že záměry řidiče musí být spolehlivě odráženy v systému a řidič musí mít kdykoliv možnost zasáhnout nebo převzít řízení. Také je důležité, že systém je navržen tak, aby zajistil pozornost řidiče. [13]

Cíle automatického řízení jsou:

- systém funguje v normálním stavu stejně jako člověk;
- řidič může kdykoliv převzít kontrolu.

5.2 Pokročilý nouzový brzdový systém

Charakteristika tohoto systému byla popsána v kapitole 2.2.3, Evropská hospodářská komise OSN navíc definuje podrobnosti ohledně scénářů. Nouzový brzdový systém by měl být aktivován v rozmezí rychlosti 10 km/h až 50 km/h, a to na podmět jiného vozidla, chodce a cyklisty.

5.2.1 Test nárazu vozidlo/vozidlo

Test nárazu vozidla s jiným vozidlem se simuluje pomocí pohyblivého terče, který se může pohybovat rychlostí až 42 km/h. Testované vozidlo sleduje terč, přičemž se uvažují dva scénáře, 100 % překrytí a 50 % překrytí. Poté terč začne zastavovat a testované vozidlo musí bezkolizně zastavit.

5.2.2 Test nárazu vozidlo/chodec

Test nárazu vozidla do chodce se má zkoušet s dospělou i dětskou figurínou, která se pohybuje rychlostí 5 km/h. Scénáře se mají odehrávat ve dne i v noci. Vozidlo se bude pohybovat opět rychlostí mezi 10 km/h a 50 km/h.

5.2.3 Test nárazu vozidlo/cyklista

Test nárazu vozidla do cyklisty se bude zkoušet s modelem cyklisty, který se pohybuje rychlostí 15 km/h. Tato zkouška simuluje překřížení trasy automobilu cyklistou.

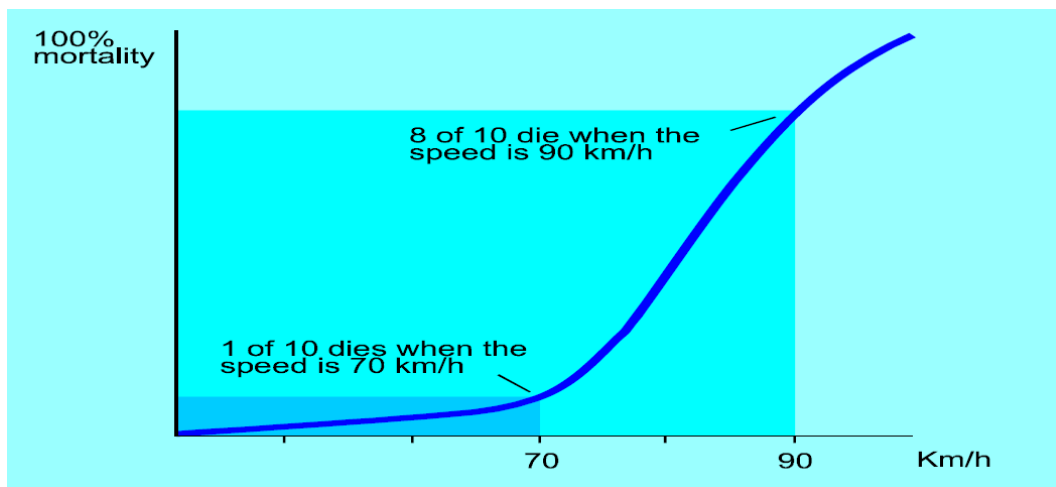
6 Určení poranění na základě kolizní rychlosti

Pro vyřešení otázky vývoje nehodovosti po zapojení autonomních automobilů do provozu společně s klasickými vozy budeme v budoucnu simulovat scénář, kde na velkém území budou oba druhy vozidel. Z důvodů obrovského množství dat nepůjde každou nehodu vyhodnocovat jednotlivě a určovat u každé kritéria poranění. Proto je metoda popsaná v praktické části založena na kolizní rychlosti, při které došlo při dané nehodě ke střetu. V dalším textu jsou popsány metody od P. Wrambora a D. C. Richardse, kteří se touto problematikou dříve zabývaly.

6.1 Metoda P. Wramborg – 2005

Per Wramborg se zabýval návrhem městských silnic tak, aby odpovídaly „Vizi Nula“. Na základě toho provedl analýzu, jakou rychlost je lidské tělo schopné tolerovat a vytvořil grafy závislosti úmrtnosti na rychlosti. Poté prosazoval, aby byla rychlost v severských zemích dimenzována na biomechanický limit přežití člověka. [14]

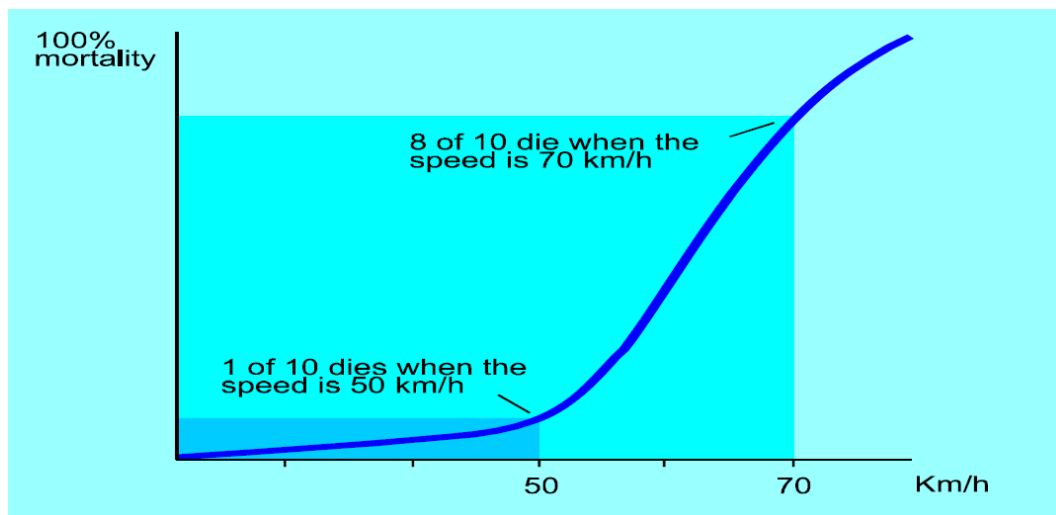
6.1.1 Čelní srážka



Obrázek 1- Závislost úmrtnosti na rychlosti pro čelní střet, Wramborg 2005

Z tohoto grafu můžeme vidět, že při rychlosti do 70 km/h je pravděpodobnost fatálních následků 10 %. Při vyšších rychlostech pravděpodobnost prudce roste. [14]

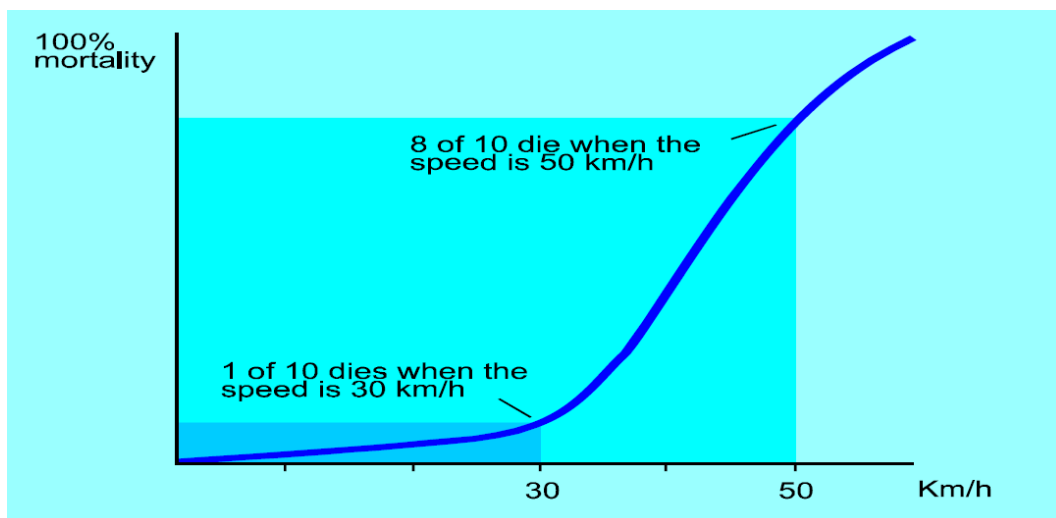
6.1.2 Boční srážka



Obrázek 2 - Závislost úmrtnosti na rychlosti pro boční střet, Wramborg 2005

Pokud se jedná o boční střet, tak se rychlost, která odpovídá pravděpodobnosti 10 % úmrtí, snižuje na 50 km/h. [14]

6.1.3 Srážka s chodcem nebo cyklistou



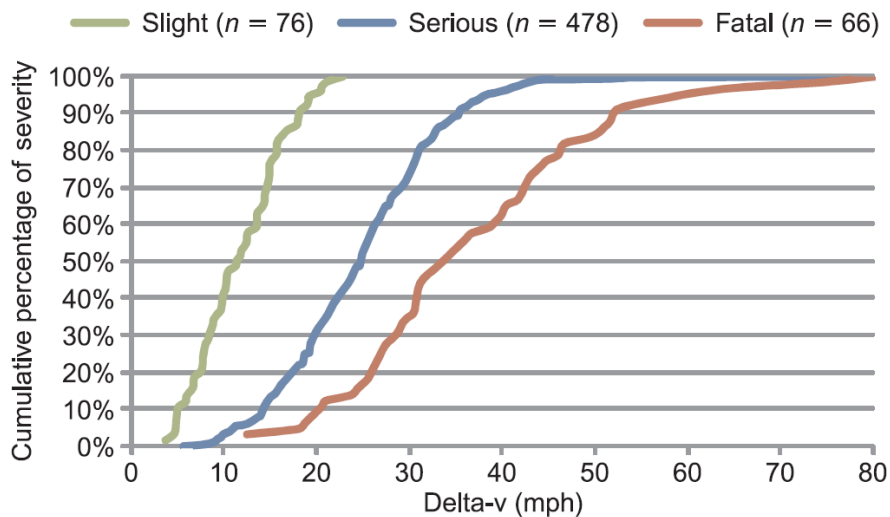
Obrázek 3 - Závislost úmrtnosti na rychlosti pro srážku s chodcem nebo cyklistou, Wramborg 2005

Pro chodce a cyklisty je hranice 10 % už při rychlosti 30 km/h, jedná se o nejzranitelnější účastníky dopravy. [14]

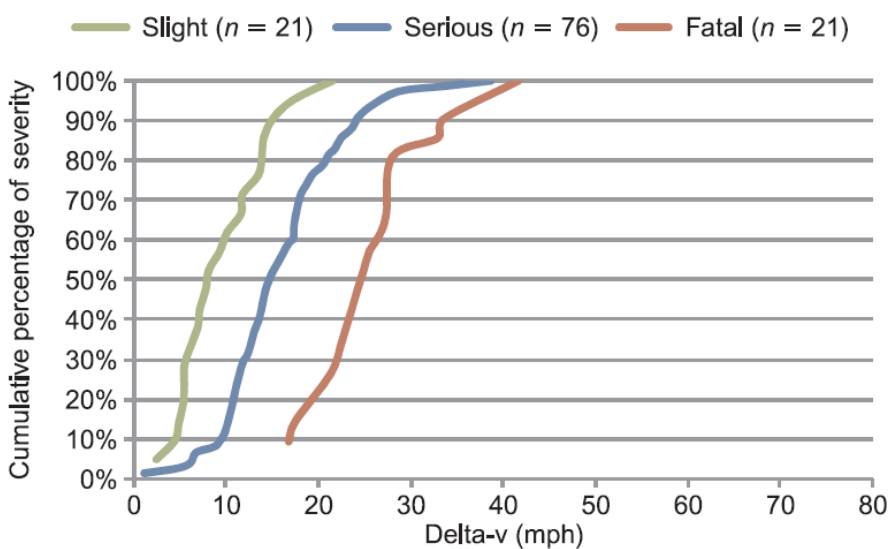
6.2 Metoda D. C. Richards – 2010

D. C. Richards je členem Laboratoře výzkumu dopravy (Transport Research Laboratory), která zpracovává výzkumy, které jsou zadány Ministerstvem dopravy Velké Británie (Department for Transport). Díky členství v této organizaci má přístup k jedinečným datům o nehodách. [15]

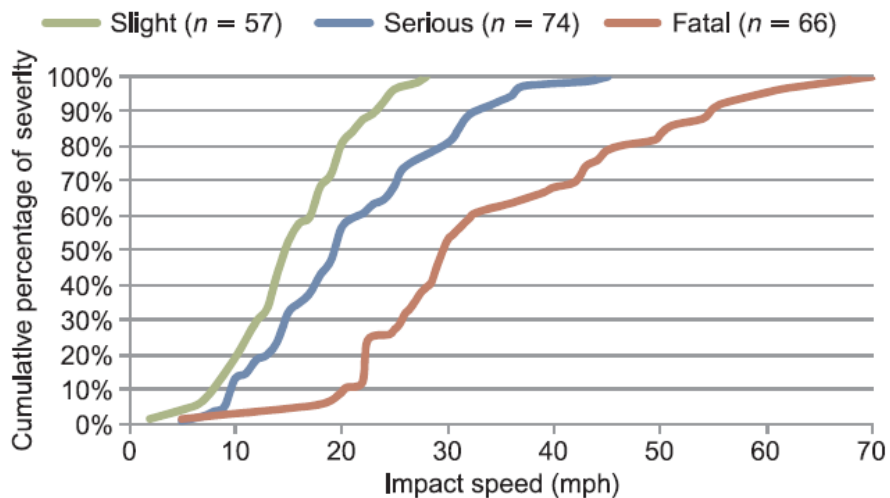
Na základě práce s těmito daty vytvořil empirické vzorce, které převádějí rychlost a směr nárazu na pravděpodobnost fatálního zranění. Reálná data jsou uvedena níže a dále s nimi budu pracovat v praktické části. [15]



Obrázek 4 - Závislost úmrtnosti na rychlosti pro čelní střet, Richards 2010



Obrázek 5 - Závislost úmrtnosti na rychlosti pro boční střet, Richards 2010



Obrázek 6 - Závislost úmrtnosti na rychlosti pro srážku s chodcem nebo cyklistou, Richards 2010

6.2.1 Porovnání metody P. Wrambarga a reálných dat D. C. Richardse

Pokud budeme porovnávat tyto dvě metody, tak jejich rozdíl můžeme přisuzovat technologickému pokroku, který mezi roky 2005 a 2010 nepochybně nastal. Vysvětlením rozdílu také může být odlišnost zdrojových dat, která může být vyvolána neporovnatelností obou vzorků (např. pokud by studie z roku 2010 obsahovala nehody starých vozidel a studie z roku 2005 naopak počítala s vozidly právě vyrobenými). Stáří vozidel bohužel není známo.

V případě čelní srážky je podle Wrambarga při 70 km/h deseti procentní pravděpodobnost úmrtí. Pokud se podíváme na adekvátní graf reálných dat na Obrázek 4 - Závislost úmrtnosti na rychlosti pro čelní střet, Richards 2010, přepočítáme rychlost na míle za hodinu, což je 43,5 mph, zjistíme, že tomu náleží hodnota asi 60 %. V tomto případě se jedná o rozdíl 50 procent. Nepředpokládám, že by za dobu 5 let došlo k takovému zhoršení bezpečnosti na silnicích. Proto si myslím, že obě metody vycházeli z dat, které není možné srovnávat.

Při pohledu na oba grafy pro boční náraz je opět rozdíl při stejné rychlosti značný. V tomto případě se domnívám, že hodnoty nelze porovnávat, protože v grafu na Obrázek 5 je pro zranění s následkem smrti zaznamenáno pouze 21 hodnot.

Při srážkách se zranitelnými účastníky dopravních nehod byla v roce 2005 stanovena deseti procentní úmrtnost při rychlosti 30 km/h. Zde došlo, jako v jediném případě, k očekávanému poklesu. V roce 2010 byla při stejné rychlosti zjištěna pouze pěti procentní pravděpodobnost úmrtí.

6.3 Soudní znalectví

Soudní znalectví má při vyšetřování nehod jako dílčí úkol zjistit nárazovou rychlost. Jedním ze způsobů, jak odvodit nárazovou rychlost, je důkladná analýza poškození vozidel. Pro tuto analýzu je důležitá podrobná dokumentace (fotografie, protokoly,

ohledání vozidla apod.), pomocí které se v půdorysu sestaví grafický rozbor. Zde se zakresluje stav před a po poškození. Poté se porovnávají oba kolizní partnery a pomocí zakresleného poškození se najde korespondence nárazu. Tím zjistíme vzájemnou polohu vozidel při střetu. [16]

6.3.1 Zjištění nárazové rychlosti

Z experimentů, které byly prováděny v USA a ve Velké Británii, byl zpracován vztah mezi poměrnými deformacemi a nárazovou rychlostí:

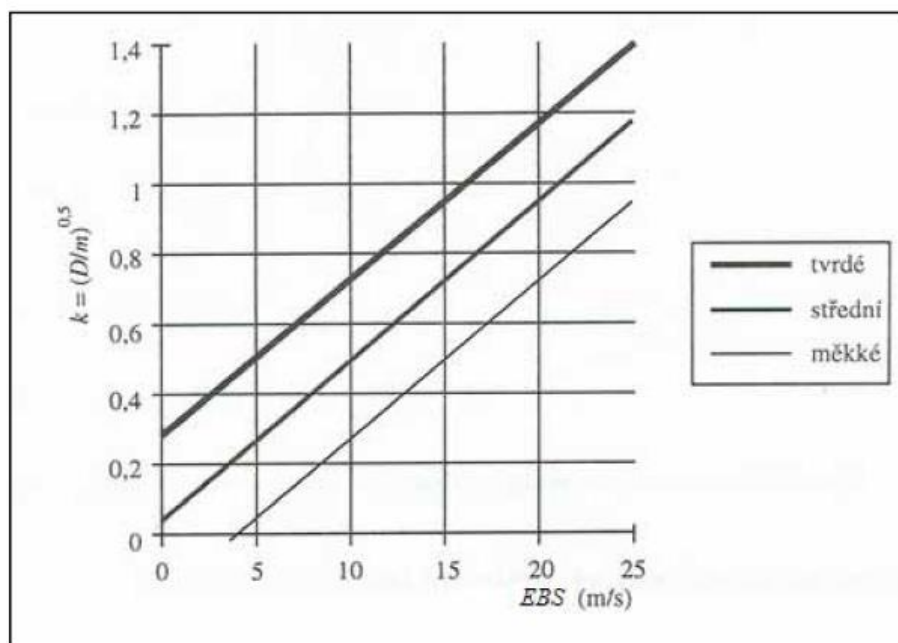
$$k = \sqrt{\frac{D}{m}} \quad (4)$$

- k – koeficient deformace vozidla
- D – bodové ohodnocení poškození
- m – hmotnost vozidla

Nejdříve se za pomoci Tabulka 1 - Bodové hodnocení poškození určí *bodové ohodnocení poškození* D (počet poškozených částí z celku). Následně bude bodové ohodnocení poškození společně s hmotností vozidla vstupem do rovnice č. 4, ze které vypočítáme *koeficient deformace vozidla* k . Poté určíme, jestli se jednalo o měkkou srážku (předek na předek nebo předek na bok) nebo o tvrdou srážku (předek na bariéru). Do diagramu na Obrázek 7 - Korelační diagram závislosti poškození vozidla na EBS vložíme koeficient k a podle konfigurace nárazu odečteme *ekvivalentní bariérovou rychlost EBS*. [16]

Tabulka 1 - Bodové hodnocení poškození [16]

Klasifikace poškození	D (bodů)		
	Přední / zadní část	Kabina	Rám a podvozek
Žádná	0	0	0
Lehká	30	40	90
Střední	100	110	250
Těžká	260	300	670



Obrázek 7 - Korelační diagram závislosti poškození vozidla na EBS [16]

6.3.2 Soudní znaectví – inverzní metoda

Pokud budeme chtít metodu soudního znaectví použít pro určení závažnosti nehody z dat pocházejících ze simulací, tak jak je popsáno v kapitole 6., musíme si uvědomit omezenost vstupních dat jen na nárazovou rychlost a prostorovou orientaci nárazu. Z tohoto plyne, že dojde k zanedbání velkého množství informací, jako je hmotnost vozidla, stáří vozidla, počet cestujících apod. To znamená, že finální výsledek bude zatížen chybou, která se projeví nepřesností odhadnutí závažnosti zranění při nehodě.

S ohledem na to, že používání této metody není zcela běžné a data o rychlostech při nehodách také nejsou snadno získatelná, je vzniklá chyba akceptovatelná a v této práci se bude ověřovat její funkčnost porovnáním s reálnými daty.

Postup

- Získanou kolizní rychlost pomocí tabulky na Obrázek 7 - Korelační diagram závislosti poškození vozidla na EBS převedeme na *koeficient deformace vozidla* k . Při tomto převodu musíme uvažovat konfiguraci nárazu.
- Vyjádříme-li D z rovnice č. 4, dostaneme vztah pro vyjádření bodového ohodnocení poškození vozidla:

$$D = m \cdot k^2. \quad (5)$$

Hmotnost vozidel při tomto použití není známa, proto ji uvažuji jako průměrnou hmotnost vozidel, kterou jsem stanovil 1300 kg.

- Bodové ohodnocení poškození vozidla poté budeme korelovat s následky na zdraví. Budeme uvažovat, že poměr rozložení poškození (žádné, lehké, střední, těžké – podle tabulky 1) bude stejný, jako poměr rozložení zranění (materiální škody, lehké zranění, těžké zranění, fatální zranění).
 - Ke korelaci budeme uvažovat, podle testů Euro NCAP, že náraz (předek vozidla na předek vozidla) rychlostí 64 km/h bude představovat střed intervalu lehkého zranění. Pokud do vzorce č. 5 vložíme $k = 0,733$ (k odpovídá rychlosti 64 km/h) a hmotnost $m = 1300$ kg, dostaneme novou hodnotu Z (*bodové ohodnocení odpovídající zranění*) = 700.
 - Bodové ohodnocení poškození vozidla je rozděleno do intervalů: žádné poškození <0;30), lehké poškození <30;100), střední poškození <100;260), těžké poškození ≥ 260 . Střed lehkého poškození je tedy 65 bodů, to vyplývá z Tabulka 1 - Bodové hodnocení poškození. Jak jsem psal výše, koresponduje to s $Z_{64\text{km/h}} = 700$ bodů. Proto intervalovou stupnici pro poškození vynásobíme $\frac{700}{65}$ a dostaneme tak odpovídající stupnici pro zranění. Ta bude vypadat následovně: materiální škody <0;323), lehké zranění <323;1077), těžké zranění <1077;2800), zranění s následkem smrti ≥ 2800 .
 - Předchozí odstavec i intervalové rozdělení platí pouze pro náraz předku vozidla na předek. Pokud budeme chtít převod pro boční náraz nebo náraz

do pevné bariéry, musíme uvažovat pro každou situaci jinou křivku podle Obrázek 7 - Korelační diagram závislosti poškození vozidla na EBS . Pro střed intervalu lehkého zranění jsem pro tyto dva případy použil rychlost 50 km/h, což opět koresponduje s testy Euro NCAP. Přehledně jsou intervaly znázorněny v následující Tabulka 2.

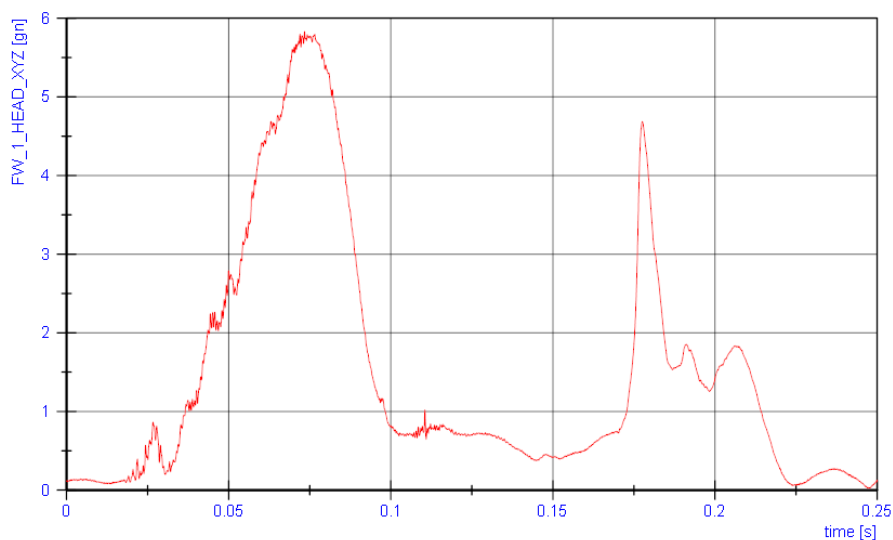
Tabulka 2 - Intervaly bodového hodnocení poranění

Druh poranění	Intervaly Z		
	Čelní náraz	Náraz na bok	Náraz na bariéru
Žádné	0 - 322	0 - 121	0 - 486
Lehké	323 - 1076	122 - 406	487 - 1620
Těžké	1077 - 2800	407 - 1056	1621 - 4212
Fatální	> 2800	>1056	>4212

6.4 Reálná data a jejich zpracování

Reálná data mi poskytla společnost TÜV SÜD Czech s.r.o., která se věnuje testování vozidel. Data pocházejí z akcelerometrů figurín, které byly umístěny ve vozidlech a testovány impulzem zrychlení na saních. Data jsou z důvodu dodržení obchodního tajemství anonymizovány a filtrovány filtrem CFC 1000. Jedná se celkem o 9 záznamů zrychlení, které byly pořízeny při třech různých scénářích (náraz do plné zdi *FW*, boční náraz *KiSi*, náraz s přesahem 40 % *ODB*). Každý záznam obsahuje zrychlení pro všechny tři osy tak, jak je možné vidět na grafech, které jsou umístěny v příloze. Dále je známa rychlost, při které jednotlivá zrychlení vznikala, ta je zapsána v Tabulka 3.

Data byla zpracována pomocí programu DIAdem, který je určen ke zpracování velkého množství dat. Po vložení dat do programu byla data pomocí funkce „Offset correction“ posunuta tak, aby začínala v hodnotě nula. Poté byla využita funkce „Resultant“, která vytvořila výslednici z os x, y a z. To zobrazuje Obrázek 8 -Výslednice zrychlení.



Obrázek 8 -Výslednice zrychlení

Naposledy funkce „HIC (Head Injury Criterion)“ vyhodnotila výslednici podle vzorce č. 1. Tento postup byl uplatněn u všech devíti záznamů zrychlení a výsledky jsou uvedeny v Tabulka 3.

Tabulka 3 - Výsledky HIC

Náraz do plné zdi			Boční náraz			Náraz s přesahem 40 %		
Zkouška č.	Rychlost v [km/h]	HIC [-]	Zkouška č.	Rychlost v [km/h]	HIC [-]	Zkouška č.	Rychlost v [km/h]	HIC [-]
1	57.66	515.08	4	28.60	372.66	7	77.30	603.94
2	56.30	457.80	5	28.60	119.23	8	77.13	546.72
3	57.50	491.30	6	28.50	195.29	9	76.60	616.24

Z Tabulka 3 můžeme vidět, že i v reálných situacích závisí HIC na kolizní rychlosti – čím vyšší rychlost, tím vyšší hodnota HIC. Ve sloupci „Boční náraz“ pozorujeme při totožné rychlosti na první pohled rozdílné hodnoty HIC. Tento rozdíl mohl vzniknout odlišností vozidel, ve kterých byla umístěna figurína, když se tato zkouška konala. Nicméně pokud oba výsledky porovnáme s Tabulka 4, zjistíme, že hodnoty HIC 372.66 i 119.23 se nacházejí v sousedních intervalech a pro účel odhadu nehodovosti nám tato nepřesnost postačuje.

Závažnost poranění se z hodnoty HIC dá získat pomocí Wayneho toleranční křivky a intervaly odpovídající závažnosti poranění jsou v Tabulka 4. [17]

Tabulka 4 - Intervaly HIC podle závažnosti poranění [17]

Závažnost poranění	HIC [-]
Žádné	0-134
Minimální	135-519
Lehké	520-899
Těžké – neohrožující život	900-1254
Těžké – ohrožující život	1255-1574
Kritické	1575-1859
Fatální	>1860

Pomocí těchto intervalů je ve čtvrtém sloupci v Tabulka 5 převedena hodnota HIC na závažnost poranění. V pátém sloupci je pravděpodobnost fatálního poranění stanovená podle Wramburgových křivek, v šestém sloupci podle křivek Richardse a v posledním sloupci pomocí zkoumané metody soudního znaleství.

Tabulka 5 - Porovnání zjištěných hodnot

Zkouška č.	Rychlost v [km/h]	HIC [-]	Poranění odpovídající HIC	Wramborg	Richards	Poranění podle zkoumané metody
1	57.66	515.08	Minimální	8 %	55 %	Lehké
2	56.30	457.80	Minimální	8 %	55 %	Lehké
3	57.50	491.30	Minimální	8 %	55 %	Lehké
4	28.60	372.66	Minimální	6 %	15 %	Materiální škody
5	28.60	119.23	Žádné	6 %	15 %	Materiální škody
6	28.50	195.29	Minimální	6 %	15 %	Materiální škody
7	77.30	603.94	Lehké	25 %	81 %	Lehké
8	77.13	546.72	Lehké	25 %	81 %	Lehké
9	76.60	616.24	Lehké	25 %	81 %	Lehké

Při pohledu na Tabulka 5 můžeme přímo porovnávat hodnoty „Poranění odpovídající HIC“ a „Poranění podle zkoumané metody“. Za přispění toho, že Wayneho stupnice má více stupňů než stupnice zkoumané metody, nedošlo k úplné shodě.

- Zkoušky č. 1 až 3 (náraz do bariéry) podle vypočítaných hodnot HIC odpovídají minimálnímu poranění, zatímco podle zkoumané metody odpovídají lehkému zranění.
- Boční náraz (zkoušky č. 4 až 6) vyšel podle hodnot HIC jako minimální nebo žádné poranění. Minimální poranění můžeme klasifikovat též jako materiální škodu. To znamená, že zde dochází ke shodě.
- Vyhodnocení nárazu s přesahem 40 % (zkoušky č. 7 až 9) vyšlo podle hodnot HIC i podle hodnot zkoumané metody jako lehké zranění.

V porovnání s výsledky ze saňových testů můžeme přesnost inverzní metody soudního znalectví považovat za vcelku uspokojivou.

„Poranění podle zkoumané metody“ s procentuálním vyčíslení možnosti úmrtí podle Wrambora a Richardse můžeme porovnat jen nepřímo kvůli odlišnosti vyjádření výsledků jednotlivých metod. Proto můžeme říci, že by procenta podle Wrambora mohla rámcově odpovídat výsledkům metody soudního znalectví. Procenta podle Richardse se ale odlišují od všech ostatním výsledkům, nejspíše z důvodu, který je popsán v kapitole 6.2.1.

7 ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se snažil představit metodu pro rychlé určení následků nehod. Metoda byla omezena pouze na kolizní rychlost tak, aby zvládla vyhodnocovat velké množství dat ze simulací. Námětem pro tuto metodu byly spekulace o možném vývoji nehodovosti po nástupu autonomních vozidel.

Funkce autonomních vozidel se opírají o systémy, které podporují a v budoucnu budou schopny nahradit řidiče. Proto jsem v teoretické části této práce popsal hlavní systémy, které budou hrát roli v přechodu do automatického módu, ale také systémy, které zajišťují bezpečnost posádky. Zjistil jsem, že systémy potřebné pro autonomní jízdu jsou již v provozu (systémy podélného a příčného vedení vozidla), ale ještě nejsou natolik přesné, aby bylo možné jezdit autonomně.

Důležitý bude směr, jakým se vývoj vozidel bude ubírat. Aktuálně ho určuje Evropská hospodářská komise OSN a Euro NCAP. EHK se mi zdá být lehce zdrženlivější, jedná na svých pracovních skupinách o autonomních systémech, ale spíše v obecné rovině. Oproti tomu Euro NCAP jasně avizuje, že by do roku 2025 chtěl rozšířit portfolio svých testů ve všech oblastech bezpečnosti vozidel. Mimo jiné myslí i na autonomní systémy. Určuje tedy směr, jakým se budou automobilky ubírat a tlačí na zlepšování bezpečnosti vozidel. To bude mít kladný vliv na bezpečnost na komunikacích i snižování následků na zdraví při nehodách.

Kvůli vyhodnocení praktických zkoušek jsem do teoretické části zahrnul také biomechanická kritéria poranění. Ta se oproti vozidlům příliš nemění, záleží hlavně na fyzické odolnosti člověka. V závěrečné části práce bylo využito kritérium poranění hlavy. Pro další ověření funkčnosti metody by určitě bylo vhodné posoudit i ostatní kritéria poranění jako jsou hrudník, krční páteř či končetiny.

Určení následků nehody na základě kolizní rychlosti jsem začal porovnáním dvou dostupných metod – P. Wramborga z r. 2005 a D. C. Richardse z r. 2010. Očekával jsem, že pravděpodobnost fatálního zranění se bude postupem času zmenšovat. To bylo

možné sledovat pouze u kolize s chodci a cyklisty. U čelního i bočního střetu tomu bylo naopak. Tento nepředpokládaný vývoj si vysvětlují různou strukturou dat – oba výzkumy byly prováděny v různých zemích a nejsou známy ani parametry vozidel, které byly při studiích zkoumány.

Použitím metody soudního znaleství opačným směrem a zahrnutím jistých zjednodušení vznikla metoda, která dokáže stanovit následky nehody pouze na základě kolizní rychlosti a konfigurace nárazu. Uvědomuji si, že množství dat, na kterých je tato metoda ověřena v této práci, je velice malé a závěry je proto těžké určit. S ohledem na složitost získání vyhovujících dat v rozsahu, který by byl adekvátní, si dovoluji vycházet z dat, která mám k dispozici. Je nutné ještě zmínit, že data jsou v rámci možností ověřena jen pro nízkou nárazovou rychlost, a tedy jen pro materiální škody a pro lehké zranění. Data pocházejí z testů osobních vozidel a na základě těchto dat metoda pracuje pro osobní vozidla vcelku spolehlivě, a pro orientační pohled na následky nehod po začlenění autonomních vozidel by mohla být vhodná.

Cíl, který byl stanoven, se podařil splnit jen částečně. Sice by bylo možné metodu použít, ale výsledky by, vzhledem k zanedbávání velkého množství parametrů, byly spíše orientační. K přesnějšímu určení výsledku by byl vhodný vyšší počet vstupních dat. K zpřesnění metody by mohlo dopomoci i otestování dalších typů vozidel nebo ověření metody reálnými daty pro vyšší nárazové rychlosti.

Citovaná literatura

- [1] O. Příbyl, „Systémy ve vozidle,“ v *Měření a zpracování dat*, Praha, 2016.
- [2] F. Vlk, „Asistenční a informační systémy,“ v *Automobilová elektronika 1*, Brno, Prof. Ing. Frančišek Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006.
- [3] F. Vlk, *Elektronické systémy motorových vozidel 2*, Praha: Prof. Ing. Frančišek Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2002.
- [4] E. NCAP, „www.euroncap.com,“ 12 11 2017. [Online]. Available: <https://www.euroncap.com/en/press-media/press-releases/euro-ncap-launches-road-map-2025-in-pursuit-of-vision-zero/>.
- [5] L. Čihák, „www.cdr.cz,“ 20 3 2018. [Online]. Available: <https://cdr.cz/clanek/uber-ma-na-svedomi-lidsky-zivot-autonomni-vozidlo-z-jeho-staje-zabilo-zenu/diskuseNovinkyBezpe/diskuseNovinkyBezpe>.
- [6] Wikipedia, „en.wikipedia.org,“ 14 11 2017. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Driver_Monitoring_System.

- [7] R. Hošek, „Systémy pro sledování únavy řidiče,“ VUT v Brně, Brno, 2012.
- [8] J. Kovanda, *Bezpečnostní aspekty návrhu dopravních prostředků*, Praha: ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, 2016.
- [9] H.-W. Henn, „Crash Tests and the Head Injury Criterion,“ *Teaching mathematics and its applications*, sv. 17, č. 4, pp. 162-170, 1998.
- [10] S. Špirk, „Metodické problémy výzkumu pasivní bezpečnosti a deformační odolnosti konstrukcí kolejových vozidel,“ Plzeň, 2015.
- [11] T. Mičunek, „Možnosti snížení dopravních nehod technickými opatřeními a opatření po nehodě,“ ČVUT Praha FD, Praha, 2010.
- [12] J. Crandall, *Crashworthiness and Biomechanics*, Göteborg, Sweden, 2001.
- [13] Členové, „Evropská hospodářská komise OSN,“ 10 2018. [Online]. Available: <https://wiki.unece.org/pages/viewpage.action?pageId=2523223>. [Přístup získán 17 7 2018].
- [14] Wramborg, „A New Approach to a Safe and Sustainable Road Structure and Street Design for Urban Areas,“ v *Road Safety on four Continents*, Warsaw, 2005.

- [15] D. Richards, „Relationship between Speed and Risk of Fatal Injury: Pedestrians and Car occupants,” Transport Research Laboratory, Londýn, 2010.
- [16] A. Bradáč, Soudní inženýrství, Brno: CERM, 1997.
- [17] P. Lista, „DEVELOPMENT OF AN ANTHROPOMORPHIC MODEL FOR VEHICLE-PEDESTRIAN CRASH TEST,” visualNastran, Thiene, 2008.
- [18] A. Ferrer, „FlexPLI with Upper Body Mass,” *EC Seniors Project; Horizont 2020*, 2017.
- [19] J. First, Zkoušení automobilů a motocyklů, Praha: S&T CZ s.r.o., 2008.
- [20] J. Chmelík, Dopravní nehody, Plzeň: Aleš Čeněk, 2009.

Seznam obrázků

Obrázek 1- Závislost úmrtnosti na rychlosti pro čelní střet, Wramborg 2005.....	30
Obrázek 2 - Závislost úmrtnosti na rychlosti pro boční střet, Wramborg 2005	30
Obrázek 3 - Závislost úmrtnosti na rychlosti pro srážku s chodcem nebo cyklistou, Wramborg 2005.....	31
Obrázek 4 - Závislost úmrtnosti na rychlosti pro čelní střet, Richards 2010.....	32
Obrázek 5 - Závislost úmrtnosti na rychlosti pro boční střet, Richards 2010	32
Obrázek 6 - Závislost úmrtnosti na rychlosti pro srážku s chodcem nebo cyklistou, Richards 2010.....	32
Obrázek 7 - Korelační diagram závislosti poškození vozidla na EBS [16].....	35
Obrázek 8 -Výslednice zrychlení.....	38

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Bodové hodnocení poškození.....	35
Tabulka 2 - Intervaly bodového hodnocení poranění	37
Tabulka 3 - Výsledky HIC.....	39
Tabulka 4 - Intervaly HIC podle závažnosti poranění	39
Tabulka 5 - Porovnání zjištěných hodnot.....	40