

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

**APLIKACE VÝPOČETNÍ INTELIGENCE V ŘEŠENÍ
BEZPEČNOSTI SILNIČNÍHO PROVOZU**

DISERTAČNÍ PRÁCE

2010

Ing. Jan POKORNÝ

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ A DIAGNOSTIKY

**APLIKACE VÝPOČETNÍ INTELIGENCE V ŘEŠENÍ
BEZPEČNOSTI SILNIČNÍHO PROVOZU**

DISERTAČNÍ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Ing. Jan Pokorný

ŠKOLITEL: doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

2010

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. I autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 26. 8. 2010

Ing. Jan Pokorný

Abstrakt

Problematika bezpečnosti silničního provozu je poměrně rozsáhlým tématem, do kterého zasahuje celá řada oblastí a směrů. Tato disertační práce se zaměřuje pouze na dvě konkrétní a zcela odlišné oblasti bezpečnosti silničního provozu, na jejichž příkladu jsou ukázány možnosti aplikace fuzzy množin.

První oblastí, která byla pomocí této metody výpočetní inteligence zpracovávána, je hodnocení bezpečnostního potenciálu vozového parku. Dosud se bezpečnost vozového parku odhadovala pouze na základě jeho průměrného stáří. Takový odhad je ale velice nepřesný, protože se blíže nezabývá strukturou vozového parku z hlediska pasivní a aktivní bezpečnosti vozidel. V práci představený fuzzy inferenční systém typu Mamdani umožňuje zahrnout do hodnocení bezpečnostního potenciálu vozidla více parametrů, které bezpečnost vozidla významně ovlivňují. Konkrétně se jedná o parametry: bodové hodnocení Euro NCAP, hmotnost a věk vozidla.

Druhá oblast práce je zaměřena na problematiku predikce následků dopravních nehod, na kterou lze kromě běžně používaných statistických nástrojů aplikovat fuzzy inferenční systém Takagi-Sugeno. Jako vstupní hodnoty do tohoto systému slouží historické záznamy následků nehod mající charakter časových řad, popřípadě jejich statistická předzpracování. Touto metodou byly vytvořeny jednoměsíční, čtvrtletní a pololetní predikční modely následků dopravních nehod.

Klíčová slova: fuzzy množiny, bezpečnost vozidla, vozový park, predikce, následky nehod

Abstract

Road-traffic safety is a very extensive topic which has lots of concrete areas and directions. This dissertation deals with two of them and presents two examples of fuzzy sets application.

Safety of car fleet is usually estimated according to its age. But this estimation is quite inaccurate and gives only information about the average age of common cars in a territory. It does not consider passive and active safety structure of that car fleet. The first part of dissertation shows possibility involving such parameters as EuroNCAP point rating, weight and age of a car model to this estimation. Such evaluation of car fleet safety was based on Mamdani type of fuzzy inference system.

For forecasting of consequences of road accidents is usually used some statistical method. The second part of dissertation introduces prediction method based on Takagi-Sugeno type of fuzzy inference system. This method works with historical records of road accident consequences and it can be combined with statistical methods too. In the second part of dissertation were made one-monthly, quarterly and half-yearly predictor models by this method.

Key words: fuzzy sets, vehicle safety, car fleet, prediction, accident consequences

OBSAH

1	Úvod	7
1.1	Nebezpečí v silničním provozu	7
1.1.1	Nebezpečí a bezpečnost v silničním provozu	7
1.1.2	Základní pojmy	8
1.2	Systémové řešení nehodovosti	11
1.3	Modelování vývoje dopravní nehodovosti a jejích následků	12
2	Cíle disertační práce	15
3	Umělá a výpočetní inteligence	16
3.1	Fuzzy množiny	17
3.2	Neuronové sítě	19
3.3	Genetické algoritmy	21
4	Bezpečnostní potenciál vozového parku	22
4.1	Centrální registr vozidel	22
4.1.1	Chyby v CRV	23
4.1.2	Zpracování dat z CRV	25
4.2	Data potřebná pro stanovení bezpečnosti vozového parku	28
4.2.1	Počet vozidel	28
4.2.2	Věk vozidla (stáří vozidla)	28
4.2.3	Pasivní bezpečnost vozidla	34
	Rozdělení zkoušek	36
	Testy Euro NCAP/A-NCAP	38
	Testy IIHS	46
	Testy US NCAP	53
	Porovnání testů a úroveň bezpečnosti	54
	Hodnocení pasivní bezpečnosti podle Folksam	56
	Přiřazení dat pasivní bezpečnosti do upraveného souboru z CRV	57
4.2.4	Hmotnost vozidel	60
	Analytický rozbor	60
	Poznatky z reálných nehod	66
	Přiřazení dat pasivní bezpečnosti do upraveného souboru z CRV	73
4.2.5	Nekompatibilita	74
4.3	Tvorba a ladění fuzzy inferenčního systému	79
4.3.1	FIS typu Mamdani	80
4.3.2	Ideový návrh FIS	81
4.3.3	Vstupní proměnné ideového návrhu	81

Vstupní proměnná Euro NCAP.....	82
Vstupní proměnná Hmotnost vozidla.....	83
Vstupní proměnná Věk vozidla.....	85
4.3.4 Výstupní proměnná <i>Index_japo09</i>	86
4.3.5 <i>Báze podmíněných pravidel</i>	87
4.3.6 <i>Úpravy a ladění FIS</i>	89
4.4 Výsledky.....	92
4.4.1 <i>Hodnocení dle věku vozidel</i>	92
4.4.2 <i>Hodnocení věkově omezeného vozového parku</i>	96
5 Predikce časové řady s následky dopravních nehod	101
Klouzavé průměry	101
Exponenciální vyrovnání.....	103
Klouzavý medián	104
5.1 Fuzzy inferenční systém typu Takagi – Sugeno.....	104
5.1.1 <i>Báze podmíněných pravidel</i>	105
5.1.2 <i>Fuzzifikace vstupu a aplikace operátorů v podmíněných pravidlech</i>	106
5.1.3 <i>Implikace</i>	106
5.1.4 <i>Agregační proces a defuzzifikace</i>	107
5.2 Charakteristika konkrétních časových řad – následky nehod.....	108
5.3 Předzpracování dat	110
5.3.1 <i>Vstupní matice hodnot</i>	110
Uspořádání pro jednoměsíční predikční modely	110
Uspořádání pro čtvrtletní a pololetní predikční modely	111
5.3.2 <i>Trénovací, testovací a kontrolní množiny dat</i>	112
5.4 Návrhy predikčních modelů pomocí ANFIS	113
5.4.1 <i>Generování FIS</i>	114
5.5 Predikce následků nehod.....	115
5.5.1 <i>Jednoměsíční predikce následků dopravních nehod</i>	116
5.5.2 <i>Čtvrtletní predikce následků dopravních nehod</i>	119
5.5.3 <i>Pololetní predikce následků dopravních nehod</i>	119
5.6 Porovnání predikčních modelů.....	123
6 Shrnutí výsledků – přínosy pro vědu a praxi	126
7 Literatura.....	128
Citované informační zdroje	128
Necitované informační zdroje a zdroje použité v přílohách.....	132

I Úvod

Na naší planetě snad není jiné cílevědomé lidské činnosti, při které by denně umíralo nebo bylo vážně zraněno tolik lidí a vznikala tak veliká hmotná škoda jako v silniční dopravě. Tento negativní průvodní jev lidské potřeby přemístit se z jednoho místa na druhé je pro většinu vyspělých zemí světa jedním z nejpalčivějších problémů současnosti. Nejinak je tomu i v České republice. Denně jsme prostřednictvím sdělovacích prostředků svědky tragických dopravních nehod, při kterých vyhasl nejméně jeden lidský život, nadosmrti byl poznamenán nejméně člověk a jeho nejbližší okolí a vznikla nejen veliká materiální škoda, ale také ztráta, která se dá jen těžko vyčíslit a vyjádřit penězi. Je to velká otázka nejen pro Evropskou unii, vládu České republiky, ale také pro každého z nás, protože v konečném důsledku můžeme i my být mezi těmi, kdo na tento fenomén nejvíce doplatí.

1.1 Nebezpečí v silničním provozu

1.1.1 Nebezpečí a bezpečnost v silničním provozu

Pojmy bezpečnost a nebezpečí v silničním provozu jsou v dnešní době značně frekventované. Nicméně existují pochybnosti řady odborníků o jejich správném chápání, interpretaci a užívání nejen v neodborné, ale i odborné sféře [5]. Vzhledem ke každodenní realitě velkého počtu dopravních nehod, velké hustoty provozu, nerespektování dopravních předpisů a bezohledného a netolerantního chování řady účastníků silničního provozu na našich silnicích je přesněji používat pojem *nebezpečí v silničním provozu*. Charakterizuje reálný stav na našich komunikacích, kdy riziku kolizních situací jsou denně vystaveny statisíce lidí. Naopak obecně frekventovanější pojem *bezpečnost silničního provozu* je z tohoto hlediska pojmem spíše hypotetickým, nebo cílovým, ke kterému se společnost více či méně může přibližovat svým cíleným, nebo náhodným konáním. O objasnění tohoto pojmu se snažili a stále snaží mnozí odborníci v této problematice. V současné době pojem bezpečnosti v silničním provozu (dále jen BSP) v zásadě pojímají ze dvou hledisek:

- a) **z filozoficko – sociálního** je to programové a cílené úsilí společnosti o zajištění optimálních podmínek silničního provozu s cílem snižování počtu dopravních nehod a snižování negativních následků na životní prostředí,
- b) **z materiálního a formálního pohledu** se jedná o takový stav v území a ve společnosti při provozu na pozemních komunikacích, při kterém nevzniká žádné nebezpečí ohrožující život, zdraví a majetek. Takový stav je ovšem hypotetický, neexistuje, je snaha se k němu přibližovat. Rozhodující faktor, který má zásadní vliv na snižování nebezpečí provozu na pozemních komunikacích, je selhávající lidský faktor, stav komunikace a jejího okolí a technická úroveň dopravních prostředků.

Z tohoto důvodu a v tomto pojetí je tedy BSP spíše pojem programový.

1.1.2 Základní pojmy

Dopravní nehoda - je událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu [53].

Nehodovost – je soubor dopravních nehod zaznamenaných policií na určitém území (okres, kraj, stát), které se udály za určitou dobu (den, týden, měsíc, rok). Dopravní nehodovost je charakterizována:

- **stavem** (mírou) **dopravní nehodovosti** – počet silničních dopravních nehod a jejich následků způsobených na určitém teritoriu (stát, kraj, okres) za určitý časový interval,
- **úrovní** (koeficientem) **dopravní nehodovosti** – míra nehodovosti v porovnání s počtem obyvatel, motorových vozidel, celkovou délkou komunikací apod.,
- **strukturou dopravní nehodovosti** – podíl jednotlivých kategorií dopravních nehod k celkovému počtu dopravních nehod na určitém územním celku za určitý časový interval,
- **dynamikou dopravní nehodovosti** – charakterizuje změny dopravní nehodovosti v závislosti na čase.

Obecně lze konstatovat, že stav dopravní nehodovosti je vyjádřením stupně (míry) nebezpečí při provozu na pozemních komunikacích.

Příčiny dopravních nehod - stavy nebo okolnosti, které v daný moment způsobily vznik kritické situace, jež v konečné fázi vyústila v dopravní nehodu. Tyto stavy nebo okolnosti mohou v danou kritickou dobu působit jak samostatně bez jiného vlivu, tak i ve vzájemné kombinaci. To společně s určitou unikátností každé dopravní nehody představuje do jisté míry problém, jak tyto příčiny klasifikovat, popřípadě rozdělit do co nejuvýstižnějších skupin. V případě kombinace více okolností vedoucích k dopravní nehodě se pak stanovuje ten nejdominantnější vliv, ačkoliv ty ostatní mají také svoji váhu a svůj díl viny. V některých případech není tato hranice zcela zřejmá a je pak předmětem řady sporů, šetření a znaleckých posudků.

V současné době se hlavní příčiny nehody dělí do pěti skupin, z nichž každá má několik konkrétnějších podskupin. Z důvodu omezeného rozsahu této zprávy uvádím pouze základní skupiny:

- **nepřiměřená rychlost,**
- **nesprávné předjíždění,**
- **nedání přednosti v jízdě,**
- **nesprávný způsob jízdy,**
- **technická závada vozidla.**

Při zkoumání příčin vzniku dopravních nehod je vhodné zdůraznit vliv rychlosti vozidel na vznik a závažnost následků dopravních nehod. Výzkum i praxe ukazují, že nepřiměřeně vysoká rychlost jednoznačně zvyšuje nebezpečí v silničním provozu.

Zvláštní skupinou dopravních nehod jsou nehody zapříčiněné jízdou pod vlivem alkoholu a v dnešní době stále se rozšiřujícího fenoménu návykových látek.

Ze stavu dopravní nehodovosti na silnicích v ČR vyplývá, že v řetězci: účastník silničního provozu – dopravní prostředek – dopravní prostředí prokazatelně selhává člověk jako účastník v silničním provozu. Selhání člověka v silničním provozu jako nejzávažnější subjektivní příčina spočívá zejména v pojetí:

- **právním** (vědomé porušování právních norem, nebo jejich nesprávná aplikace),
- **technickém** (malé zkušenosti a často neznalost technických možností dopravního prostředku, nízká úroveň péče o dopravní prostředky, atd.),
- **psychofyzilogickém** (zdravotní indispozice, tělesná a duševní neschopnost, agresivita, nezvládnutí schopností v kritických situacích a jiné),
- **morálním** (bezohlednost, nízká sebedisciplína).

Objektivní příčiny dopravní nehodovosti ve vztahu k účastníkovi silničního provozu se zejména projevují:

- v zaostávání právních úprav podmínek provozu na pozemních komunikacích za současnou dopravně – bezpečnostní situaci,
- v nevyhovující úrovni organizace a řízení dopravy,
- ve zhoršených povětrnostních podmínkách a opožděné reakci ze strany orgánů pověřených jejich oznamováním,
- v technickém stavu komunikací, jejich vybavení a úrovni samotného řízení dopravy,
- v nedostatečném systému odborného výcviku, zkoušek řidičů, podmínek tělesné a duševní schopnosti v průběhu výcviku,
- v úrovni aktivní a pasivní bezpečnosti vozidel – zejména starších,
- v nedostatečné úrovni managementu policie a státní správy v oblasti vykonávání dohledu nad BSP a v jiných příčinách.

Ačkoli člověk jako účastník silničního provozu je zcela oprávněně chápán jako nejméně spolehlivý a nejčastěji chybující prvek, je třeba si současně uvědomit, že už dopravní předpisy jsou naformulované tak, že za dopravní nehodu je téměř vždy zodpovědný lidský činitel. I přístup policie je takový, že se snaží najít viníka především mezi účastníky, což je i její hlavní úloha, a ne hledat možnou skrytou příčinu nehody. Zkoumání podstaty nehodovosti na silnicích však prokázalo, že vznik a výsledek dopravní nehody je třeba chápat jako důsledek více spolupůsobících faktorů, jak už bylo naznačeno o několik odstavců výše.

Následky dopravních nehod je možné chápat jako jakoukoliv újmu na zdraví a životě lidí, škodu na životním prostředí a hmotnou škodu, která vznikla v souvislosti s dopravní nehodou.

Následky dopravních nehod se v evidenčním protokolu policie rozdělují do čtyř kategorií:

- usmrcení,
- těžké zranění,
- lehké zranění,
- bez zranění.

Za usmrcenou osobu, se považuje osoba, která zemřela na místě nehody, při převozu do nemocnice nebo nejpozději do 30 dnů.¹ Ve skutečnosti by se ale dalo říct, že usmrcených osob při dopravních nehodách je více, než odpovídá této definici. Celá řada poškozených označených za vážně zraněné totiž umírá až po těchto 30 dnech, přičemž existuje jasná souvislost jejich úmrtí s nehodou.

V případě těžkých a lehkých zranění zde nastává jiný problém a to především v posouzení vážnosti zranění. Klasifikaci těžkého a lehkého zranění určuje lékař a zatím neexistuje žádná definice nebo kategorizace, která by stanovila jasné hranice [55]. V odborných kruzích evropského parlamentu se tento problém diskutuje a vznikají již jakási doporučení zavést jednotnou definici „závažné škody na zdraví“ v rámci celé Evropy. Interpretace tohoto pojmu ve vnitrostátních právních předpisech je totiž poměrně široká. Jako příklad řešení se zde nabízí použít definici „těžkého zranění“ uvedenou v rakouském trestním zákoníku, kde je za těžké zranění považováno takové zranění, kdy újma na zdraví nebo pracovní neschopnost trvá déle než 24 dnů. Pokud nebude možné stanovit jednotnou definici pojmu „závažný“, pak by dokonce bylo dle některých názorů vhodnější slovo „závažné“ zcela vypustit [54].

Následky nebezpečí v silničním provozu lze vyjádřit také z finančního hlediska. Metodiku k počítání ekonomických ztrát způsobených nehodovostí v silničním provozu v ČR vyvinulo Centrum dopravního výzkumu. Jsou započítávány jak přímé – primární, tak i nepřímé – sekundární náklady. Podle této metodiky představuje úmrtí osoby nebo její těžké zranění ztrátu v řádech milionů korun (v roce 2006 to bylo 9 662 427 Kč a 3 243 737 Kč), lehké zranění pak statisíců korun (v roce 2006 - 364 577 Kč). Průměrná výše škody připadající na jednu nehodu bez následků na zdraví dosahuje v průměru řádově desítek tisíc korun (v roce 2006 – 99 846 Kč). Pokud se tyto ztráty z dopravních nehod sečtou za celý kalendářní rok, výsledkem je obrovská suma peněz, které jsou zmařeny (suma ztrát za rok 2006 činí 153 524,125 milionů Kč). Ve skutečnosti jsou ztráty z nehodovosti ještě o něco vyšší, jelikož se do výpočtu celkové hmotné škody nezapočítávají drobné nehody, jejichž

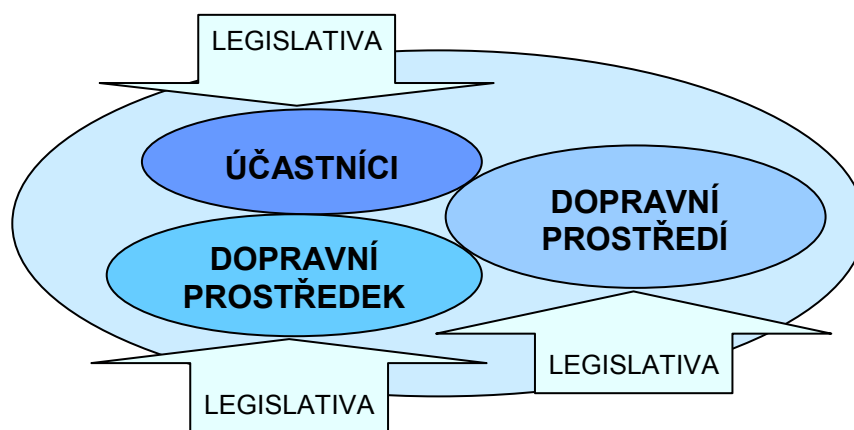
¹ Tyto údaje jsou v souladu s doporučením Evropské hospodářské komise OSN a jsou vykazovány ve většině zemí EU.

následky se pohybují řádově ve stovkách korun² [40]. Je nutné si rovněž uvědomit, že některé ztráty nejsou vůbec finančně ohodnotitelné.

1.2 Systémové řešení nehodovosti

Jelikož problematika nehodovosti a bezpečnosti silničního provozu je poměrně rozsáhlá a komplikovaná oblast, nelze na ni nahlížet jen z pohledu příčin a následků, resp. počtu dopravních nehod. Jedná se o problém multidisciplinární, kde působí celá řada činitelů a faktorů vzájemně se ovlivňujících i na sobě nezávislých. Je-li snahou tuto problematiku efektivně postihnout, je nutné na ni nahlížet jako na systém a řešit ji tedy systémově. Tento pohled podporuje i samotné programové pojetí pojmu bezpečnost silničního provozu, respektive její zvyšování, jak bylo uvedeno v kapitole 1.1.1.

Celý systém lze rozdělit na tři základní podsystémy: účastník, dopravní prostředí a dopravní prostředek [1]. Zvláštní a rovněž důležité postavení zde má legislativa, která svými příslušnými částmi ovlivňuje všechny tři podsystémy.



Obr. 1 Schéma systému bezpečnosti v silničním provozu

- **Účastník** je nejvýznamnější částí systému bezpečné dopravy. Ze sledovaných statistik o nebezpečí v silničním provozu vyplývá, že na území ČR sehrává nejvýznamnější úlohu.
- **Dopravní prostředí** je tvořeno samotnou dopravní cestou, jejím stavem a parametry, dopravním značením, systémy zabezpečujícími řízení silničního provozu, stavem a údržbou komunikací, přehledností komunikací apod.
- **Dopravní prostředek** je víceméně poznamenán úrovní aplikace zejména nových vědecko – výzkumných poznatků v konstrukci automobilů. Jedná se o stávající úroveň pasivní a aktivní bezpečnosti dopravních prostředků, určených pro přepravu osob a materiálu.

² takové nehody většinou policie nezaznamená, jelikož je povinné hlásit pouze nehody při nichž došlo k usmrcení nebo zranění a nebo hmotná škoda přesáhla částku 100 000 Kč

- **Legislativa** není sama podsystémem, ale má na všechny podsystémy značný vliv, resp. ovlivňuje, upravuje, určuje technické a provozní podmínky, stanovuje chování a kontrolní mechanismy jednotlivých podsystémů a dá se říct, že celý systém udržuje ve funkčnosti a chrání před destrukcí.

Jednotlivé podsystémy nejsou od sebe izolovány, ale působí mezi nimi různě významné vazby. I drobná změna v jednom podsystému tak může vyvolat výraznou změnu u jiného a naopak a ovlivnit tak chování celého systému. Nelze se tedy zaměřit pouze na jeden podsystém a hledat u něj řešení stávající situace, resp. sledovat jednotlivé podsystémy odděleně, ale je nutné nahlížet na všechny podsystémy současně jako celek a zkoumat jejich vzájemné ovlivňování. Vzhledem ke složitosti jednotlivých podsystémů, především účastníka, se jedná a velmi náročnou úlohu, na jejíž úspěšné řešení je nutné aplikovat nejnovější poznatky z řady vědních disciplín.

Subsystémem Dopravní prostředek, konkrétně hodnocením jeho bezpečnosti, se bude podrobně zabývat kapitola 4.

1.3 Modelování vývoje dopravní nehodovosti a jejích následků

Jednou z největších priorit a cílů Dopravní politiky České republiky je bezpečnost silniční dopravy. Snahou Dopravní politiky České republiky je, aby se neutěšená situace nebezpečí v silniční dopravě, zejména závažnost následků dopravních nehod, radikálně zlepšila [52].

Jelikož se Dopravní politika států koncipuje na několik let dopředu, je nutné mít konkrétnější představu o vývoji dopravní situace a jejích pozitivních i negativních jevech. Tyto představy by neměly být přehnaně optimistické ani přehnaně pesimistické. Měly by se alespoň přibližně držet uskutečnitelné reality. K sestavení co nejvěrnějších představ se využívají především poznatky z historického vývoje situace a zkušenosti z okolních zemí. Pokud se má představa stát reálnější, je nutné navíc vzít v úvahu vývoj vědy a techniky, lidského chování, ekonomických ukazatelů úrovně vyspělosti státu, stav legislativy a celou řadu dalších faktorů, které by mohly mít přímý či nepřímý vliv na vývoj situace.

Tedy nejen zpětné hodnocení, ale rovněž co nejreálnější nahlížení do budoucnosti je nesmírně důležité pro zavádění nejrůznějších opatření k dosažení cílů Dopravní politiky, jako je například snížení nebezpečí dopravních nehod.

Metody prognózování vývoje jsou zpravidla založeny na extrakci dat z minulosti a zjištění jejich funkční závislosti na čase. Pro odhad budoucího stavu se potom předpokládá, že situace se bude vyvíjet podle nastoleného trendu odvozené funkce.

K odhadu budoucí situace se nejčastěji používají matematicko-statistické metody nebo metody založené na analýze časových řad. Obecně lze predikční modely rozdělit na následující skupiny [29]:

agregované – data se vztahují k celkovému souboru: celá silniční síť, vozový park, populace – používají se zejména pro stanovení dlouhodobých trendů,

disagregované – data se vztahují k jednotlivým složkám dopravního systému; nejdůležitější členění je podle typu uživatelů dopravy, typu komunikace, druhu dopravního prostředku, věku a pohlaví – používají se pro trendy krátkodobé,

popisné – ukazují, jak se kriteriální proměnná mění s časem, ale neuvažují další proměnné,

vysvětlující – zde je hodnota kriteriální proměnné získána v závislosti na hodnotách dalších (vysvětlujících) proměnných (strukturální modely),

lokální – sledují vývoj na určitém omezeném, nebo více exponovaném území – silniční úseky nebo lokality.

U dlouhodobějších prognóz³, které slouží pro strategické cíle (období 10- 15 let), a rovněž u krátkodobých prognóz sloužících pro taktické cíle (období kolem 5 let) se lze nejčastěji setkat se dvěma typy predikčních modelů:

- regresní modely následků nehod a
- evolučně – adaptační modely následků nehod⁴.

Regresní modely vyjadřují závislost mezi počtem usmrcených za rok, počtem automobilů a velikostí populace. Z dnešního pohledu je však tento typ predikčního modelu považován již za překonaný, jelikož nedokázal zachytit a vysvětlit zlom ve vývoji počtu usmrcených na silnicích ve vyspělých státech v sedmdesátých letech, který nastal bez přispění změn v dopravně-bezpečnostní politice.

Evolučně-adaptační modely vychází z pojmu učící se křivky (adaptace), podle níž se postupem času zvyšují zkušenosti řidičů a tím klesá míra rizika. Filozofie evolučně – adaptačního modelu je založena na vztahu:

$$NEHODOVOST = RIZIKO \times ZATÍŽENÍ, \quad (1)$$

který se po aplikaci na vývoj počtu usmrcených osob při dopravních nehodách mění na tvar

$$F = R \cdot V, \quad (2)$$

kde F je počet usmrcených/zraněných za rok,

R – míra rizika usmrcení/zranění – popisuje se adaptační funkcí v exponenciálním tvaru,

³ Rozdělení prognóz na dlouhodobé, střednědobé a krátkodobé je nutné vždy vztahovat vzhledem k časovým intervalům, ve kterých byla data sbírána. Je třeba si uvědomit rozdíl mezi dlouhodobou predikcí vycházející z ročních záznamů a dlouhodobou predikcí používající měsíční pozorování. Zde jsou konkrétně myšleny roční prognózy.

⁴ Z hlediska následků nehod jsou tyto modely nejčastěji zaměřeny na vývoj počtu usmrcených.

V – dopravní výkon (expozice) – popisuje se logistickou křivkou.

Evolučně-adaptační model je možné různě modifikovat tak, aby bylo možné s co nejmenší chybou odhadnout budoucí vývoj jak počtu usmrcených, tak i zraněných osob při dopravních nehodách.

Predikční modely zaměřené na prognózu vývoje měsíčních následků dopravních nehod používají odlišné metody. To je dáno především odlišným charakterem měsíčních záznamů následků nehod, které oproti ročním údajům vykazují vyšší míru neuspořádanosti a lze u nich pozorovat i jisté cyklické a sezónní chování. S výhodou lze na taková data použít některé nástroje a metody technické analýzy dat. Z celé řady metod se zřejmě nejčastěji používají ty, které jsou založeny na exponenciálním vyrovnání, regresi a dekompozici časové řady (např. ARIMA modely). [61]

Měsíční prognózy následků nehod jsou druhým tématem, které je v této disertační práci zpracováváno a na kterém bude ukázána možnost aplikace metod výpočetní inteligence.

2 Cíle disertační práce

Otázka bezpečnosti silničního provozu je velice obširným tématem, které má spoustu zcela konkrétních oblastí a zaměření. Tato disertační práce se bude zabývat dvěma z nich, na kterých bude ukázán konkrétní příklad aplikace metod výpočetní inteligence.

Určité nasměrování práce již bylo naznačeno v úvodu práce. Jedná se o dvě následující oblasti, které jsou zde zpracovávány a ve kterých lze poměrně výhodně využít řešení pomocí fuzzy množin:

- dopravní prostředek jako jeden ze subsystémů systémového přístupu k bezpečnosti silničního provozu a
- vývoj dopravní nehodovosti a jejich následků.

Pro každou ze zvolených oblastí pak byly stanoveny zcela konkrétní cíle, kterých by mělo být dosaženo. **V případě první oblasti byly vytyčeny tyto cíle:**

- vytvoření fuzzy inferenčního systému, který by byl schopen komplexněji hodnotit pasivní bezpečnost osobního vozidla, než jak je dosud zavedená praxe,
- aplikace tohoto systému za účelem stanovení bezpečnostního potenciálu vozového parku osobních vozidel v České republice.

Pro druhou oblast byly stanoveny následující cíle:

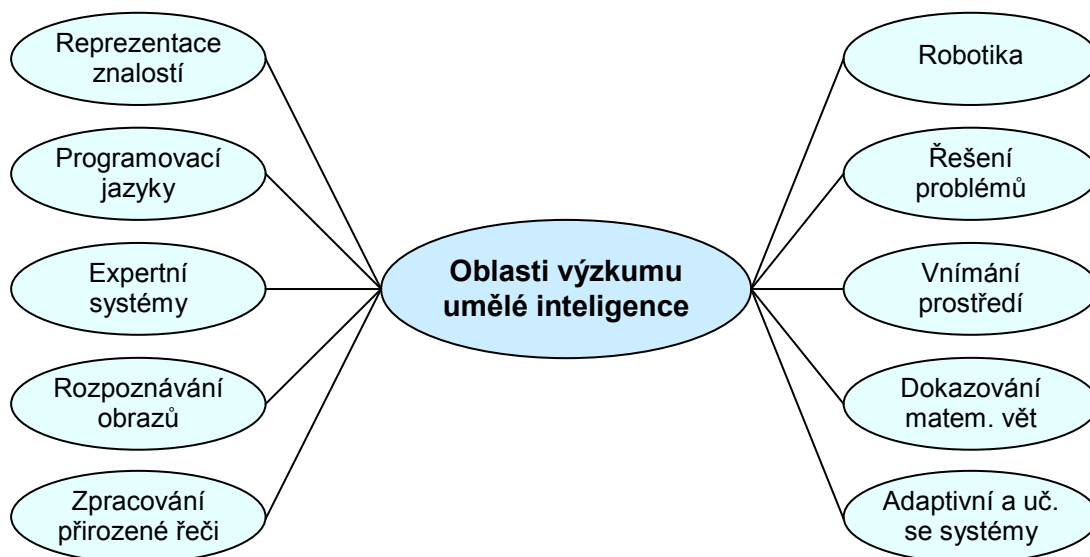
- na základě historických dat a pomocí fuzzy množin vytvořit predikční modely, které by byly schopné prognózovat vývoj měsíčních následků nehod,
- hodnoty produkované vytvořenými modely konfrontovat s reálnými daty.

3 Umělá a výpočetní inteligence

Inteligence je vlastností některých živých organismů; vznikla a vyvíjela se v průběhu dlouhého časového intervalu a dnes umožňuje některým živým organismům efektivně reagovat na složité projevy prostředí a aktivně je využívat ve svůj prospěch, k dosažení svých cílů.

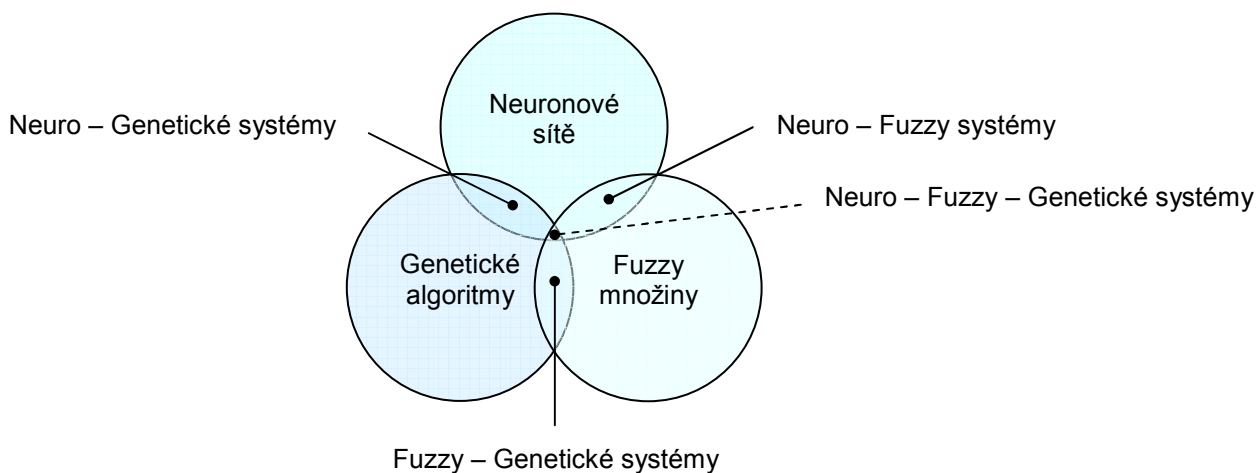
Umělá inteligence je věda o vytváření strojů nebo systémů, které budou při řešení určitého úkolu užívat takového postupu, který - kdyby ho dělal člověk – by byl považován za projev jeho inteligence. Umělá inteligence se zabývá problematikou postupů zpracování poznatků - osvojováním a způsobem použití poznatků při řešení problémů. Je to interdisciplinární věda, která nemá pevně vymezený předmět zkoumání ani teoretický základ - jde spíše o soubor metod, teoretických přístupů a algoritmů, sloužících k řešení velmi složitých úloh [36].

Klasické přístupy (např. v rozhodování a řízení) založené na metodách umělé inteligence jsou charakterizované symbolickou reprezentací znalostí a sekvenčním zpracováním. Symbolická reprezentace představuje jednoduché a kompaktní vyjádření v řeči symbolů a matematických zákonů. Na obrázku (Obr. 2) jsou znázorněny některé oblasti výzkumu v umělé inteligenci. Uvedené oblasti výzkumu nemají jednotící metodu, představují spíše soubor metod [2].



Obr. 2 Některé oblasti výzkumu v umělé inteligenci

Moderní přístupy (např. v rozhodování a řízení) založené na metodách výpočetní inteligence jsou charakterizované nesymbolickou reprezentací znalostí. Nesymbolická reprezentace představuje vyjádření a práci s reálnými čísly, obrazovou a akustickou informací. Do oblastí výzkumu ve výpočetní inteligenci se zahrnují oblasti, které jsou znázorněny na obrázku (Obr. 3). Podobně jako metody umělé inteligence nemají ani tyto jednotící teorii [2].



Obr. 3 Oblasti výzkumu ve výpočetní inteligenci

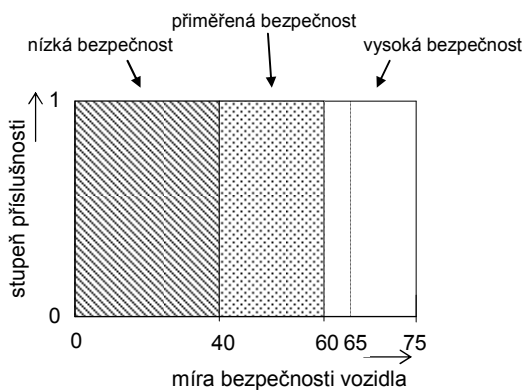
3.1 Fuzzy množiny

Fuzzy množiny umožňují vyjádřit veličiny objektu, které mohou mít nenumernický charakter, jako numerické prostřednictvím lingvistické proměnné. To přináší řadu výhod a využití v mnoha oborech. Člověk se totiž při aplikaci matematických věd v praxi setkává neustále s určitým rozporem: na jedné straně je to velká přesnost, s jakou je daný problém pomocí matematiky popsán, na druhé straně si však přílišná složitost skutečnosti vynucuje řadu zjednodušení a matematický popis je tedy nevýstižný. Složité systémy lze ale popsat rovněž jiným způsobem než exaktně matematicky. Takovým nejjednodušším způsobem popisu je pro člověka přirozený jazyk. Avšak typickou charakteristikou přirozeného jazyka, kterou nemůžeme žádným způsobem obejít, je vágnost (neurčitost) jeho sémantiky. Neurčitost lze ale v teorii fuzzy množin kvantifikovat [34].

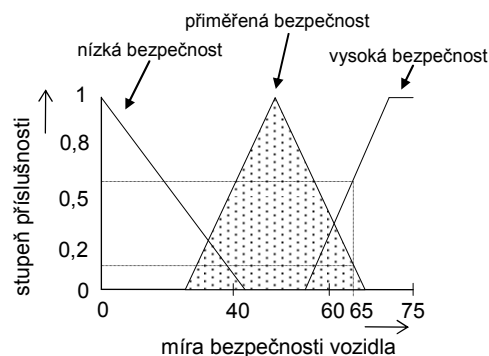
Základní myšlenka fuzzy množin je jednoduchá. Pokud nejsme schopni stanovit přesné hranice třídy vymezené vágním pojmem, nahradíme toto rozhodnutí mírou vybranou z nějaké škály. Každý prvek bude mít přiřazenou míru, která vyjadřuje jeho místo a roli v této třídě. Bude-li škála uspořádaná, pak menší míra bude vyjadřovat, že daný prvek leží někde na okraji třídy. Tuto míru nazýváme stupněm příslušnosti daného prvku k dané třídě. Třída, v níž je každý prvek charakterizován stupněm příslušnosti k této třídě, se nazývá fuzzy množina. Lze také říci, že stupeň příslušnosti vyjadřuje stupeň našeho přesvědčení, že daný prvek patří do dané fuzzy množiny. Stupeň příslušnosti nemá nic společného s pravděpodobností. Pokud bychom chtěli mluvit o pravděpodobnosti, museli bychom

zkoumat výskyt nějakého jevu (např. zda vozidlo, které právě projíždí, jede rychlostí 50 km/h). Fuzzy množiny popisují vágní pojmy samy o sobě [38], [39].

Rozdíl mezi klasickou množinou a fuzzy množinou je patrný z obrázků .



Obr. 4 Znárodnění klasické množiny



Obr. 5 Znárodnění fuzzy množiny

Klasická množina: $\mu_A: X \rightarrow \{0, 1\}$

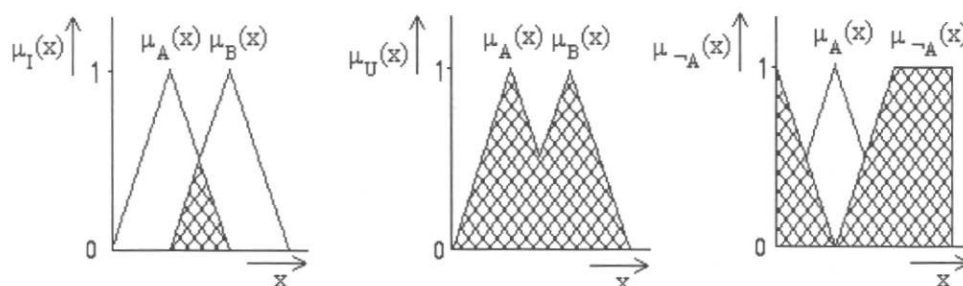
Prvek x náleží množině A právě tehdy, jestliže platí $\mu_A(x) = 1$. Jestliže $\mu_A(x) = 0$, potom x do množiny A nepatří.

Fuzzy množina: $\mu_A: X \rightarrow \langle 0, 1 \rangle$

Fuzzy množina (FM) je zobecněním klasické množiny v tom smyslu, že jde o zobrazení na celý interval $\langle 0, 1 \rangle$. Jelikož FM obecně nelze popsat jinak než charakteristickou funkcí (zde je označovaná také jako funkce příslušnosti), považují se zde termíny FM a charakteristická funkce za totožné. Už nelze říci, že nějaký objekt je prvkem množiny μ_A . Hodnota $\mu_A(x)$, která se nazývá míra příslušnosti prvku x , udává totiž spojitou míru nakolik do množiny náleží, což nelze zjednodušit na pouhé ano-ne.

Podobně jako u klasických množin existují u FM základní fuzzy množinové operace. Mezi ně patří:

- fuzzy komplement (doplňk): $\mu'_{A}(x) = 1 - \mu_A(x)$,
- fuzzy průnik: $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$,
- fuzzy sjednocení: $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$ [38].



Obr. 6 Funkce příslušnosti průniku, sjednocení a doplňku [2]

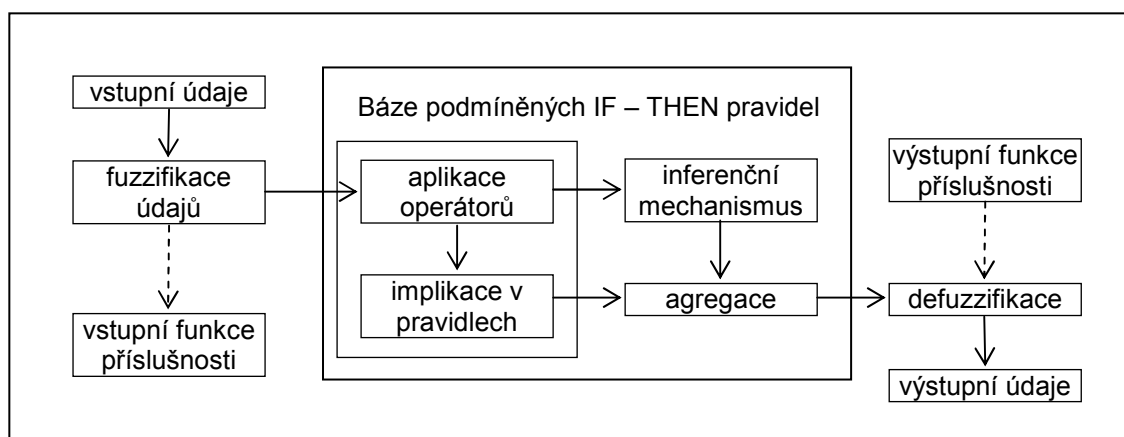
Ve skutečnosti kromě těchto tří základních operací jich existuje nekonečně mnoho. Z tohoto důvodu definujeme jakési třídy těchto operací, které vycházejí ze základních:

- t-normy - vyznačuje se charakterem minima (průniku),
- s-normy - vyznačuje se charakterem maxima (sjednocení),
- Sugenuv komplement.

Fuzzy operace mezi fuzzy množinami definovanými na více univerzech se nazývají *fuzzy relace*.

Řešení úloh, jako jsou například rozhodování, řízení, regulace atd., pomocí této metody umělé inteligence se děje na bázi *fuzzy inferenčních systémů* (FIS). Všeobecná struktura FIS prakticky představuje transformaci vstupních údajů z ostré oblasti (reálné životní oblasti) do oblasti fuzzy množin, jejich zpracování a zpětnou transformaci z oblasti fuzzy množin do ostré oblasti (Obr. 7). Reprezentuje proces fuzzifikace a inferenčního mechanismu – tj. odvozování – a dále proces defuzzifikace, implikace a agregace⁵. Je možné uvést dva základní typy FIS:

- Mamdani – FIS vhodný na klasifikační úlohy,
- Takagi-Sugeno – FIS vhodný na predikci [35].



Obr. 7 Všeobecná struktura fuzzy inferenčního systému [2]

3.2 Neuronové sítě

Základ teorii neuronových sítí dali W. S. McCulloch a W. Pitts (1943). Neuronové sítě mají schopnost automatické adaptace, která se projevuje během adaptivního režimu na základě zabudovaného algoritmu adaptace (učení). Jsou schopné přizpůsobovat své váhy (a další parametry) zadání úlohy, která se má řešit. Neuronová síť je ohodnocený orientovaný graf, který se skládá z velkého počtu jednoduchých jednotek (neuronů), které přijímají a vysílají signály mezi sebou, resp. přijímají a vysílají signály z/do vnějšího prostředí. Každý signál, který putuje po některém spoji (synapse), je charakterizován reálným číslem.

⁵ Tyto pojmy budou blíže vysvětleny až v kapitole 4.3, popř. 5.1.

Před vstupem do cílového neuronu je přepočítán v závislosti na propustnosti spoje, což je vlastně další číslo, které je přiřazené synapsi jako jeho váha [2].

Neuronové sítě lze rozdělit do dvou hlavních skupin podle struktury:

- na sítě s dopředným šířením signálu
- sítě se zpětnou vazbou.

V současnosti se nejčastěji používají struktury s dopředným šířením signálu, kde výstupy z jedné vrstvy jsou vedeny na vstup následující vrstvy. Výstupy z poslední – výstupní vrstvy jsou výstupy z celé sítě.

Struktura sítí se zpětnou vazbou se liší od předchozí v tom, že výstupy z vrstvy jsou vedeny zpět na vstup dané vrstvy. Taková struktura umožňuje realizovat výpočty založené na iteračním procesu a tak řešit např. optimalizační úlohy [37].

Umělé neuronové sítě se učí ze svých zkušeností. Obvyklý proces učení umožňují 3 základní úlohy [36]:

1. výpočet výstupů;
2. porovnání výstupů s očekávanými (požadovanými) hodnotami;
3. upravení vah a opakování procesu ad 1.

Proces učení začíná nastavením všech vah podle určitých pravidel nebo náhodně. Rozdíl mezi aktuálním výstupem a požadovaným výstupem pro daný soubor vstupů je chyba zvaná delta. Cílem je minimalizovat tuto chybu. Na začátku používání neuronové sítě je třeba nastavit váhy všech vstupů do každého neuronu. K tomuto účelu slouží množina trénovacích dat (např. data z minulých období, množina vzorových symbolů jednotlivých písmen apod.). Trénovací fáze se skládá z prezentace trénovacích dat neuronové síti. Zde se několikrát opakovaně opakuje cyklus pro každý vstup, dokud se váhy neustálí tak, aby pro každý vstup vyprodukovala neuronová síť požadovaný výstup. Rozlišuje se:

- a) učení s učitelem - v trénovací množině jsou obsaženy jak vstupy, tak výstupy. Algoritmus potom používá rozdíl mezi požadovaným a aktuálním výstupem ke korekci vah neuronové sítě.
- b) učení bez učitele - v trénovací množině sítě jsou obsaženy pouze vstupy. Síť je samoorganizující se. Síť se neposkytuje žádná znalost o tom, zda jsou výstupy správné [37].

Nejširší uplatnění neuronových sítí se nachází v modelování teoreticky libovolného systému. V tradičních aplikacích umělé inteligence se používají pro rozpoznávání znaků z textu, řeči nebo vizuální rozpoznávání objektů v reálném prostoru. Jsou velmi vhodné k simulování složitých reakcí (chemických, přírodních, logických, aj.), využívají se v systémech na podporu rozhodování a zřejmě nejčastější aplikací umělých neuronových sítí v praxi je predikce na základě dat z minulosti [36].

3.3 Genetické algoritmy

Genetický algoritmus je heuristický postup, který se snaží aplikací principů evoluční biologie nalézt řešení složitých problémů, pro které neexistuje použitelný exaktní algoritmus. Genetické algoritmy, resp. všechny postupy patřící mezi tzv. evoluční algoritmy, používají techniky napodobující evoluční procesy známé z biologie – dědičnost, mutace, přirozený výběr a křížení – pro „šlechtění“ řešení zadané úlohy.

Princip práce genetického algoritmu je postupná tvorba generací různých řešení daného problému. Při řešení se uchovává tzv. populace, jejíž každý jedinec představuje jedno řešení daného problému. Jak populace probíhá evolucí, řešení se zlepšují. Tradičně je řešení reprezentováno binárními čísly, řetězci nul a jedniček, nicméně používají se i jiné reprezentace (strom, pole, matice, atd.). Typicky je na začátku simulace (v první generaci) populace složena z naprosto náhodných členů. V přechodu do nové generace je pro každého jedince spočtena tzv. *fitness* (vhodnost) funkce, která vyjadřuje kvalitu řešení reprezentovaného tímto jedincem. Podle této kvality jsou stochasticky vybráni jedinci, kteří jsou modifikováni (pomocí mutací a křížení), čímž vznikne nová populace. Tento postup se iterativně opakuje, čímž se kvalita řešení v populaci postupně vylepšuje. Algoritmus se obvykle zastaví při dosažení postačující kvality řešení, případně po předem dané době [56].

4 Bezpečnostní potenciál vozového parku

V České republice jsou každoročně publikovány články o průměrném stáří vozového parku, které vycházejí z dat obsažených v Centrálním registru vozidel. Na základě průměrného věku vozového parku se obvykle usuzuje o obecné úrovni bezpečnostních a ekologických aspektech vozidel obsažených v tomto vozovém parku. Takový odhad ale hlouběji nepracuje se strukturou vozového parku. Pouze podává informaci jak je průměrně staré běžné vozidlo na nějakém území. Z tohoto pohledu vůbec nebere v úvahu takové důležité aspekty jako je pasivní a aktivní bezpečnost vozidel a jejich hmotnost.

Pro lepší odhad bezpečnosti⁶ vozového parku by bylo užitečné doplnit data z Centrálního registru vozidel ještě minimálně o informace o hmotnosti a bezpečnostních aspektech každého modelu automobilu ve vozovém parku. Tedy každý model automobilu může být charakterizován čtyřmi parametry:

- počtem registrovaných automobilů,
- věkem,
- úrovní bezpečnosti a
- hmotností.

Tyto parametry, především pak věk, úroveň bezpečnosti a hmotnost, jsou blízko popisu celkové bezpečnosti každého modelu automobilu.

4.1 Centrální registr vozidel

Pro vytvoření jisté představy o struktuře vozového parku na určitém území, tedy v tomto případě na území České republiky, je zcela zásadní získat dostatečné množství informací, které daný vozový park popisují. Aby byla naplněna cílená podmínka komplexnějšího pohledu na charakteristiku vozového parku z hlediska pasivní bezpečnosti, bylo by vhodné mít k dispozici soubor dat, který by v sobě zahrnoval informace o stáří, hmotnosti a úrovni pasivní bezpečnosti každého vozidla provozovaného, resp. způsobilého provozu na pozemních komunikacích, k určitému datu. Jelikož podobná problematika nebyla dosud zpracovávána, jevil se tento požadavek ve svém plném rozsahu již zpočátku jako nereálný. Bylo tedy třeba hledat takový zdroj dat, který by poskytl alespoň část z požadovaných informací s vědomím toho, že ostatní data bude nutné pracně dohledat z jiných zdrojů.

Jako primární a bezpodmínečně nutné je získat data o počtu vozidel evidovaných na určitém území k určitému datu a také mít tato data členěná dle druhu, kategorie, značky a typu vozidla. Jelikož každé nově zakoupené, dovezené nebo naopak z provozu vyřazené vozidlo je v České republice nutné evidovat, nabízí se využít právě takovéto databáze

⁶ přesněji bezpečnostního potenciálu

registrovaných vozidel. Ministerstvo vnitra České republiky shromažďuje tyto informace ze všech registračních míst v České republice v Centrálním registru vozidel a vybraná data pravidelně publikuje na svých internetových stránkách. Zde je možné je zcela volně stáhnout ve formě několika CSV, resp. XLS souborů lišících se od sebe rozsahem a typem vybraných dat. Pro účely disertační práce byla zvolena data z kategorie Statistiky podle roku výroby, konkrétně soubor *zkrtyp.csv*. Struktura použitého souboru je následující:

- **Druh** (OA – osobní automobil, NA – nákladní automobil, . . .).
- **Kategorie** (např. pro OA další dělení na M1, M2, M3).
- **Značka** (název výrobce automobilu – např. Škoda).
- **Typ** (název modelu automobilu – např. Octavia).
- **Rok výroby** (počet vozidel vyrobených v daném roce, děleno po jednotlivých letech od roku 1945 do roku 2007, dříve vyrobená vozidla uvedena ve sloupci starší).
- **Suma** (součet počtu vozidel daného druhu, kategorie, značky a typu pro všechny roky).

Data v souboru jsou tedy hierarchicky dělena (řazena), přičemž na nejnižší pozici stojí Typ. Každému typu přísluší jeden řádek. Buňky v řádku vlevo od konkrétního typu uvádějí ve zkratkách jeho zařazení dle výše uvedeného hierarchického klíče, vpravo jsou uvedeny počty registrovaných vozidel dle roku výroby. Řádek je uzavřen součtem všech registrovaných vozidel daného typu.

	Dr	ktg	znacka	typ	1997	2004	2005	2006	2007	SUMA
16513	OA	M1	AUDI	A2	0	21	12	2	1	278
16514	OA	M1	AUDI	A3	555	384	489	416	139	4225
16515	OA	M1	AUDI	A4	1375	671	832	604	356	11291
16516	OA	M1	AUDI	A5	0	0	0	0	13	13
16517	OA	M1	AUDI	A6	694	1231	1406	1207	618	13273
16518	OA	M1	AUDI	A8	132	233	179	141	42	1868

Obr. 8 Struktura CRV – soubor *zkrtyp.csv*.

V době, kdy se údaje z Centrálního registru vozidel použité v disertační práci začaly zpracovávat, byl nejaktuálnějším soubor vztahený k 1.7.2007. K tomuto dni je současně nutné vztahovat i všechny získané výsledky popsané a diskutované v kapitole 4.4.

4.1.1 Chyby v CRV

Od roku 2006 jsou v CRV evidovány veškeré značky a typy vozidel. To na rozdíl od starších statistik, kdy byly sledovány pouze počty vozidel předdefinovaných značek a typů, mělo sice za následek rozšíření základny souboru a tím i obohacení jeho struktury o vozidla mimo předdefinovaný okruh, na druhou stranu jsou data zatížena mnohem větší chybou.

Jelikož jsou data vkládána přímo pracovníky registračních míst, rozšířil se tím okruh chyb i o kategorii značka a typ vozidla. Ty jsou v Centrálním registru vozidel uvedeny přesně tak, jak je zavedlo registrační místo – tedy různě deformované názvy značek a typů vozidel způsobené překlepy, přizpůsobením grafické podoby názvu fonetické stránce slova, nahrazením zkratkou nebo neznalostí pracovníka. Vznikly tím prakticky nové kategorie na pozici značky i typu vozidla, pod které dané registrační místo evidovalo vozidla.

Pro konkrétnější představu lze uvést příklad na vozidlech značky Volkswagen. Ve zpracovávaném souboru CRV se vyskytovalo 14 jednoznačně identifikovatelných kategorií zařaditelných pod tento název. Pod překlepy typu „Vokswagen“ nebylo sice zařazeno významnější množství vozidel, ale pod hojně používaným označením „VW“ to již byla značná část všech vozidel připadajících tomuto německému výrobcí automobilů. [24]

	A	B	C	D	BF	BM	BN	BO	BP	BQ	BR
1	Dr	ktg	značka	typ	1997	2004	2005	2006	2007	SUMA	
20754	OA	M1	VOLKSWAGEN	GOLF	0	0	2		2		
20755	OA	M1	VOKSWAGEN	TRANSPORTE	0	0	0	1		1	
20764	OA	M1	VOLKSSWAGE	GOLF	0						
20765	OA	M1	VOLKSSWAGE	CADDY	0	0	0		1		1
20766	OA	M1	VOLKSWAGEN	CADDY	0	0	0	1		1	
20767	OA	M1	VOLKSWAGEN	PASSAT	0		1				
20768	OA	M1	VOLKSWAGEN	POLO	0	0	0	1		1	
20769	OA	M1	VOLKSWAGEN	TRANSPORTE	0	0	0		1		1
20770	OA	M1	VOLKSWAGEN								
20771	OA	M1	VOLKSWAGEN		1						
20772	OA	M1	VOLKSWAGEN		1.1						
20843	OA	M1	VOLKSWAGEN	TOURAN	0	3	408	214	144	118	1122
20844	OA	M1	VOLKSWAGEN	TRANSPORTE	9	3	251	326	266	156	1284
20845	OA	M1	VOLKSWAGEN	TRANSPORTE	0	0	0	0	3		3
20846	OA	M1	VOLKSWAGEN	VENTO							
20847	OA	M1	VOLKSWAGEN	VW	0						
20848	OA	M1	VOLKSWEGEN	VENTO							
20849	OA	M1	VOLKWAGEN	TRANSPORTE							
20850	OA	M1	VOLLKWAGEN	GOLF	0		3				
20851	OA	M1	VOLSWAGEN	GOLF	0	0	1		1		
20852	OA	M1	VOLSWAGEN	JETTA	0	0	0	1		1	
20853	OA	M1	VOLVO		1.2						
20854	OA	M1	VOLVO		1.3						

Obr. 9 Příklad chyb v CRV – soubor zkrtyp.csv.

Ministerstvo vnitra České republiky není oprávněno data v CRV jakkoli měnit, tudíž ani opravovat jakékoliv chyby. Z hlediska absolutních počtů a obecných statistik, pro jejichž použití tato data ministerstvo předpokládá, jsou tyto chyby statisticky nevýznamné a celková chyba je odhadována menší než půl procenta [41]. Pro další zpracování a především pak doplnění dalších parametrů k jednotlivým typům vozidla však chyby v CRV představují řadu komplikací a nelze je nechat z tohoto hlediska bez povšimnutí.

Pokud se podaří chyby v CRV identifikovat, lze je obecně rozdělit na opravitelné a na těžce nebo velice obtížně opravitelné. Za neidentifikovatelné chyby lze považovat vozidla zařazená pod jiný rok výroby, než který odpovídá skutečnosti v rámci časového intervalu, kdy se daný typ vozidla skutečně vyráběl. Za těžce opravitelné nebo neopravitelné

chyby lze považovat vozidla zařazená mimo časový interval jejich reálné výroby a zcela chybějící nebo neidentifikovatelný typ vozidla (ve sloupci typ je buď prázdné místo, nesmyslná kombinace písmen a číslic nebo příliš obecné označení). Například u vozidel značky Alfa Romeo nebo Land Rover je ve sloupci značka uveden název Alfa, resp. Land a ve sloupci pro typ druhá část dvouslovného názvu, tedy Romeo, resp. Rover. Nejsou tak rozlišeny jednotlivé typy, které v případě více souběžných modelových řad není ani následně možné identifikovat dle období jejich výroby.

	A	B	C	D	BF	BG	BH	BI	BJ	BP	BQ	BR
1	Dr	ktg	značka	typ	1997	1998	1999	2000	2001	2007		SUMA
16688	OA	M1	ALFA	916		1						
16689	OA	M1	ALFA	LANCIA								
16690	OA	M1	ALFA	ROMEO	927	1468	1222	1003	815	7	67	11801
16691	OA	M1	AMC	EAGLE								
18705	OA	M1	LANCIA	DELTA								
18706	OA	M1	LAND	ROVER	128	343	491	306	202	3	65	2781
18707	OA	M1	LANDROVER	DISCOVERY	1	1		2				
18708	OA	M1	LANDROVER	DISCOVERY	0	0	0	1				
18709	OA	M1	LANDROVER	LD	0	0	1		1			
18710	OA	M1	LANCIA	DELTA								

Obr. 10 Příklad neopravitelných a těžce opravitelných chyb v CRV.

Opravitelné chyby zahrnují chybějící hierarchicky vyšší řazení nebo mylné zařazení vozidel jasně identifikovatelných dle značky a typu do špatných kategorií. V těchto případech není většinou problém začlenění doplnit nebo opravit.

4.1.2 Zpracování dat z CRV

Zvolený originální datový soubor *zkrtyp.csv* stažený ze stránek MVČR a importovaný do Microsoft Office Excel obsahoval 38 620 řádků a celkem 6 689 393 vozidel všech druhů a kategorií. Před vlastním výběrem cílové skupiny vozidel, tedy osobních a lehkých nákladních automobilů kategorie M1 a NI, bylo nejdříve nutné provést řadu poměrně pracných kroků.

V prvním kroku bylo nezbytné odhalit opravitelné chyby a doplnit chybějící údaje, resp. přiřadit správný druh a kategorii jednotlivým typům, u kterých bylo zařazení vyhodnoceno jako chybné. Opravy a doplnění informací byly prováděny pouze u vozidel cílové skupiny. Do cílové skupiny se v tomto okamžiku umísťovala i vozidla, u nichž správné přiřazení daného typu nebylo jisté, aby se v pozdějších krocích přiřazení následně zkontrolovalo.

Po dokončení této operace byl na data aplikován dvojnásobný filtr, kterým se vyselektovaly již jen druhy osobní (OA) a nákladní automobil (NA) a kategorie M1 a NI. Tím se počet řádků zredukoval zhruba šestkrát. Nyní již bylo snadnější pokračovat v dalších opravách, které se týkaly především sloupce *značka*. Zde bylo žádoucí vzhledem k výše popsaným problémům se vznikem zcela nových chybných názvů tyto v rámci příslušné skupiny názvů ujednotit (např. VW, Volkswagen, atd. přejmenovat na Volkswagen). Následně byla opravená data abecedně seříděna vzestupně – primárně dle názvů ve sloupci *značka* a sekundárně dle sloupce *typ*.

Při opravách ve sloupci *typ* se postupovalo obdobným způsobem jako ve sloupci *značka*, ale s tím rozdílem, že při kumulaci stejných, deformovaných nebo významově identických názvů se současně sčítal počet vozidel vyrobených v daných letech. To vyžadovalo věnovat pozornost především těmto detailům:

- chybám v názvech,
- typům vozidel, které by bylo možné zahrnout do jedné skupiny z důvodu stejné konstrukce (např. VW Golf – Bora nebo Škoda 105 – 120 – 125 – 130, atd.),

typům vozidel, které by bylo možné zahrnout do jedné skupiny v případech, kdy existuje více variant pro název jednoho typu automobilu (např. Škoda 136 - Favorit). [24]

Kumulace dat musela být rovněž prováděna citlivě s ohledem na budoucí přiřazování parametrů jako hmotnost vozidla a pasivní bezpečnost.

Na úrovni sloupců *značka* a *typ* se však již začaly projevovat některé neopravitelné, resp. těžce opravitelné chyby. Ty, jen pro připomenutí, většinou způsobovaly nemožnost identifikovat, o jakou značku a typ, nebo jen typ vozidla se jedná. Na vrub těmto neopravitelným chybám tak připadlo okolo 17 000 vozidel, se kterými dále nebylo možné pracovat.

Ačkoli už v této fázi byla data z CRV řádně vytržena, opravena a kumulována, nebyla práce s daty z CRV stále ukončena. Z hlediska budoucího použití zpracovávaného souboru, tedy z hlediska odhadu bezpečnostního potenciálu vozového parku osobních vozidel registrovaných v ČR, bylo nutné provést ještě další úpravy. Ty se týkaly jednak vozidel vyrobených před rokem 1945, tedy jednoznačně veteránů, které nemělo smysl dále zpracovávat, jelikož se zpravidla nepodílejí na běžném silničním provozu a byla tedy ze souboru odstraněna, a jednak vozidel kategorie NI.

Poměrně značná část z nich je totiž typickým představitelem velmi úzké hranice mezi vozidly kategorie M1 a NI. Jedná se často o zcela běžné sériové vozy kategorie M1, které ale mají navíc přepážku (mřížku) oddělující zavazadlový prostor od prostoru pro posádku. Tato drobná změna spolu s určitými dalšími legislativními omezeními umožňovala zařadit vozidlo do kategorie lehkých nákladních automobilů NI a podnikatelům tak při koupi nového vozidla snížit pořizovací náklady o odpočet DPH. Tento český fenomén byl zrušen až v roce 2009. Bylo tak nutné obdobným postupem, jak byl popsán výše, rovněž zpracovat nákladní vozidla kategorie NI, vytržít z nich ty modely, které byly postiženy tímto problémem a připojit je k osobním vozidlům kategorie M1. Jelikož se jedná, jak už bylo jednou zmíněno, prakticky o totožná vozidla jak konstrukčně tak i co se týče názvu modelu, byly počty příslušných modelů automobilů vyrobených v konkrétních letech sečteny. Prakticky tak nedošlo k obohacení již zpracovaného souboru vozidel kategorie M1 o nové modely, ale zvýšil se pouze počet registrovaných vozidel.

1	Dr	ktg	znacka	typ	BB	BC	BM	BN	BO	BP	BQ	BR
11073	NA	N1	ŠKODA	FABIADY	0	0	0	0	26	155		181
11074	NA	N1	ŠKODA	FAIBA	0	0	0	0	1			1
11075	NA	N1	ŠKODA	FAVIA	0	0	0	2				2
11076	NA	N1	ŠKODA	FELICIA	0	0	0	0	1			3814
11077	NA	N1	ŠKODA	FORMAN	6	7						292
11078	NA	N1	ŠKODA	OCTAVIA	0		790	4707	6508	3536		15557
11079	NA	N1	ŠKODA	OCTAVIA-1Z	0		0	2				2
11080	NA	N1	ŠKODA	OCTAVIA1Z	0		0	1	2			3
11081	NA	N1	ŠKODA	OCTVAIA	0		0	2				2
11082	NA	N1	ŠKODA	OCTAVIA	0		3	3	0	1		7

Obr. 11 Příklad nákladních vozidel kategorie N1 lišících se od osobních vozidel kategorie M1 pouze drobnými úpravami.

Krom toho byla ze souboru nákladních vozidel kategorie N1 vyňata i užitková vozidla, která konstrukčně vycházela z osobních vozidel kategorie M1 nebo jim byla svými parametry blízko, jako např. Škoda Felicia Pick-up, a připojena k souboru osobních vozidel kategorie M1. Naopak ze souboru osobních vozidel kategorie M1 byla přesunuta do nákladních automobilů kategorie N1 vozidla, která zde také většinou bývají správně situována. Jedná se především o osobní verze vozidel, jako je například Ford Transit, Fiat Ducato, Renault Trafic, atd., které se svými parametry přece jenom už od běžných osobních vozidel liší více, ačkoli některé osobní vozy, moderně označované jako MPV, jim až tak příliš svými parametry vzdálené nejsou.

Závěrečným krokem úprav byla příprava souboru na přiřazování dalších dat, která budou dohledávána. Jelikož počty vozidel jednoho typu byly dosud uspořádány v jednom řádku do sloupců příslušných roků výroby, bylo vhodné pro snadnější rozlišení generace typu vozidla, jeho hmotnosti, bezpečnosti a stáří data přeorganizovat. Přeskupení dat bylo provedeno tak, že počtům vozidel daného typu vyrobených v konkrétním roce nyní příslušel vlastní řádek. V souboru tak došlo k několikanásobnému navýšení počtu řádků (na finálních 5059 řádků). Každý typ má nyní tolik řádků, kolik let se vyráběl, přičemž jeden každý řádek přísluší jednomu roku výroby daného typu. Každý řádek tak nese informaci o značce a typu vozidla a dále pak o počtu kusů vyrobených v jednom konkrétním roce. Řádek označující roky výroby byl zachován pro identifikaci stáří vozidel zařazených v příslušném sloupci.

1	A	B	C	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	
2	znacka	typ	generace	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	suma	poct
4031	SEAT	TOLEDO	typ 1L, vento, Golf MK 2, a2	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		281
4032	SEAT	TOLEDO	1991		1866																	1866
4033	SEAT	TOLEDO				2040																2040
4034	SEAT	TOLEDO					1934															1934
4035	SEAT	TOLEDO						2769														2769
4036	SEAT	TOLEDO							3164													3164
4037	SEAT	TOLEDO								2929												2929
4038	SEAT	TOLEDO	typ 1M, Golf MK 4, platforma								1215											1215
4039	SEAT	TOLEDO	1998									1947										1947
4040	SEAT	TOLEDO											1157									1157
4041	SEAT	TOLEDO												491								491
4042	SEAT	TOLEDO													380							380
4043	SEAT	TOLEDO														406						406
4044	SEAT	TOLEDO	Mk3														249					249
4045	SEAT	TOLEDO																217				217
4046	SEAT	TOLEDO																		132		132
4047	SEAT	TOLEDO																			28	28

Obr. 12 Příprava dat z CRV k přiřazování dohledávaných dat

Finální soubor vytvořený po všech úpravách z CRV a připravený pro další zpracování obsahoval 4 308 519 vozidel, přičemž původně v něm bylo zahrnuto 4 385 014 vozidel

(neочиštěná data). To znamená, že se z automobilů uvažovaných kategorií, tedy osobních vozidel kategorie M1 a jejich derivátů, podařil sestavit 98% vzorek uvažovaného vozového parku, což by měl být dostatečně vypovídající soubor vozidel, se kterým bude nadále pracováno.

4.2 Data potřebná pro stanovení bezpečnosti vozového parku

4.2.1 Počet vozidel

Počet vozidel je jednou ze základních charakteristik vozového parku. Jak už z předešlého vyplynulo, cílem disertační práce není odhadnout bezpečnostní potenciál celého vozového parku, ale jen jeho části. Z celého vozového parku byla pozornost zaměřena na nejpočetnější skupinu - osobní vozidla kategorie M1 a z nich odvozená nákladní vozidla kategorie N1. Co se týče počtu vozidel této skupiny automobilů, byl v předchozí kapitole rovněž uveden zdroj dat a detailně celý postup úprav až po získání finálního souboru. Není proto účelné tyto kroky zde opakovat.

Je zřejmé, že počet vozidel nemá s bezpečností automobilu jako jeho vlastností nic společného a tím pádem není ani vstupním parametrem do FIS. Počet vozidel daného typu a roku výroby slouží až k závěrečnému stanovení bezpečnostního potenciálu výběrového vozového parku pomocí základních statistických ukazatelů.

4.2.2 Věk vozidla (stáří vozidla)

Každý fyzický objekt, stroj, zařízení, ale i lidské tělo podléhá degradaci. Tato postupná změna vlastností objektu se projevuje ztrátou jeho kvalitativních stránek a často ve svém důsledku vede až ke ztrátě schopnosti plnit svou funkci – buď úplně nebo na požadované úrovni. Tento proces se samozřejmě nevyhýbá ani automobilům. Stárnutí, jak se degradace také někdy označuje, je naprosto přirozeným jevem, jehož projevy lze sledovat v čase. Rychlost těchto změn závisí na řadě parametrů – obecných, ale často pro daný objekt i specifických.

U automobilů lze uvést řadu příkladů, které se snaží tento proces ovlivnit a zpomalit zaváděním různých opatření již při výrobě automobilu (například antikoroziní ochrana karoserie), nebo následnou údržbou v provozu (pravidelná údržba, výměna provozních kapalin, kontrola technického stavu a výměna nevyhovujících součástí), nebo způsobem zacházení, provozními podmínkami atd. Není cílem je zde všechny vyjmenovat a popsat, ale pokusit se je vzít jako celek a sledovat, jak se v obecné rovině projevuje jejich vliv na bezpečnostní parametry vozidla v průběhu času.

Z obecného hlediska lze zastarání vozidla rozdělit do dvou skupin:

- zastarání fyzické a
- zastarání morální.

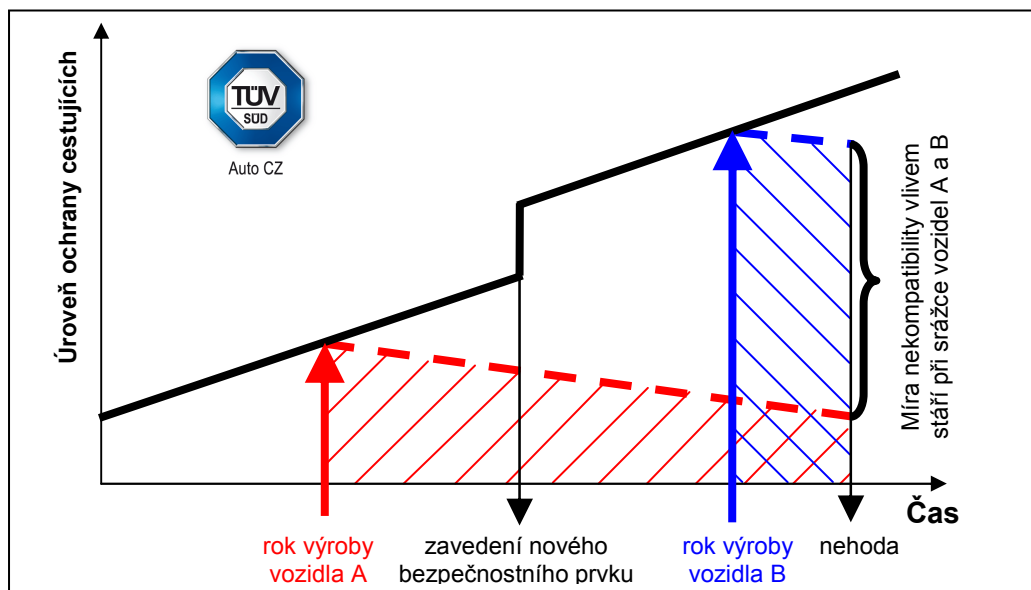
Obě mají s ohledem na bezpečnost vozidla velký význam. Zastarání fyzické lze považovat za samotnou degradaci materiálů, ze kterých je automobil vyroben – ať už samovolnou nebo podpořenou vnějšími vlivy. V této souvislosti se lze zmínit prakticky o všech funkčních celcích a systémech. Mezi nejvýznamnější lze řadit brzdový systém, řízení a nápravy – tedy ty, které mají zásadní vliv na ovládání vozidla a tudíž aktivní bezpečnost vozidla, ale také karoserii a zádržné systémy, jejichž stav ovlivňuje především pasivní bezpečnost vozidla.

Každé vozidlo v České republice musí procházet pravidelnými technickými prohlídkami, které mají za úkol kontrolovat technický stav všech důležitých součástí vozidla. Z tohoto hlediska by pro uvažovaná vozidla měl existovat předpoklad, že všechna splňují požadavky Stanice technické kontroly (STK) a měla by se nacházet v takovém stavu, který zajistí jejich bezproblémový a bezpečný provoz. Velká pozornost při technické kontrole je věnována právě brzdovému systému, jeho účinnosti a souměrnosti brzdného účinku, těsnosti soustavy, stavu koroze brzdového potrubí a také vůlím v řízení a na nápravách. Vizuální kontrole je podroben také stav karoserie. Přesto vše se však nelze domnívat, že se starší vozidlo nachází ve stavu, v jakém opustilo výrobní závod. Řada věcí kontrolována není a řadu věcí zkontrolovat ani nelze. Například není možné odhalit korozi na skrytých místech nebo v dutinách až do té doby, dokud se neprojeví na povrchu a ve větším viditelném rozsahu. Rovněž zádržné systémy mají svoji životnost (například u airbagů se udává 10 až 15 let), kdy po uplynutí této doby nemusí být jejich funkce zcela bezproblémová. Pokud na nich není obvykle vidět evidentní poškození nebo omezená funkčnost, nechávají se i po této době obvykle bez povšimnutí. A právě tyto věci mohou sehrát důležitou roli v případě nehody vozidla.

Morální zastarání vozidla je spojeno nejen s designem, úrovní komfortu a snadností ovládání, které vyžaduje moderní doba, ale především s technologickým pokrokem a pokrokem ve vývoji automobilu. Automobil od svého vzniku urazil obrovský kus cesty a neustále se poměrně dynamicky vyvíjí. Nové automobily poskytují čím dál větší ochranu své posádce. Během posledních dvaceti let došlo k velkému zdokonalení nejen ve smyslu pasivní bezpečnosti, ale díky novým elektronickým systémům také aktivní bezpečnosti. Čím dál větší důraz je kladen na pohodlí řidiče a jeho podporu při ovládání vozidla.

Přínos některých elektronických systémů pro bezpečnost lze doložit i jejich postupným zaváděním jako součásti povinné výbavy vozidel prodávaných na konkrétním trzích. Z tohoto hlediska rovněž homologační předpisy i testy nezávislých organizací neustále prodávají svůj vývoj a jsou čím dál více náročnější. Nehledě na požadavky zákazníků lze tak i tímto vysledovat, jak automobil během času získal a získává na své technické vyspělosti a zvyšující se úrovni ochrany posádky i ostatních účastníků silničního provozu.

Vliv roku výroby osobního automobilu na úroveň jeho pasivní bezpečnosti lze ilustrovat na následujícím grafu (Obr. 13).

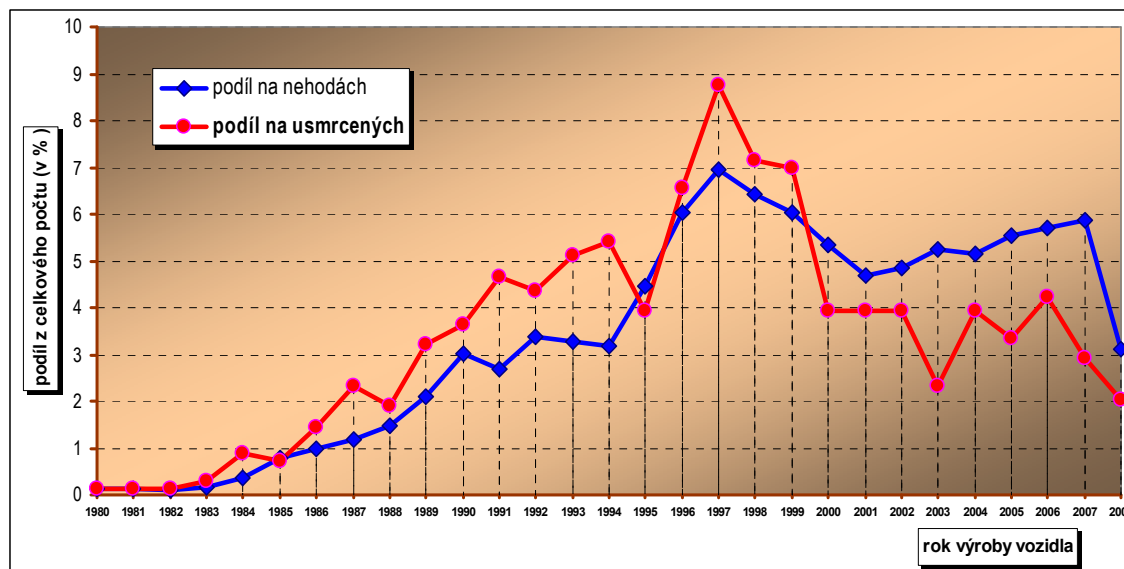


Obr. 13 Ilustrace vlivu roku výroby osobního automobilu na úroveň pasivní bezpečnosti
Zdroj: TÜV SÜD Auto CZ s.r.o., Divize certifikace vozidel, převzato a upraveno z [50]

Černá křivka představuje postupné zvyšování úrovně ochrany cestujících (svislá osa) v průběhu času (vodorovná osa). Zlom na černé křivce poskytované ochrany značí okamžik zavedení nového prvku ochrany cestujících s výrazným účinkem do vyráběných vozidel (například airbag). Úroveň ochrany, kterou poskytuje vozidlo A během jeho používání vlivem stárnutí klesá (červená přerušovaná křivka) stejně jako úroveň ochrany cestujících ve voze B (modrá přerušovaná křivka). Sklon (směrnice) červené přerušované křivky nemusí být stejný jako sklon modré, ale lze předpokládat, že červená křivka klesá strměji než linka modrá. Tedy novější vůz stárne vzhledem k použití nových technologií při jeho výrobě pomaleji než vůz starý. V okamžiku nehody potom disponují vozidla A a B rozdílnou schopností ochránit cestující z hlediska pasivní bezpečnosti. Pro případ, že dojde ke srážce takových různě starých vozidel, lze míru nekompatibility vlivem stáří charakterizovat rozdílem úrovní poskytnuté ochrany v obou vozidlech.

Ačkoli je tento graf pouze ilustrativní a jistě skutečnost do určité míry zjednodušuje (např. lineární růst úrovně bezpečnosti v průběhu výroby jednoho modelu, nebo naopak setrvalý, rovněž lineární pokles poskytované ochrany vlivem stárnutí a provozu), je jím názorně popsána hypotéza o vlivu vývoje a naopak stárnutí vozidla na jeho bezpečnost. Pro podpoření, resp. zamítnutí této hypotézy je nutné se podívat na reálná čísla získaná ze statistik.

Ze statistiky počtu nehod a počtu usmrcených osob v osobních automobilech za rok 2008 v ČR byl vytvořen v závislosti na stáří (roku výroby) vozidla následující graf (Obr. 14):

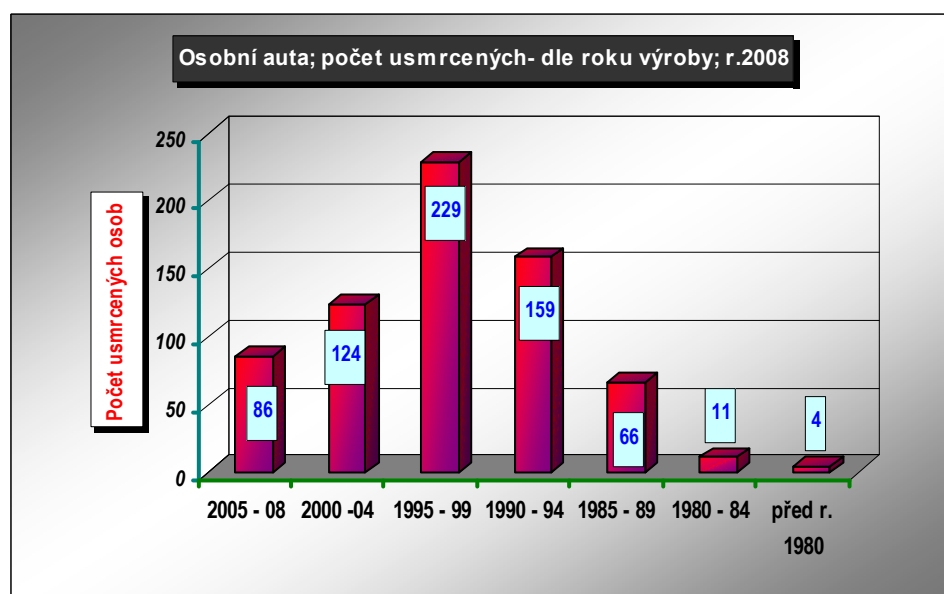


Obr. 14 Podíl počtu usmrcených a podíl na počtu nehod pro vozidla vyrobená v jednotlivých letech.

Zdroj: Policie ČR, Rada vlády pro BESIP 23.4.09

Z grafu vyplývá, že podíly na usmrcených osobách převyšují u vozidel starších devíti let podíly na počtu nehod. To tedy znamená, že v případě vážné nehody starého vozidla byly přepravované osoby vystaveny mnohem vyššímu riziku smrti a měly tak menší naději na přežití.

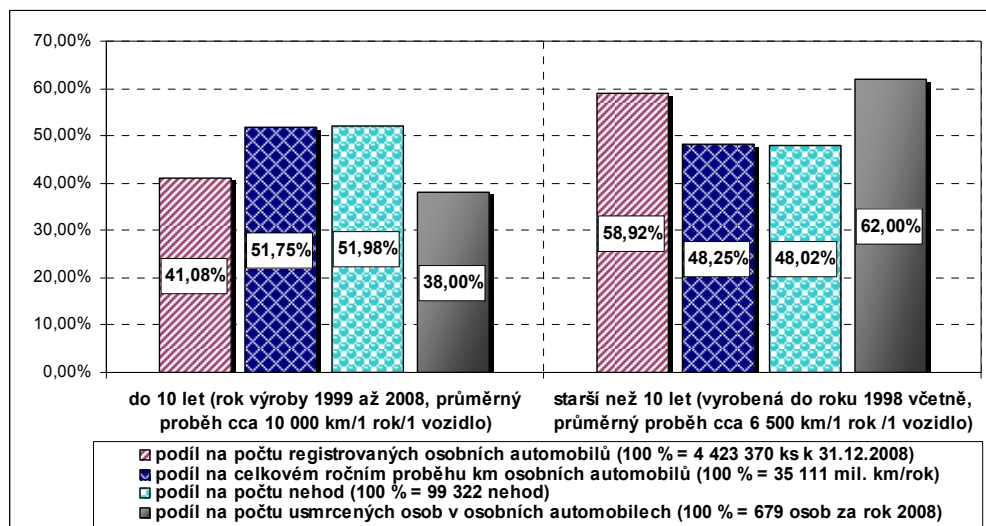
Na jednání Rady vlády pro bezpečnost silničního provozu (BESIP) dne 23.4.2009 byly kromě výše uvedeného grafu prezentovány i jiné statistiky. Nejen z poměrných ukazatelů, ale i z absolutních čísel vyplývá, že ve skupině osobních automobilů starších deseti let bylo v roce 2008 při nehodách usmrceno 62% ze všech usmrcených osob (421 osob), naproti tomu u mladších vozidel 38% (258 osob). Podíl jednotlivých věkových skupin automobilů na počtu usmrcených osob znázorňuje následující graf (Obr. 15):



Obr. 15 Podíl jednotlivých věkových skupin automobilů na počtu usmrcených osob

Zdroj: Policie ČR

Dosud uvedené statistiky a grafy nebraly v úvahu počet registrovaných vozidel dle stáří a jejich předpokládané roční proběhy v kilometrech a mohly tak podávat zkreslený obraz. Pokud se však i tyto parametry zahrnou do uvedených statistik, prakticky se potvrdí výše uvedené závěry. V případě starších vozidel se kalkulovalo s proběhem 6500 km za rok na 1 vozidlo, u mladších byl odhad kolem 10 000 km za rok. Uvedené výsledky jsou uvedeny v grafu na Obr. 16.



Obr. 16 Porovnání podílů počtu registrovaných automobilů, ročního proběhu, počtu nehod a usmrcených osob pro vozidla mladší a starší 10 let.

Zdroj: Policie ČR, Centrální registr vozidel (proběhy km = odhady Sdružení AP)

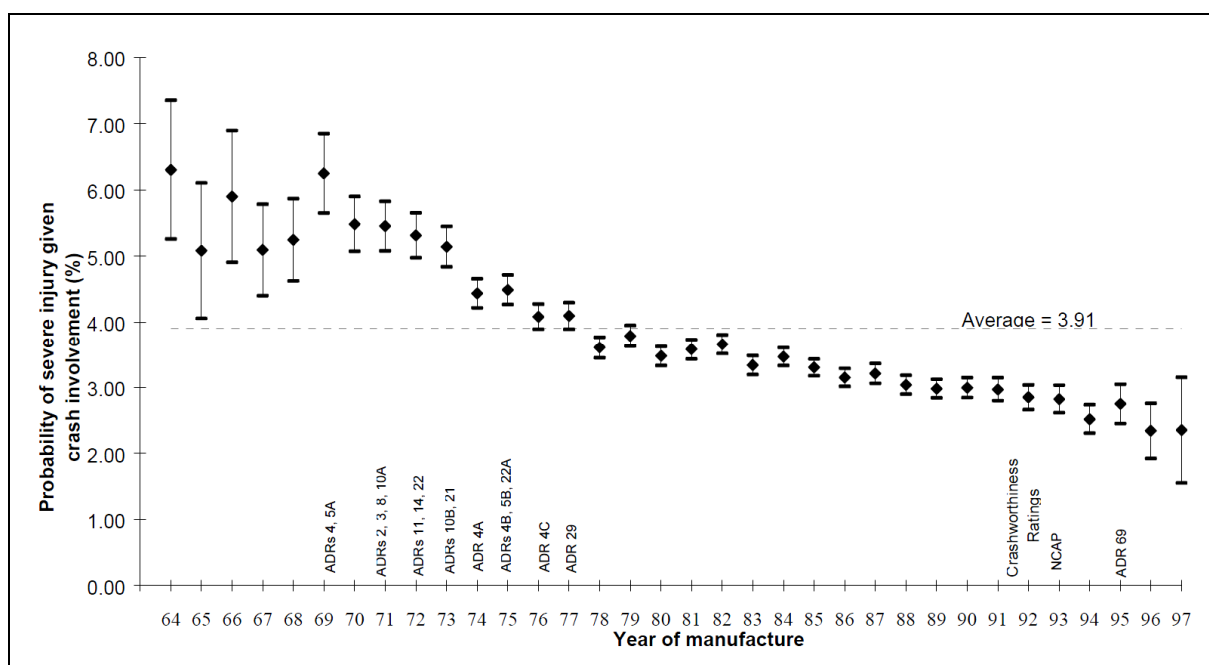
Z grafu je patrné, že celkový roční proběh obou skupin je nepatrně vyšší u skupiny mladších vozidel a obdobně je to i s počtem nehod. S ohledem na tento poměr ročních proběhů a počtů nehod lze dospět k závěru, že v případě nehody vozidla staršího deseti let byla šance na přežití více než dvojnásobně menší než v případě vozidla mladšího. [50]

Obdobný trend potvrzují i další studie z jiných částí světa. V Kanadě se autoři jedné studie zaměřili na vliv dovozu osobních automobilů starších patnácti let na bezpečnost, resp. počet usmrcených a vážně zraněných osob a počet nehod. Zjistili, že následky nehod (počty usmrcených a těžce zraněných osob) výrazně vzrůstají se zvyšujícím se věkem vozidel. Například podíl usmrcených pasažérů vozidel starších patnácti let je přibližně třikrát větší než u automobilů tři až pět let starých. Jediná věková kategorie, která tomuto trendu překvapivě odporuje, je kategorie vozidel zcela nových (0-2 roky), kde jsou následky nehod rovněž tragičtější. Příčinu této anomálie však studie neanalyzovala. Autoři se ve studii snažili odpovědět na tři otázky, které by mohly objasnit konkrétní příčiny nižší bezpečnosti starších vozidel.

První dvě otázky se týkaly samotných vozidel. Bylo konstatováno, že vozidla jsou na nižší technické úrovni a nenabízejí bezpečnostní prvky srovnatelné s moderními vozidly. Druhá otázka se týkala technického stavu vozidel a nehod s přispěním mechanického problému na vozidle. Zde byl u vozidel starších patnácti let zaznamenán zvýšený počet právě takovýchto nehod, ačkoli je obecně výskyt tohoto typu nehod velice nízký až zanedbatelný.

Poslední otázka se netýkala samotného vozidla, ale řidičů – jejich sociálního zázemí a rizikovosti chování. Starší vozidla si obvykle pořizují skupiny sociálně slabší a z toho vyplývají i určitá specifika. Řidiči starších vozidel mají častěji problémy s návykovými látkami, méně často používají bezpečnostní pásy a vyskytuje se zde i vyšší procento řidičů bez nebo s odebraným řidičským oprávněním. Naopak se zde nepotvrdil předpoklad zvýšeného výskytu riskantního řízení. [6]

Také jedna starší studie [62] provedená v Austrálii se v jedné své části zabývala vlivem stáří vozidla na jeho bezpečnost. Ve studii je uvedený graf (Obr. 17), který znázorňuje pravděpodobnost vážného zranění utrpěného při nehodě v závislosti na věku vozidla a dokumentuje postupné zlepšování tohoto ukazatele vlivem zavádění Australských konstrukčních pravidel (ADR).



Obr. 17 Pravděpodobnosti vážných zranění utrpěných při nehodě v závislosti na věku vozidla

Zdroj: [62]

At' už se tedy jedná o zastarání fyzické či morální, je zřejmé, že vozidlo vlivem času ztrácí na svých kvalitativních parametrech. Prakticky je tento proces nastartován dnem výroby automobilu a končí jeho vyřazením z provozu a následnou likvidací. Čím je vozidlo déle v provozu, tím více zaostává za novými automobily, které právě sjíždí z výrobních linek. Tento neodvratný a přirozený proces je nutné zohlednit i v celkové bezpečnosti vozidla, čemuž bude věnována jedna z následujících kapitol.

Stanovení věku vozidel určité značky a konkrétního typu vyplývá přímo ze způsobu organizace skladby dat v CRV. Jak bylo uvedeno v kapitole 0, jsou počty registrovaných vozidel dané značky a typu řazeny dle roku výroby do příslušných sloupců a v závěrečné fázi úprav dat byl počtům vozidel jednoho typu vyrobených v konkrétním roce vyčleněn samostatný řádek. Stačilo tedy pod první řádek s letopočtem přidat ještě jeden, kde byla uvedena číslovka s odpovídajícím stářím viz. Obr. 12. Dle polohy buňky s počtem

registrovaných vozidel v příslušném sloupci roku výroby jí tak lze jednoduše přiřadit odpovídající stáří. Jelikož jsou počty vozidel řazeny dle roku výroby, bude i věk vozidel uváděn v letech, přičemž poslednímu roku registrace přísluší stáří jeden rok. Nelze tak od sebe odlišit například vozidla vyrobená v posledním měsíci roku od vozidel vyrobených v prvním měsíci roku následujícího. Ačkoli jsou od sebe časově vzdáleny jen nepatrně, podle zařazení je mezi nimi roční rozdíl. Z tohoto úhlu pohledu by se mohlo zdát, že roční řazení je příliš hrubé a zavádějící. Nicméně je nutné si uvědomit, jak je proces stárnutí rychlý. Z výše uvedených studií lze docela dobře vidět, že zastarání vozidla se výrazněji projevuje ve svých důsledcích až někde po osmi i více letech. To znamená, že řazení s krokem jeden rok je zde dostatečné a podrobnější členění, například po měsíci, by ani nebylo příliš účelné.

4.2.3 Pasivní bezpečnost vozidla

S výraznějším rozvojem automobilismu a především pak s nárůstem jeho negativních doprovodných jevů, ať už ekologických, či společenských, začaly postupně sílit snahy zavést taková opatření, která by pomohla tyto nežádoucí důsledky zredukovat na co nejnižší únosnou úroveň. Jedním z těchto problémů, které bylo nutné začít řešit, byl zvyšující se počet dopravních nehod s tragickými následky. Dříve, než se však tato problematika stala dostatečně zajímavou a alarmující i pro politiky, byly první krůčky ke zvýšení bezpečnosti automobilu často provedeny samotnými výrobci. Jako příklad za všechny lze uvést jeden z nejstarších a dodnes základních zádržných systémů – bezpečnostní pás. Jeho počátek spadá už do druhé poloviny 19. století (Georgie Cayley 1773 – 1857), ale masovějšího praktického využití se dočkal až v 30. letech následujícího století v letectví. U automobilů se výrazněji prosadila až konstrukce tříbodového bezpečnostního pásu Nilse Bohlina, který od roku 1959 jako součást standardní výbavy nabízela do svých vozidel automobilka Volvo. Až několik let poté, záleželo na přijetí nařízení v konkrétních zemích, se bezpečnostní pás dostal do povinné výbavy všech automobilů, a to často až po dlouhém a důrazném volání řady odborníků. [51].

Velký význam pro zvýšení pasivní bezpečnosti automobilů měly studie zaměřené na účinky zrychlení (resp. zpomalení) na lidský organismus. Společně s reálnými pokusy ukázaly, že je člověk za určitých podmínek schopen přežít takové hodnoty zrychlení, o kterých se předpokládalo, že jsou již pro člověka smrtelné. Jedním z průkopníků v této oblasti byl J. P. Stapp a jeho spolupracovníci, kteří neváhali nasazovat vlastní život k extrémním testům například na raketových saních. Jejich zjištění, ač byla původně určena pro potřeby letectva USA, se stala významným argumentem pro zvyšování bezpečnosti osobních automobilů pomocí tehdy jediných použitelných zádržných systémů a to bezpečnostních pásů. Zavádění deformačních zón a naopak co nejpevnějšího prostoru pro osádku do konstrukce automobilů se rovněž opíralo o tato zjištění. V souvislosti s výsledky těchto studií a pokusů tak lze hovořit o významnějších počátcích zvyšování pasivní bezpečnosti automobilů.

Dnes už schopnost automobilu ochránit osádku patří mezi jeden z nejsledovanějších parametrů. Zájemci o nový automobil již poměrně automaticky očekávají, že jeho bezpečnost je na vysoké úrovni a poskytne jim v případě nehody maximální možnou ochranu, případně jim umožní hrozící se nehodě zcela vyhnout. Na trh nově uvedený automobil, který nepřesvědčí o svém dostatečně vysokém standardu nabízeného bezpečí, je tímto stavěn do nevýhodné pozice. Z hlediska trhu musí pak být mnohem výraznější a přesvědčivější v jiných parametrech, jako jsou cena, design, užitná hodnota, popřípadě jiné více specifické parametry, aby se stal úspěšným a žádaným modelem u zákazníků.

Tendence zvyšovat ochranu nejen osádky automobilu, ale i jiných snadněji zranitelných účastníků silničního provozu, dnes již neleží plně na producentech automobilů. Nové mety a motivace k jejich vyšší bezpečnosti udávají nezávislé organizace a programy, které se snaží bezpečnost nového automobilu hodnotit a to nejčastěji pomocí nárazových zkoušek, tzv. crash testů. Díky nim se především v Evropě v polovině devadesátých let (v USA dříve) odstartovala nová epocha v oblasti pasivní bezpečnosti automobilů. Od této doby učinila automobilová technika v této oblasti obrovský pokrok. Například ještě před samotným spuštěním spotřebitelských testů vozidel podle metodiky nezávislé organizace Euro NCAP panovala značná nevole, protesty a výhrady ze strany výrobců automobilů k náročnosti těchto testů. V první sérii testů se průměrné hodnocení pohybovalo kolem dvou hvězdiček. Stačilo však něco málo přes deset let a v nedávno provedených testech (před zpřísněním testů koncem roku 2009) bylo již výjimečné a rovněž i mírně zarážející, pokud nový automobil nedosáhl v oblasti ochrany osádky nejlepšího hodnocení, tedy pěti hvězdiček.

Ačkoli je zřejmé, že úroveň bezpečnosti automobilů se postupem času značně zvýšila, stále zde vyvstává otázka: Co je to vysoká úroveň bezpečnosti automobilu, respektive co je bezpečný automobil? Nalezení uspokojivé odpovědi nebo definice na tuto základní otázku však není vůbec snadné. Z jednoho úhlu pohledu by se dalo říci, že je to taková úroveň ochrany poskytovaná automobilem, kterou je možné dosáhnout aplikací nejnovějšího poznání, nejmodernějších technologií, technických postupů a materiálů za podmínky únosných ekonomických nákladů. Nicméně je to poměrně relativní výrok, který je nutno vztáhnout k určitému časovému bodu, protože s časem se kvalitativně posouvá úroveň jak poznání, tak i technologie, techniky, materiálů a rovněž se mění i ekonomická stránka. Vyjádřit bezpečnost automobilu v absolutním hledisku je proto právě z tohoto důvodu složité, jelikož neexistuje povědomí o žádné z hranic, kam až každá z těchto oblastí může dospět.

Problematické se rovněž jeví definovat bezpečný automobil z hlediska stanovení podmínek, za kterých má být ještě osádka chráněna a za jakých už ne. Jak je možné při ohlédnutí se zpět vidět a jak bylo naznačeno i na příkladu nárazových zkoušek Euro NCAP, mohou být určité hranice poměrně rychle překonány a jevit se už jako nemotivující a nedostatečné. Obecný vývoj v průběhu času tak i zde činí problém najít záchytné místo, o které by bylo možné se trvale opřít. To lze učinit pouze v omezeném časovém intervalu,

kdy je možné stanovit určité definující podmínky pro relativní bezpečnost vozidla. Zobecnění tohoto pohledu do absolutní roviny by se mohlo opřít až o limitní případ, tedy, že bezpečný automobil je takový, který za každé situace ochrání osádku a ostatní účastníky silničního provozu v jeho nejbližším okolí tak, aby neutrpěli žádná zranění. Takový výrok je však prakticky v současné době nepoužitelný, jelikož jeho naplnění není za současných podmínek ani v blízké budoucnosti dosažitelné.

Aby bylo možné automobily z hlediska jejich bezpečnosti hodnotit, byla ve většině případů zvolena cesta provádění nárazových zkoušek, ve kterých jsou jasně definovány limity hodnot měřených fyzikálních veličin, případně i jiných parametrů, podle kterých je možné stanovit relativní bezpečnost pro konkrétní typ nárazu. Sledované veličiny většinou vycházejí z biomechanických kritérií, které stanovují míru poranění člověka. Nutno však zdůraznit, že i když vozidlo uspokojivě splňuje stanovené limity, ještě to neznamena, že je z absolutního hlediska zcela bezpečné, nýbrž pouze bezpečnější než ostatní vozidla, která se splněním kritérií mají problémy. Je tedy pouze relativně bezpečné. Pokud testovaných vozidel, která výborně uspějí v nárazových testech, začíná rychle přibývat, je na čase kritéria testů zpřísnit – například učinit hodnocení komplexnějším, zvýšit nárazovou rychlost, upravit metodiku zkoušky atd., a posunout tak relativní úroveň bezpečnosti dále. Tím je vlastně zajištěno neustálé zvyšování relativní bezpečnosti nových vozidel a přibližování se absolutně bezpečnému ideálu.

Zatím padla zmínka pouze o nárazových zkouškách spíše nezávislých organizací – takzvaných spotřebitelských testech primárně zaměřených na potenciálního zákazníka a širokou veřejnost. Podobný proces se ale děje i v oblasti homologačních zkoušek a schvalování vozidel. Tyto zkoušky mají samozřejmě jiný smysl a mají zpravidla kritéria stanovená níže. Snaží se oddělit vozidla, která již nevyhovují určitému bezpečnostnímu standardu od vozidel, která mu vyhovují. Ačkoli i tato kritéria se neustále zpřísnují, nejsou již z principu nadsazena nad pro danou chvíli splnitelné hodnoty a nemají tudíž takový progresivní efekt, kterým se testy nezávislých organizací snaží motivovat výrobce k neustálému zvyšování bezpečnosti.

V následujících kapitolách budou podrobněji rozebrány metodiky některých crash testů, ze kterých se vycházelo při přiřazování pasivní bezpečnosti jednotlivým modelům automobilů.

Rozdělení zkoušek

Jak již bylo výše zmíněno, existuje několik typů zkoušek, podle kterých je možné hodnotit relativní pasivní bezpečnost vozidla. Tyto zkoušky lze rozdělit do dvou základních skupin:

- legislativní a homologační zkoušky,
- spotřebitelské testy.

Legislativních a homologačních předpisů existuje velké množství – prakticky každá civilizovaná země má buď své vlastní nebo akceptuje některý z kontinentálních, resp. oblastních. Většina předpisů vztahujících se k pasivní bezpečnosti však prakticky vychází z předpisů evropských nebo amerických, které jsou nejpropracovanější.

Z evropských lze jmenovat předpisy EHK/OSN a směrnice EHS. Konkrétně pro čelní náraz EHK 94 a EHS 96/79 a pro boční EHK 95 a EHS 96/27. Z amerických pak FMVSS 208, 214 a 201. Přehled světově nejvýznamnější předpisů je uveden v tabulce (Tabulka I).

Tabulka I Přehled legislativních předpisů pasivní bezpečnosti

Oblast / druh zkoušky	Evropa		USA	Čína	Japonsko	Gulfské státy	Austrálie
Čelní náraz 40%	EHK 94	EHS 96/79	FMVSS 208	V návrhu	MLIT 619/2002	GS 36 A	ADR 73
Čelní náraz 100%	X	X	FMVSS 208	GB 11551-2003	MLIT 619/2002	GS 36 B	ADR 69
Boční náraz	EHK 95	EHS 96/27	FMVSS 214	GB 20071-2006	MLIT 619/2002	GS 38 B, C	ADR 72
Náraz na kůl	X	X	FMVSS 201, FMVSS 214*	X	X	X	X

* Od roku 2009

Zdroj: [25]

Druhou a mnohem známější skupinou jsou testy spotřebitelské, jejichž účelem je snaha porovnat jednotlivé typy vozidel, resp. samotná vozidla navzájem mezi sebou z hlediska bezpečnosti. Jejich výhodou je to, že jejich výsledky se pravidelně publikují, nejčastěji na internetu, a jsou dostupné bez omezení pro kohokoliv. Naopak nevýhodou je jejich rozdílnost v metodikách provedení zkoušek nebo hodnocení a z toho vyplývající nemožnost je vzájemně bez problémů porovnat. Mezi nejvýznamnější spotřebitelské testy lze bezpochyby řadit zkoušky následujících organizací:

- Euro NCAP,
- A-NCAP,
- IIHS,
- US NSAP,
- Japan NCAP a
- China NCAP.

Pro účely disertační práce byly používány primárně výsledky testů Euro NCAP/ANACP a sekundárně IIHS. Zřídka pak bylo nahlédnuto do testů US NCAP a zcela výjimečně do jiných testů. V následujícím textu budou tedy tyto tři jmenované rozebrány podrobněji.

Testy Euro NCAP/A-NCAP

V evropském měřítku jsou nárazové testy nezávislé organizace Euro NCAP (European New Car Assessment Programme) nejznámější a mezi spotřebitelskými testy nejdůležitější. Z toho důvodu byly také jejich výsledky vybrány jako jedny ze vstupních dat do této disertační práce.



Již od sedmdesátých let dvacátého století řada evropských vlád pracovala v rámci Evropského výboru pro vyšší bezpečnost vozidel EEVC (European Enhanced Vehicle-safety Committee) na hodnocení různých aspektů pasivní bezpečnosti vozidel. Na počátku devadesátých let tento výzkum přinesl výsledky v podobě metodik a procedur plnohodnotných nárazových testů pro ochranu posádky při čelním a bočním nárazu a metodik zkoušení částí vozidel pro ochranu chodců. Ač byla během roku 1994 snaha začlenit tyto metodiky EEVC do evropské legislativy, nebylo tohoto cíle dosaženo a to především díky velkému odporu automobilového průmyslu. V červnu téhož roku se Ministerstvo dopravy Velké Británie rozhodlo zavést Program NCAP, který by mohl být komplexnější a založený na metodikách testů EEVC. Současně se plánovalo, že by se tento program mohl rozšířit postupně do celé Evropy a k tomu účelu se v létě roku 1995 uskutečnilo setkání zájemců u Evropské komise. V roce 1996 se k programu připojili Švédská národní správa silnic SNRA (Swedish National Road Administration), Mezinárodní automobilová federace FIA (Federation Internationale de l'Automobile) a Mezinárodní spotřebitelský výzkum a testování ICRT (International Consumer Research and Testing), čímž se začala formovat Euro NCAP, jejíž inaugurační setkání se uskutečnilo ještě na konci téhož roku. První výsledky byly prezentovány v únoru 1997 a byly doprovázeny velkým zájmem médií a na druhou stranu velice negativní odezvou ze strany výrobců automobilů. Postupně se začala rozšiřovat členská základna o více evropských vlád a organizací jako například ADAC, Tauchman, atd. a testy této společnosti začaly nabývat na významu a prestiži. [42]

V souvislosti s programem Euro NCAP je vhodné se zmínit rovněž o jeho australské obdobě. V roce 1999 došlo k dohodě mezi sdružením ANCAP (Australasian New Car Assessment Program) a Euro NCAP o přijetí souboru zkoušek a jejich hodnocení, a tak je australský program od té doby až na drobné výjimky prakticky totožný s evropským. [44]

Hodnocení testů Euro NCAP, jak už je obecně známo, je znázorněné graficky pomocí hvězdiček. Odstupňování výsledku testu je vyjádřeno počtem udělených hvězdiček v rozmezí od jedné do pěti, přičemž pět hvězdiček je maximum, jakého lze v současné době dosáhnout. Zisk pěti hvězdiček tedy znamená, že dané vozidlo je dle stanovených podmínek relativně bezpečné a mělo by být schopno poskytnout posádce dobrou ochranu. Hvězdičkové hodnocení je pro laickou veřejnost natolik pochopitelné a jednoznačné, že už se málokdo zajímá o podrobnosti, popřípadě o to, co se za hvězdičkami skrývá.

Při důkladnějším pohledu na hodnocení se lze dozvědět o bezpečnosti vozidla i více než vyjadřují pouhé hvězdičky. Ty jsou vlastně jen grafickým a snadno prezentovatelným znázorněním bodového hodnocení. Jednotlivé počty hvězdiček jsou vždy přiřazeny příslušnému intervalu bodů, který se získá součtem dosaženého bodového ohodnocení v jednotlivých typech nárazových zkoušek, popřípadě jiných hodnocených parametrech (např. upozornění na nezapnuté bezpečnostní pásy) (Tabulka 2).

Tabulka 2 Počet hvězd a jim odpovídající rozsah bodů

Počet hvězd					
Rozsah bodů	33 – 40	25 – 32	17 – 24	9 – 16	1 – 8

Testy Euro NCAP zaměřené na ochranu posádky tvoří tyto typy bodově hodnocených nárazových zkoušek (obrázky – viz. Příloha I):

- čelní náraz se 40% přesazením na straně řidiče do deformovatelné bariéry v rychlosti 64 km/h,
- kolmý boční náraz pohybujícím se vozíkem s deformovatelnou bariérou do boku testovaného vozidla v rychlosti 50 km/h a
- kolmý boční náraz na sloup v místě hlavy (těžiště hlavy) řidiče v rychlosti 29 km/h.

Posledně jmenovaný typ zkoušky, tedy náraz na sloup se provádí pouze v případě, že vozidlo je vybaveno hlavovými airbagy a při bočním nárazu deformovatelnou bariérou byla oblast hlavy ohodnocena plným počtem bodů.

Bodové ohodnocení jednotlivých typů zkoušek a systému kontroly zapnutí bezpečnostních pásů SBR (Seat Belt Reminder) uvádí tabulka (Tabulka 3).

Tabulka 3 Maximální bodové hodnocení jednotlivých zkoušek a parametrů - Euro NCAP

Typ zkoušky	Čelní náraz	Boční náraz	Náraz na sloup	SBR	Celkem
Maximální možný zisk bodů	16	16	2	3	37

K zisku určitého počtu hvězdiček ovšem nestačí pouze dosáhnout příslušného součtu bodů, jak možná na první pohled vyplývá z tabulky 2. Kdyby se body z jednotlivých typů zkoušek prostě sečítaly, mohlo by docházet situacím, které by dostatečně neodrážely celkovou bezpečnost vozidla. Pokud má být vozidlo ohodnoceno určitým stupněm bezpečnosti, mělo by být svými bezpečnostními parametry co nejvíce vyrovnané a to ve všech směrech. Nelze totiž vykazovat vynikající výsledky v jedné jediné oblasti a druhou přitom mít zcela nevyhovující. Aby nedocházelo k využívání silnějších stránek a konstrukčních parametrů vozidla (například světlá výška) v jednom typu zkoušky k vyššímu celkovému hodnocení a kompenzaci špatného hodnocení v jiném typu zkoušky, byly stanoveny minimální limity, kterých je nutné pro daný počet hvězdiček v jednotlivých typech zkoušek

dosáhnout. Tyto limity se týkají výhradně čelního a bočního nárazu a jejich minimální hodnoty pro získání určitého počtu hvězdiček jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 4).

Tabulka 4 Omezení počtu hvězdiček minimálním počtem získaných bodů v čelním nebo bočním nárazu v testech Euro NCAP.

Počet hvězd	★★★★★	★★★★☆	★★★☆☆	★★☆☆☆	★☆☆☆☆
Min. bodů – čelní/boční náraz	13	9	5	2	-

Pro úplnost je ještě vhodné k hodnocení výsledků pomocí hvězdiček dodat, co znamená přeškrtnutá hvězdička. Tu lze občas spatřit u některých vozidel testovaných převážně ještě před rokem 2000. Interpretace výsledků s tímto hodnocením je taková, že vůz by mohl být dle dosažených bodů hodnocen příslušným počtem hvězdiček, ale při některém z testů se vyskytl nějaký zásadní problém (např. s některým ze zádržných systémů), který zapříčinil, že minimálně jedna z bodovaných oblastí na figuríně byla ohodnocena nula body, tedy že je nedostatečně chráněna.

V tabulce 3 bylo uvedeno maximální bodové ohodnocení jednotlivých zkoušek. Nebylo však dosud ukázáno, jak a z čeho se toto hodnocení získává. Pozornost nyní bude zaměřena na dvě nejdůležitější zkoušky – čelní a boční náraz. Při jejich provádění je automobil osazen měřícími figurínami se snímači, které v průběhu zkoušky zaznamenávají různé fyzikální veličiny – síla, ohybový moment, délka (průhyb), zrychlení.

Čelní náraz

Při čelním nárazu je vozidlo osazeno dvěma dospělými figurínami Hybrid III a to na místě řidiče a spolujezdce (na zadní sedadla se umísťují dětské figuríny pro oddělené hodnocení ochrany dětí). Hodnoty ze snímačů umístěných v různých částech figurín naměřené během nárazu se buď přímo porovnávají nebo dopočítávají a potom porovnávají s limitními hodnotami biomechanických kritérií. Hodnocené oblasti jsou následující:

- hlava a krk,
- hrudník,
- koleno a stehno,
- holeně (u řidiče navíc s kotníky).

U oblastí dolních končetin (koleno, stehno a holeně, příp. i kotníky) se zvláště hodnotí ještě pravá a levá část. Maximální hodnocení (nejlepší možné) pro každou oblast jsou 4 body, přičemž se hodnotí zvláště figurína řidiče a zvláště figurína spolujezdce.

Hodnocené oblasti, jednotlivá biomechanická kritéria a limitní hodnoty pro přidělení určitého počtu bodů jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 5).

Tabulka 5 Biomechanická kritéria pro různé oblasti figurín a bodové ohodnocení jejich intervalů

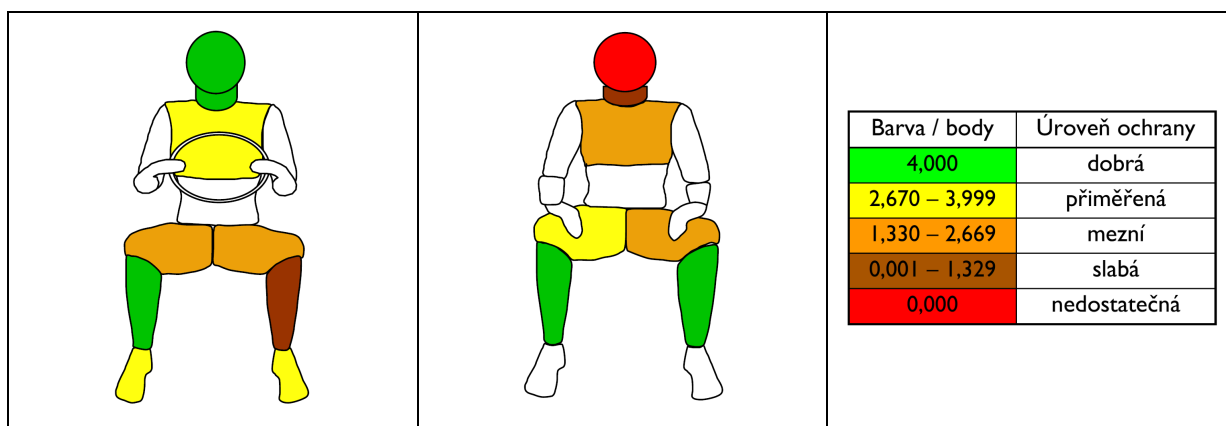
Oblast	Název kritéria	Jednotky	Limitní hodnoty				
			<72	<77,32	<82,68	<88	>88
Hlava a krk	A3ms*	[g]	<72	<77,32	<82,68	<88	>88
	HIC 36*	[-]	<650	<767	<885	<1000	>1000
	NIC F _x **	[kN]	<1,9	<2,3	<2,7	<3,1	>3,1
	NIC F _z **	[kN]	<2,7	<2,9	<3,1	<3,3	>3,3
Hrudník	M _y	[Nm]	<42	<47	<52	<57	>57
	ThPC	[mm]	22	<31,3	<40,7	<50	>50
Koleno a stehno	VC	[m/s]	0,5	<0,7	<0,8	<1	>1
	KSCD	[mm]	<6	<9	<12	<15	>15
Holeně a kotníky	FFC**	[kN]	3,8	<5,6	<7,3	<9,07	>9,07
	TFC	[kN]	<2,0	<4,0	<6,0	<8,0	>8,0
	TI horní	[-]	<0,4	<0,7	<1,0	<1,3	>1,3
	TI dolní	[-]	<0,4	<0,7	<1,0	<1,3	>1,3

Legenda: 4 body 3 body 2 body 1 bod 0 bodů

*A3ms a HIC36 kritéria jsou hodnocena pouze v případě, že maximální zrychlení překročí hodnotu 80 g.

** Zobrazeny pouze maximální hodnoty.

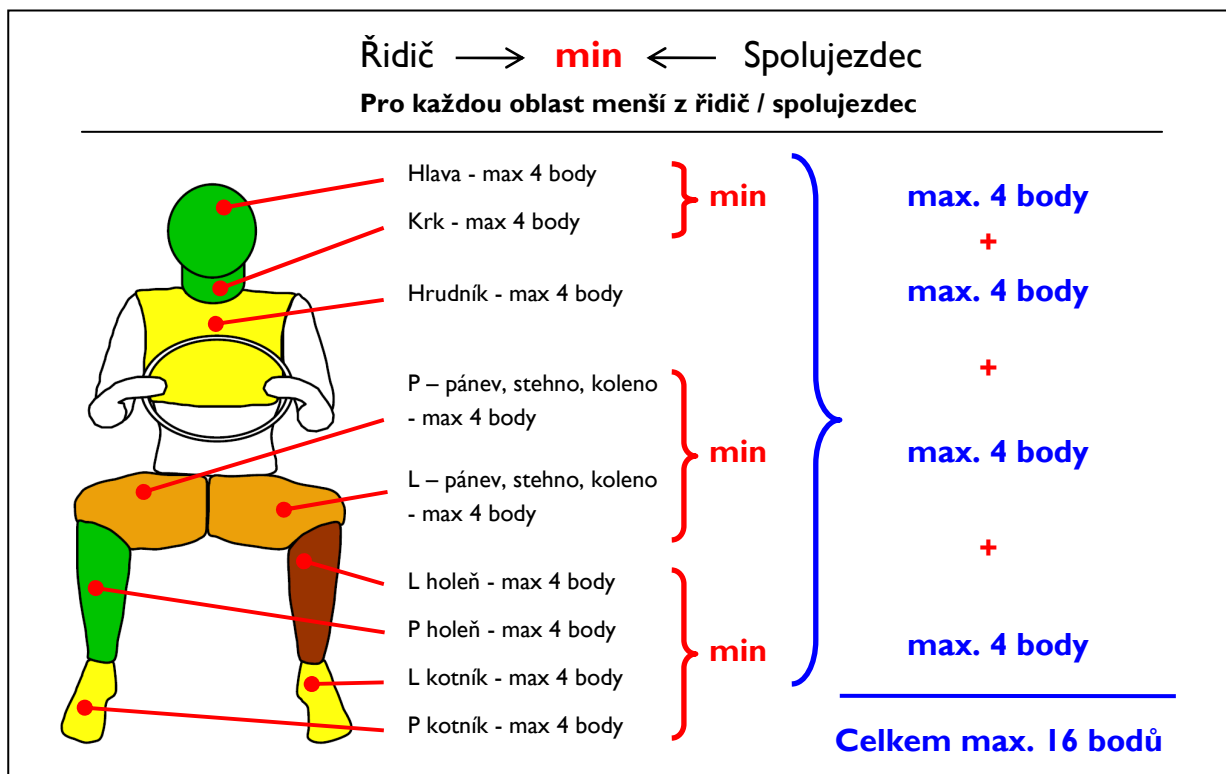
○ výsledném bodovém hodnocení každé oblasti, resp. podoblasti rozhoduje nejhorší dosažený výsledek z biomechanických kritérií, která jsou pro danou oblast definována. Tento výsledek se pak v závěrečném publikování výsledků graficky znázorňuje v podobě zbarvení jednotlivých částí figurín podle odpovídajícího minimálního počtu dosažených bodů. Na obrázku (Obr. 18) je ukázán příklad barevného hodnocení jednotlivých oblastí figurín při čelním nárazu a bodové hodnocení jednotlivých barev se slovní interpretací.



Obr. 18 Příklad barevného znázornění hodnocení jednotlivých oblastí figurín – čelní náraz

Zdroj: [43]

Bodové hodnocení celé zkoušky, v tomto případě přesazeného čelního nárazu do deformovatelné bariéry, je potom dáno jako součet nejhorších výsledků (minim bodů) ve všech oblastech obou figurín. Nesečítají se tedy nejhorší hodnocení jednotlivých oblastí každé figuríny zvlášť, ale směrodatné je minimum bodů pro danou oblast z obou figurín. Rovněž párové oblasti se uvažují jako jedna a do celkového součtu se uvažuje nejhorší dosažený výsledek z obou figurín (Obr. 19).



Obr. 19 Systém hodnocení čelního nárazu – Euro NCAP

Hodnocení zkoušky podle postupu popsaném výše však nemusí být definitivní a výsledné bodové hodnocení mohou ovlivnit tzv. modifikery. Jedná se o záporné body redukcující bodové hodnocení, které bylo získáno z naměřených veličin na figurínách následným porovnáním s biomechanickými kritérii. Modifikery se opět vztahují na konkrétní oblasti figurín a nabývají celočíselných nebo intervalových hodnot. Těmito zápornými body se hodnotí určité situace, deformace a změny polohy některých konstrukčních prvků automobilu, které by mohly ohrozit zdraví a životy posádky během nárazu. Celkový přehled modifikérů je uveden v tabulce (Tabulka 6).

Stručný popis modifikérů:

- Nestabilní kontakt s airbagem – těžiště hlavy se během pohybu vpřed dostane mimo vnější okraj airbagu.
- Protlučení airbagu – v době, kdy je hlava figuríny zabořena do airbagu, dojde k prudkému nárůstu zrychlení trvajícím déle než 3 ms.
- Agresivní rozbalení airbagu –vymrštění části airbagu vysokou rychlostí proti obličej figuríny nebo příliš vysoké svislé nebo boční síly vyvinuté airbagem při rozbalování na obličej figuríny, která je s ním v té době v kontaktu.
- Posunutí sloupku řízení
 - horizontálně směrem k řidiči v rozmezí 90 – 110 mm nebo
 - vertikálně nahoru v rozmezí 72 – 88 mm nebo

- horizontálně v rozmezí 90 – 110 mm.
- Posunutí A – sloupku – posun na straně řidiče v rozmezí 100 – 200 mm.
- Porušení prostoru pro přežití – ztráta konstrukční integrity:
 - selhání západky zámku dveří nebo závěsů dveří, pokud nejsou plnohodnotně zachyceny rámem dveří,
 - ztráta pevnosti dveří v tlaku vpředu/vzadu, např. vyboulení,
 - oddělení nebo téměř oddělení příčnicku a plastického kloubu sloupku mezi čelním sklem a předními dveřmi,
 - vážná ztráta pevnosti otvoru pro dveře.
- Kontakt s volantem – zjevné přímé zatížení hrudi volantem.

Tabulka 6 Modifikéry čelního nárazu - Euro NCAP

Oblast	Název	Nabývá hodnot	Řidič	Spoluj.	Celkem. max.
Hlava + krk	Protlučení airbagu, agresivní rozbalení	0/-1	-1	-1	-2
	Nestabilní kontakt s airbagem	0/-1	-1	-	
	Posunutí sloupku řízení	0 až -1	-1	-	
	Neúplné rozbalení airbagu	0/-1	-1	-1	
Hrudník	Posunutí A- sloupku	0 až -2	-2	-	-2
	Porušení prostoru pro přežití	0/-1	-1	-	
	Kontakt s volantem	0/-1	-1	-	
	Neúplné rozbalení airbagu	0/-1	-1	-1	
Pánev, stehno, koleno	L/P - Variabilní kontakt kolen	0/-1	-1	-1	-2
	L/P - Koncentrované zatížení kolen	0/-1	-1	-1	
	Neúplné rozbalení airbagu	0/-1	-1	-1	
Holeň	L/P – Vertikální posunutí pedálů	0 až -1	-1	-	-1
Kotník	L/P - Zablokování pedálů	0/-1	-1	-	-2
	Destrukce místa pro nohy	0/-1	-1	-	
-	Otevření dveří při nárazu		-	-	n*(-1)

- Variabilní kontakt kolen – zatížení stehenní kosti silou větší než 3,8 kN nebo posunutí kolena větší než 6 mm v definované oblasti kolem dopadu kolen na přístrojovou desku.
- Koncentrované zatížení kolen – existence konstrukčních prvků, které mohou zapříčinit velkou koncentraci sil na část kolene.
- Vertikální posun pedálů – posun v rozmezí 72 – 88 mm – lineární interpolace modifikéru.
- Destrukce místa pro nohy – výrazné porušení integrity v oblasti podlahy u pedálů.
- Blokování pedálů – posun pedálu mezi 50 – 175 mm penalizováno dle proměnné stupnice 0 – 1, nad 175 mm již jednobodová penalizace (blokování pedálů – posun pedálu směrem od řidiče pod zatížením 200 N je menší než 25 mm).

- Neúplné rozbalení airbagu - nedokonalé rozbalení airbagu
- Otevření dveří během nárazu – jednobodová penalizace za každé otevřené dveře.

Boční náraz

Pro boční náraz deformovatelnou bariérou se používá figurína EuroSID II a umísťuje se na sedadlo řidiče. Zadní sedadla podobně jako při čelním nárazu jsou osazena dětskými figurínami a poskytují údaje pro hodnocení ochrany dětí. Dalším podobným znakem je i rozdělení figuríny do čtyř hodnocených oblastí. Tentokrát se však z části jedná o jiné partie než tomu bylo u čelního nárazu. Centrem pozornosti jsou: hlava, hrudník, břicho a pánev. Z hodnocených oblastí tak zcela vypadly končetiny, tedy párové oblasti, čímž se hodnocení zjednodušuje a rovněž absence figuríny spolujezdce hodnocení usnadňuje.

Vyhodnocení bočního nárazu je principiálně totožné s čelním nárazem: naměřené veličiny snímači umístěnými v těle figuríny se porovnávají s intervalovými hodnotami biomechanických kritérií a jsou bodově ohodnoceny (Tabulka 7). O výsledku oblasti rozhoduje bodové ohodnocení kritéria, které dopadlo v rámci oblasti nejhůře. Celkové bodové hodnocení bočního nárazu je pak dáno součtem bodových hodnocení všech sledovaných oblastí.

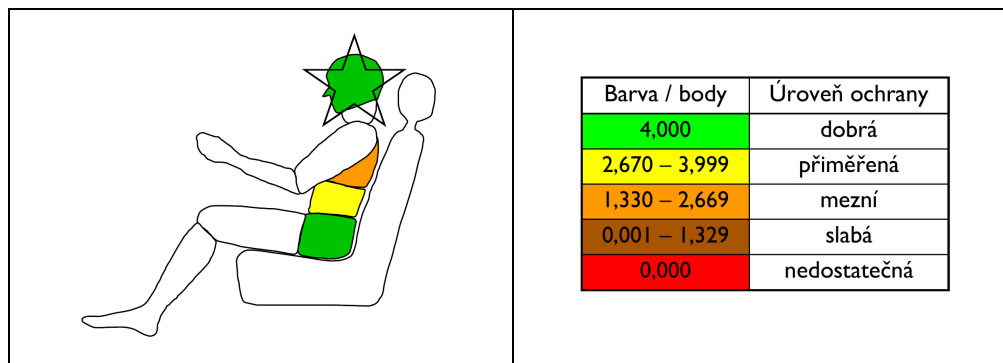
Tabulka 7 Biomechanická kritéria pro různé oblasti figurín a bodové ohodnocení jejich intervalů

Oblast	Název kritéria	Jednotky	Limitní hodnoty				
Hlava	A3ms*	[g]	<72	<77,32	<82,68	<88	>88
	HIC 36	[-]	<650	<767	<885	<1000	>1000
Hrudník	TCC	[mm]	<22	<28,6	<35,3	<42	>42
	VC	[m/s]	<0,32	<0,54	<0,77	<1,00	>1,00
	Back Plate F_y	[kN]	<1,00	>4,00			
	T12 F_y	[kN]	<1,50	>2,00			
	T12 M_x	[Nm]	<150	>200			
Břicho	F_a	[kN]	<1,00	<1,50	<2,00	<2,50	>2,50
Pánev	F_x	[kN]	<3,00	<4,00	<5,00	<6,00	>6,00

Legenda:  4 body  3 body  2 body  1 bod  0 bodů

*A3ms kritérium je hodnoceno pouze v případě, že maximální zrychlení překročí hodnotu 80 g.

Maximální bodový zisk jedné oblasti figuríny jsou čtyři body. Vzhledem k tomu, že i u bočního nárazu je figurína rozdělena do čtyř sledovaných oblastí, je opět nejlepší hodnocení zkoušky maximálně 16 bodů. Výsledek zkoušky se obdobně jako v případě čelního nárazu uvádí v grafické podobě vybarvením sledovaných oblastí figuríny barvou, která přísluší získanému počtu bodů (Obr. 20).



Obr. 20 Barevné znázornění hodnocení oblastí figuríny – boční náraz Euro NCAP

Zdroj: [43], [19]

Celkové hodnocení může být opět redukováno modifikéry bočního nárazu, podobně jak tomu bylo u nárazu čelního. Tentokrát však modifikéry nevycházejí pouze z pozorovaných změn na vozidle nebo ze vztahu vozidla a figuríny, ale jsou založeny i na hodnotách naměřených přímo na figuríně, tedy biomechanických kritériích. Modifikéry vycházející s biomechanických kritérií jsou v tabulce (Tabulka 7) zvýrazněny modrým písmem.

Modifikéry bočního nárazu jsou následující:

- Back Plate F_y modifiér (modifiér zádové desky) – překročí-li zatížení zádové desky hodnotu 4,0 kN, je penalizace dvěma body, pro zatížení mezi 1,0kN a 4,0 kN se penalizace počítá lineární interpolací mezi 0 až 2 body.
- T 12 F_y modifiér – pokud síla v ose Y v oblasti dvanáctého obratle (Thorax 12) překročí hodnotu 2,0 kN, je penalizace u hrudní oblasti figuríny dvěma body, v intervalu 1,5 až 2.0 kN je penalizace lineárně interpolována mezi 0 až 2 body.
- T 12 M_x modifiér – překročí-li v místě dvanáctého obratle moment v ose X hodnotu 200 Nm, jsou strhávány dva body, v rozmezí mezi 150 a 200 Nm opět lineární interpolace mezi 0 a 2 body.
- Neúplné rozbalení airbagu – definováno pro hlavový a hrudní airbag – pokud dojde k nedokonalému rozbalení airbagu, je hodnocení sníženo o jeden bod.
- Otevření dveří během nárazu – viz. čelní náraz.

Náraz na sloup

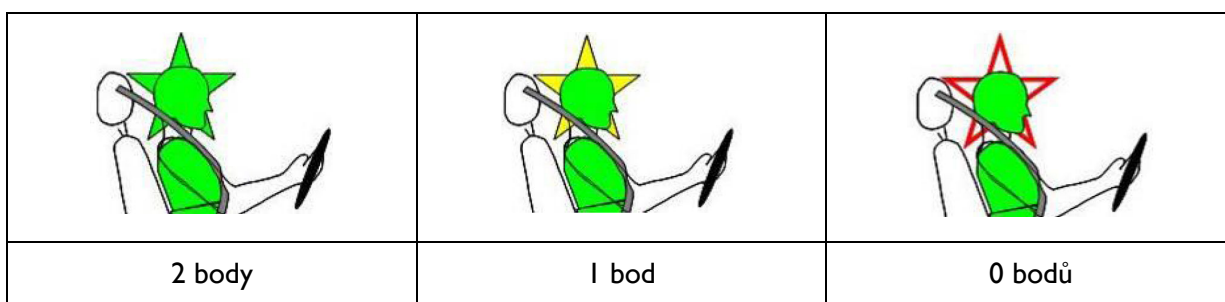
Do celkového hodnocení ochrany posádky bývá zahrnuta ještě jedna zkouška – náraz na sloup. Odvíjí se od výsledku bočního nárazu, kde je pro oblast hlavy podmínkou získání maximálního počtu čtyř bodů a současně musí být vozidlo vybaveno hlavovými airbagy. Účelem zkoušky je prakticky ověření účinnosti a funkčnosti hlavových airbagů a z tohoto důvodu se hodnotí pouze ochrana hlavy. Parametry a biomechanická kritéria sledovaná v tomto testu jsou uvedena v tabulce (Tabulka 8).

Tabulka 8 Kritéria nárazu hlavy na sloup Euro NCAP

název kritéria	limitní hodnoty
HIC36	<1000
A peak	<80 g
kontakt hlavy se sloupem	nesmí být zjištěn

Za předpokladu, že jsou splněny všechny limitní hodnoty, airbag pracoval správně a nedošlo ke kontaktu hlavy se sloupem, jsou k celkovému hodnocení ochrany posádky přičteny dva body, což je současně maximální hodnocení této zkoušky. Pokud došlo k neúplnému rozbalení airbagu, což je jediný modifikér této zkoušky (o hodnotě -1 bod), je od maximálního hodnocení odečten jeden bod. Poslední varianta, která může nastat, je nesplnění kterékoli z podmínek uvedených v tabulce (Tabulka 8) a tím hodnocení zkoušky nula body.

Výsledek zkoušky je opět znázorněn graficky, tentokrát však pomocí různě barevného provedení hvězdy na pozadí profilu hlavy figuríny – viz. Obr. 21.

**Obr. 21** Grafické znázornění hodnocení bočního nárazu na sloup – Euro NCAP

Testy IIHS

IIHS (Insurance Institute for Highway Safety) je nezávislá, nezisková, vědecká a vzdělávací organizace založená v roce 1959 v USA, která se zabývá snižováním ztrát na životech, počtu zraněných a materiálních škod vznikajících při dopravních nehodách na severoamerických národních silnicích. Její aktivity jsou orientovány na všechny tři nejdůležitější oblasti bezpečnosti silničního provozu (člověk, dopravní prostředek, dopravní prostředí) a mimo jiné provádí nárazové testy na nových vozidlech ověřujících jejich pasivní bezpečnost.

Nárazové testy prováděné IIHS jsou tvořeny následujícími zkouškami:

- Čelní náraz vozidla do deformovatelné bariéry s přesazením 40% na straně řidiče prováděný v rychlosti 40 mil/h (64 km/h).
- Kolmý náraz 1,500 kg těžkým vozíkem s deformovatelnou bariérou do boku testovaného vozidla v rychlosti 31 mil/h (50 km/h). Tvar bariéry je uzpůsoben tak, aby při nárazu do vozidla co nejlépe simuloval v USA velice oblíbená vozidla vyšší světlé výšky (SUV, pick-upy, off-roady a malé trucky).

Hodnocení podle IIHS je pouze verbální a rozeznává 4 stupně:

- dobrý (good),
- akceptovatelný (acceptable),
- mezní (marginal) a
- nedostatečný (poor).

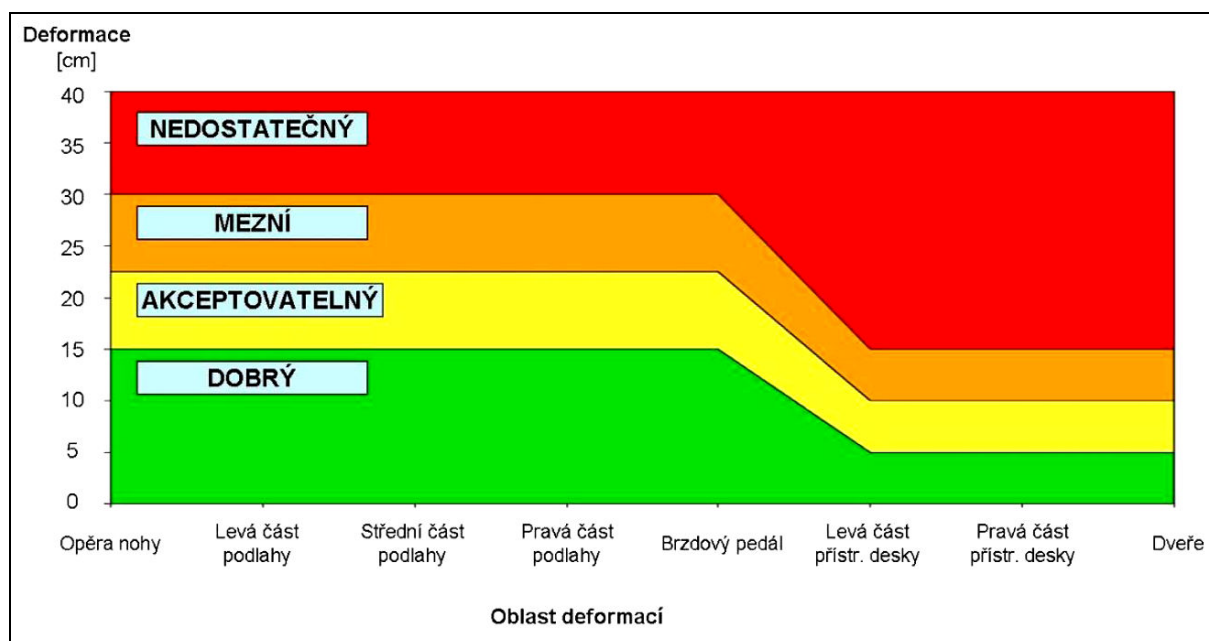
Bodové hodnocení se používá pouze pro zjištění celkového hodnocení, kdy oblasti hodnocení jednotlivých zkoušek jsou bodovány dle jejich významu. Součet těchto bodů je však opět převeden na výše popsané verbální hodnocení a suma bodů se dále nepublikuje. Navíc hodnocení čelního a bočního nárazu jsou uváděna odděleně a nejsou slučována v jeden celek, jako je tomu v případě Euro NCAP.

Hodnocení čelního nárazu

Hodnocení čelního nárazu je v případě IIHS strukturováno do tří následujících oblastí:

- struktura a deformace vozidla,
- biomechanické zatížení figurín,
- účinnost zádržných zařízení a kinematika figuríny.

V následujícím bude hodnocení jednotlivých oblastí hlouběji objasněno.



Obr. 22 Hodnocení struktury vozu – přesazený čelní náraz IIHS

Zdroj: [25], [46]

Struktura a deformace vozidla během nárazu mohou hrát významnou roli pro vznik různě vážných poranění posádky. Vychází se z předpokladu, že hodnoty naměřené snímači ve figurínách a jejich následné porovnání s biomechanickými kritérii nemusí vždy podchytit všechny nebezpečné faktory, které pasažérům v případě nehody hrozí. Jedná se především o poranění, které mohou zapříčinit deformující se části karoserie, jako je například podlaha

a dveře, ale i interiéru (přístrojová deska, pedály, atd.). Navíc pasažér se může na rozdíl od figuríny nacházet v trochu jiné a méně obvyklé poloze nebo se od figuríny liší fyzickými dispozicemi a může tak být vystaven většímu riziku zasažení nějakou intruzí nebo dislokovanou částí vozidla. IIHS proto klade na tento problém nezanedbatelný důraz a zahrnuje deformace a změnu polohy vybraných částí do svého hodnocení. U sledované části je vždy měřena maximální deformace a dle naměřené hodnoty se každé části přiřazuje hodnocení dle Obr. 22.



Obr. 23 Sledovaná místa v interiéru vozidla – čelní náraz IIHS

Zdroj: [45]

Tabulka 9 Biomechanická kritéria čelního nárazu - IIHS

Oblast	Název kritéria	Jednotky	hodnocení a přísl. limitní hodnoty			
			dobré	akcept.	mezní	nedost.
Hlava a krk	HIC 15	[-]	<560	560 – 700	700 – 840	>840
	Nij	[-]	<0,8	0,8 – 1,0	1,0 – 1,2	>1,2
	NIC F_{z+}	[kN]	<2,6	2,6 – 3,3	3,3 – 4,0	>4,0
	NIC F_z	[kN]	<3,2	3,2 – 4,0	4,0 – 4,8	>4,8
Hrudník	Zrychl. hrudní části páteře a_{3ms}	[g]	<60	60 – 75	75 – 90	>90
	Stlačení hrudní kosti	[mm]	<50	50 – 60	60 – 75	>75
	VC	[m/s]	<0,8	0,8 – 1,0	1,0 – 1,2	>1,2
	Rychlost průhybu hr. kosti	[m/s]	<6,6	6,6 – 8,2	8,2 – 9,8	>9,8
Noha a chodidlo L/P	KSCD	[mm]	<12	12 - 15	15 - 18	>18
	FFC	[kN]	<7,3	7,3 – 9,1	9,1 – 10,9	>10,9
	TFC	[kN]	<4	4 – 6	6 – 8	>8
	TI dolní, horní	[-]	<0,8	0,8 – 1,0	1,0 – 1,2	>1,2
	Zrychlení chodidla	[g]	<150	150 - 200	200 - 260	>260

Zdroj: [25]

Hodnocení biomechanického zatížení figurín vychází z měření fyzikálních veličin snímači umístěnými ve figurínách a z následného porovnávání naměřených hodnot s biomechanickými kritérii – tedy podobně, jak tomu je v čelním nárazovém testu podle metodiky Euro NCAP. Dokonce většina biomechanických kritérií je shodných, odlišné jsou naopak hranice intervalů pro přiřazení jednotlivých hodnocení. Výsledné hodnocení oblasti se pak opět odráží od nejhůře hodnoceného kritéria pro danou oblast. Přehled kritérií a hranice intervalů pro hodnocení jednotlivých kritérií jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 9).

Zvláštní pozornost je zaměřena na sledování pohybu figuríny během nárazu a správnou funkci zádržných systémů. Ideální pohyb figuríny by se podle hodnocení IIHS měl odehrávat v rovině rovnoběžné s podélnou osou vozidla tak, aby hlava dopadla přímo doprostřed nafouknutého airbagu. Ve stejné rovině by se pak měl odehrávat i zpětný pohyb figuríny. Pokud se vozidla z ideálního směru nějakým způsobem vychýlí, snižuje se hodnocení. Vzorové příklady hodnocení jednotlivých trajektorií pohybu figuríny jsou názorně uvedeny v Příloze 2.

V součinnosti s kinematikou figuríny se hodnotí rovněž funkce a účinnost zádržných systémů. U bezpečnostních pásů se sleduje jejich případné neúměrné prodloužení, povolení, či totální selhání funkce. Pozornosti neunikne ani sloupek řízení, u nějž se měří posun směrem k řidiči. Airbag musí být zase aktivován ve správnou chvíli a musí se náležitě a zcela nafouknout. Hodnocení kinematiky figuríny a funkce zádržných systémů je znázorněno v tabulce (Tabulka 10).

Tabulka 10 Hodnocení účinnosti zádržných systémů a kinematiky figuríny

úroveň ochrany	slovní popis kinematiky figuríny a funkce zádržných systémů
dobrá	Figurína dopadá do plně nafouknutého airbagu a poté zpět do sedačky, nedojde ke kontaktu hlavy s jakýmkoli tvrdým předmětem v interiéru, nedojde k velkému posunu sloupku řízení a neselžou bezpečnostní pásy (vytržení, přetočení).
akceptovatelná	Dráha hlavy protne plochu rozbitého bočního skla, vychýlení sloupku řízení (do 100 mm), částečné povolení bezp. pásů apod.
mezní	Pozdní nafouknutí airbagu (ne protlučení), kontakt hlavy s interiérem, rotace trupu, apod.
nedostatečná	Pozdní aktivace airbagu, kontakt hlavy s volantem, selhání (přílišné prodloužení) bezp. pásů.

Zdroj: [25]

Pro celkové hodnocení nárazu se jednotlivé oblasti hodnocení převádějí na číselné hodnoty. Jejich následný součet poté rozhoduje o přiřazení závěrečného hodnocení, ale ne vždy, neboť jsou definovány podmínky, které stanovují výsledné hodnocení bez ohledu na dosažený součet bodů. Systém výsledného hodnocení včetně podmínek je znázorněn v tabulce (Tabulka 11).

Tabulka 11 Systém celkového hodnocení čelního nárazu - IIHS

Oblast	dobré	akcept.	mezní	nedost.
Struktura vozu	0	2	6	10
Hlava a krk	0	2	10	20
Hrudník	0	2	10	20
Pravá noha a chodidlo	0	1	2	4
Levá noha a chodidlo	0	1	2	4
Zádržné systémy	0	1	2	4
Celkem	0 – 3	4 – 9	10 – 15	16 – 54

Podmínky:

Jsou-li dvě z oblastí hlava, krk, hrudník nebo struktura hodnoceny jako Akceptovatelné, celkové hodnocení již nemůže být lepší než Akceptovatelné.

Je-li jedna z oblastí hlava, krk nebo hrudník hodnocena jako Nedostatečná, celkové hodnocení nemůže být lepší než Mezní.

Je-li oblast struktura hodnocena jako Mezní nebo Nedostatečná, potom celkové hodnocení nemůže být lepší než Akceptovatelné (Mezní).

Je-li oblast nohou nebo zádržných systémů a kinematiky hodnocena jako Nedostatečná, nemůže být celkové hodnocení lepší než Akceptovatelné. Vychází-li Nedostatečné hodnocení nohy z oblasti kolena, pak celkové hodnocení není lepší než Mezní, nejsou-li všechny ostatní oblasti hodnoceny jako Dobré.

Jsou-li tři oblasti hodnoceny jako Mezní nebo horší, a dvě nebo více z nich jsou mezi následujícími – struktura, hlava a krk, hrudník – potom je celkové hodnocení Nedostatečné, nejsou-li všechny ostatní oblasti hodnoceny jako Dobré.

Jsou-li všechny oblasti hodnoceny jako Akceptovatelné, potom je i celkové hodnocení Akceptovatelné.

Zdroj: [25]

Výsledné hodnocení čelního nárazu je publikováno v podobě uvedené dle Obr. 24.

CELKOVÉ HODNOCENÍ: M					
struktura/deformace	Míra poranění				zádržné systémy/kinematika
	hlava a krk	hrudník	noha/chodidlo, levá	noha/chodidlo, pravá	
M	A	G	P	A	A
G Dobré A Akceptovatelné M Mezní P Nedostatečné					

Obr. 24 Příklad publikace výsledného hodnocení čelního nárazu IIHS

Zdroj: [46], přeloženo

Hodnocení bočního nárazu

Podobně jako čelní náraz je hodnocení bočního nárazu rozděleno do tří částí:

- kinematika hlavy během nárazu,
- biomechanické zatížení figurín,
- struktura vozu,

kteřé budou dále podrobněji popsány.

Hodnocení kinematiky hlavy během nárazu se zaměřuje na pohyb hlavy a její případný kontakt s pevnými strukturami interiéru vozidla, bariérou a hlavovým airbagem, pokud jím je vozidlo vybaveno. Právě od přímého kontaktu hlavy s bariérou či tuhou částí interiéru vozidla mohou vznikat vážná poranění hlavy ohrožující život a zdraví pasažérů. Z toho důvodu IIHS tyto jevy sleduje a případné interakce zahrnuje do hodnocení bočního nárazu. Hodnocení má opět čtyři stupně, které jsou přiřazeny různým kombinacím interakcí dle tabulky (Tabulka 12).

Tabulka 12 Hodnocení kinematiky figuríny při bočním nárazu - IIHS

úroveň ochrany	slovní popis kinematiky figuríny a funkce zádržných systémů
dobrá	Hlava je efektivně chráněna ochranným systémem (nejčastěji airbagem).
akceptovatelná	Hlava je chráněna před kontaktem s bariérou prostřednictvím povrchu nebo struktury, která vyhovuje předpisu FMVSS 201*.
mezní	Hlava nenarazí na žádnou část interiéru, ale velmi se přiblíží bariéře, před kterou není chráněna, nebo hlava narazí do struktur/povrchů interiéru, které nevyhovují předpisu FMVSS 201* a/nebo hlava není chráněna před kontaktem vně vozidla.
nedostatečná	Kontakt hlavy s bariérou.

* FMVSS 201 je předpis, ve kterém jsou hodnoceny jednotlivé části interiéru vozidla, které mohou při kontaktu s hlavou způsobit vážná poranění.

Zdroj: [25]

Pro biomechanické hodnocení se v případě bočního nárazu podle metodiky IIHS používají dvě figuríny. Kromě figuríny řidiče je na sedadle za řidičem vozidlo osazeno ještě jednou figurínou. U obou jsou pak zjišťovány biomechanické hodnoty pro tři oblasti: hlava, trup a horní část dolních končetin – tedy pánev a levé stehno. Hodnocená biomechanická kritéria pro různé oblasti jsou uvedena v tabulce (Tabulka 13).

Tabulka 13 Biomechanická kritéria a jejich rozdělení do intervalů pro hodnocení bočního nárazu – IIHS

oblast	název kritéria	jedn.	dobré	akcept.	mezní	nedost.
hlava a krk	HIC 15	[-]	0-623	624-779	780-935	>935
	NIC F_{z+}	[kN]	0-2,1	2,2-2,5	2,6-2,9	>2,9
	NIC F_{z-}	[kN]	0-2,5	2,6-3,0	3,1-3,5	>3,5
trup	Max. průhyb hrudníku*	[mm]	x	x	51-55	>55
	Prům. průhyb hrudníku**	[mm]	0-34	35-42	43-50	>50
	VC	[m/s]	0-1,00	1,01-1,20	1,21-1,40	>1,40
	Rychlost průhybu	[m/s]	0-8,20	8,21-9,84	9,85-11,48	>11,48
	Stlačení ramene	[mm]	>60***			
pánev a levé stehno	Síla v kyčli (pánvi)	[kN]	0-4,0	4,1-4,8	4,9-5,6	>5,6
	Síla v kyčelní jamce	[kN]	0-4,0	4,1-4,8	4,9-5,6	>5,6
	Síla – komb. kyčel - kloub	[kN]	0-5,1	5,2-6,1	6,2-7,1	>7,1
	Stehno – síla F_x, F_y	[kN]	0-2,8	2,9-3,4	3,5-3,9	>3,9
	Stehno – moment M_x, M_y	[Nm]	0-254	255-305	306-356	>356

* Platí, pokud maximální průhyb žeber nepřesáhne 50 mm.

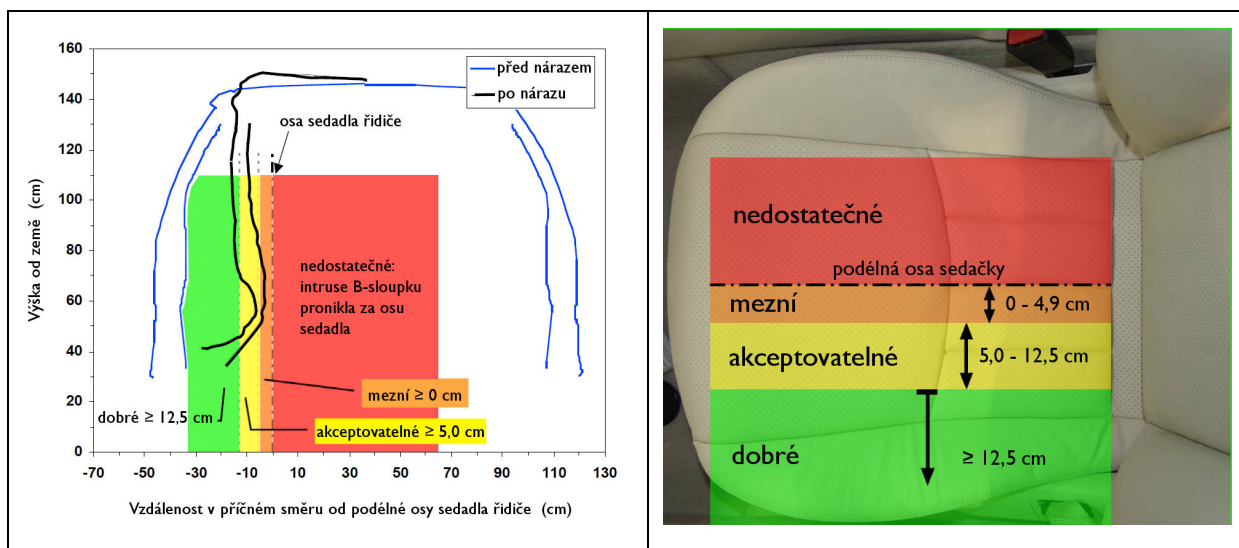
** Platí když maximální průhyb žeber přesáhne 50 mm.

*** Pokud nastane stlačení > 60 mm nebo protlučení, pak se hodnocení oblasti snižuje o jeden stupeň.

Zdroj: [25], [47]

Opět je pro celkové hodnocení oblasti směrodatný nejhorsší dosažený výsledek. Narozdíl od čelního nárazu se zde vyskytuje jedno kritérium, které může za určitých podmínek negativně ovlivnit hodnocení oblasti trupu. Jedná se o kritérium stlačení ramene a pokud hodnota tohoto stlačení přesáhne 60 mm, je hodnocení celé oblasti o jeden stupeň sníženo.

U hodnocení struktury vozu je pozornost zaměřena především na velikost deformace B sloupku. Ta je definována jako maximální deformace v kterémkoliv místě oblasti ohraničené dolním ukotvením a linií ve výšce 540 mm nad vzažným H-bodem v definované pozici sedačky, což je výška odpovídající zhruba výšce ramene 95-ti procentního muže. Velikost deformace se vztahuje ke svislé rovině procházející podélnou osou sedačky. Grafické znázornění hodnocení je na Obr. 25.



Obr. 25 Hodnocení struktury vozu při bočním nárazu – IIHS

Zdroj: [47]

Celkové hodnocení bočního nárazu se provádí obdobným způsobem jako u čelního nárazu. Opět se získaná hodnocení jednotlivých oblastí převedou na body a z jejich součtu je vyvozeno celkové verbální hodnocení, jak je uvedeno v tabulce (Tabulka 14).

Výsledky jsou potom prezentovány v podobě uvedené na Obr. 26

CELKOVÉ HODNOCENÍ: P					
	Míra poranění			ochrana hlavy	struktura/deformace
	hlava a krk	trup	pánev a stehno		
Řidič	P	P	G	P	M
Zadní pasažér	A	G	G	M	
G Dobré A Akceptovatelné M Mezní P Nedostatečné					

Obr. 26 Příklad publikace hodnocení bočního nárazu dle metodiky IIHS.

Tabulka 14 Systém hodnocení bočního nárazu - IIHS

Oblast		dobré	akcept.	mezní	nedost.
Struktura vozu		0	2	6	10
Řidič	Kinematika hlavy	0	2	4	10
	Hlava a krk	0	2	10	20*
	Trup	0	2	10	20*
	Pánev a levé stehno	0	2	6	10
Pozice za řidičem	Kinematika hlavy	0	2	4	10
	Hlava a krk	0	2	10	20*
	Trup	0	2	10	20*
	Pánev a levé stehno	0	2	6	10
Celkem		0 – 6	8 – 20	22 – 32	>34

* Nedostatečné hodnocení za tyto oblasti znamená nejlépe **mezní** celkové hodnocení

Testy US NCAP

Počátky programu NCAP (New Car Assessment Program), pro jehož odlišení od podobných programů v Evropě, Austrálii, Japonsku a Číně se vžil název US NCAP, spadají do roku 1978. Vláda USA jej zavedla, aby motivovala výrobce automobilů ke zvyšování bezpečnosti svých výrobků a tím dosáhla zlepšení bezpečnosti na severoamerických silnicích. Jedná se prakticky o průkopníka v oblasti spotřebitelských testů zaměřených na pasivní bezpečnost vozidel. Dosud tento program spadá pod vládu USA, konkrétně ministerstvo dopravy (DOT – Department of Transportation), agendu NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration).

Již v roce 1979 byly provedeny první testy na odolnost vozidel vůči nepřesazenému čelnímu nárazu do tuhé bariéry a publikovány první výsledky. Tento typ zkoušky vychází z legislativního předpisu FMVSS 208 (Federal Motor Vehicle Safety Standard 208), ale nárazová rychlost zde byla navýšena na 35 mph (56 km/h) oproti předpisovým 30 mph (48 km/h).

Boční náraz byl do programu NCAP zaveden až v roce 1997 a opět vycházel z legislativního předpisu – FMVSS 214 (ochrana při bočním nárazu) a i tady byla navýšena nárazová rychlost, tentokrát o 5 mph (8 km/h) oproti předpisovým. V roce 2001 do programu přibyla ještě jedna zkouška – bezpečnost při převrácení, tzv. rollover test. [25][48]

Hvězdičkový systém hodnocení, který později přebrala většina podobných programů, byl zaveden v roce 1994.

V rámci US NCAP jsou prováděny následující zkoušky:

- nepřesazený čelní náraz do nedeformovatelné bariéry rychlostí 56 km/h,
- šikmý boční náraz vozíkem s deformovatelnou bariérou rychlostí 62 km/h,
- rollover test, který je v rámci spotřebitelských testů poměrně unikátní.

Velice stručně budou dále popsány pouze první dvě zkoušky.

Při čelním nárazu je vozidlo osazeno dvěma figurínami – řidič a spolujezdec. Každá figurína je zvláště hodnocena hvězdičkami. Celkové hodnocení vychází pouze z jediného biomechanického kritéria a to kritéria hlavy – HIC (head Injury Criterion – kritérium poranění hlavy), i když jsou měřeny i jiné oblasti figuríny, z nichž jsou zveřejňovány pouze axiální síly zatěžující stehna.

Vozidlo je při šikmém bočním nárazu rovněž vybaveno dvěma figurínami, ale tentokrát na pozici řidiče a pasažéra sadícího za ním na zadním sedadle. Vyhodnocení bočního nárazu je podobně jako čelní náraz poměrně jednoduché a opět se odráží od jediného biomechanického kritéria, ačkoliv je jich sledováno mnohem více. Hodnoceným kritériem je TTI (Thoracic Trauma Index), tedy index poranění hrudníku a kromě toho jsou uváděna ještě další dvě: HIC a zrychlení měřené na hrudníku. Obě figuríny jsou opět ohodnoceny hvězdičkami.

Porovnání testů a úroveň bezpečnosti

Z porovnání hodnocení uvedených programů a jejich testů a dalšího studia jejich metodik vyplývá, že zde existují zhruba tři hlavní skupiny:

- programy, jejichž metodiky ani hodnocení se výrazně neliší, což jsou většinou programy vycházející z Euro NCAP (v našem případě Euro NCAP a ANCAP),
- programy, které se příliš neliší v typech zkoušek, ale hodnotí je jiným způsobem (v tomto případě IIHS – vztaženo k Euro NCAP) a
- programy, které mají odlišné jak typy zkoušek, tak i metodiku hodnocení (US NCAP).

Porovnat mezi sebou zkoušky uvedených programů a pokusit se najít v jejich hodnocení transformační vztahy je z výše uvedených důvodů nesnadná záležitost, pokud je to vůbec možné. V jednom z hlavních zdrojů, ze kterých v této kapitole bylo čerpáno, se uvádí, že takové porovnání buď ztrácí smysl (v případě příbuzných testů, např. Euro NCAP a ANCAP) nebo by přineslo zkreslené a nekorektní výsledky z důvodu zásadních rozdílů v metodikách [25].

Přestože je tento závěr s ohledem na rozdílnosti zkoušek vcelku správný, pro účely této disertační práce je třeba na tyto testy nahlížet s větším nadhledem. Samozřejmě je důležité mít poměrně detailní povědomí o metodikách nárazových zkoušek a jejich hodnocení, ale účelem těchto zkoušek je postihnout úroveň bezpečnosti vozidla a ta by měla být vyjádřena popsánými testy obdobně. Tedy pokud se jejich metodiky příliš neliší. K získání alespoň elementární představy o úrovni bezpečnosti vozidla vyjádřené výsledky jednotlivých testů a porovnatelnosti této úrovně bezpečnosti byla provedena malá analýza výsledků vybrané množiny automobilů, které prošly testováním všemi zde rozebíranými programy – viz. Příloha 3.

Tato analýza má samozřejmě svá omezení daná především počtem testovaných vozů. Jelikož se jedná o automobily, které musely projít všemi testy zde popisovanými a musely tudíž být prodávány jak na evropském, tak i severoamerickém trhu, jejich počet se značně zúžil. Další omezení je to, že se jedná o převážně zánovní vozidla, která již vykazují velice dobrou úroveň bezpečnosti. Je tedy poměrně obtížné najít obecně platné vzájemné vazby mezi výsledky jednotlivých testů v případě nižších (horších) stupňů hodnocení, protože to není podepřeno dostatečným počtem vozidel takto hodnocených.

Navíc se potvrdil předpoklad, že výsledky testů programu US NCAP jsou natolik odlišné od výsledků programů Euro NCAP a IIHS, že nemá význam se o jejich srovnání pokoušet. Z toho důvodu bylo provedeno prakticky srovnání pouze výsledků podle dvou posledně jmenovaných programů. Závěry této analýzy jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 15).

Tabulka 15 Porovnání úrovně bezpečnosti testovaných vozidel dle Euro NCAP a IIHS.

úroveň bezpečnosti - čelní náraz			úroveň bezpečnosti - boční náraz		
Euro NCAP	IIHS	četnost hodnocení	Euro NCAP	IIHS	četnost hodnocení
dobrá	dobrá	6x	dobrá	dobrá	16x
přiměřená	dobrá	15x	dobrá	přiměřená	6x
mezní	dobrá	1x	dobrá	mezní	5x
mezní	akcept.	2x	přiměřená	dobrá	2x
mezní	mezní	2x	přiměřená	akcept.	2x
slabá	akcept.	1x	přiměřená	mezní	1x
slabá	mezní	4x	přiměřená	nedostatečná	1x
slabá	nedostat.	2x			
nedost.	akcept.	1x			

Z tabulky lze vyčíst, že test čelního nárazu podle metodiky Euro NCAP je přísnější než tomu je u IIHS. Přesto kromě prvních dvou a sedmé varianty je vidět poměrně velký rozptyl mezi hodnoceními, což prakticky znemožňuje odhadnout transformační vztahy mezi horšími hodnoceními variantou *mezní* – *dobrá* počínaje.

U úrovně bezpečnosti při bočním nárazu je situace trochu opačná. Test a hodnocení bočního nárazu podle metodiky IIHS se jeví jakou náročnější, což je zřejmě dáno zejména použitím odlišných bariér a sledování kinematiky hlavy u testů podle metodiky IIHS. Výraznější shoda v hodnocení úrovně bezpečnosti tu je patrná pouze u varianty *dobrá* – *dobrá*. Jiné transformační vztahy nelze opět z tak malého vzorku odvodit.

Pokud je tedy v konkrétním případě nutné přiřadit úroveň bezpečnosti vozidla zjištěnou podle metodiky jednoho z testů úrovně bezpečnosti podle metodiky druhého testu, nezbyvá, než se seznámit s detailními výsledky testu, kterým vozidlo prošlo. Podrobné výsledky zjištěné pro konkrétní oblasti figuríny už by mělo být snadnější transponovat na hodnocení podle metodiky druhého testu. S určitou dávkou opatrnosti se tomu dá vyhnout pouze v případech zjištěné dobré úrovně bezpečnosti vozidla, kde zřejmě transformační vztahy platí, jak bylo ukázáno v tabulce (Tabulka 15).

Hodnocení pasivní bezpečnosti podle Folksam

Programům a testům pasivní bezpečnosti prováděných pomocí nárazových zkoušek je občas vytýkáno, že jejich laboratorní testy ne zcela odpovídají reálným nehodám a jejich důsledkům. Řada oponentů laboratorních testů také argumentuje tím, že výrobci se snaží svá vozidla zkonstruovat a naladit tak, aby pouze splnila stanovené podmínky a sledované parametry laboratorní zkoušky a uměle tak vytvářejí povědomí o bezpečnosti svých výrobků, která v praxi takové úrovně dosahovat nemusí. Tato tvrzení se zřejmě zakládají na důsledcích některých nehod, které nejsou zcela typické a u kterých došlo k souběhu několika faktorů, které je problematické do obecně platných laboratorních podmínek a testů implementovat. Další nevýhodou vyplývající z laboratorních testů je, že lze mezi sebou porovnávat pouze vozidla stejné velikostní a hmotností kategorie.

Odlišný způsob hodnocení pasivní bezpečnosti vozidel provádí švédská pojišťovna Folksam. Ta narozdíl od hodnocení pasivní bezpečnosti vozidel pomocí nárazových laboratorních testů vychází přímo z dat reálných nehod, které zpracovávala jako pojistné události a statisticky je vyhodnocuje již od roku 1984. Každé vydání publikace obsahující přehled bezpečnosti vozidel vychází ze statisíců nehod, při kterých došlo ke vzájemné srážce dvou automobilů. V případě tohoto typu kolize jsou následky nehody ovlivněny především úrovní pasivní bezpečnosti a hmotností vozidel.

Aby se do výsledného hodnocení nepromítly vlivy jako způsob řízení vozidla před srážkou nebo počet nehod konkrétního modelu vozidla, jsou data od nich očištěna. Analýzou všech nehod (střet dvou automobilů) sledovaného modelu automobilu bylo zjištěno riziko poranění v tomto vozidle v porovnání s jinými modely. Riziko zranění je navíc doplněno o informaci o typu zranění osob, které se přihodily v každém ze sledovaných modelů. Krom toho bylo zjišťováno, jak vysoké riziko a který typ zranění vede k trvalým následkům, invaliditě či smrti. Díky tomu je možné stanovit, jaké riziko smrti či trvalé invalidity hrozí v případě nehody daného modelu automobilu. Například poranění hlavy má mnohem závažnější charakter než zlomeniny žeber, a tak vozidlo, u kterého se vyskytuje vyšší počet zranění hlavy oproti zlomeninám žeber bude hodnoceno hůře. [60]

Jednou z nevýhod, kterou toto hodnocení bezpečnosti vozidla má, je časové prodloužení. Proto, aby vozidlo mohlo být zahrnuto do hodnocení, musí být sesbírán dostatečný počet dat z nehod s účastí tohoto modelu vozidla. To se ovšem většinou nepodaří dříve než za tři roky od uvedení modelu na trh. [60]





Jak již bylo uvedeno, riziko poranění konkrétního vozidla se porovnává s jinými modely a na tomto principu je založeno i vlastní hodnocení bezpečnosti vozidel. Hodnocení podle Folksam rozeznává prakticky pouze tři základní stupně: [60]

- lepší než průměr (to pak může být ještě dále děleno podle toho, o kolik procent je dané vozidlo bezpečnější než průměr),
 - minimálně o 30% bezpečnější než průměrný automobil,

- minimálně o 20% bezpečnější než průměrný automobil,
- průměr,
- horší než průměr.

Kromě prvního stupně však Folksam neuvádí, jaké jsou hranice, respektive intervaly pro zařazení vozidla do zbývajících dvou stupňů (Tabulka 16).

Tabulka 16 Grafické znázornění a popis hodnocení pasivní bezpečnosti – Folksam

Označení	Popis
 +	Nejbezpečnější – minimálně o 30% bezpečnější než průměrný automobil.
	Dobře bezpečný – minimálně o 20% bezpečnější než průměrný automobil
	Průměrně bezpečný
	Podprůměrně bezpečný - méně bezpečný než průměrný automobil

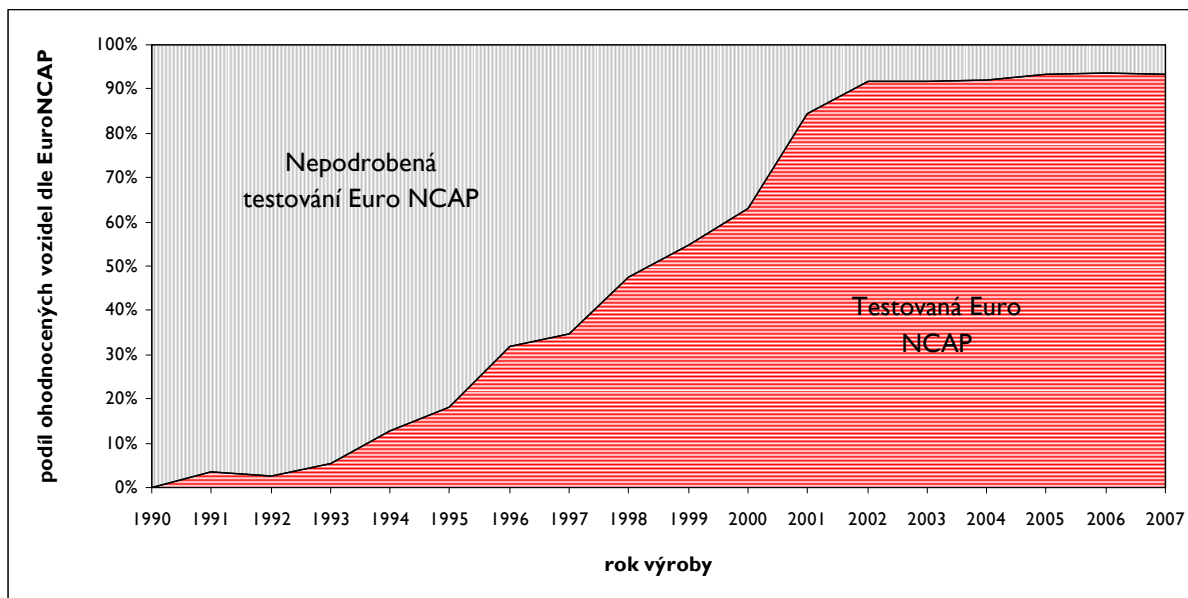
Zdroj: [60]

Folksam se však ve výroční zprávě neomezuje pouze na svá zjištění, ale k jednotlivým modelům ještě uvádí výsledek z testů Euro NCAP, pokud jimi vozidlo prošlo. Přitom doporučuje primárně nahlížet na výsledky analýz z reálných nehod a až sekundárně na výsledky laboratorních testů. Vozidlo s nejlepším potenciálem ochrany by pak mělo v obou vykazovat nejlepší hodnocení. To, že se snaží na bezpečnost nahlížet z celistvějšího hlediska dokazuje také tím, že ve výroční zprávě uvádí také ochranu poskytovanou opěrkami hlavy a zda a za jakých podmínek je vozidlo vybaveno elektronickým stabilizačním systémem. Krom bezpečnosti uvádí navíc publikace hodnocení ohleduplnosti vozidla k životnímu prostředí, založeném především na základě spotřeby paliva a produkovaných exhalací CO₂. [60]

Přiřazení dat pasivní bezpečnosti do upraveného souboru z CRV

Hodnocení pasivní bezpečnosti vozidel podle spotřebitelských nárazových testů bylo pro další postup práce nutné přiřadit k jednotlivým modelům vozidel v upraveném souboru z CRV (viz. kapitola 4.1.2). Jako primární zdroj informací byly zvoleny výsledky nárazových zkoušek organizace Euro NCAP. Tato volba měla následující důvody:

- výsledky programu Euro NCAP prakticky zahrnují vozidla určená pro evropský trh,
- testované modely pokrývají většinu všech v České republice prodávaných modelů automobilů a to již zhruba od roku 2000 (viz. Obr. 27),
- kontinuita ve vztahu k budoucnosti pro případ aktualizace hodnocení bezpečnosti vozového parku,
- aktuálnost testů nových vozidel nebo generací teprve nově vstupujících na trh a rychlost jejich publikace.



Obr. 27 Podíl vozidel s ohodnocením dle Euro NCAP na celkovém počtu vozidel vyrobených v příslušném roce výroby

Ostatní testy uvedené v předchozích kapitolách tak zde hrají až druhotnou roli, jelikož se zaměřují na mimoevropské trhy, které mají skladbu vozového parku často do značné míry odlišnou. Mají tedy na kontě užší spektrum v Evropě prodávaných vozidel, než je tomu v případě Euro NCAPu. Využití části jejich výsledků se ale našlo v případě některých celosvětově prodávaných nebo individuálně dovezených vozidel, která nebyla organizací Euro NCAP testována. Tuto roli sehrály především testy IIHS a zcela výjimečně ANCAP a USNCAP.

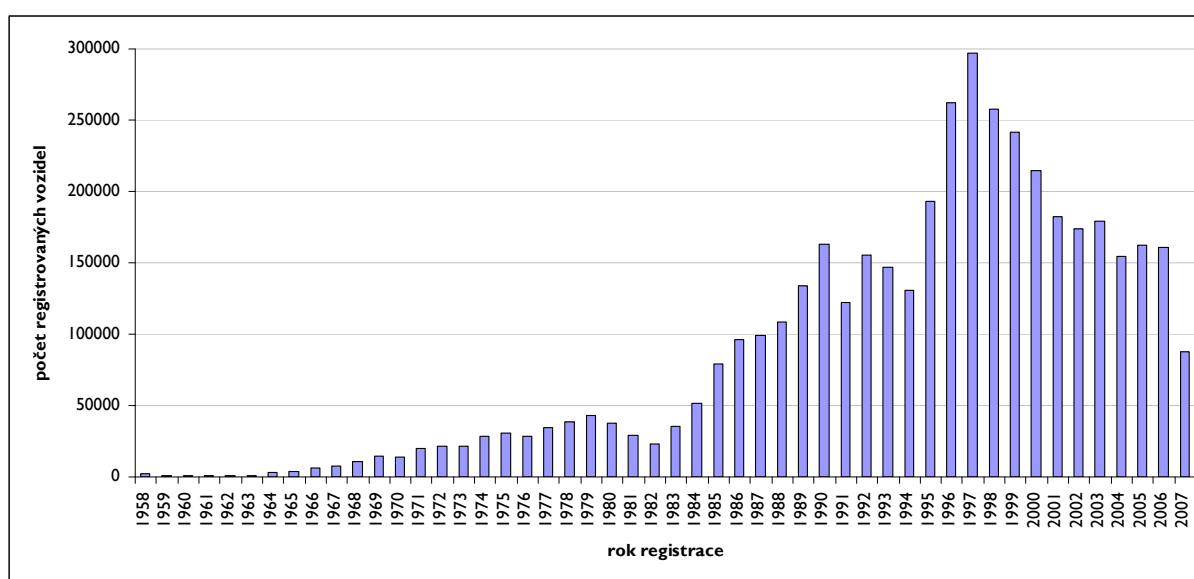
Zvláštní postavení zde má i hodnocení bezpečnosti vozidel podle Folksam. Ačkoli je toto hodnocení postaveno na zcela odlišné filozofii, jeho největší devizou je historie. Jelikož zpracovává statistiky nehod již od poloviny osmdesátých let minulého století, má oproti spotřebitelským testům, které většinou zažily rozmach až během devadesátých let, ve své databázi i řadu vozidel staršího data (mezi lety 1985-1994 to je kolem 40% registrovaných vozidel, v letech 1995-2002 nad 80% registrovaných vozidel, pak následuje prudký pokles). Navíc se jedná o vozidla, která se pohybovala, resp. pohybují po Švédských silnicích, tedy vozidla běžně se vyskytující v Evropě a tedy i v ČR. Nevýhodou je naopak několikaleté časové prodloužení ve zpracování a publikaci výsledků nových modelů a generací vozidel aktuálně dostupných na trhu. Hodnocení podle Folksam tak bude mít rovněž vedlejší roli a bude použito pouze jako vodítko k odhadu hodnocení starších vozidel.

V prvním kroku přiřazování výsledků nárazových testů vozidlům z upraveného souboru z CRV byla tedy nejdříve využita data z crashtestů Euro NCAP. Přiřazení příslušných výsledků crashtestů však bylo komplikováno tím, že bylo vždy nutné ověřit, pro jaké ročníky daného vozidla se toto hodnocení vztahuje a v jakém období se daná verze vyráběla. To vyžadovalo vyhledávat informace o počátku a konci výroby, kdy byl daný model faceliftován, popřípadě zda nedošlo během výroby k nějakým změnám, které by dosažené hodnocení

mohly ovlivnit. Hodnocení tak bylo přiřazováno pouze těm ročníkům daného vozidla, které se výrazně nelišily od vozidla přistaveného k testu.

Jelikož ohodnocená vozidla podle crashtestů Euro NCAP tvoří jen část ze všech registrovaných vozidel (viz. Obr. 27), bylo nutné ohodnotit i ostatní vozidla. To bylo provedeno na základě odhadu podle podrobného studia výsledků nárazových testů jiných programů, hodnocení podle Folksam, příbuznosti konstrukce k některému z hodnocených vozidel, videí a snímků crashtestů (mimo uvedené spotřebitelské testy) a obvykle dosahované úrovně pasivní bezpečnosti vozidel podobné velikosti v daných letech výroby. Odhady se prováděly pokud možno za využití co největšího počtu z těchto indicií, což kladlo na jejich vyhledávání a zpracování značné časové nároky. Současně byly v případě starších vozidel určitým vodítkem výsledky dosažené v prvních letech fungování programu Euro NCAP. Lze stěží předpokládat, že by starší vozidlo dosáhlo lepšího výsledku než vozidlo od stejného výrobce, které bylo testováno v prvních letech fungování programu. Samozřejmě rozdíly v bezpečnosti mezi staršími vozidly existovaly, což dokládají i některé srovnávací nárazové testy z konce osmdesátých let minulého století. Nicméně v kontextu dramatického vývoje v této oblasti v posledních letech dvacátého století nedosahují tak velkého významu.

Soubor vozidel, která bylo možné přímo ohodnotit podle výsledků nárazových zkoušek v programu Euro NCAP, obsahuje 260 různých modelů, popřípadě generací automobilů. To odpovídá 1 648 337 vozidlům registrovaným v CRV. Naproti tomu bylo třeba odhadnout hodnocení u zhruba 540 různých modelů, nebo generací, čemuž odpovídá asi 2 600 000 vozidel z CRV. Jak vyplývá z grafu na Obr. 28, těžiště registrovaných vozidel leží v devadesátých letech minulého století. Lze tak očekávat, že poměr vozidel ohodnocených dle Euro NCAP a vozidel, u nichž je hodnocení nutné odhadnout, se bude postupem času měnit ve prospěch první skupiny.



Obr. 28 Počet registrovaných vozidel podle roku výroby

4.2.4 Hmotnost vozidel

Analytický rozbor

V případě laboratorních nárazových testů do pevné nebo deformovatelné překážky nastává jeden problém, na který při publikaci výsledků upozorňují samotní vykonavatelé těchto testů a který se mimo jiné snažila řešit pojišťovna Folksam zkoumáním následků reálných nehod. Jedná se o to, že vozidla hodnocená podle výsledků uvedených laboratorních nárazových testů lze mezi sebou porovnávat pouze omezeně. Prakticky lze objektivně mezi sebou porovnávat pouze ta vozidla, která se od sebe velikostně, resp. hmotnostně příliš neliší (Euro NCAP uvádí, že nezanedbatelný vliv má již hmotnostní rozdíl 150 kg). Organizace provádějící tyto testy tuto skutečnost většinou řeší tak, že testovaná vozidla rovnou řadí do skupin, ve kterých lze mezi sebou jednotlivá vozidla porovnávat. A jelikož jednou ze vstupních proměnných pro stanovení bezpečnosti vozového parku byly zvoleny výsledky laboratorních nárazových testů, bude nutné se otázkou hmotnosti, potažmo velikosti, vozidel rovněž zabývat.

Hmotnost, jako jedna ze základních vlastností hmoty, má na dynamické jevy, jakými bezesporu náraz vozidla na překážku nebo srážka vozidel jsou, zásadní vliv. Záměrem této části práce je rozbor vlivu hmotnosti vozidla, provedený na základě jednoduchého dynamického modelu, na účinky nárazu do nedeformovatelné překážky a při vzájemné srážce dvou vozidel.

Náraz vozidla do nedeformovatelné bariéry prakticky simuluje srážku dvou vozidel se stejnou hmotností a tuhostí karosérie, kdy obě vozidla na sebe působí stejnými deformačními silami a obě pohlty stejnou část deformační energie. Pro jednoduchost bude předpokládán plně plastický ráz.

Pohyb vozidla narážejícího do pevné stěny lze popsat diferenciální rovnicí

$$m \cdot \ddot{x} + F = 0 \quad . \quad (3)$$

Deformační sílu F lze pro jednoduchost uvažovat ve třech možnostech průběhu:

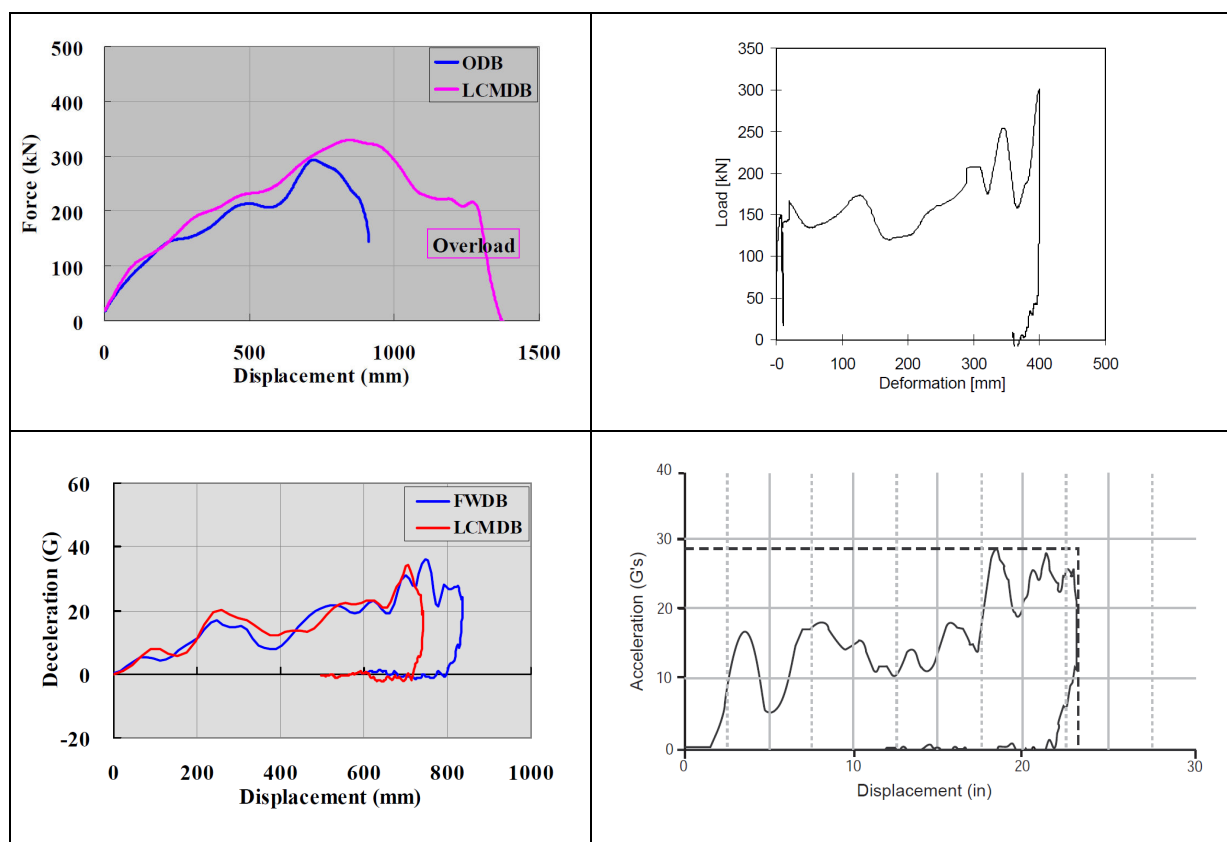
- a) konstantní: $F = konst.$,
- b) lineární závislost na deformaci: $F = c \cdot x$, kde c je tuhost příďe,
- c) lineární závislost na rychlosti deformace: $F = k \cdot \dot{x}$, kde k je tlumící konstanta příďe.

Prakticky tak vznikají tři různé diferenciální rovnice. Pro další řešení se vychází z předpokladu, že ve všech případech má vozidlo při nárazu stejnou nárazovou rychlost v_0 . Maximální deformace příďe vozidla a maximální zpomalení vozidla vyplývající z řešení diferenciální rovnice je zobrazeno v tabulce (Tabulka 17).

Tabulka 17 Maximální deformace a zpomalení vyplývající z pohybových rovnic nárazu vozidla do pevné překážky

deformační síla	$F = konst.$	$F = c \cdot x$	$F = k \cdot \dot{x}$
diferenciální rovnice	$m \cdot \ddot{x} + F = 0$	$m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} = 0$	$m \cdot \ddot{x} + k \cdot x = 0$
maximální deformace	$x_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2 \cdot m}{F}$	$x_{\max} = v_0 \cdot \sqrt{\frac{m}{c}}$	$x_{\max} = \frac{v_0 \cdot m}{k}$
maximální zpomalení	$a_{\max} = \frac{F}{m}$	$a_{\max} = v_0 \cdot \sqrt{\frac{c}{m}}$	$a_{\max} = v_0 \cdot \frac{k}{m}$

Uvedené tři možnosti průběhu deformační síly jsou pouhým zjednodušením reality. Ve skutečnosti se jedná o ráz reálných těles (nedokonale pružných), který je obecně z fyzikálního hlediska velmi komplikovaný – zvláště pak popis časového průběhu dynamických reakcí v místě kontaktu těles. Většinou u takto rychlých dějů již svoji roli sehrává i vlnová mechanika. Pro účely pouhého získání představy o míře vlivu hmotnosti automobilu při nárazu do pevné překážky, resp. druhého vozidla, však není nevyhnutelně nutné se těmito záležitostmi podrobně zabývat. Bude postačovat na problém nahlížet na základě Newtonské mechaniky.

**Obr. 29** Příklady závislostí deformační síly, resp. zpomalení, na stlačení (deformaci) přídě vozidla.**Zdroj:** studie [16], [17], [15].

Každé vozidlo má tuhostní charakteristiku přídě odlišnou. Většinou ji nereprezentuje jedna jediná elementární funkce, a její matematický popis je prakticky možný jen s řadou zjednodušení. V tom nejjednodušším obecném pohledu má nejbližší lineární závislosti síly na stlačení (viz. Obr. 29), což bude pro další řešení bráno jako zjednodušující výchozí předpoklad. Toho využívají i jiné studie. [7]

Pro řešení srážky dvou různě hmotných vozidel je kromě lineárních tuhostních charakteristik jejich přídílů vhodné zavést ještě další zjednodušující předpoklad – obě vozidla se proti sobě pohybují stejnou rychlostí a musí splnit požadavky nárazového testu do pevné bariéry. Pro každé z vozidel tak lze psát pohybovou rovnici (3):

$$\begin{aligned} m_1 \cdot \ddot{x}_1 + F_1 &= 0, \\ m_2 \cdot \ddot{x}_2 + F_2 &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

a pro tuhosti jejich přídílů:

$$\begin{aligned} F_1 &= c_1 \cdot \Delta x_1, \\ F_2 &= c_2 \cdot \Delta x_2, \end{aligned} \quad (5)$$

kde c_1 a c_2 jsou konstanty tuhosti přídělů a Δx_1 a Δx_2 velikosti deformací (stlačení) přídělů.

Po dosazení vztahů (5) do pohybových rovnic (4) a následným řešením diferenciálních rovnic lze pro konstanty tuhosti přídělů obdržet vztahy:

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{m_1 \cdot a_{\max_1}^2}{v_0^2}, \\ c_2 &= \frac{m_2 \cdot a_{\max_2}^2}{v_0^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Pokud obě vozidla mají splnit stejné požadavky z hlediska nárazového testu do pevné bariéry, bude požadavkem, aby při nárazu do bariéry dosáhla stejných maximálních zpomalení. Tedy musí platit:

$$a_{\max_1} = a_{\max_2} = a_{\max}. \quad (7)$$

Dosazením rovnosti (7) do vztahů pro konstanty tuhosti (6), přičemž počáteční rychlosti nárazu do bariéry v_0 uvažujeme pro obě vozidla stejné, lze dospět k poměru

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{c_1}{c_2}. \quad (8)$$

Jinak řečeno, pokud vozidla mají splnit stejné požadavky bariérového testu, musí být poměr jejich hmotností stejný jako poměr tuhostí jejich přídílů.

Jak již bylo výše uvedeno, vzájemnou srážku automobilů je možné řešit jako ráz těles. K tomu lze využít větu o zachování hybnosti:

$$m_1 v_{o1} + m_2 v_{o2} = m_1 v_1 + m_2 v_2, \quad (9)$$

kde v_{o1} , v_{o2} jsou rychlosti vozidel těsně před začátkem rázu a v_1 , v_2 jsou rychlosti vozidel na konci rázu.

Jelikož se jedná o ráz reálných těles, tedy nedokonale pružných, je nutné k této rovnici zavést součinitel restituice

$$e = \frac{v_1 - v_2}{v_{o1} - v_{o2}}. \quad (10)$$

Řešením rovnic (9) a (10) se získají rychlosti vozidel na konci rázu:

$$v_1 = \frac{m_1 v_{o1} + m_2 v_{o2}}{m_1 + m_2} - \frac{m_2}{m_1 + m_2} (v_{o1} - v_{o2}) e, \quad (11)$$

$$v_2 = \frac{m_1 v_{o1} + m_2 v_{o2}}{m_1 + m_2} + \frac{m_1}{m_1 + m_2} (v_{o1} - v_{o2}) e.$$

Ztrátová energie pohlcená během srážky deformačními zónami obou vozidel je definována jako rozdíl kinetických energií před srážkou a po srážce:

$$E_z = \frac{1}{2} (m_1 v_{o1}^2 + m_2 v_{o2}^2) - \frac{1}{2} (m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2). \quad (12)$$

Dosazením rychlostí na konci rázu (11) do vztahu pro výpočet ztrátové energie (12) by se získal konečný tvar vztahu pro výpočet ztrátové energie. Jelikož by takové vyjádření bylo již nepřehledné a momentálně i neúčelné, bude vyjádření ztrátové energie ponecháno ve tvaru uvedeném v rovnici (12).

Ztrátovou energii lze také vyjádřit jakou součet deformačních prací spotřebovaných během plastických deformací přídílí vozidel:

$$E_z = \int_0^{\Delta x_{\max 1}} F_1 dx_1 + \int_0^{\Delta x_{\max 2}} F_2 dx_2 = \frac{1}{2} (c_1 \cdot \Delta x_{\max 1}^2 + c_2 \cdot \Delta x_{\max 2}^2). \quad (13)$$

Jelikož podle Newtonova třetího pohybového zákona (Zákon akce a reakce) je v každém okamžiku čelního střetu $F_1 = F_2$, z rovnice (3) vyplývá

$$\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = \frac{c_2}{c_1} = \frac{m_2}{m_1}. \quad (14)$$

Z poměrů (14) a (8) tak lze říci, že deformace lehčího vozidla je za daných podmínek tolikrát větší než deformace vozidla těžšího, kolikrát je větší hmotnost těžšího vozidla oproti lehčímu. Energie pohlcená jednotlivými vozidly pak podle rovnice (13) bude

$$\begin{aligned}\Delta E_{z_1} &= F_1 \cdot \Delta x_{\max_1}, \\ \Delta E_{z_2} &= F_2 \cdot \Delta x_{\max_2}.\end{aligned}\quad (15)$$

Jelikož opět platí $F_1 = F_2$, je možné vyjádřit vztah mezi energiemi pohlcenými jednotlivými vozidly

$$\Delta E_{z_1} = \frac{\Delta x_{\max_1}}{\Delta x_{\max_2}} \Delta E_{z_2}, \text{ resp. } \Delta E_{z_1} = \frac{c_2}{c_1} \Delta E_{z_2}, \text{ resp. } \Delta E_{z_1} = \frac{m_2}{m_1} \Delta E_{z_2}. \quad (16)$$

Celkovou ztrátovou energii pohlcenou během nárazu a vyjádřenou jako součet ztrátových energií pohlcených jednotlivými vozidly (13) je tedy možné přepsat do tvaru

$$\Delta E_z = \Delta E_{z_1} + \Delta E_{z_2} = \frac{m_1 + m_2}{m_2} \Delta E_{z_1}. \quad (17)$$

S využitím obou možností vyjádření celkové ztrátové energie (12) a (13), resp. (17) je možné vyjádřit energii pohlcenou prvním vozidlem následovně

$$\Delta E_{z_1} = \frac{m_2}{2(m_1 + m_2)} [m_1(v_{o1}^2 - v_1^2) + m_2(v_{o2}^2 - v_2^2)]. \quad (18)$$

Energii pohlcenou druhým vozidlem lze získat jako rozdíl celkové ztrátové energie a energie pohlcené prvním vozidlem:

$$\Delta E_{z_2} = \Delta E_z - \Delta E_{z_1} = \frac{m_1}{2(m_1 + m_2)} [m_1(v_{o1}^2 - v_1^2) + m_2(v_{o2}^2 - v_2^2)]. \quad (19)$$

V případě podmínky stejné nárazové rychlosti v_o obou vozidel přejdou vztahy (18) a (19) na tvar

$$\begin{aligned}\Delta E_{z_1} &= \frac{1}{2} m_2 v_o^2 - \frac{m_2}{2(m_1 + m_2)} (m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2), \\ \Delta E_{z_2} &= \frac{1}{2} m_1 v_o^2 - \frac{m_1}{2(m_1 + m_2)} (m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2).\end{aligned}\quad (20)$$

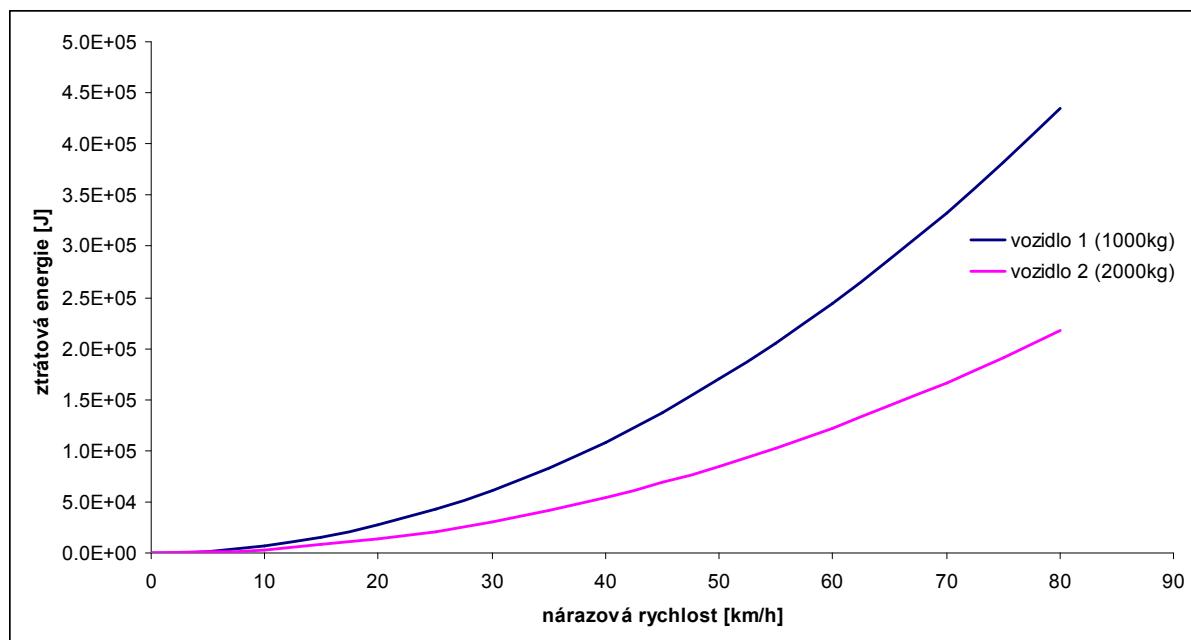
Pro konkrétnější představu velikosti koeficientu restituce e , doby rázu t_r a maximální deformace t_m jsou v tabulce (Tabulka 18) uvedeny hodnoty zjištěné z nárazových testů.

Tabulka 18 Běžné hodnoty koeficientu restituce, doby rázu a maximální deformace zjištěné z nárazových zkoušek

druh nárazu	e	$t_r/t_m = 1+2e$	t_r/t_m	t_m (ms)
			z nárazové zkoušky	
do bariéry	0,15	1,3	1,3 až 1,5	80 až 100
čelní střet vozidel	0,10	1,2	1,2 až 1,4	100 až 140

Zdroj: [18]

Konkrétní hodnoty ztrátových energií pohlcených při čelní srážce dvou vozidel například s hmotnostmi 1000 kg a 2000 kg, tedy hmotnostním poměrem 1:2, je možné získat dosazením těchto hmotností a koeficientu restituace z tabulky (Tabulka 18) do rovnic (20). Výsledné hodnoty ztrátových energií pohlcených každým z obou vozidel byly v závislosti na nárazové rychlosti vyneseny do grafu na Obr. 30.



Obr. 30 Ztrátové energie pohlcené každým z vozidel v závislosti na nárazové rychlosti (pro obě vozidla stejné)

Posledním důležitým parametrem, jehož vztah k hmotnosti zde bude ukázán, je zrychlení vozidla. Opět se vyjde z platnosti Newtonova třetího pohybového zákona, přičemž rovnost sil lze zapsat ve tvaru

$$m_1 \cdot a_{\max_1} = m_2 \cdot a_{\max_2} , \quad (21)$$

což lze přepsat přímo do poměru hmotností a zrychlení :

$$\frac{a_{\max_1}}{a_{\max_2}} = \frac{m_2}{m_1} . \quad (22)$$

Jinak řečeno, podobně jako deformace je zrychlení lehčího vozidla v reciprokém poměru hmotností větší než zrychlení vozidla těžšího.

Ze získaných poměrů, tedy rovnic (8), (14), (16), a (22), zřetelně vyplývá vliv hmotností srážejících se vozidel na jednotlivé sledované parametry. Z pohledu uvedeného řešení má tedy hmotnost vozidla zásadní význam při srážce dvou vozidel a je nutné ji při interpretaci výsledků nárazových testů zohlednit.

Při tvorbě této kapitoly se vycházelo z literárních zdrojů [4], [7], [3] a [18].

Poznatky z reálných nehod

Zkoumáním vlivu hmotnosti při nehodách a vzájemných srážkách automobilů se v průběhu posledních pár desítek let zabývala i řada studií vycházejících z reálných nehod. Díky tomu je zde položený poměrně bohatý znalostní základ, ze kterého lze čerpat i v případě dvacet a více let starých vozidel. Výsledky a závěry některých z těchto studií budou uvedeny v následujícím textu.

Autoři jedné ze studií [8] si kladli otázku, zda kromě hmotnosti není další dominantní vlastností vozidla ve vztahu k bezpečnosti jeho velikost. Smyslem jejich práce bylo prozkoumat hlubší vztahy mezi hmotností a velikostí vozidla a jejich význam na riziko úmrtí řidiče. Jako zdroj dat jim posloužily záznamy z nehod se smrtelnými následky (FARS - Fatal Accident Reporting System) z let 1975 až 1989, které obsahovaly 38 456 nehod dvou vozidel, při kterých byl usmrčen alespoň jeden řidič.

Z analýzy dat, kterou provedli, se jim podařilo zjistit, že blízký vztah mezi hmotností vozidla⁷ a jeho velikostí platí jak pro starší, tak i pro novější vozidla a lze jej přibližně popsat exponenciální funkcí ve tvaru

$$M = \alpha \cdot W^\beta, \quad (23)$$

kde M je hmotnost automobilu v kilogramech, W je délkový rozměr v metrech a α a β jsou konstanty. Koeficienty α a β byly zvláště počítány pro vozidla vyrobená před a po roce 1980. Ačkoli se koeficienty zjištěné pro obě skupiny vozidel od sebe statisticky již významně lišily, ve svém důsledku byly rozdíly na použitelném intervalu poměrně malé (křivky se v tomto intervalu vzájemně křížily – novější menší vozidla byla o něco lehčí než starší a naopak novější větší vozidla byla o něco těžší než stejně velká starší vozidla). To víceméně ukazuje, že během sledovaného období se poměr mezi hmotností a velikostí vozidel příliš nezměnil.

Dalšími otázkami, na které se snažili nalézt odpověď, bylo

- nakolik souvisí riziko usmrcení při nehodách dvou automobilů s velikostí jejich rozvoru,
- jak riziko usmrcení závisí na hmotnosti zúčastněných vozidel, pokud měly stejný rozvor a naopak
- jak riziko usmrcení závisí na rozvoru, když automobily mají obdobnou hmotnost.

Za účelem zjištění vztahu mezi velikostí rozvoru a rizikem usmrcení řidičů byly definovány následující vztahy:

⁷ Ačkoli pravděpodobně vhodnějším indikátorem velikosti by byla délka mezi nárazníky, reprezentantem velikosti vozidla byl zvolen rozvor, protože rozvor je jediná míra rozměru vozidla kódovaná přímo v datech FARS.

$$v = \frac{\text{Rozvor vozidla s delším rozvorem}}{\text{Rozvor vozidla s kratším rozvorem}} \quad (24)$$

jako míra rozvoru a

$$R = \frac{\text{Počoč usmrčených řidičů ve vozidlech s kratším rozvorem}}{\text{Počoč usmrčených řidičů ve vozidlech s delším rozvorem}} \quad (25)$$

jako riziko usmrcení řidičů, přičemž vztah mezi nimi byl stanoven dle následujícího předpisu:

$$R = v^w . \quad (26)$$

Exponent w byl opět odvozen zvláště pro vozidla vyrobená do roku 1979 a od roku 1980, přičemž pro starší vozidla dosahoval hodnot $8,61 \pm 0,23$ a pro mladší $6,76 \pm 0,24$, což jsou poměrně vysoké hodnoty. Obdobně vysoké koeficienty vykazovala jiná studie, která se zabývala zkoumáním rizika usmrcení v závislosti na hmotnosti zúčastněných vozidel. To je v souladu se závěrem, ke kterému dospěli, když zkoumali vztah mezi hmotností a velikostí vozidla.

Rozhodnutí, který z parametrů, tedy zda hmotnost nebo velikost vozidel, má větší vliv na riziko usmrcení řidiče, poskytují až odpovědi na zbývající dvě otázky. Když byly porovnány nehody vozidel, jejichž rozvor se nelišil, ale hmotnost byla různá, ukázalo se, že hmotnost ovlivňuje úmrtnost řidiče zrovna tak silně, jako když se rozvor mění. Naopak když automobily podobné hmotnosti, ale rozdílného rozvoru narazí jeden do druhého, velikost rozvoru nevykazuje zřejmý vliv na ukazatel rizika usmrcení řidiče. Autoři tato zjištění považují za silný důkaz, že hmotnost vozidla má velký vliv na riziko úmrtí řidiče a velikost vozidla může hrát nanejvýše sekundární roli.

Jiná studie [9] zkoumala riziko smrti obou řidičů při čelní srážce jejich vozidel, přičemž jednomu z vozidel byla přidána hmota ve formě pasažéra. Pasažér, spolujezdec sedící vedle řidiče, zde figuroval jako přídatná hmotnost a byl ekvivalentem 75 kg zavazadel či nákladu. Přidání pasažéra do vozidla vedlo ke 14,5% snížení rizikového poměru (riziko jednoho řidiče dělené rizikem druhého řidiče). Aby bylo zřejmé, jak se tento vliv přidané hmotnosti přerozdělil na rizika úmrtí jednotlivých řidičů, odvodil autor rovnice vyjadřující riziko řidiče jako funkci příčinných přídatků hmotnosti a velikosti obou zúčastněných vozidel. Jejich aplikací na zpracovávaná data dospěl k závěru, že přidaný pasažér snížil riziko úmrtí řidiče při čelní srážce o 7,5%, ale zvýšil toto riziko řidiči ve druhém vozidle o 8,5%. Zajímavé je také zjištění, že kdyby všechna vozidla vozila stejně těžký přídatný náklad, riziko celé populace by se snížilo. To vlastně podporuje i jiný závěr uvedený v této studii – kdyby se obě vozidla nahradila jinými o určitý procentuelní díl lehčími, celkové riziko by se při každé srážce takových vozidel zvýšilo. Takový závěr je samozřejmě protipólem žádoucího trendu snižování hmotnosti automobilů především z důvodu úspory paliva, zdrojů a snižování emisí z výfukových plynů, ale dokazuje velký vliv hmotnosti automobilu na jeho bezpečnost.

Dlouhodoběji se studiem vlivu hmotnosti vozidel na bezpečnost zabývají také vláda USA, konkrétně NHTSA, a IIHS. V jedné z posledních studií NHTSA [10] se autor zabýval vlivem redukce hmotnosti vozidel o 100 liber v průřezu celým vozovým parkem USA. Snížení hmotnosti u osobních vozidel, lehčích vanů, pickupů a SUV potvrdilo zvýšení rizika smrti v případě nehody. Studie se zabývala i sledováním tohoto efektu u různých typů vozidel a rovněž obecně rizikem smrti při nehodě u různých typů vozidel. Bylo zjištěno, že

- mírné snížení hmotnosti (oněch 100 liber) u těžších (3,850 až 5000 liber) malých trucků a vanů (LTV) mělo malý efekt na počet usmrčených při nehodách,
- mírné redukce hmotnosti u nejtěžších LTV (těžších než 5000 liber) byly spojeny se snížením počtu usmrčených v jiných (protěžších) vozidlech,
- sto librové snížení hmotnosti mělo u lehčích LTV a většiny osobních vozidel za následek významné zvýšení rizika usmrcení,
- velké čtyřdveřové osobní automobily, těsně následované minivany, vykazovaly nejnižší hodnoty ukazatele usmrcení v případě nehody. Nejvyšší úmrtnost byla pozorována u malých čtyřdveřových automobilů, středně velkých SUV a kompaktních pickupů.

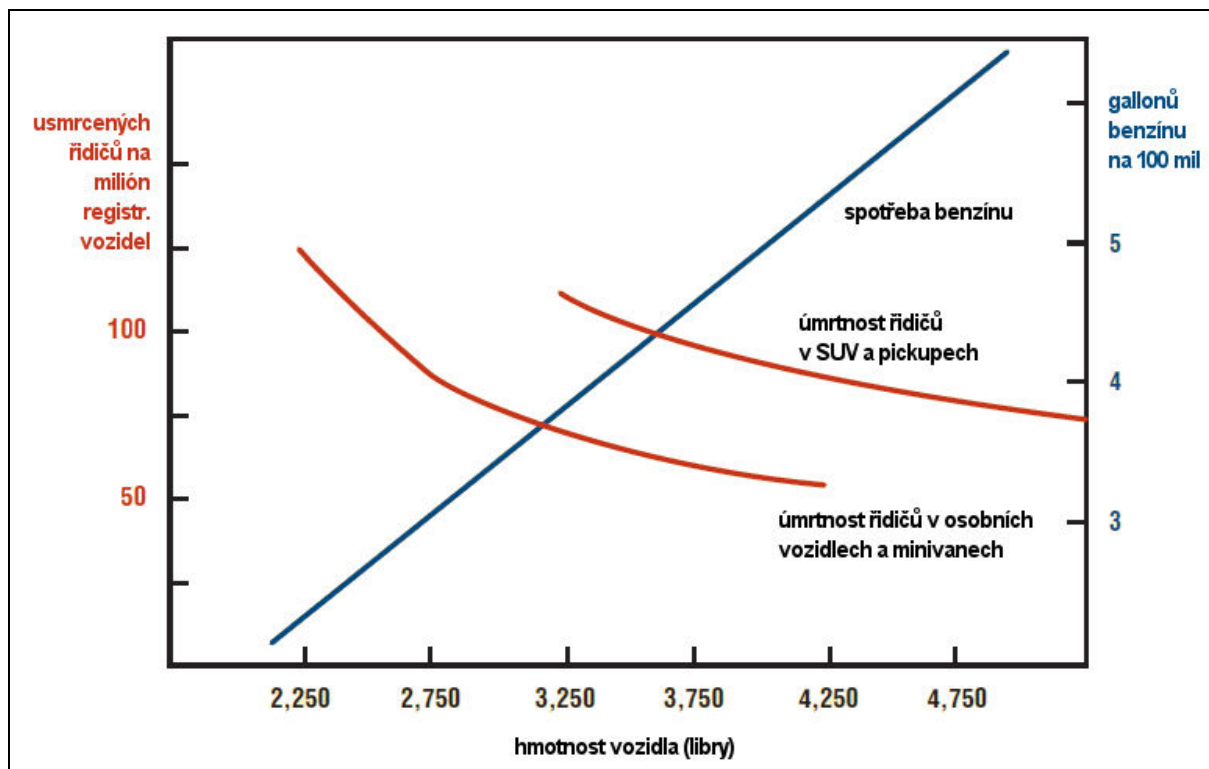
NHTSA podobně jako Euro NCAP rovněž upozorňuje na omezenou porovnatelnost vozidel, která prošla nárazovými testy. Z toho důvodu uvádí tabulku s hmotnostními intervaly ohodnocenými slovně, respektive barevně podle stylu souhrnného hodnocení nárazových testů tak, aby zájemci o koupi vozidla mohli jednoduše brát v potaz i tento parametr.

Tabulka 19 Úroveň ochrany pro jednotlivé hmotnostní intervaly

hmotnostní interval	úroveň ochrany
3500 lb / 1590 kg a více	dobrá
3000-3499 lb / 1363-1589 kg	přiměřená
2600-2999 lb / 1181-1362 kg	mezní
2300-2599 lb / 1045-1180 kg	slabá
Méně než 2300 lb / 1045 kg	nedostatečná

Zdroj: [49]

O celou řadu studií se opírají zprávy a články publikované pod hlavičkou IIHS. Ty většinou dávají do souvislosti snižování hmotnosti automobilů z důvodu snižování spotřeby paliva, typ automobilu (osobní, SUV, van, truck, pickup, atd.) a vliv hmotnosti na úmrtnost při dopravních nehodách. Jeden z takových výstupů lze vidět na následujícím obrázku (Obr. 31).



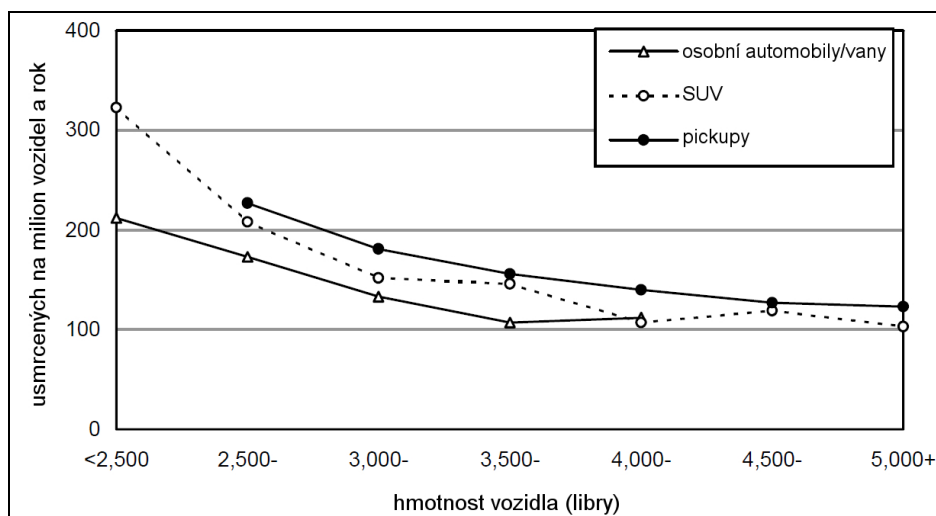
Obr. 31 Vztahy mezi hmotností vozidla, usmrcením řidičů a spotřebou paliva
Zdroj: [11]

Z grafu na obrázku je zřetelně vidět, že nejvyšší úmrtnost a nejnižší spotřeba je u nejlehčích vozidel. Těžší vozidla vykazují nižší úmrtnost a spotřebují více paliva na míli, ale výhoda zvýšené bezpečnosti vlivem přidané hmotnosti se s čím dál větším narůstáním hmotnosti zmenšuje (myšleno ve vztahu ke spotřebě, která se i nadále beze změny zvětšuje). Důležitý závěr plynoucí z tohoto grafu je, že optimální mix vozového parku vedoucí ke zvýšení bezpečnosti by měl obsahovat méně nejtěžších vozidel zrovna tak jako nejlehčích vozidel. Jedině tak bude vozový park z hlediska hmotnosti kompatibilnější a vyrovnanější. [11].

Zajímavé vztahy mezi hmotností vozidla a jeho bezpečností jsou také uvedeny v jedné o tři roky starší zprávě IIHS vyjadřující se ke standardům vytyčeným v programu na snížení průměrné spotřeby paliva CAFE (Corporate Average Fuel Economy) [14]. Autor v ní doplňuje a dovysvětluje závěry zprávy vydané Národní akademií věd (National Academy of Science) v druhé polovině roku 2001 a mimo jiné svoji argumentaci opírá o následující grafy.

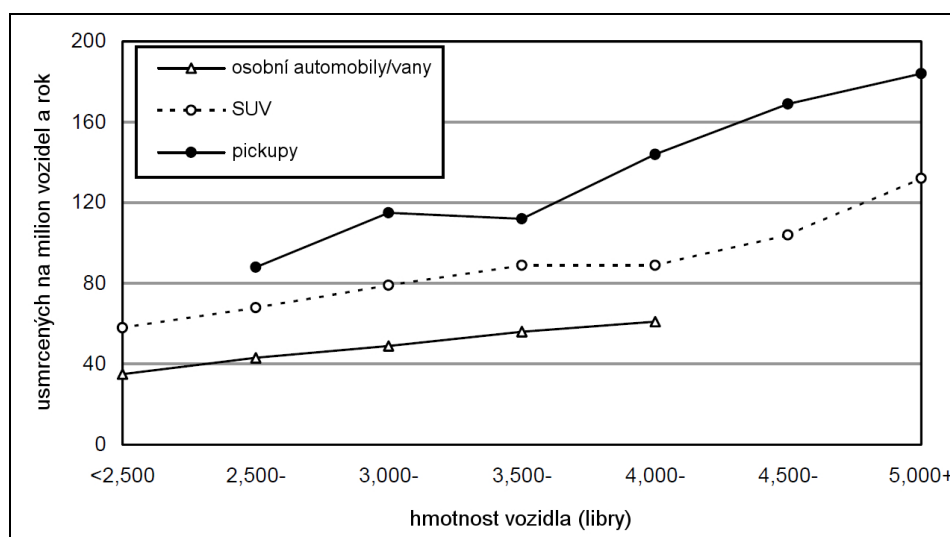
První graf (Obr. 32) ukazuje riziko smrti pasažérů u osobních automobilů, SUV a pickupů modelových roků 1990-96 během let 1991-97 (minivany jsou zde přiřazeny k osobním automobilům z důvodu příbuzné nebo odvozené platformy). Tento graf opět potvrzuje fakt, že riziko smrti pasažéra se zvyšuje se snižující se hmotností automobilu a ukazuje na základní ochranný efekt vlivem velikosti a hmotnosti vozidla. Riziko smrtelného zranění registrovaných vozidel je přibližně dvojnásobné u nejlehčích osobních automobilů v porovnání s těmi nejtěžšími. Podobnou relaci lze sledovat i v případě SUV a pickupů, ačkoli ty mají celkově riziko usmrcení ještě o něco vyšší než tomu je v hmotnostně srovnatelných osobních automobilech. Tento jev je převážně způsoben zvýšeným rizikem

při jednovozidlových nehodách, kdy jsou tyto automobily náchylnější k převrácení. Potvrzuje se také slábnoucí ochranný efekt jakmile hmotnost vozidla dosáhne 3500 až 4000 liber.



Obr. 32 Úmrtost pasažérů v osobních vozidlech modelových roků 1990-96

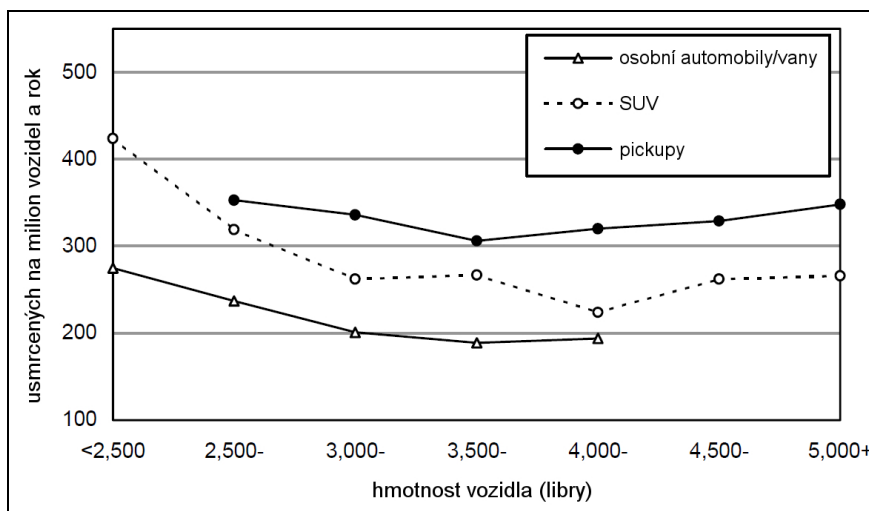
Druhý graf (Obr. 33) ukazuje vliv hmotnosti vozidla na bezpečnost v opačném světle než je ochranný efekt vlivem hmotnosti. Při srážce více vozidel může hmotnost sledovaného vozidla ovlivnit riziko zranění pasažérů v ostatních vozidlech. Graf ukazuje počet usmrcených pasažérů v protějšících vozidlech, se kterými se srazila vozidla modelových roků 1990-96 během let 1991-97. Je patrné, že riziko usmrcení v protějším vozidle se zvyšuje se zvětšující se hmotností sledovaných vozidel.



Obr. 33 Úmrtost pasažérů v ostatních (protějšících) vozidlech při srážce dvou vozidel modelových roků 1990-96

Z celospolečenské hlediska je ale třeba uvažovat oba tyto vlivy dohromady – tedy příspěvek k ochraně vlastních pasažérů vozidla plus zvýšené riziko pro ostatní účastníky silničního provozu. Takový pohled na vliv hmotnosti na bezpečnost prezentuje poslední graf (Obr. 34). Vyjadřuje celkové počty usmrcených při nehodách, ve kterých hrála nějakou roli vozidla modelových roků 1990-96 během let 1991-97. Do usmrcených účastníků jsou zahrnuti i chodci a cyklisté, naopak byly vynechány méně časté nehody se zúčastněním tří

a více vozidel, kde je obtížné vliv hmotnosti izolovat. Z grafu je vidět, že nejnižší počty usmrcených spadají do hmotnostního intervalu 3500 až 4000 liber. Nad tuto úroveň už nestačí růst vlastní bezpečnosti vozidla vyvážit následky způsobené jiným účastníkem. Jinak řečeno redukcí hmotnosti středně velkých osobních automobilů a SUV se zvýší celkové riziko usmrcení. Naopak snížení hmotnosti u nejtěžších SUV a pickupů může mít celospolečensky pozitivní efekt na bezpečnost.



Obr. 34 Úmrtnost pasažérů vozidel a jiných účastníků silničního provozu při vzájemných srážkách

Jiné zprávy a publikace vydané IIHS [57] [13] uvádějí obdobné výsledky, ale ve formě tabulek, kde jsou hmotnosti rozděleny do několika intervalů a k nim jsou přiřazeny příslušné počty usmrcených na milion vozidel. Uvedené tabulky lze najít v Příloze 4.

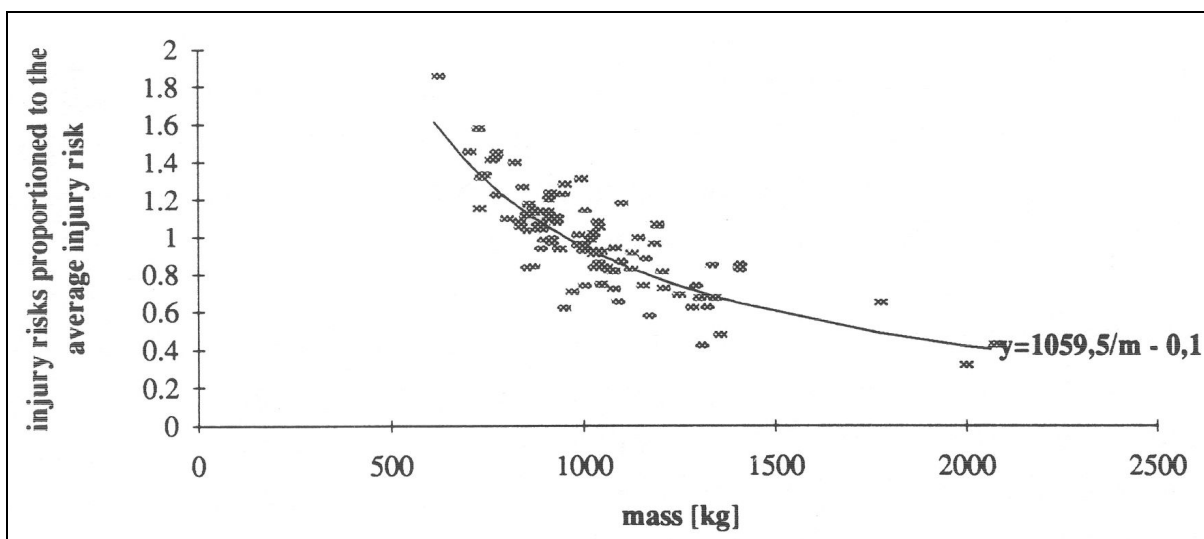
Rovněž na evropském kontinentu byly zpracovány obdobné studie. Jako jeden příklad za všechny lze uvést výzkum provedený na Univerzitě Oulu [19]. Jejich rozsáhlý výzkum se mimo jiné zabývá vlivem hmotnosti automobilu na riziko zranění. Na základě rešerší, které provedli, poukazují na dva zcela odlišné pohledy na vliv hmotnosti na riziko usmrcení při srážce dvou vozidel stejné velikosti. Zástupci prvního tábora Evans a Ernst nezávisle na sobě zjistili, že při hmotnostním poměru vozidel 1:2 je při vzájemné srážce dvou lehčích vozidel riziko usmrcení dvakrát větší než při vzájemné srážce dvou těžších vozidel. Tedy zatímco zastávají názor, že vliv hmotnosti na riziko usmrcení je nesporný a jasný, zástupci druhého tábora, Fountaine a Thomas, naopak nevysledovali žádný statisticky významný rozdíl v počtu usmrcených a vážně zraněných řidičů při srážce dvou vozidel stejné hmotnosti.

Stejně rozdílné názory panují na vliv hmotnosti na riziko zranění. Podle studií je riziko zranění těch řidičů řídících vozidlo s větší hmotností menší než řidičů řídících menší vozidlo. Nicméně automobil s větší hmotností představuje vyšší riziko zranění pro řidiče vozidla, se kterým se sráží než kdyby to bylo lehčí vozidlo. Podle Evanse se se zvyšující se hmotností vozidla snižuje riziko smrti⁸. Thomas a také Tarriere a jeho kolegové na druhou stranu přišli

⁸. Evans dokonce ukazuje, že při vzájemné srážce vozidel těžkých 900 kg a 1800 kg, je riziko smrti u řidiče lehčího vozidla třináctkrát větší než v případě řidiče vozidla těžšího.

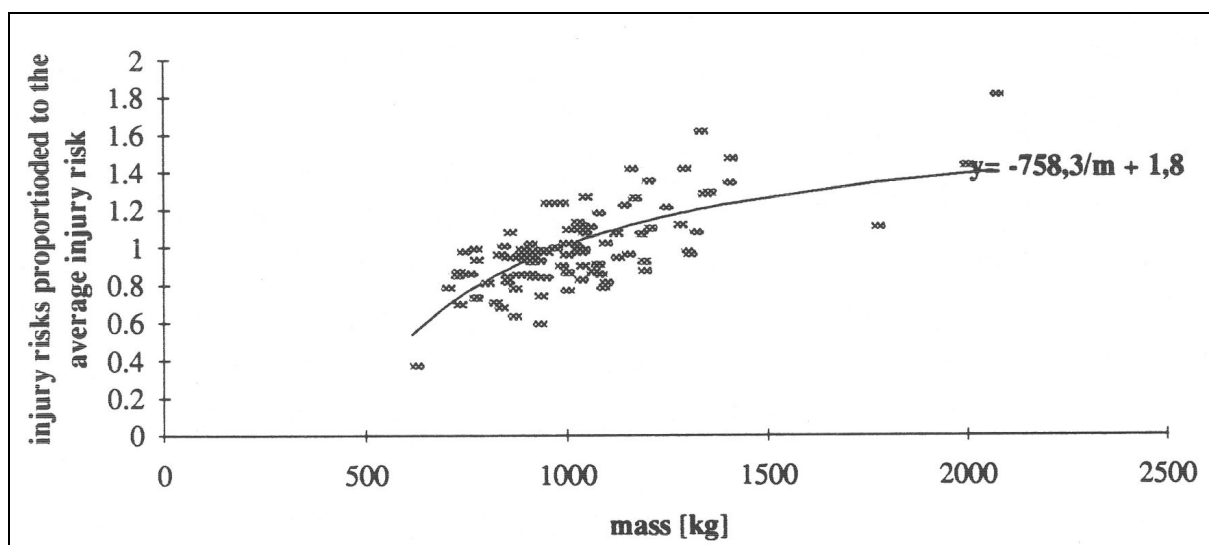
k závěru, že se zvyšující se hmotností riziko zranění protějšího vozidla vzrůstá rychleji než vnitřní bezpečnost.

Finská studie ukazuje jasný vliv hmotnosti na pasivní bezpečnost, agresivitu a rizikový faktor při nehodách mezi dvěma osobními vozidly v intravilánu. Studie uvažovala všechny typy nehod, které vedly ke zranění, tedy ne pouze ty s vážným zraněním a omezila se pouze na intravilán. Graf na Obr. 35 ilustruje vliv hmotnosti na pasivní bezpečnost vozidel. Křivka proložená body byla získána regresní analýzou.



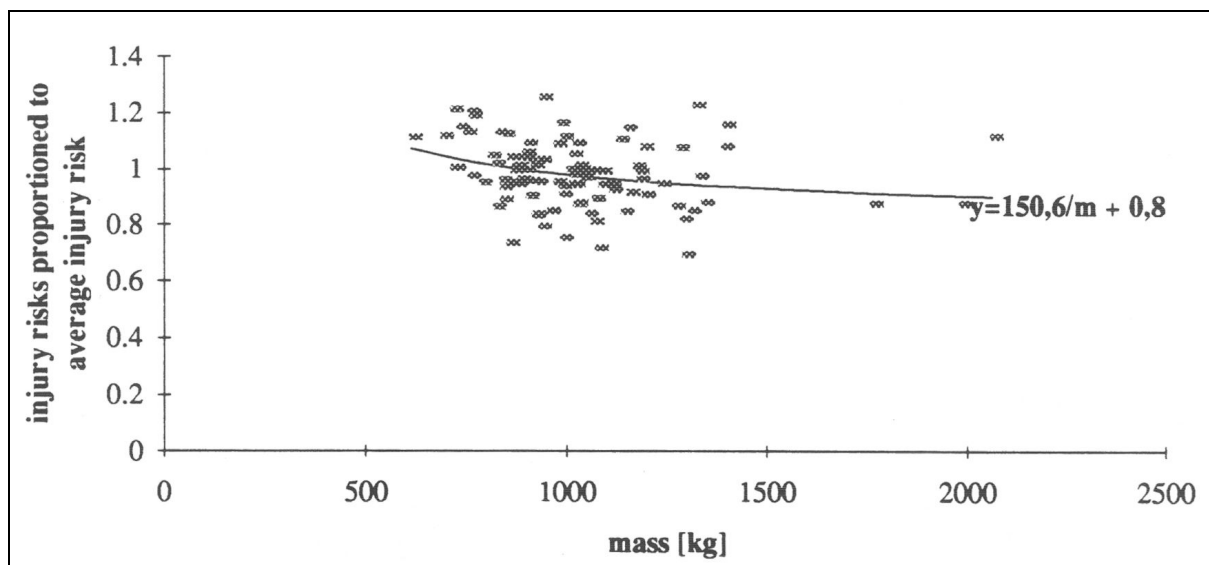
Obr. 35 Riziko zranění řidiče v případovém vozidle dle hmotnosti při kolizi dvou automobilů (explanation cover 0,75)

Graf na dalším obrázku (Obr. 36) prezentuje vliv hmotnosti modelu vozidla na riziko zranění řidiče protějšího vozidla. Riziko zranění protějšího vozidla se tedy nejvíce tak silně závislé na hmotnosti jako pasivní bezpečnost.



Obr. 36 Riziko zranění v protějším vozidle dle hmotnosti případového vozidla při kolizi dvou automobilů (explanation cover 0,49)

Závislost hmotnosti vozidla na celkový rizikový faktor je znázorněna na následujícím grafu (Obr. 37).



Obr. 37 Riziko zranění řidičů v případovém a protějším vozidle dle hmotnosti případového vozidla při srážce dvou vozidel (explanation cover 0,07)

Přiřazení dat pasivní bezpečnosti do upraveného souboru z CRV

Hmotnost vozidla, jako jeden z atributů, které mají na bezpečnost vozidla vliv, bylo opět nutné doplnit k jednotlivým modelům v upraveném souboru vozidel z CRV – podobně, jak tomu bylo v případě hodnocení nárazových testů v předchozí kapitole. Jako vztažný hmotnostní parametr byla zvolena pohotovostní hmotnost vozidla. Ačkoli jsou ve skutečnosti vozidla v provozu navíc přitížena přídavnou hmotností (minimálně řidiče), která jak bylo ukázáno, má na následky nehody rovněž vliv, nebyla tato do posuzované hmotnosti zahrnuta. Pokud by se tak učinilo, muselo by to být provedeno ve formě paušálního jednotného navýšení pohotovostní hmotnosti u všech vozidel. To by ovšem vyvolalo pouze posunutí celého spektra hmotnosti o tuto úroveň, což by ve svém důsledku téměř nic nepřineslo. Navíc je nutné spíše naopak přistoupit k určitému zjednodušení. Vozidla i v rámci jedné generace jednoho modelu se od sebe hmotnostně liší. Záleží totiž na tom, jakou pohonnou jednotkou jsou osazena a v jaké úrovni výbavy se nacházejí. Rozdíly mezi jednotlivými vozidly i v této úzké skupině tak díky tomuto mohou být poměrně významné – často kolem 100 kg, někdy i více. Z toho důvodu bylo nutné nejen od sebe odlišit jednotlivé modely a jejich generace, ale také zjistit pohotovostní hmotnosti pro jednotlivé motorizace. Jelikož skupinu vozidel mohla reprezentovat vždy pouze jedna hodnota hmotnosti, musela být na základě odhadu nejpoužívanější motorizace zvolena hodnota ležící mezi krajními hodnotami zjištěného hmotnostního intervalu. Ačkoli zde byla do jisté míry situace alespoň trochu ulehčena tím, že vozidla již byla díky předchozímu doplňování dat o výsledky crashtestů rozčleněna na jednotlivé modely a jejich generace, bylo nutné zjistit, zda i v rámci generace nedošlo ke změně na poli pohonných jednotek. Samotné vyhledávání hmotností jednotlivých generací a změn v pohonných jednotkách bylo opět u tak velkého objemu automobilů časově velice náročnou záležitostí.

4.2.5 Nekompatibilita

Se zvyšujícím se důrazem kladeným na bezpečnost vozidel a poměrně rychlým vývojem v této oblasti se začal objevovat nový fenomén, který na strukturu a konstrukci karosérie automobilu a zádržných systémů vrhá nové náročnější požadavky. Nejnovější studie dopravních nehod ukazují, že ačkoli došlo díky současným nárazovým testům ke zvýšení bezpečnosti vozidel, je tento vytyčený směr příliš zaměřený pouze na sebeochranu vozidla a jeho pasažérů. Je tu opět nastolena již dříve uvedená kritika laboratorních nárazových testů do pevné, resp. deformovatelné bariéry, že neodráží dostatečně realitu a umožňují porovnání dosažených výsledků pouze v rámci poměrně úzké skupiny vozidel. Nový pohled na bezpečnost vozidla se snaží jít za tuto hranici a bezpečné vozidlo pojmout v mnohem komplexnějším a globálnějším významu.

Tento nový přístup k bezpečnosti vozidla vyplývá především z různorodosti vozového parku a dopravního prostředí. Právě nesoulad, neboli nekompatibilita, mezi parametry a konstrukčními vlastnostmi jednotlivých vozidel vozového parku, nemluvě o jiných účastnících silničního provozu, činí tento problém značně komplikovaným. Pro stručné nastínění problematiky bude postačovat, když pozornost bude zaměřena pouze na interakci vozidel při vzájemném střetu.

Současný vozový park je značně nehomogenní a zahrnuje vozidla, která jsou svými vlastnostmi, parametry a konstrukcí značně odlišná. Nekompatibilitu mezi takovými vozidly lze spatřovat hned v několika oblastech, z čehož některé z nich tu už byly podrobněji uvedeny. Jedná se především o:

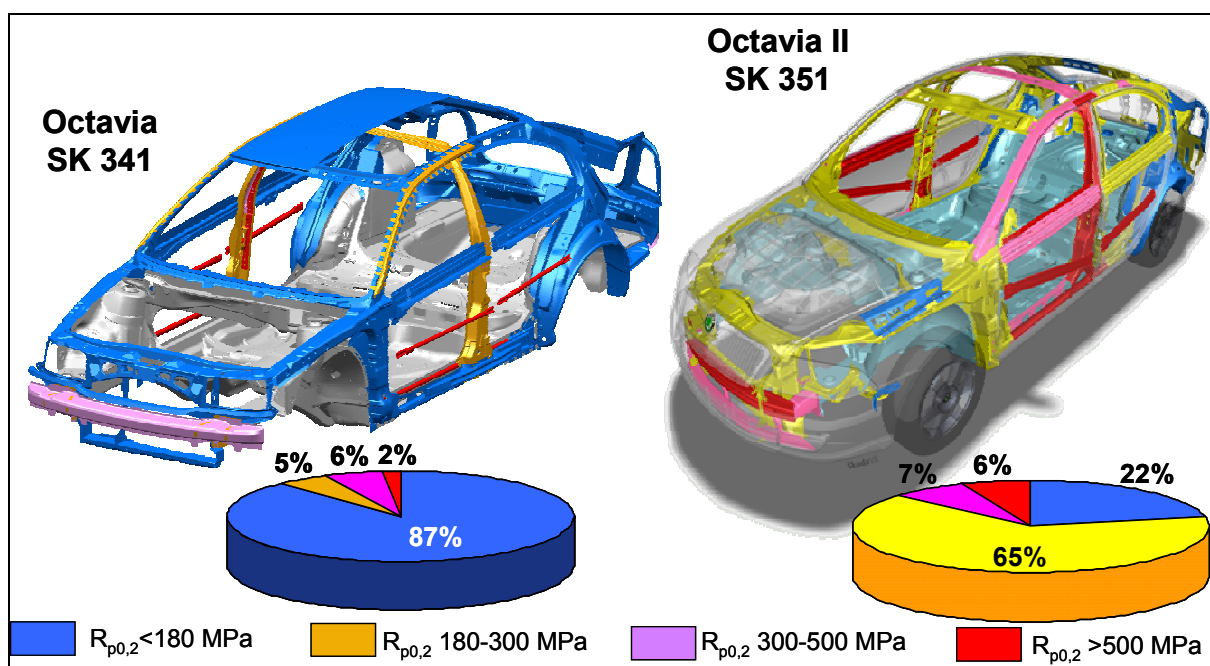
- hmotnostní,
- geometrickou (rozměrovou) a
- konstrukční nekompatibilitu mezi vozidly.

Nejnovější výzkumy v oblasti dopravních nehod zaměřené na zkoumání vlivu hmotnosti a velikosti automobilu [21] [22] [58] přináší poměrně odlišné závěry než tomu bylo v případě starších studií. Závěry těchto analýz totiž ukazují, že hmotnost již není tolik dominantním faktorem, jak se jevílo dříve, ale naopak do popředí zájmu se dostává velikost vozidla. Jiné studie zase více poukazují spíše na význam struktury karoserie než na hmotnost. [20] [17] Takové závěry však vyžadují vysvětlení, které musí být podáno v kontextu zhruba posledních patnácti let, kdy konstrukce automobilu zaznamenala poměrně rozsáhlé změny v oblasti bezpečnosti.

V první řadě je nutné se zmínit o proměně vozového parku během této doby. Velkou oblibu si získala vozidla kategorie MPV (Multi Purpose Vehicle) a SUV (Sport Utility Vehicle), která se většinou vyznačují větší hmotností a robustností a v případě SUV ještě vyšší světlou výškou oproti běžným osobním vozidlům obdobných rozměrů. Právě na tuto skupinu vozidel jsou často cílené výzkumy z důvodu problematické kompatibility v případě nehody s jinými

vozidly. Naopak cenově dostupnější kategorii a tudíž hodně zastoupenou skupinu tvoří malé rodinné vozy, popřípadě zástupci nejmenší kategorie automobilů. Tyto lze zase z hlediska kompatibility řadit k nejvíce ohrožované skupině.

Dalším faktorem, který zde hraje významnou roli, je možná na první pohled paradoxně hodnocení bezpečnosti vozidel na základě nárazových testů do pevné překážky. Ačkoli tyto testy významně pomohly zvýšit bezpečnost dnes vyráběných automobilů, skrývají v sobě určitá úskalí. Jak již bylo dříve uvedeno, tyto druhy testů svým charakterem odpovídají srážce dvou vozidel stejného druhu (náraz do pevné bariéry), respektive srážce zkoušeného vozidla s fiktivním vozidlem (přesazený náraz do deformovatelné bariéry). Přínosem těchto testů tedy je, že výrobci byli donuceni najít taková řešení konstrukce karosérie, její tuhosti a vyladění zádržných systémů, že se vozidlo stalo bezpečným vzhledem k vlastní hmotnosti a velikosti. Podařilo se tak zvýšit takzvanou sebeochranu vozidla. Tato optimalizace bezpečnostních prvků vůči nárazu do pevné, resp. deformovatelné překážky však není plně akceptovatelná pro případ reálné vzájemné srážky dvou odlišných vozidel.



Obr. 38 Rozdíl v konstrukci a poměrném využití oceli s různou pevností při stavbě karoserie mezi dvěma generacemi vozidla.

Zdroj: [28]

Efektivní funkce zádržného systému může být rozvinuta jen za předpokladu, že nedojde ke kolapsu prostoru pro posádku. Z toho důvodu musí být intruze částí karoserie do interiéru vozidla a deformace prostoru pro posádku co nejmenší. Dalším velice důležitým parametrem pro správnou funkci zádržných systémů je hodnota středního zpomalení prostoru pro osádku včetně kotevních bodů zádržných systémů a kontaktních povrchů, se kterými během kolize přichází do styku tělo pasažéra. Aby bylo možné použít konvenční komponenty zádržných systémů a současně vyhovět požadavkům nárazových testů, snaží se konstruktéři přizpůsobit tuhosti jednotlivých částí karoserie právě těmto podmínkám. Tento

přístup však způsobuje, že tuhost čelní části vozidla je víceméně proporční hmotnosti vozidla, jelikož i deformovatelná bariéra používaná v testech má omezenou schopnost pohlcení nárazové energie. Většinou totiž dochází k průrazům bariéry až na tuhou zadní stěnu a větší část energie musí pohltit samotné vozidlo. Jinak řečeno, aby těžší vozidla splnila požadavky na sebeochranu kladené nárazovými testy, musí mít oproti lehkým vozidlům tuhost přídě mnohem vyšší. To je však nežádoucí z hlediska srážky malého vozidla s vozidlem velkým.

Pokud se srazí právě taková vozidla, nastává situace, že deformační prostor malého vozidla fungující jako tlumič nárazu je vyčerpán často dříve, než se začne významněji deformovat přídě velkého vozidla. Nejenže malé vozidlo je zatíženo vyšší změnou rychlosti díky hmotnostnímu poměru, ale bezpečnostní prostor pro posádku bude vystaven nadměrnému silovému působení, které zvyšuje riziko vzniku vážných intruzí a deformací do interiéru vozidla. Zatímco do určité mezní míry velké zrychlení díky správnému vyladění zádržných systémů dnes již nepředstavuje vážnější problém, rozdílná tuhost přídí vozidel ano. Aby lehčí vozidlo bylo při srážce s těžším vozidlem lépe chráněno, muselo by mít větší vozidlo tuhost přídě srovnatelnou nebo jen o trochu větší než lehké vozidlo. To zase ale odporuje požadavkům nárazových testů do pevné, resp. deformovatelné bariéry na sebeochranu těžšího vozidla. Řešením by mohlo být zvětšení deformačního prostoru těžšího vozidla, to se ale jako možnost větší absorpce nárazové energie ukázalo jako omezeně účinné a rovněž těžce proveditelné z hlediska designu vozidel. Nicméně to vysvětluje přesun pozornosti od vlivu hmotnosti spíše k tuhosti karosérie. Nelze se však domnívat, že hmotnost vozidel již nehraje žádnou roli. To rozhodně ne. Na její úloze se nic nezměnilo, jen se podařilo najít řešení v podobě zádržných systémů, které část jejich nepřímých účinků (v podobě zrychlení) na pasažéry dokáží do určité míry kompenzovat. Uvádí se, že i v případě vhodné konstrukce přídě lze u vozidel s provozní hmotností 1800 – 2000 kg kompenzovat hmotnostní agresivitu vůči vozidlům lehčím než 900 kg pouze částečně (hmotnostní poměr větší než 2,1:1). Navíc prakticky nelze od sebe hmotnost a tuhost karosérie oddělit, protože jedno souvisí s druhým z hlediska sebeochrany vozidla. Příklady srážek dvou hmotnostně a velikostně zcela odlišných vozidel jsou uvedeny v Příloze 5.

Různorodost vozového parku se neprojevuje pouze ve skladbě různých typů vozidel lišících se svými parametry, ale také věkem a technickou úrovní vozidel. Díky tomuto mixu se zde střetávají vozidla, na která byly v průběhu jejich vývoje kladeny odlišné požadavky na bezpečnost. Stojí zde proti sobě automobily, kterým stačilo v době vzniku splnit homologační zkoušky a vozidla, která získala výborná hodnocení v nárazových testech nezávislých organizací. Bez ohledu na degradaci materiálu, ze kterých jsou vyrobená, vlivem času se od sebe významně liší v odolnosti proti nárazu. Nová vozidla vyznačující se vyšší tuhostí karosérie jsou tak vůči starým vozidlům s méně tuhou konstrukcí mnohem agresivnější. Tento jev je navíc zhoršen nehomogenní konstrukcí přídě nových vozidel, kde primárními nosnými prvky jsou tuhé podélníky spojené nárazníkem. Ty se sice v případě nárazu

do deformovatelné bariéry značně zdeformují, ale to je často způsobeno destrukcí bariéry a průrazem až na zadní desku bariéry. V případě střetu s vozidlem, které nemá tak odolnou přední část nebo v případě nárazu do boku vozidla mohou tyto prvky způsobit vážné intruze do prostoru pro cestující naráženého vozidla (viz. Obr. 39). Podobné účinky mají žebřinové rámy off-roadů. Příklad důsledků srážky starého vozidla s o několik generací novějším vozidlem je uveden v Příloze 6.



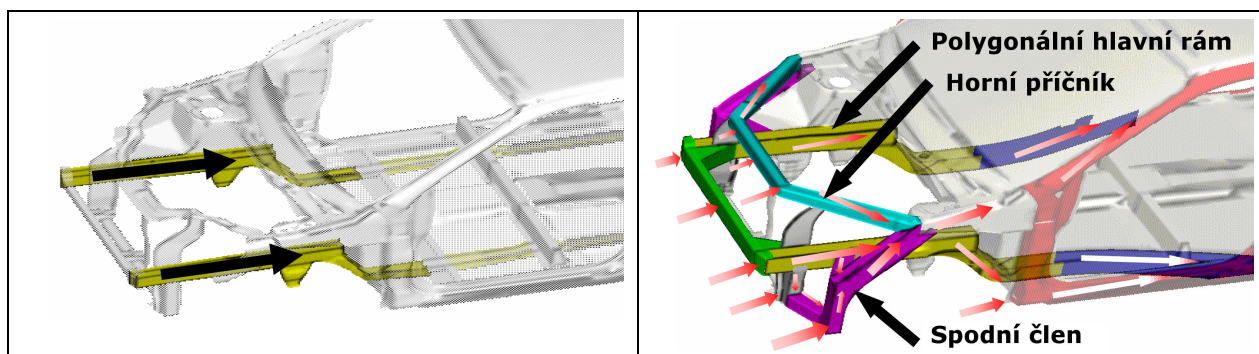
Obr. 39 Ukázky důsledků nekompatibility mezi vozidly – zleva: nezdeformované podélníky; vážná intruze v boku vozidla způsobená lokální tuhostí narážejícího vozidla; přetížený prostor pro posádku.

Zdroj: [17]

Kromě hmotnostní a konstrukční nekompatibility mezi vozidly hraje neméně významnou roli odlišnost geometrická. Kompaktní rozměry vozidel určených převážně pro provoz ve městě jsou v kontrastu s velkými SUV a MPV a jejich deformační prostory jsou malé. Právě těmto vozidlům při střetu s jejich větším protějškem nezbyvá než se spoléhat na dostatečně velkou a přiměřeně tuhou deformační zónu jejich většího protějšku, která by pohltila větší část nárazové energie. Velice významným parametrem je také světlá výška vozidla a výška nosných struktur karoserie. Určitá pravidla zde sice existují alespoň pro výšku předního nárazníku (okolo 450 mm), za kterým jsou zpravidla umístěny hlavní nosné struktury čelní části vozidla (nárazníkový nosník s podélníky), ale ne vždy je toto možné dodržet. Navíc je tato kóta proměnná díky klonění karosérie vlivem intenzivního brzdění, které často samotnému nárazu předchází. Ještě problematičtější je rozdílnost světlé výšky při bočním nárazu. Vozidla s vyšší světlou výškou a vyšší stavbou karoserie (pasažéři obvykle sedí výše než je obvyklé u sedanů) mají v tomto případě značnou výhodu. Naproti tomu, když takové vozidlo narazí do vozidla se světlou výškou, která odpovídá standardu menších vozidel, je náraz veden z velké části nad výztuhami ve dveřích a A a B sloupek zachytí jen část celkového zatížení, což vede k nebezpečným invazním deformacím do prostoru pro posádku naráženého vozidla.

Z uvedeného vyplývá, že sestrojít zcela kompatibilní vozidla napříč všemi kategoriemi je velice náročný úkol. Často zde jde proti sobě řada požadavků kladených na vozidlo a to nejen z hlediska celkové bezpečnosti vozidla, ale i hospodárného a ekologického provozu, designu a užitných vlastností. Z uvedených oblastí nekompatibility, tedy hmotnostní, rozměrové a konstrukční, zřejmě nejvíce využitelného potenciálu v sobě skrývá právě oblast konstrukční. Téměř každý výrobce se prozatím tuto stránku snažil vyřešit pomocí vlastního

vývoje orientovaným primárně na bariérové nárazové testy. Kompatibilita mezi poměrně širokým spektrem vozidel si již však vyžaduje spolupráci mezi jednotlivými výrobci a sjednocení řady konstrukčních a rozměrových parametrů. A právě toto činí největší překážku ve zlepšování vzájemné kompatibility automobilů. Prozatím se určitých povzbudivých výsledků podařilo dosáhnout pouze v rámci některých automobilových koncernů – např. Renault [17].



Obr. 40 Rozdíl mezi dvěma generacemi konstrukce přídě vozidla - vlevo starší generace s hlavní nosnou strukturou v podobě podélníků, vpravo – nová generace se zvýšenou tuhostí a zlepšenou kompatibilitou.

Zdroj: Honda [21]

4.3 Tvorba a ladění fuzzy inferenčního systému

Na úvod této kapitoly je zřejmě vhodné ve stručnosti zopakovat, na jakých parametrech je hodnocení pasivní bezpečnosti vozového parku založené. Jako základní charakteristiky, které významně ovlivňují pasivní bezpečnost vozidla, byly zvoleny: hmotnost vozidla zastoupená pohotovostní hmotností, pasivní bezpečnost dle hodnocení nárazových testů programu Euro NCAP, případně její odhad, a věk vozidla vyplývající z uspořádání dat v CRV. Důležitá je rovněž kompatibilita/nekompatibilita vozidel, která se ale v době zpracovávaných výsledků jevila spíše jako faktor, jehož vliv je možné zohlednit v předchozích třech parametrech, než aby tvořila zcela samostatnou skupinu.

Pro samotné stanovení bezpečnosti vozového parku z uvedených parametrů je třeba zvolit vhodnou metodu, která bude adekvátní charakteru nashromážděných dat a zamýšleného výsledku. Prakticky celá předchozí kapitola 4.2 se zabývala vlivem zvolených parametrů na bezpečnost vozidla a v závěru každé z nich je uveden popis, jak byla data získávána a k jakým zjednodušením, zobecněním a odhadům bylo nutné přistoupit. Z uvedeného je zřejmé, že na taková data je zbytečné nasadit nástroj, který by s úzkostlivou přesností vstupní hodnoty syntetizoval a následně jim přiřadil výstupní veličinu. Rovněž se od výsledku neočekává, že podá obraz bezpečnosti vozového parku s přesností na několik desetinných míst. Spíše jde o to, stanovit stupeň úrovně pasivní bezpečnosti vozového parku v rámci určité škály či stupnice. Pro přiblížení charakteru zamýšleného výsledku by se dalo použít připodobnění ke hvězdičkovému hodnocení nárazových testů. Z toho vyplývá, že na celý problém bude vhodné nahlížet jako na klasifikační úlohu.

Tomu nahrává i charakter vstupních proměnných. Jednoznačné třídění do skupin je přímo užito při hodnocení nárazových testů podle metodiky Euro NCAP, tedy ohodnocení počtem hvězdiček. U ostatních dvou vstupů je toto možné rovněž učinit vhodnou volbou intervalů hmotnosti nebo let a každému z nich přiřadit určitý stupeň nebo ohodnocení ve vztahu k bezpečnosti. Prakticky se zde jedná o rozdělení celého spektra hodnot každé vstupní proměnné na menší celky, respektive množiny, přičemž každá takto vytvořená množina charakterizuje v ní obsažené prvky jediným atributem. Tato cesta se jeví jako schůdnější a intuitivnější, než se za každou cenu snažit každý ze vstupů převést na matematickou funkční závislost dvou proměnných a s těmi následně pracovat.

Má to však i jedno úskalí. Rozčlenění každého vstupního parametru na menší intervaly vede ke kategorickému zařazení konkrétní hodnoty do jedné z vytvořených množin. To je však u řady reálných věcí a rovněž i lidského myšlení problematické. Určitou skupinu hodnot, ležících většinou na hranicích intervalů nebo v jejich blízkosti, by bylo možné zařadit primárně do jedné z množin, ale rovněž částečně i do množiny sousední. Takováto neurčitost nebo nejistota příslušnosti činí problém především v rozhodovacích procesech. Uvedenou nejistotu lze řešit například zúžením intervalů a současným zvýšením jejich počtu. To ale systém činí méně přehledným a ve svém důsledku přibližuje spíše funkčnímu popisu vstupních proměnných. Druhou variantou je opustit koncept striktně od sebe oddělených

množin a přijmout nový, založený na možnosti vzájemného prolnutí hranic, u kterých by bylo možné stanovit, nakolik určitá hodnota patří ještě do jedné a nakolik už do druhé množiny. Tedy hranice množin by nebyly zcela jednoznačné, ale jakoby rozostřené. Výhoda takového přístupu spočívá v tom, že je velice blízko popisu pomocí přirozeného jazyka. Verbální vyjadřování umožňuje díky bohatosti jazyka vhodně popsat nejen samotné vstupní parametry, ale rovněž vztahy mezi nimi a je pro člověka tím nejzákladnějším a nejpřirozenějším způsobem sdělení.

Jak bylo uvedeno v kapitole 3.1, metodou, která disponuje nástrojem schopným pracovat s takovým vyjádřením vstupů, je výpočetní inteligence, konkrétně fuzzy množiny. V následujících kapitolách bude nastíněn popis tvorby fuzzy inferenčního systému (FIS) v programovém prostředí Matlab s doplňkem Fuzzy Toolbox a jeho ladění.

4.3.1 FIS typu Mamdani

Všeobecná struktura FIS byla již nastíněna v kapitole 3.1, kde byly rovněž uvedeny dva základní typy FIS – Mamdani a Takagi – Sugeno. Jejich struktury se vzájemně od sebe liší, což předurčuje vhodnost jejich použití na různé typy úloh (Mamdani – klasifikační úloha, Takagi – Sugeno – predikce).

Za základ každého FIS lze považovat bázi podmíněných pravidel. Ta se skládají z určitého počtu podmíněných pravidel, které se používají na tvorbu podmínkových výroků. Struktura podmíněných pravidel pro FIS typu Mamdani bude představena v následujících odstavcích.

Necht' $x_1, x_2, \dots, x_p, \dots, x_n$ jsou vstupní proměnné definované na referenčních množinách $X_1, X_2, \dots, X_p, \dots, X_n$ a y je výstupní proměnná definovaná na referenční množině Y . Potom FIS má n vstupních proměnných a jednu výstupní proměnnou. Každou množinu X_i , $i=1, \dots, n$, je možné rozdělit na p_j , $j=1, \dots, m$, fuzzy množin $\mu_1^{(i)}(x), \mu_2^{(i)}(x), \dots, \mu_{p_j}^{(i)}(x), \dots, \mu_m^{(i)}(x)$. Jednotlivé fuzzy množiny $\mu_1^{(i)}(x), \mu_2^{(i)}(x), \dots, \mu_{p_j}^{(i)}(x), \dots, \mu_m^{(i)}(x)$, $i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, m$ představují přiřazení hodnot jazykových proměnných, které se vztahují k množinám X_i . Podobně množina Y je rozdělena na p_k , $k=1, \dots, o$, fuzzy množin $\mu_1(y), \mu_2(y), \dots, \mu_{p_k}(y), \dots, \mu_o(y)$. Fuzzy množiny $\mu_1(y), \mu_2(y), \dots, \mu_{p_k}(y), \dots, \mu_o(y)$ představují přiřazení hodnot jazykových proměnných pro množinu Y . Potom podmíněné pravidlo ve FIS typu Mamdani je možné zapsat ve tvaru [2]

$$\begin{aligned} & \text{IF } x_1 \text{ is } A_1^{(i)} \text{ AND } x_2 \text{ is } A_2^{(i)} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_{p_j}^{(i)} \text{ THEN } y \text{ is } B, \\ & i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m, \end{aligned} \quad (27)$$

kde

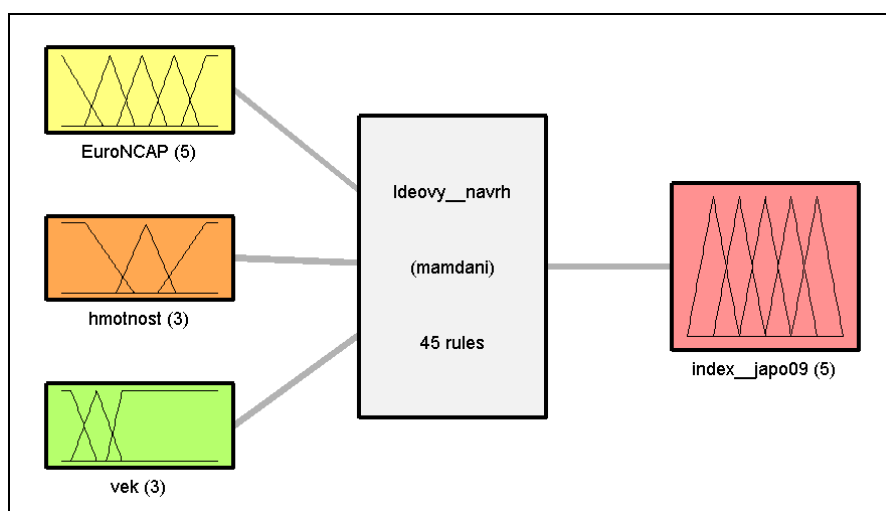
- $A_1^{(i)}, \dots, A_{p_j}^{(i)}$ reprezentují hodnoty jazykové proměnné, které odpovídají fuzzy množinám $\mu_1^{(i)}(x), \mu_2^{(i)}(x), \dots, \mu_{p_j}^{(i)}(x), \dots, \mu_m^{(i)}(x)$, $i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, m$,

- B reprezentuje hodnoty jazykové proměnné, které odpovídají fuzzy množinám $\mu_1(y)$, $\mu_2(y)$, ..., $\mu_{pk}(y)$, ..., $\mu_o(y)$, $k=1, \dots, o$.

4.3.2 Ideový návrh FIS

Na základě všeobecné struktury fuzzy inferenčního systému uvedeného v kapitole 3.1, byl vytvořen ideový návrh FIS pro stanovení pasivní bezpečnosti vozového parku. Ideový návrh FIS, který reprezentuje prvotní představu o skladbě FIS, byl založen na metodě Mamdani a je tvořen:

- třemi vstupními proměnnými (Euro NCAP, hmotnost, věk),
- bází podmíněných pravidel a
- jednou výstupní proměnnou (index_japo09).



Obr. 41 Fuzzy inferenční systém ideového návrhu: 3 vstupy, 1 výstup, 45 pravidel

Takto vytvořený FIS se stal základem a odrazovým můstkem pro další zlepšování a ladění nových variant FIS.

4.3.3 Vstupní proměnné ideového návrhu

Aby na vstupní parametry, ve FIS nazývané jako proměnné, mohla být aplikována báze podmíněných pravidel, je nutné vstupní údaje fuzzifikovat. K tomu účelu je v rámci každé proměnné vytvořeno několik funkcí příslušnosti. Ty se vytváří nad uspořádanou množinou hodnot (na obrázcích bude představována vodorovnou osou), které vstupní proměnnou charakterizují. Tato množina je ohraničena minimální a maximální hodnotou, kterou může charakteristická hodnota nabývat, a nazývá se univerzum. Následným procesem fuzzifikace pak lze vstupující ostrou hodnotu z univerza transformovat na hodnotu odpovídající funkci příslušnosti.

V ideovém návrhu byly pro všechny vstupní proměnné zvoleny trojúhelníkové, respektive lichoběžníkové funkce příslušnosti, které jsou základními a nejjednoduššími tvary funkcí příslušnosti. Tento druh tvarů funkcí příslušnosti byl zvolen z důvodu snadné

konstrukce funkcí příslušností a rovněž z důvodu snadnosti následné kontroly správné funkce systému.

Vstupní proměnná Euro NCAP

První vstupní proměnnou, která prošla zpracováním, bylo hodnocení pasivní bezpečnosti vozidla podle nárazových testů Euro NCAP. Z hlediska principu tvorby funkcí příslušnosti se totiž jednalo o nejméně náročnou vstupní proměnnou, protože již samotné hodnocení testů je klasifikováno pomocí pěti stupňů podle počtu dosažených hvězdiček. Samotné hvězdičkové hodnocení ale není z pohledu fuzzy množin příliš vhodné a je blíže spíše klasickému pojetí množin – tedy prezentuje jednoznačné zatřídění do příslušné skupiny podle počtu dosažených hvězdiček. Při bližším pohledu na hodnocení, kterému již byl v této práci věnován poměrně velký prostor, je ale zřejmé, že tak jednoznačné zařazení do příslušné skupiny hvězdiček to zase není.

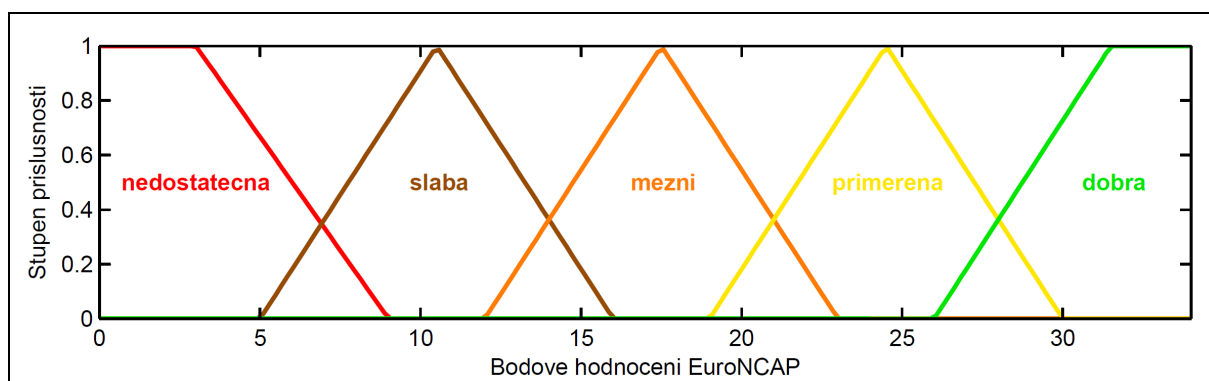
Počet udělovaných hvězdiček vždy odpovídá konkrétnímu intervalu bodů, které vozidlo získá ze sledovaných parametrů podle zřetelně definované metodiky. Nastává však otázka nakolik se od sebe liší dvě vozidla přibližně stejné velikosti a hmotnosti, pokud jsou ohodnocena například dvěma a třemi hvězdičkami, přičemž bodový rozdíl mezi nimi činí pouze jeden bod. První z nich tedy dosáhlo počtu bodů uzavírajících dvouhvězdičkový interval a druhé naopak takového bodového hodnocení, že spadá už na samotný počátek tříhvězdičkového intervalu. Při šířce jednoho intervalu odpovídajícímu zhruba diferenci šesti bodů je zřejmé, že tato vozidla nejsou svým stupněm ochrany posádky od sebe natolik vzdálena, jak to vyplývá z hvězdičkového hodnocení. Ve skutečnosti je tomu právě naopak – vlastnosti obou vozidel z hlediska nárazových testů si jsou velice blízké.

První vozidlo by se tedy z hlediska počtu bodů dalo charakterizovat tak, že sice více spadá do dvouhvězdičkového hodnocení, ale současně také částečně už do tříhvězdičkového. U druhého vozidla by tomu bylo zřejmě naopak. Takový popis hodnocení velice dobře koresponduje s myšlenkou fuzzy množin a lze jej dokonce považovat za názorný příklad popisu vstupní proměnné pomocí funkcí příslušnosti. Univerzum v tomto případě bude tvořit počet bodů, které lze při nárazových testech Euro NCAP získat. Zde je potřeba zdůraznit, že do bodového hodnocení nebyly započítávány body získané za systém připomenutí zapnutí bezpečnostních pásů a nárazu na sloup (maximálně celkem 4 body). V úvahu je bráno pouze hodnocení vycházející z čelního a bočního nárazu, přičemž maximální součet při nejlepším hodnocení je 32 bodů.

Důvodem proč není do hodnocení započten systém připomenutí zapnutí bezpečnostních pásů je předpoklad, že posádka ve svém vlastním zájmu používá všech dostupných bezpečnostních prvků. Je známo, že ve skutečnosti tomu tak zcela není, ale tomu nezabrání ani tento systém. Zkouška nárazu na sloup je podmíněna vybavením vozidla hlavovými airbagy a jedná se spíše o doplňkovou zkoušku, za kterou lze získat navíc maximálně dva body. Touto zkouškou tedy prošel jen zlomek vozidel, jejichž celková

bezpečnost už je sama o sobě na velice dobré úrovni blížíci se maximu bodů získaných z čelního a bočního nárazu. Z pohledu hodnocení není tedy přínos dalších dvou bodů už nijak závratný. V budoucnu ale lze i výsledky této zkoušky do hodnocení zahrnout. Kvůli tomuto zamýšlenému kroku není univerzum omezeno 32 body, kterým by odpovídal maximální součet za čelní a boční náraz, ale 34 body, které představují maximální možné bodové ohodnocení včetně zkoušky nárazu na sloup.

Nad univerzem bylo vytvořeno pět funkcí příslušnosti, přičemž každé funkci příslušnosti odpovídá o něco širší interval bodového hodnocení než přísluší danému počtu hvězdiček. Funkce příslušnosti se tak vzájemně překrývají, přičemž jejich vzájemné průniky ukazují na neurčité přiřazení hodnocení do jedné nebo druhé skupiny. Jak bylo uvedeno výše, funkce mají trojúhelníkovitý tvar (první a poslední funkce má tvar lichoběžníkovitý) a jejich vrcholy odpovídají na vodorovné ose středům intervalů, nad kterými jsou vytvořeny. Jednotlivé funkce příslušnosti jsou pojmenovány podle úrovně ochrany, kterou je možné konkrétnímu vozidlu přiřadit: nedostatečná, slabá, mezní, přiměřená a dobrá. Na obrázku (Obr. 42) jsou znázorněny funkce příslušnosti vstupní proměnné Euro NCAP.



Obr. 42 Funkce příslušnosti vstupní proměnné Euro NCAP

Vstupní proměnná Hmotnost vozidla

Vlivu hmotnosti na bezpečnost vozidla byl již v kapitole 4.2.4 věnován poměrně velký prostor. Ačkoli se možná zdá, že závěry některých studií nejsou zcela ve vzájemném souladu, je to spíše způsobeno jejich interpretací. Na hmotnost jako parametr ovlivňující bezpečnost vozidla lze prakticky nahlížet třemi způsoby:

- jako na ochranný element vlastních pasažérů vozidla,
- prvek ovlivňující zranění pasažérů protějšního vozidla a nebo
- celkový společenský efekt, který bere v úvahu obě předcházející možnosti a slučuje je do jednoho celku.

Závěry vyvozené z těchto tří pohledů se vzájemně značně liší a velice záleží, který z nich se pro interpretaci vlivu hmotnosti na bezpečnost vozidla právě použije.

Pro hmotnost vozidla jako další vstupní proměnnou do FIS byla zvolena interpretace podle prvního bodu. Hmotnost je zde tedy vnímána jako činitel mající vliv na ochranu

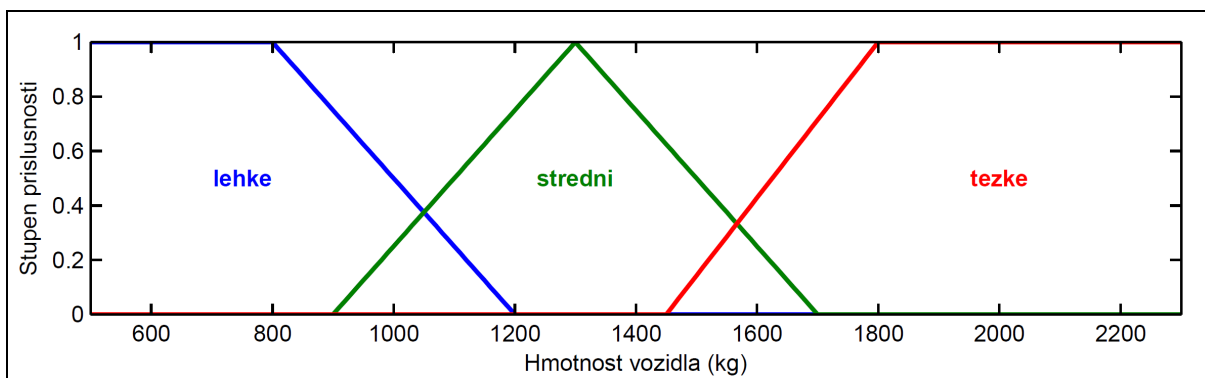
vlastních pasažérů vozidla, což je v souladu i s tím, jak je vnímáno a prezentováno hodnocení pasivní bezpečnosti vozidla podle nárazových testů. Jedině touto interpretací může hmotnost hodnocení nárazových testů doplnit.

Vliv hmotnosti na bezpečnost vozidla v tomto pojetí by se oproti hodnocení bezpečnosti vozidla pomocí nárazových testů dal tentokrát snadněji popsat pomocí funkční závislosti, jako např. na Obr. 35 v kapitole 4.2.4. Na druhou stranu je otázkou nakolik by tak přesný popis byl stabilní – zda by odvozené koeficienty funkce byly stejné, kdyby se data sbírala delší nebo kratší dobu nebo z jiného vzorku vozidel. Zřejmě by se v takových případech dospělo k podobným funkcím s trochu jinými koeficienty. Na to, aby bylo možné stanovit interval přesnosti takové funkce však není dostatek informací a obvykle se to neuvádí ani v prostudovaných zprávách nebo studiích.

Je opět vhodné zvolit jiný nástroj, který by dokázal popsat vliv hmotnosti na bezpečnost vozidla obecným způsobem a s takovou přesností, která by odpovídala ostatním vstupním parametrům. Vzhledem ke zvolené metodě popisu pro nárazové zkoušky Euro NCAP je přirozené použít stejný nástroj i k popisu vlivu hmotnosti na bezpečnost vozidla. Popis pomocí funkcí příslušnosti je pak i prakticky obecně platný a verbálně vyjádřitelný.

Univerzum vstupní proměnné *Hmotnost vozidla* je tvořeno množinou pohotovostních hmotností vozidel obsažených ve vozovém parku. Jedná se tedy o hmotnostní interval ohraničený minimální (Fiat 500 – 500kg) a maximální (Nissan Patrol – 2300kg) hodnotou pohotovostní hmotnosti vozidel nacházejících se ve zpracovávaném souboru. Nad takto ohraničeným univerzem jsou vytvořeny funkce příslušnosti vyjadřující zařazení vozidla do jedné z kategorií slovně popisujících velikost hmotnosti.

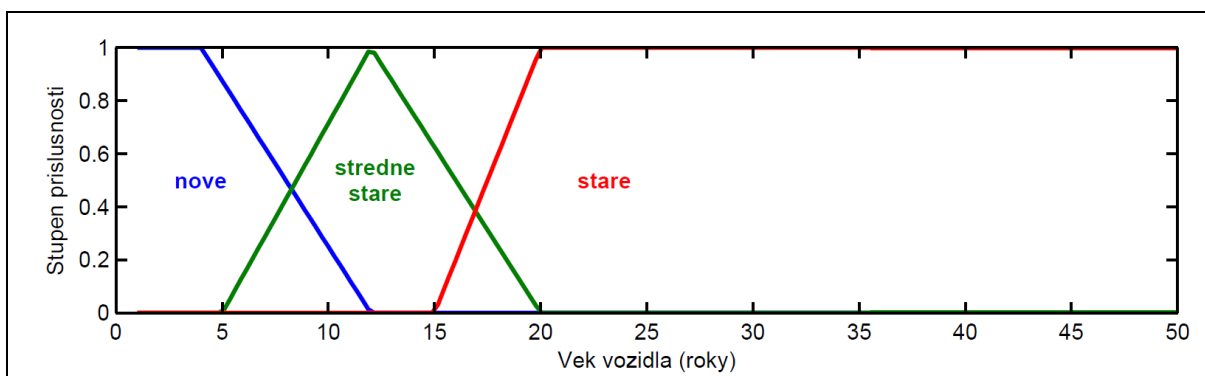
Pro ideový návrh byly zvoleny dvě lichoběžníkové a jedna trojúhelníková funkce příslušnosti popisující velikost hmotnosti vozidla – lehké, střední a těžké (Obr. 43). Narozdíl od hmotnostních kategorií dle NHTSA v kapitole 4.2.4 (Tabulka 19) je zde zvoleno mnohem hrubší dělení. To lze odůvodnit charakterem vstupních dat a jednoduchostí slovního popisu. Jak již bylo dříve uvedeno, hmotnost vozidla závisí na jeho motorizaci, výbavě a typu karoserie. Vozidlo reprezentující skupinu vozidel jednoho typu a období výroby tak má přiřazenou pohotovostní hmotnost odpovídající zhruba středu intervalu pohotovostních hmotností uvažované skupiny nebo nejžádanějšímu typu motorizace a karoserie. Hmotnostní rozdíly mezi jednotlivými variantami jsou často poměrně významné (100 kg i více) a příliš jemné dělení (na 5 skupin) například podle NHTSA by bylo z tohoto pohledu zavádějící. Ale vzhledem k rozsáhlejšímu univerzu by se v případě nutnosti dalo přistoupit na kompromis - k popisu pomocí čtyř funkcí příslušnosti.

Obr. 43 Funkce příslušnosti vstupní proměnné *Hmotnost vozidla*

Vstupní proměnná *Věk vozidla*

Proces stárnutí není zcela jednoduché jednoznačně popsat. Jak bylo uvedeno v kapitole 4.2.2, zasahuje do něj řada vlivů, které lze obecně zahrnout pod fyzické a morální zastarání. Morální zastarání ve vztahu k pasivní bezpečnosti vozidla je z velké části možné sledovat na vývoji výsledků nárazových testů v průběhu posledních několika let a tudíž je tato část již zahrnuta ve vstupní proměnné Euro NCAP. Co však ve vstupní proměnné Euro NCAP není možné zachytit je vývoj vlastní metodiky a hodnocení výsledků nárazových testů. Ačkoli do roku 2007 nebyla v tomto směru provedena zásadní změna (pouze to byly dílčí obměny v hodnocení bezpečnosti dětí, srážky s chodcem a přidáno bylo hodnocení připomenutí zapnutí bezpečnostních pásů a přítomnost elektronického stabilizačního programu), je třeba s ní do budoucna počítat. Například pro zpracování dat pro rok 2010 to již bude aktuální, protože první významnější změna v metodice hodnocení se udála v roce 2009. Prozatím jsou do proměnné věk zahrnuty zbývající faktory spadající jak do morálního, tak i fyzického zastarání vozidla.

Univerzum vstupní proměnné *Věk vozidla* je tvořeno množinou všech roků od data výroby automobilů registrovaných v CRV do doby publikace dat CRV. Jedná se tak o interval ohraničený stářím nejnovějších vozidel (prakticky nula) a na druhé straně věkem nejstarších vozidel (50 let). Nad univerzem byly stanoveny tři funkce příslušnosti popisující verbálně věk vozidla. Funkce na okrajích univerza jsou lichoběžníkové, prostřední je trojúhelníková a nesou názvy – nové, středně staré a staré (vozidlo) (Obr. 44).

Obr. 44 Funkce příslušnosti vstupní proměnné *Věk vozidla*

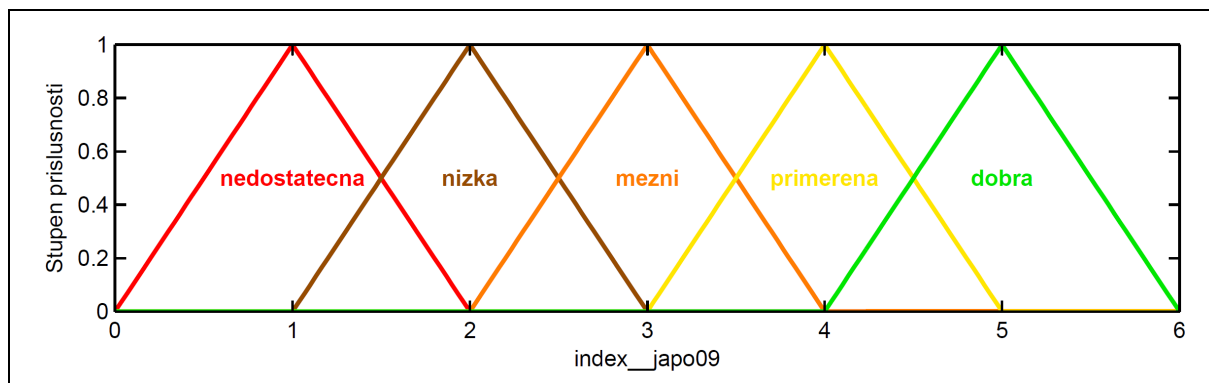
Za nové vozidlo je považován automobil do čtyř let provozu od jeho výroby, kdy se musí poprvé dostavit ke kontrole technického stavu na Stanici technické kontroly. Co se týče fyzického zastarání, je v následném období stav vozidla závislý na proběhu kilometrů, zacházení a údržbě. Morálně však již tento automobil začíná zastarávat. Vozidlo starší deseti let již prakticky nelze nazvat novým, ale spíše středně starým. Právě věk kolem deseti let je obdobím, na které řada výrobců dává záruku na prorezivění karoserie a garantuje bezchybnou funkci některých bezpečnostních systémů. Vozidlo starší dvaceti let lze již označit za staré.

4.3.4 Výstupní proměnná Index_japo09

Výsledné hodnocení bezpečnosti vozového parku by mělo být ve tvaru, který by byl dostatečně jednoduchý a srozumitelný. Jedním z nejpřirozenějších a nejčastějších způsobů je klasifikovat vlastnosti nebo chování objektu či systému do tříd nebo pomocí znázornění na číselné ose. Znázornění na číselné ose má oproti řazení do tříd výhodu přesnějšího určení výsledku, naopak řazení do tříd je přehlednější a názornější. Obě varianty je možné i zkombinovat a mít primární hodnocení podle řazení do tříd a sekundární může přesněji určit umístění v rámci dané třídy.

Tato představa je prakticky totožná s hodnocením Euro NCAP, kdy základní hodnocení je uskutečněno podle počtu hvězdiček, které je odvozeno z počtu dosažených bodů během testování. Vzhledem k tomu, že se takové hodnocení dobře ujalo a vžilo, posloužilo jako inspirace pro hodnocení celkové bezpečnosti vozového parku. Výstupní proměnná Index_japo09 má rovněž pět tříd, kterým odpovídá příslušný počet obdržených bodů. Nejhoršímu hodnocení odpovídá zisk jednoho bodu, naopak nejlepší hodnocení je v případě zisku pěti bodů. Výsledné hodnocení bezpečnosti každého vozidla, respektive celého vozového parku tak lze slovně popsat následujícím způsobem:

- nedostatečná (1 bod),
- nízká (2 body),
- střední (3 body),
- přiměřená (4 body) a
- dobrá (5 bodů) úroveň bezpečnosti vozidla/vozového parku.



Obr. 45 Funkce příslušnosti výstupní proměnné *Index_japo0560*

Takovému hodnocení odpovídá i univerzum výstupní proměnné, na kterém jsou stanoveny uvedené funkce příslušnosti. Aby dobře fungoval defuzzifikační proces je nutné, aby všechny funkce příslušnosti byly trojúhelníkové. Potom ale univerzum nemůže mít rozsah jeden až pět bodů, ale musí být rozšířeno na rozsah nula až šest bodů, přičemž oblasti nula až jeden bod a pět až šest bodů nemají praktické využití. Více toto bude objasněno až v následující kapitole u fuzzifikačního a defuzzifikačního procesu.

4.3.5 Báze podmíněných pravidel

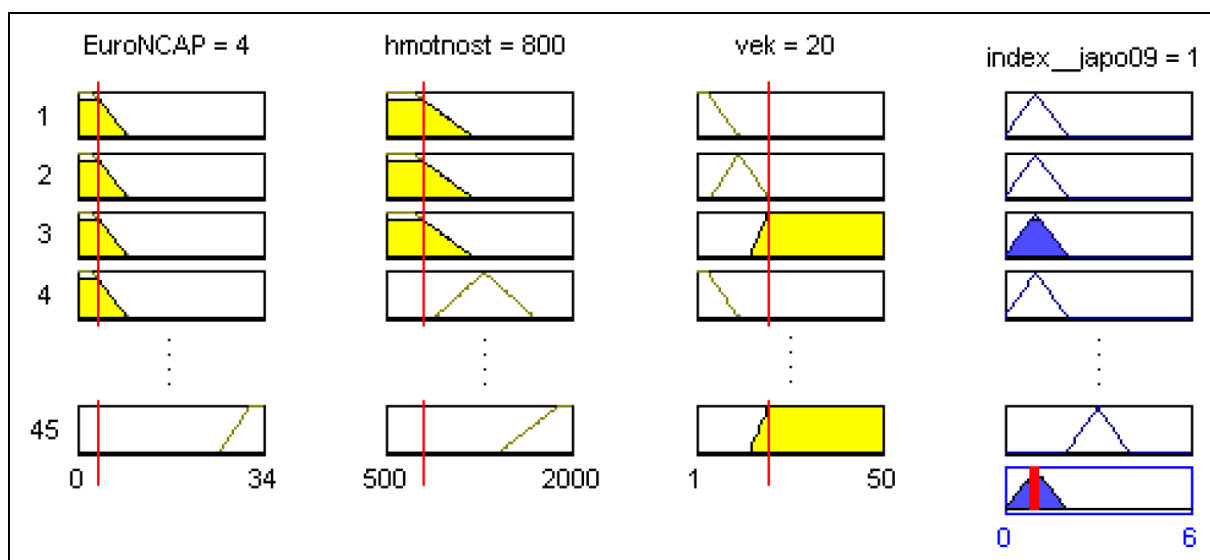
Tvorba báze podmíněných pravidel je vedle fuzzifikace vstupních proměnných nejdůležitější částí systému. Právě tato část klade největší nároky na odbornost, znalost charakteru a významu vstupních proměnných a vztahů mezi vstupními a výstupní veličinou. Jedná se prakticky o jádro expertního systému, kde se realizuje největší přidaná hodnota.

Při vytváření pravidel je různým kombinacím lingvistických hodnot (např.: dobrá úroveň ochrany dle Euro NCAP – těžké vozidlo – nové vozidlo) jednotlivých vstupních proměnných přiřazována hodnota odpovídající výstupní proměnné (např.: celkově dobrá úroveň ochrany). Zde je tedy potřeba stanovit, jaký vliv mají jednotlivé vstupní proměnné a kombinace jejich lingvistických hodnot na výsledné lingvistické hodnocení. To nelze učinit bez dobré znalosti vstupních veličin a podrobné analýzy jejich příspěvku k bezpečnosti vozidla, které jsou součástí předcházejících kapitol.

Obecně by se dalo říci, že při přiřazování vstupních parametrů výslednému slovnímu hodnocení hrály primární roli bezpečnost vozidla dle Euro NCAP a hmotnost. Hodnocení odvozené z těchto dvou parametrů se následně upravovalo podle parametru věk vozidla, přičemž některé kombinace se díky tomu ukázaly z hlediska časového původu dat jako nereálné (např. vozidlo starší dvaceti let stěží mohlo mít hodnocení nárazových testů lepší než tři hvězdičky dle Euro NCAP, apod.). Nicméně i tyto byly v systému ponechány pro případné budoucí úpravy pravidel a hodnocení bezpečnosti vozového parku příštích let, kdy i tyto varianty mohou nastat. V případě parametru věk vozidla bylo částečně přihlédnuto i k získaným znalostem o nekompatibilitě vozidel. Výpis báze podmíněných pravidel je uveden v Příloze 7.

Antecedentní část pravidel je tak tvořena lingvistickými hodnotami, které byly definovány u jednotlivých vstupních proměnných, spojených fuzzy logickým operátorem *and* (průnik) s aplikací metody *min* (minimum – určující je nejmenší stupeň příslušnosti). K implikaci antecedentu na konzekvent reprezentovaný funkcí příslušnosti výstupní proměnné se rovněž použila metoda *min* (zmenšení fuzzy množiny dle stupně příslušnosti z antecedentní části pravidla). Pro následný agregační proces konzekventů byla pro ideový návrh FIS zvolena a použita metoda *max* (maximum – sjednocení). Na defuzzifikaci tímto způsobem agregované fuzzy množiny byla aplikována metoda *centroid* (těžiště plochy pod křivkou agregované fuzzy množiny), která převádí agregovanou fuzzy množinu na reálné číslo.

Zde je vhodné se zmínit o důvodu rozšíření univerza výstupní proměnné na širší interval, než jakému odpovídá počet funkcí příslušnosti (původně zamýšlený počet hodnotících stupňů), které v předcházející kapitole byly uvedeny jako lingvistické hodnoty. Vysvětlení tkví v defuzzifikačním procesu, kde díky metodě *centroid* odpovídá výsledná hodnota procesu vodorovné souřadnici těžiště plochy agregované fuzzy množiny. Jsou-li u výstupní proměnné použity trojúhelníkové funkce příslušnosti a například nejhorší hodnocení má odpovídat číslu jedna, musí se těžiště plochy rovnoramenného trojúhelníka agregované fuzzy množiny nacházet právě nad číslem jedna (Obr. 46). Podobně je tomu tak i v případě nejlepšího hodnocení, kterému odpovídá číslo pět. Výsledné číslo je tak v každém případě omezeno uzavřeným intervalem $\langle 1;5 \rangle$ a může nabývat reálných hodnot pouze z tohoto intervalu.



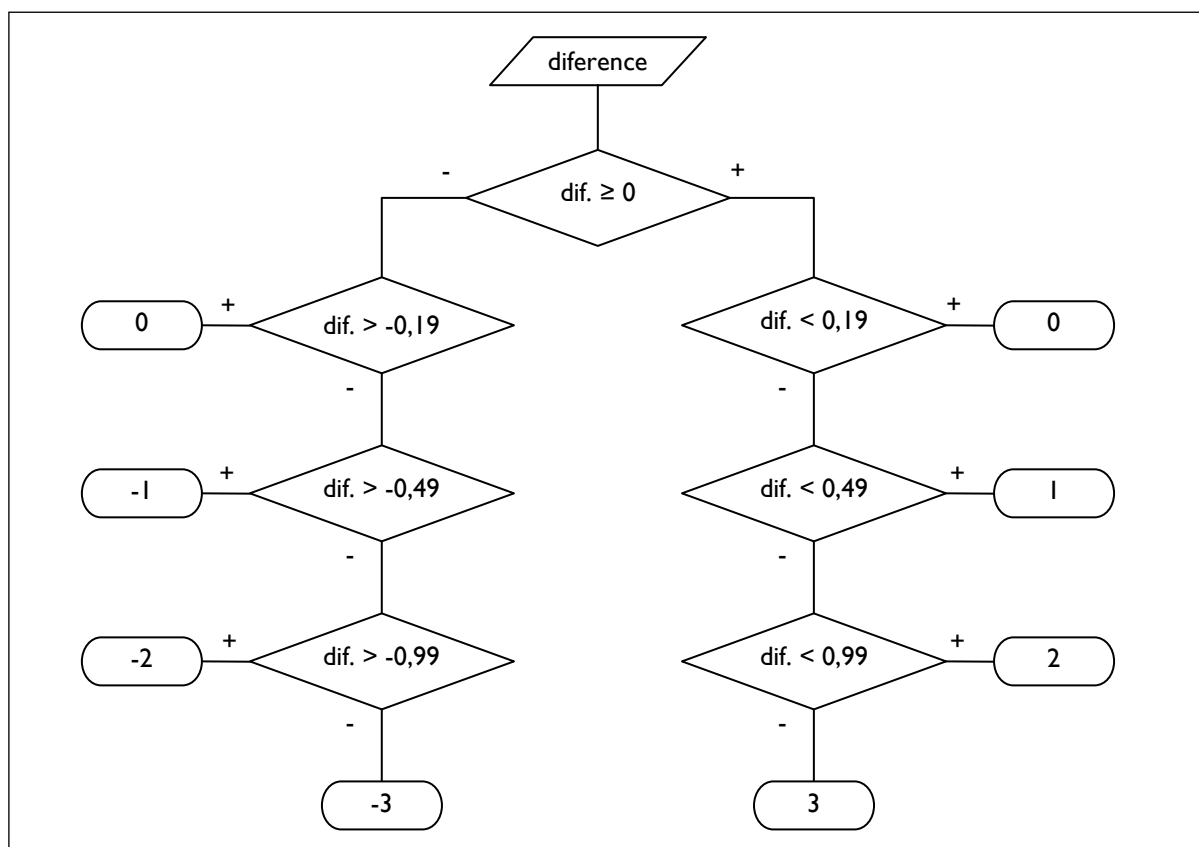
Obr. 46 Aplikace metody *centroid* na agregovanou fuzzy množinu (modrý trojúhelník v modrém rámečku)

Vztahy mezi jednotlivými vstupními proměnnými a výstupní proměnnou jsou graficky znázorněny na 3D grafech v tabulce v Příloze 8. V každém sloupci je uveden vždy jiný typ grafu. Jelikož je možné znázornit vztahy pouze mezi dvěma vstupními proměnnými a výstupní proměnnou, musí být zbývající vstupní proměnná fixována na konkrétní hodnotě. Grafy ve sloupcích se tedy od sebe liší různou kombinací vstupních proměnných a v řádcích fixovanou hodnotou zbývající proměnné.

4.3.6 Úpravy a ladění FIS

Jelikož byl ideový návrh prvotní verzí FIS, bylo nutné ověřit produkované výsledky a popřípadě navrhnout úpravy a systém odladit. K tomuto účelu byl vytvořen výběrový soubor 54 automobilů různého věku, hmotnosti a hodnocení Euro NCAP, přičemž některé automobily se lišily pouze jedním z parametrů. U každého z vozidel ve výběrovém souboru byl na základě jejich parametrů proveden odhad jejich celkové bezpečnosti. Na parametry vozidel byl rovněž aplikován ideový návrh FIS a výsledky byly porovnány s odhadem.

Porovnávání odhadu a výsledků z FIS bylo provedeno na základě jejich vzájemné difference. Aby bylo hned na první pohled zřetelné, nakolik se hodnoty vzájemně liší, byl vypracován systém hodnocení diferencí. Ten spočívá v rozdělení hodnot diferencí na intervaly, které byly ohodnoceny kladnými a zápornými čísly, jak je zřejmé z rozhodovacího schématu na obrázku (Obr. 47). Diferenci o velikosti $\pm 0,2$ bodů lze považovat za přijatelnou a je tedy ohodnocena hodnotou 0. Větším absolutním hodnotám diferencí jsou pak přiřazena čísla 1 až 3, respektive -1 až -3.



Obr. 47 Systém hodnocení diferencí

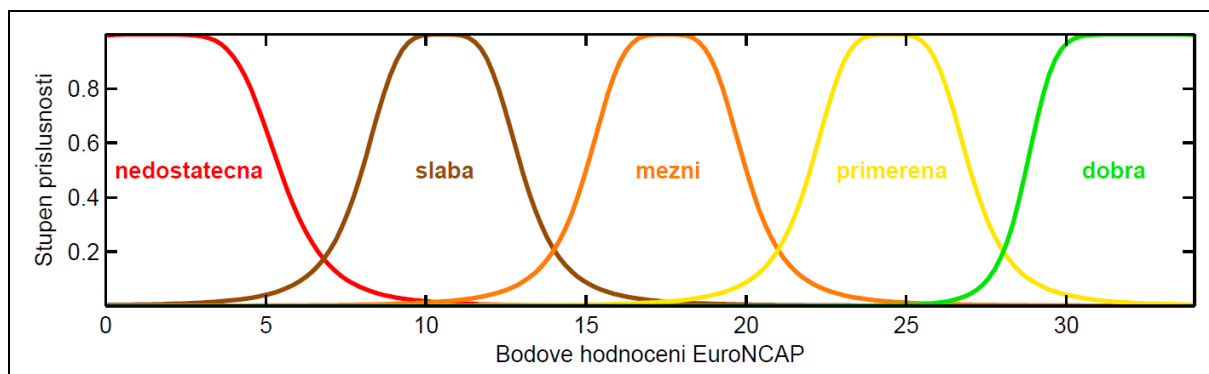
Jelikož Ideový návrh FIS neposkytoval uspokojující výsledky, bylo nutné přistoupit k jeho úpravám a ladění. To proběhlo v několika kolech. V prvním kole úprav bylo vypracováno devět nových variant FIS, které se opět porovnály s výběrovým souborem vozidel dle výše uvedené metodiky a byla vybrána varianta s nejmenšími možnými odchylkami (konkrétně to byla Varianta_07). I ta však stále produkovala ne zcela uspokojivé výsledky.

V druhém kole prošly porovnáním její tři modifikace, přičemž jedna z nich už vykazovala velice slušné výsledky (Varianta_7a). Přesto byly pro dosažení co nejlepšího výsledku připraveny ještě další tři její modifikace, přičemž dvě z nich vykazovaly obdobné výsledky jako Varianta_7a (Varianta_7aa a Varianta_7ac). Zbývající varianta (Varianta_7ab) byla vyloučena, protože zde došlo ke zhoršení diferencí. Na tyto tři ze druhého a třetího kola vybrané varianty bylo nutné aplikovat jiné kritérium, které by rozhodlo o konečné variantě.

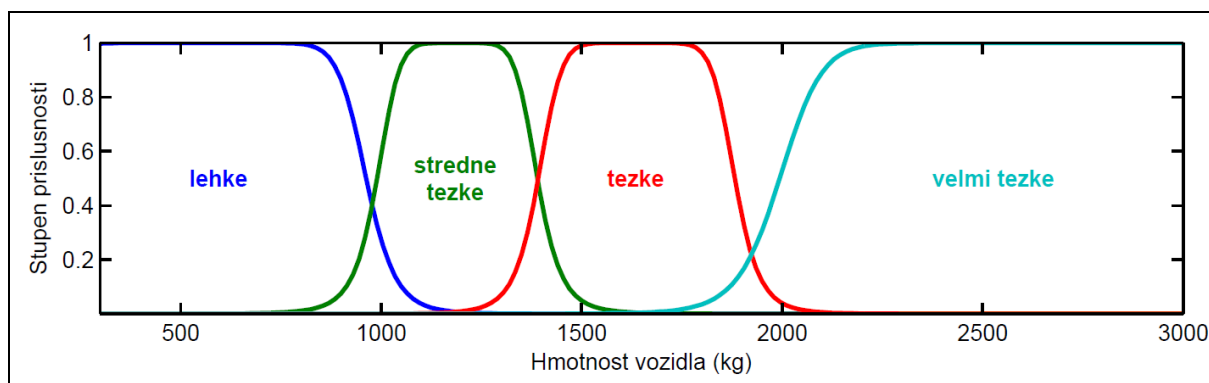
Jelikož všechny vybrané varianty vykazovaly obdobný, ne-li stejný výsledek v hodnocení dle diferencí oproti odhadu, bylo nutné provést pozorování, jak se budou chovat při aplikaci na větší množinu dat z CRV. Pozorování bylo zaměřeno především na vývoj celkového hodnocení konkrétního typu vozidla v závislosti na jeho věku. Jelikož jednotlivé typy automobilů jsou řazeny chronologicky (v rámci generace), byl zde nejlépe viditelný vliv překrytí funkcí příslušnosti a vliv defuzzifikačního procesu a jeho metody. U některých kombinací vstupních hodnot bylo možné pozorovat nesprávné chování výsledků – zatímco věk vozidla se v určitém věkovém intervalu snižoval, hodnocení bezpečnosti mírně klesalo. Logicky by tomu mělo být ale obráceně. Nutno ale dodat, že tento jev se projevoval až na úrovni setin a ve věkových intervalech, kde se nedala očekávat výrazná změna v celkovém hodnocení bezpečnosti vozidla. Ze sledování výsledků na dostatečně velkém vzorku dat (1065 vozidel různých značek, typů a ročníků) byla nakonec vybrána varianta FIS (Varianta_7ac), u které se tento jev projevoval v co nejmenší míře – co do četnosti, tak i míry odchylek.

Výsledky jednotlivých variant a jejich hodnocení dle difference vůči odhadu jsou uvedeny v souboru *Var_vysl.xls* (viz příložené CD).

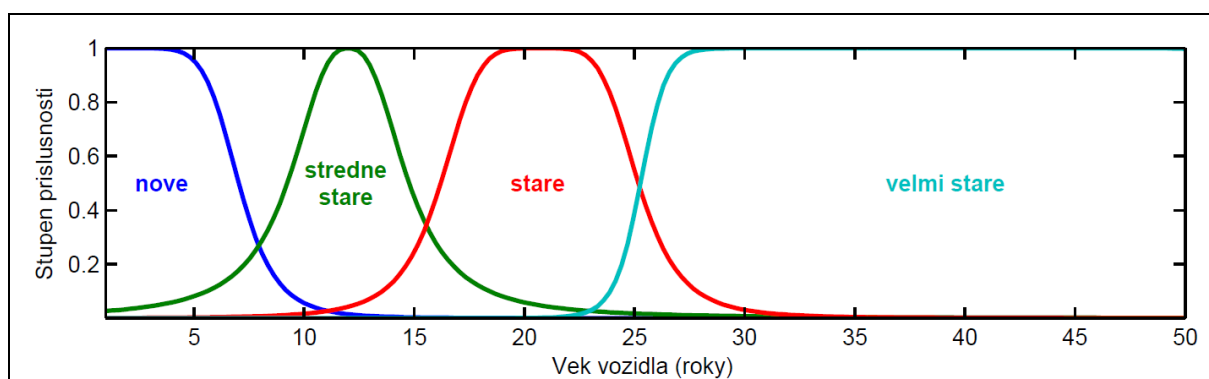
Vítězná varianta FIS Varianta_7ac vykazuje oproti původnímu Ideovému návrhu FIS řadu změn týkajících se téměř všech částí FIS. Původní trojúhelníkové a lichoběžníkové tvary funkcí příslušnosti všech vstupních proměnných byly nahrazeny zvonovými tvary. Zásadnější změny kromě již zmíněného tvaru funkcí příslušnosti byly provedeny u vstupních proměnných *Hmotnost vozidla* a *Věk vozidla*. U obou bylo přidáno po jedné funkci příslušnosti a každá z nich tak má celkem čtyři funkce příslušnosti. Vstupní proměnná *Hmotnost vozidla* má nově rozšířené i univerzum, což nebylo vzhledem k aktuálně vyhodnocovaným datům bezpodmínečně nutné, ale do budoucna to může být využitelné. Znárodnění stupňů příslušnosti jednotlivých vstupních proměnných je na obrázcích (Obr. 48, Obr. 49 a Obr. 50).



Obr. 48 Funkce příslušnosti vstupní proměnné Euro NCAP – Varianta_7ac



Obr. 49 Funkce příslušnosti vstupní proměnné Hmotnost vozidla – Varianta_7ac



Obr. 50 Funkce příslušnosti vstupní proměnné Věk vozidla – Varianta_7ac

Změnami prošla rovněž báze podmíněných pravidel. Díky navýšení počtu funkcí příslušnosti bylo nutné zvýšit i počet pravidel – z původních 45 na 80. To víceméně znamenalo kompletně vytvořit novou bázi pravidel⁹. Lingvistické hodnoty v antecedentní části byly stejně jako u ideového návrhu spojeny fuzzy logickým operátorem *max* s aplikací metody *min*. Změna neproběhla ani u implikační metody antecedentu na konzekvent (metoda *min*) a ani u defuzifikace (metoda *centroid*). Odlišná je pouze metoda použitá při agregačním procesu – zde se ukázala jako nejvhodnější metoda *sum* (prostý součet výstupní množiny každého pravidla).

⁹ Nová báze pravidel byla vytvořena již v druhém kole úprav, pak už následovaly jen mírné změny.

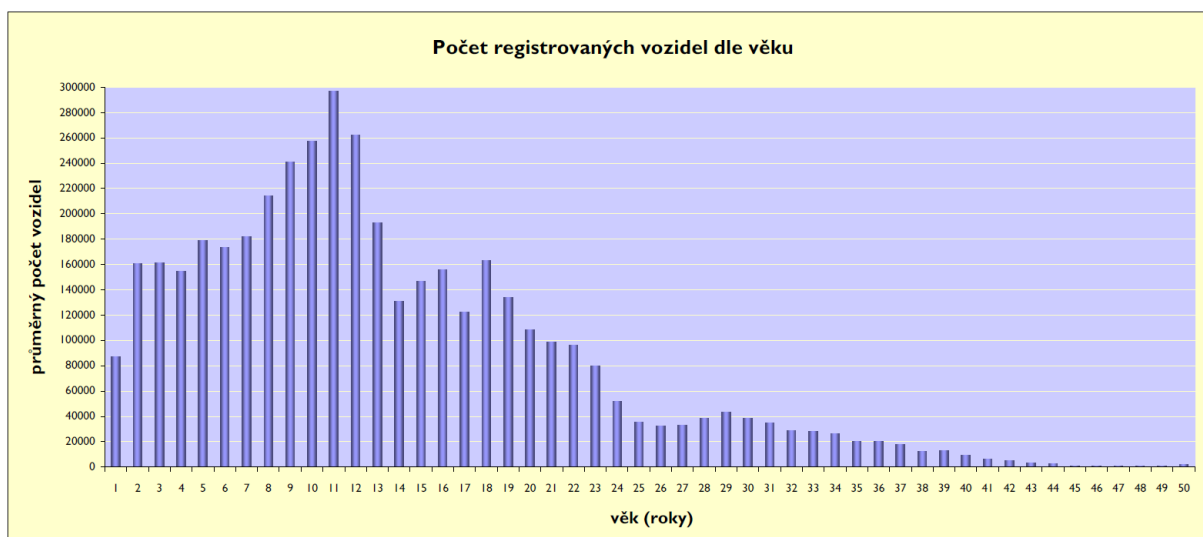
Nutno ještě poznamenat, že výstupní proměnná ani její univerzum a stupně příslušnosti ani jejich tvary změněny nebyly. Vztahy mezi jednotlivými vstupními proměnnými a výstupní proměnnou jsou graficky znázorněny na 3D grafech v tabulce v Příloze 9.

4.4 Výsledky

Finální soubor získaný po úpravách z CRV, doplněný o vstupní parametry do FIS, bude v této kapitole hodnocen a popisován z několika hledisek – jednak z pohledu samotných vstupních dat a pak samozřejmě pomocí výstupní proměnné Index_japo09. Hodnocení je rozděleno do dvou skupin. První skupina výsledků se zaměřuje na parametry vztahované k věku vozidel. Druhá skupina výsledků popisuje různě věkově omezený vozový park. Na závěr bude uvedena celková bezpečnost vozového parku v ČR vztahující se k 1.7.2007.

4.4.1 Hodnocení dle věku vozidel

Hned na úvod je nutné předeslat, co je zde míněno věkem vozidel. Tato otázka již byla nastolena v kapitole 4.2.2, a tak stačí pouze zopakovat, jak byl tento parametr pojat, aniž by byla více rozebírána úskalí, která s sebou toto pojetí nese. Věk vozidla prakticky odpovídá roku výroby vozidla, přičemž interpretace pro věk 1 rok je s ohledem na datum publikace záznamů z CRV míněna tak, že se jedná o vozidla se stářím do jednoho roku. Obdobně je to i s následujícími věkovými kategoriemi – vždy se jedná o celé roční období, tedy od začátku až do konce příslušného roku výroby vozidel.

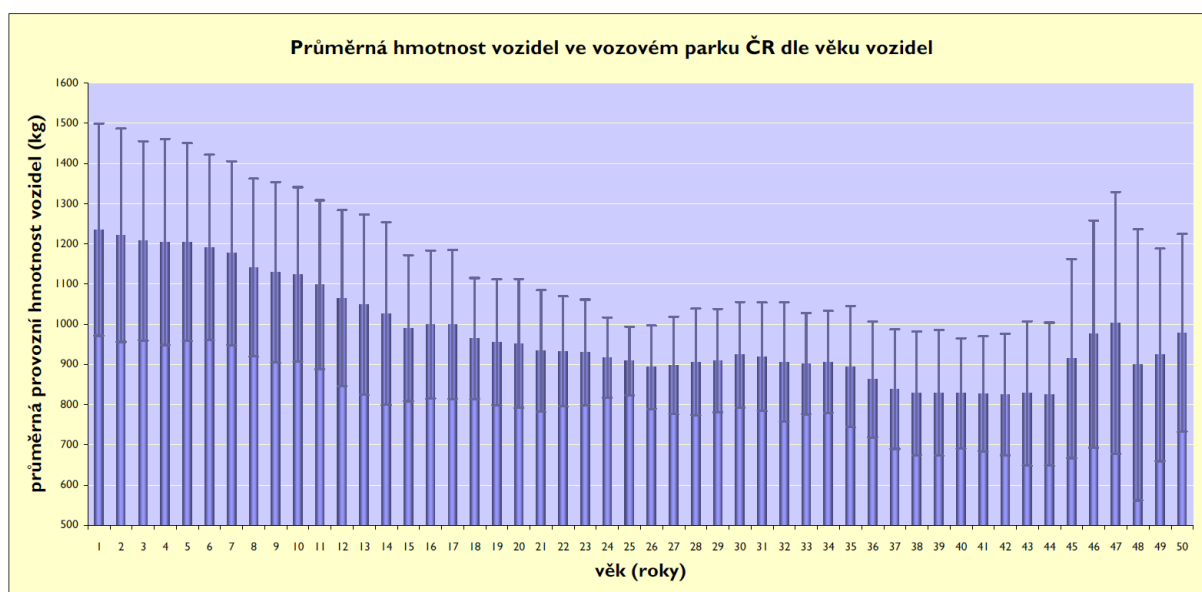


Obr. 51 Počet registrovaných vozidel finálního souboru získaného z CRV uspořádaných dle věku vozidel

Počty vozidel rozdělených do skupin podle věku a obsažených ve finálním souboru získaném úpravami z CRV jsou uvedeny v grafu na Obr. 51. Obdobný graf byl již uveden v kapitole 4.2.3 (Obr. 28), kde místo věku na ose x byl uveden rok výroby vozidla. Tento graf podává názornou představu o struktuře vozového parku ČR (reprezentovaného finálním souborem) z hlediska počtu vozidel konkrétního stáří. Největší počet vozidel, téměř 300 000, je starých jedenáct let. Lze si všimnout, že za touto věkovou hranicí následuje strmý pokles počtu registrovaných vozidel. Ten se nicméně zastavuje na hodnotě zhruba 130 000

registrovaných vozidel a pro vozidla stará 15 až 19 let se stále udržuje na počtu kolem 140 000 vozidel. Naproti tomu počet mladších vozidel až do věku jedenácti let pozvolna narůstá, přičemž výraznější růst lze pozorovat u vozidel starších osmi let. Průměrný věk vozidel ve finálním souboru pak vychází na hodnotu 13,5 roku. Nízký počet vozidel do věku jednoho roku je dán datem, ke kterému byla data publikována – tj. 1.7.2007. Jedná se tedy zhruba o polovinu vozidel, která byla v roce 2007 vyrobena a registrována v CRV. Za připomenutí stojí ještě jeden údaj, který byl již dříve uveden a tím je, že finální soubor obsahuje 98% všech osobních vozidel registrovaných k výše uvedenému datu v CRV ČR.

Vliv pohotovostní hmotnosti vozidla jako jednoho ze vstupních parametrů do FIS na bezpečnost byl již podrobně rozebírán v kapitole 4.2.4. V souvislosti s rozdělením vozidel do kategorií podle jejich věku je možné položit otázku, jakou průměrnou pohotovostní hmotností jsou jednotlivé ročníky charakterizovány a jak se v průběhu času tato průměrná hmotnost vyvíjela. Odpověď na takovou otázku je následující graf (Obr. 52).

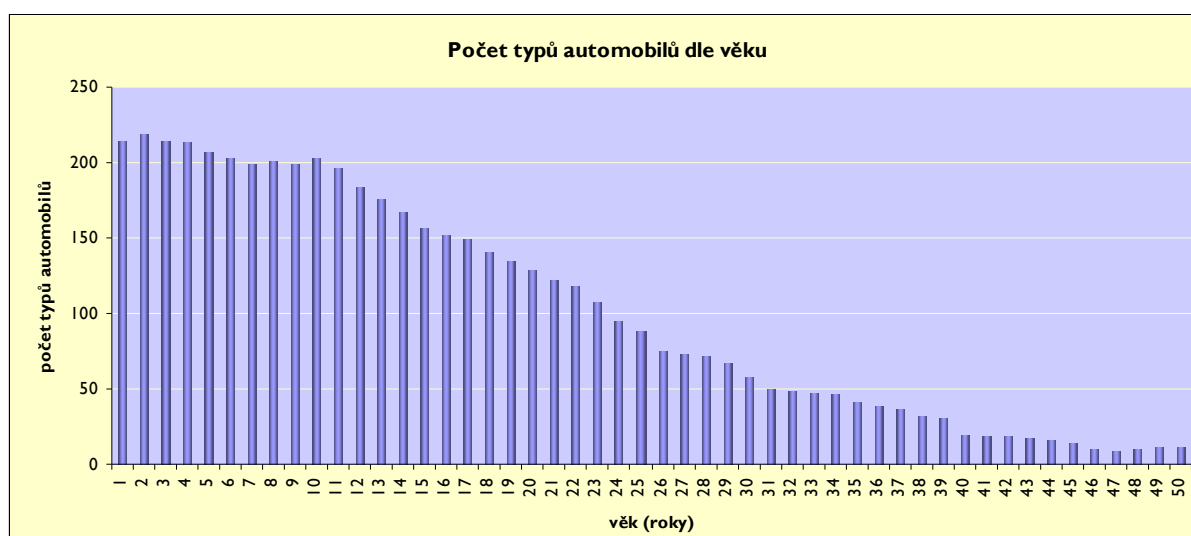


Obr. 52 Vývoj průměrné pohotovostní hmotnosti vozidel ve vozovém parku řazené podle věku vozidel.

Z grafu je patrné, že průměrná pohotovostní hmotnost vozidel ve vozovém parku s rostoucím věkem vozidel klesá. Během posledních dvaceti let (myšleno k datu publikace údajů z CRV) se ve prospěch nových vozidel zvýšila o 300 kg. To jednoznačně dokládá zvyšování hmotnosti automobilů z důvodu zvyšování komfortu a požadavků na odolnost proti nárazu a také zájem a finanční možnosti části společnosti o větší automobily. Poněkud vyrovnanější hodnoty lze pozorovat u vozidel starých přibližně 24 až 34 let, poté následuje další výraznější pokles zhruba o 100 kg (vozidla s věkem kolem 40 let). Průměrné pohotovostní hmotnosti nejstarších ročníků naopak vykazují vyšší hodnoty. To je však způsobeno typově chudou skladbou vozidel (9 až 14 typů – viz. Obr. 53) s nepříliš vysokým počtem kusů a oproti čtyřicetiletým automobilům zde chybí početně nejvýraznější představitel daného ročníku (např. Škoda 1000, která se začala vyrábět až od roku 1964, čemuž odpovídá věk 44 let). Navíc se zde vyskytují vozidla s velkým rozpětím

pohotovostních hmotností – např. Fiat 500 (500 kg) až GAZ 69 (kolem 1535 kg), čemuž odpovídá i směrodatná odchylka 246 kg, v grafu na Obr. 52 znázorněná pomocí chybové úsečky.

Z hlediska hmotnostní různorodosti vyjádřené směrodatnou odchylkou jsou nejméně rozptýlenou skupinou od vypočtené průměrné hodnoty hmotnosti vozidla s věkem 25 let (směrodatná odchylka je zde 100kg). Naopak nejrozmanitějšími skupinami vozidel jsou novější vozidla – čím je věk vozidel nižší, tím je směrodatná odchylka větší (pro vozidla ve věku od jednoho do dvou let je směrodatná odchylka 266 kg). To samozřejmě souvisí s bohatou nabídkou vozidel (viz. Obr. 53), ekonomickou možností majitelů automobilů a rovněž růstem zájmu o těžší vozidla z kategorie SUV, jak již bylo zmíněno výše.

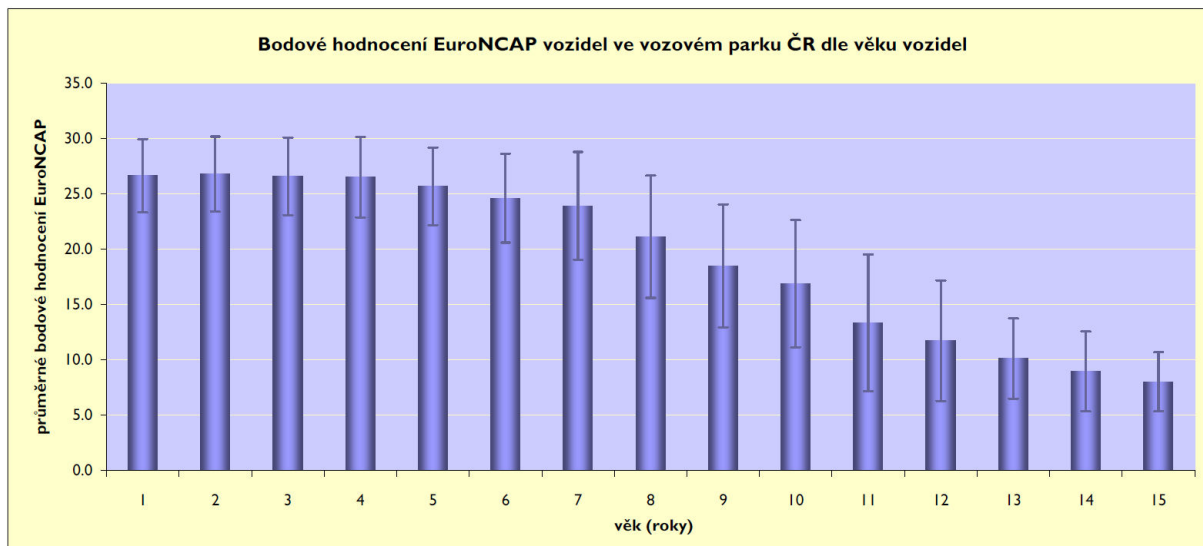


Obr. 53 Počet různých typů (modelů) automobilů řazených dle věku.

Hodnocení bezpečnosti vozidel příslušného stáří podle výsledků nárazových testů Euro NCAP je znázorněno v grafu na Obr. 54. V tomto případě je počet věkových kategorií omezen na 15 z důvodu vzniku programu Euro NCAP a začátku testování. Ačkoli první testy proběhly až v roce 1996, počátek výroby prvních testovaných vozidel spadá už do roku 1993, čemuž odpovídá stáří patnácti let. U skupin vozidel starších 15 let bylo hodnocení zcela odhadnuto a více méně se ustálilo na hodnotě kolem pěti bodů. Nemá tedy příliš velký význam hodnocení těchto skupin vozidel zobrazovat. Hodnocení mladších ročníků je již přesnější, protože se v průběhu času zvyšoval počet hodnocených typů vozidel a naopak se snižoval počet odhadovaných. Nejpřesnější výsledky tedy připadají na nejmladší ročníky (přibližně do stáří sedmi let).

Z grafu je velice dobře patrné, jak se poměrně dramaticky během několika let zvýšila bezpečnost nových automobilů. Program Euro NCAP zafungoval velice dobře a výrobci dokázali velice pružně splnit požadavky, které byly v tomto programu zkoušení vozidel stanoveny. Z uvedeného grafu je rovněž zřejmé, že je nutné vytyčit nové cíle ve zvyšování bezpečnosti vozidel, jelikož u nejmladších čtyřech ročníků je již patrná stagnace.

Směrodatné odchylky, v grafu opět znázorněné samostatně pro každou věkovou skupinu vozidel pomocí chybových úseček, poukazují na různorodost v dosaženém hodnocení. Největší hodnoty směrodatné odchylky se vyskytují v období, kdy první vozidla začala získávat lepší bodová ohodnocení z nárazových testů Euro NCAP. Jedná se především o konec devadesátých let minulého století a začátek nového tisíciletí. Naopak nejnižší směrodatné odchylky lze pozorovat u nejmladších ročníků vozidel, kdy většina automobilů běžně dosahuje velice dobrého hodnocení na úrovni čtyř a pěti hvězdiček.



Obr. 54 Hodnocení bezpečnosti vozidel příslušného stáří dle bodového hodnocení nárazových testů Euro NCAP

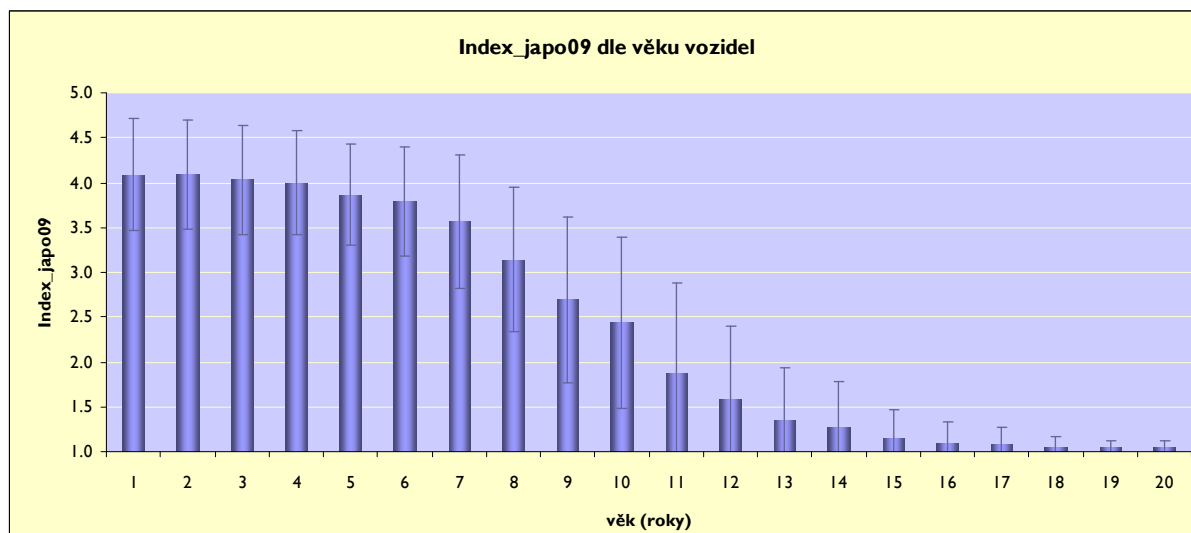
Závěrečné hodnocení vozidel řazených do skupin podle jejich věku je provedeno na základě hodnot výstupní veličiny z FIS Index_japo09 (Varianta_7ac). V grafu na Obr. 55 je znázorněna průměrná úroveň bezpečnosti vozidel příslušného věku podle indexu Index_japo09. Interpretace a popis tohoto indexu byl realizován v kapitole 4.3.4. Z grafu je patrné, že nedostatečnou úroveň bezpečnosti v průměru vykazují již vozidla starší třinácti let. Nízkou úroveň bezpečnosti mají v průměru vozidla ve věku 10 až 12 let, mezní úrovni odpovídají vozidla 8 a 9 let stará a přiměřenou úroveň bezpečnosti začínají v průměru poskytovat vozidla mladší sedmi let.

Směrodatné odchylky od průměrných hodnot¹⁰, obdobně jako v předchozím případě podávají informaci o rozličnosti obdržovaných výsledných hodnot. Největší rozdíly lze spatřovat u vozidel 9 až 11 let starých (směrodatná odchylka 0,9 až 1,0) naopak nejmenší směrodatné odchylky jsou u skupin vozidel starších osmnácti let (méně než 0,1). Počet věkových kategorií v grafu na Obr. 55 je z obdobného důvodu jako v případě předchozího grafu omezen na 20 – u vozidel starších dvaceti let již není patrný žádný významnější vývoj či změna a hodnota indexu Index_japo09 setrvává na hodnotě kolem jedné, tedy nedostatečná bezpečnost.

¹⁰ V grafu opět znázorněné jako chybové úsečky.

Poměrně ustálený stav v hodnocení lze rovněž pozorovat u nejmladších vozidel, tentokrát ale ve zcela opačném významu. V průměru zde vozidla dosahují přiměřené úrovně bezpečnosti, což je na průměrnou hodnotu velice dobrý výsledek. K dokreslení situace je dobré si uvědomit, jaké hodnoty vstupních veličin se zde promítají. Na jedné straně je technická úroveň vozidel do věku čtyř let již na poměrně vysoké úrovni a tato vozidla v nárazových testech běžně dosahují čtyř až pěti hvězdiček, na straně druhé jsou zde vozidla značně odlišných hmotnostních parametrů (rozpětí od 740 kg až 2300 kg). Z toho důvodu, pokud nedojde k zásadní změně v hodnocení nárazových testů a novému zvyšování odolnosti automobilů při nárazu, nelze v nejbližší budoucnosti (myšleno přibližně v horizontu 3 let) už příliš očekávat výraznou změnu ve výsledném hodnocení podle indexu Index_japo09 pro nejmladší vozidla vozového parku.

Naopak by se mohla měnit směrodatná odchylka a to v případě, že by se nová vozidla ve vozovém parku začala více homogenizovat ve smyslu hmotnosti a compatibility. Co se týče nárazových testů, zde již určitá homogenita existuje. Snahou v poslední době je hmotnost vozidel redukovat pomocí nových technologií a materiálů za účelem snížení spotřeby paliva. Nicméně to příliš neřeší velké hmotnostní rozpětí mezi malými a těžkými automobily, které je dáno poptávkou právě po takto širokém spektru typů automobilů. Pokud tedy v brzké době nedojde ke zmíněné homogenizaci nových vozidel, lze i zde stěží očekávat výraznou změnu.

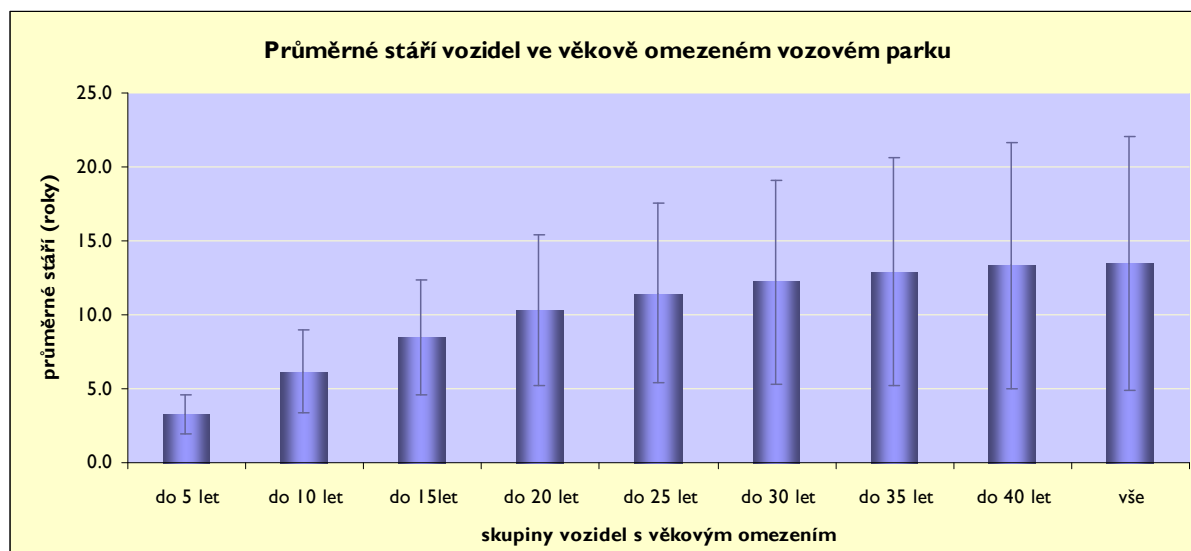


Obr. 55 Úroveň bezpečnosti vozidel řazených do skupin podle jejich věku vyjádřená pomocí Index_japo09

4.4.2 Hodnocení věkově omezeného vozového parku

Dalším úhlem, ze kterého je možné vozový park v České republice hodnotit, je věkové omezení vozového parku. Lze tak jednak sledovat, jaký vliv mají stará a méně čítná vozidla na celkovou bezpečnost vozového parku, a potom lze uvažovat i změnu úrovně bezpečnosti vozového parku v případě hypotetického různého věkového omezení vozidel ve vozovém parku. Opět zde budou kromě výsledného indexu japo09 uvedeny charakteristiky pomocí dílčích vstupních proměnných FIS.

Prakticky jako jediný v oficiálních statistikách publikovaný údaj o vozovém parku je jeho průměrné stáří. Na základě této více statisticky nspecifikované charakteristiky se odvozuje řada jiných ukazatelů, mezi něž patří i bezpečnost vozového parku. Graf na následujícím obrázku (Obr. 56) ukazuje, jaké je průměrné stáří vozidel ve věkem omezených skupinách vozidel (věkem omezených vozových parcích).



Obr. 56 Průměrný věk vozidel věkově omezeného vozového parku

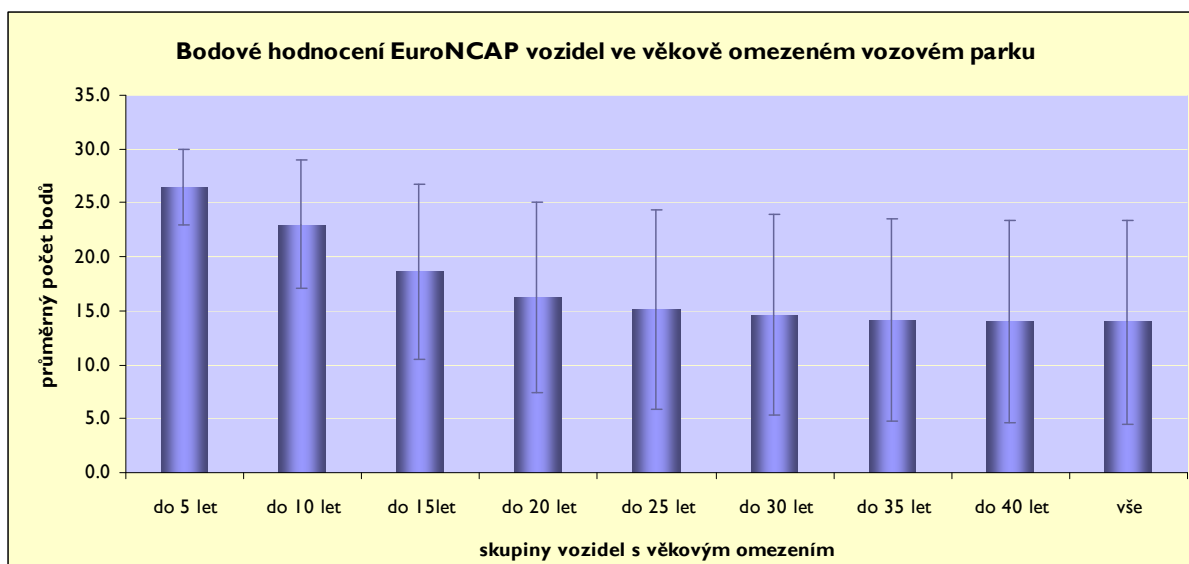
Z grafu je patrné, že s rostoucím věkovým omezením se růst průměrného věku vozového parku zpomaluje až se po započítání všech (do padesáti let včetně) vozidel zastavuje na hodnotě 13,5 roku. Nastává zde však otázka, nakolik taková hodnota odpovídá reálné situaci na komunikacích v ČR a do jaké míry se vozidla starší třiceti let běžně pohybují po silničních komunikacích. Aktivní vozový park zřejmě bude tvořen spíše mladšími vozidly, což ovlivní i ostatní charakteristiky vozového parku. V případě, že by byl brán v úvahu vozový park pouze polovičního stáří, tedy 25 let, klesl by jeho průměrný věk o 2 roky na hodnotu 11,5 roku. V případě započítání vozidel do věku třiceti let včetně, průměrný věk vozidel již přesáhne hodnotu dvanácti let (konkrétně 12,2 roku). Takové hodnoty mají zřejmě lepší vypovídající hodnotu než v případě započítání kompletně všech vozidel, tedy i těch, která nejsou aktivně provozována, nebo je jejich frekvence používání velice nízká. Nicméně neexistují žádné statistiky o frekvenci používání starých vozidel. Bude tedy vhodné setrvat u výše uvedeného pojetí znázornění vozového parku (Obr. 56) a s odstupem času porovnávat vývoj v jednotlivých věkem omezených skupinách vozidel, popřípadě porovnávat takto rozčleněné vozové parky různých zemí.

Směrodatná odchylka od věkového průměru s rostoucím věkem logicky vzrůstá, protože se zvyšuje i věková rozmanitost vozidel. V případě, že se uvažují všechna vozidla bez rozdílu věku, dosahuje směrodatná odchylka hodnoty 8,6 roku. Pro vozidla stará 25 let už činí 6 roků a pro vozidla nejmladší pouhých 1,3 roku.

Z pohledu ostatních dvou vstupních veličin do FIS je věkem omezený vozový park popsán pomocí následujících grafů (Obr. 57 a Obr. 58). V případě hodnocení nárazových

testů dle Euro NCAP je opět nutné zdůraznit, že testováním prošla jen část vozidel převážně mladších ročníků. U starších vozidel byl proveden pouze odhad na základě dochovaných jiných nárazových testů, vývoje dosahovaných výsledků v průběhu druhé poloviny devadesátých let, běžné bezpečnostní výbavy a konstrukce vozidel, jak bylo popsáno v kapitole 4.2.3. Největší počet hodnocených vozidel a tím i největší přesnost je tak u vozidel do stáří pěti a desíti let.

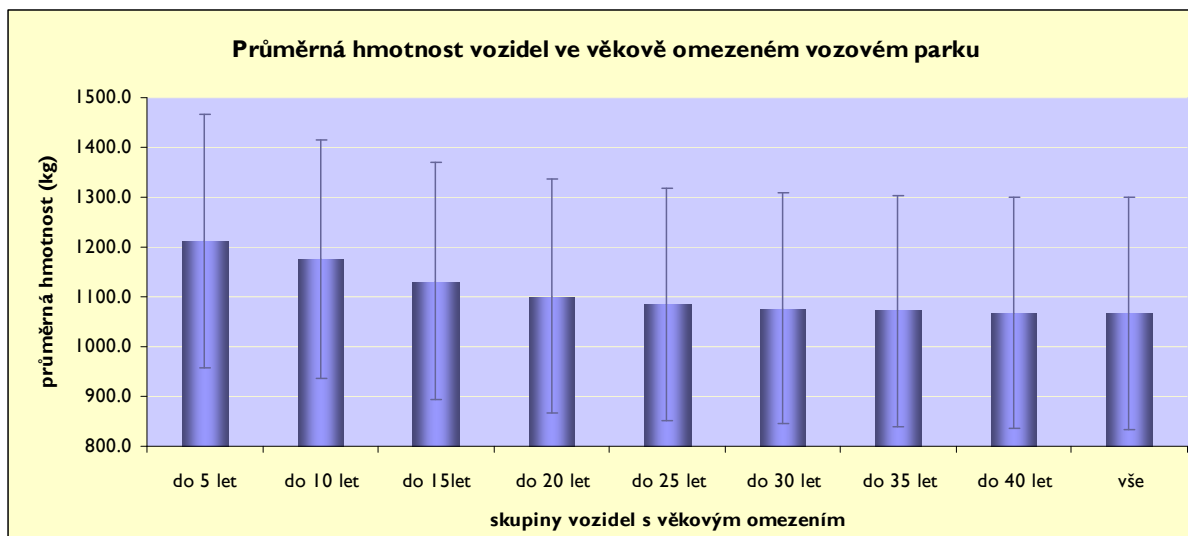
V grafu na Obr. 57 je poměrně zřetelně patrné vysoké a ustálené bodové hodnocení vozidel ve věku do pěti let (viz Obr. 54). Tato vozidla vykazují průměrné bodové hodnocení 26,4 bodů s malou směrodatnou odchylkou 3,5 bodu. Při započítávání starších vozidel se průměrný počet bodů nejdříve poměrně rychle snižuje až na hodnotu 15,1 bodu pro vozidla do věku 25 let a samozřejmě se zvětšuje i směrodatná odchylka. Od této hranice je snižování hodnocení velice mírné a končí na hodnotě 13,9 bodů pro všechna vozidla ve finálním souboru (směrodatná odchylka je 9,4).



Obr. 57 Průměrný počet bodů v nárazových testech dle Euro NCAP věkově omezeného vozového parku

Průměrná hmotnost věkem omezených skupin vozidel je znázorněna v následujícím grafu (Obr. 58). Je zde patrný trend, který bylo možné pozorovat už v případě třídění podle věku vozidel. Mladší ročníky vykazují vyšší pohotovostní hmotnost (vozidla do věku 5 let zhruba 1210 kg), při přidávání starších vozidel se hodnota průměrné pohotovostní hmotnosti zastavuje na čísle 1066 kg. Výraznější pokles lze opět pozorovat až k věkové hranici třiceti let, kdy je průměrná hmotnost 1077 kg. Za touto hranicí je již pokles velice malý.

Směrodatná odchylka na rozdíl od hodnocení věkově omezeného vozového parku podle výsledků nárazových testů Euro NCAP je zde největší u nejmladší skupiny vozidel a po zahrnutí starších vozidel se již příliš nesníží. To opět dokazuje, že vozový park je z hlediska hmotnosti značně nehomogenní a jeho hmotnostní rozpětí veliké. Hmotnostní nekompatibilitu, jakou lze zde pozorovat, je nutné vzít v úvahu při hodnocení celkové bezpečnosti vozového parku.

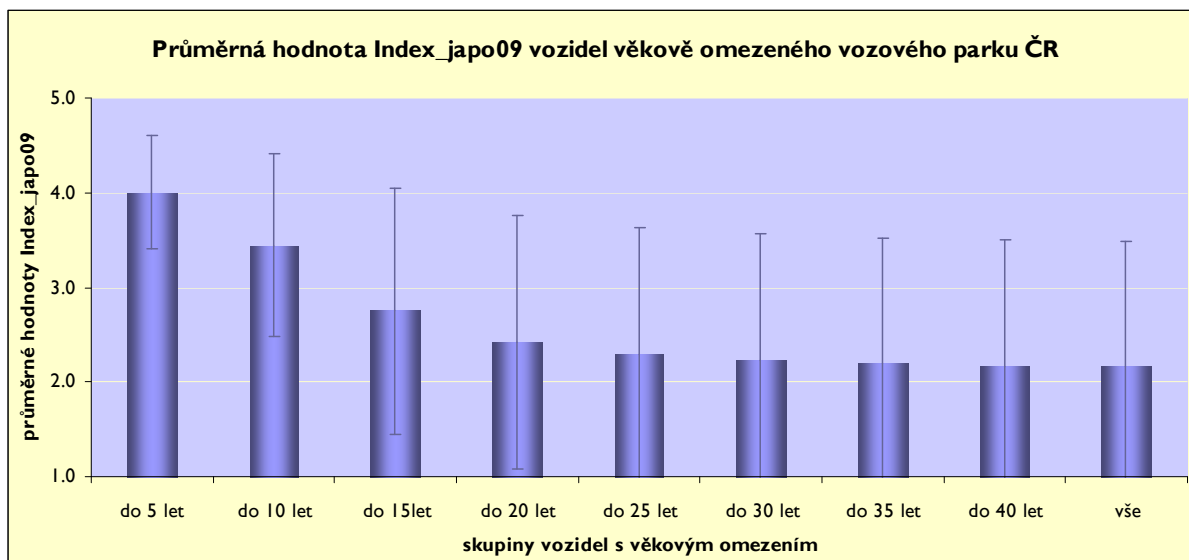


Obr. 58 Průměrná hmotnost vozidel ve věkem omezeném vozovém parku

Závěrečné hodnocení vozového parku pomocí indexu *Index_japo09* ukazuje, že vozový park ČR by získal známku 2,2, což odpovídá slovnímu vyjádření *nízká úroveň bezpečnosti*. Hmotnostní, věková i pasivně bezpečnostní nehomogenost se projevuje i u závěrečného hodnocení poměrně velkou směrodatnou odchylkou, která má hodnotu 1,3.

Podle grafického vyjádření bezpečnosti vozového parku (Obr. 59) dle *Index_japo09* je patrné, že by příliš nepomohlo ani vyřazení vozidel starších dvaceti pěti let. Ačkoli je průměrný věk takto věkově omezeného vozového parku již na hodnotě 11,5 roků, *Index_japo09* vykazuje stále nízkou hodnotu 2,3 a stále vysokou směrodatnou odchylku 1,3. Aby se hodnocení vozového parku alespoň přiblížilo mezní bezpečnosti, musela by být vyřazena z provozu vozidla starší patnácti let (*Index_japo09* má hodnotu 2,7).

Uspokojivější výsledky lze vidět až u vozidel mladších deseti let. Zde je již hodnocení téměř na přelomu mezi *mezní a průměrnou bezpečností* (*Index_japo09* dosahuje hodnoty 3,4) a rovněž směrodatná odchylka je nižší o tři desetiny oproti předchozí hodnotě. Vozidla ve věku do pěti let již vykazují velice slušnou bezpečnostní úroveň s ohodnocením *průměrná bezpečnost* a klesla zde výrazně i směrodatná odchylka na hodnotu 0,6.



Obr. 59 Průměrná hodnota indexu Index_japo09 vozidel ve věkem omezeném vozovém parku

Z uvedeného je patrné, že hodnotící index Index_japo09 je poměrně přísným nástrojem, který respektuje výrazný posun v pasivní bezpečnosti vozidel během posledních patnácti let. Respektuje tak strukturu vozového parku a nestaví pouze na průměrném věku vozidel. Je také docela zřetelné, jak různorodá je skladba vozového parku ČR. To dokládají směrodatné odchylky jednak vstupních proměnných do FIS, ale i samotné výstupní proměnné Index_japo09.

5 Predikce časové řady s následky dopravních nehod

Následky nehod, tj. počet usmrčených, těžce zraněných, lehce zraněných osob a hmotná škoda, se nejčastěji vztahují k určitému časovému období. Ve statistikách policie jsou následky nehod nejčastěji uváděny jako sumy za jeden kalendářní rok nebo měsíc a uchovávány jsou samozřejmě i denní záznamy následků nehod. Každá z těchto možností má svůj význam. Roční součty následků jsou charakteristické malými výkyvy od střední hodnoty a jsou vhodné pro pozorování vývoje trendu sledovaných parametrů. Naproti tomu měsíční statistiky v některých případech vykazují spíše charakter chaotické řady s hůře pozorovatelnou cyklickou složkou, v jiných naopak spíše cyklický charakter s menším šumem. Podobně je tomu zřejmě i v případě denních nehod. Tato data však nejsou běžně k dispozici a uvádějí se pouze ve zpracované podobě pro porovnání četností následků nehod v jednotlivých dnech týdne.

Časové řady lze tedy v tomto případě považovat za statistické záznamy údajů o následcích dopravních nehod v určitých časových intervalech. Takto uspořádanou množinu pozorování lze obecně zapsat jako $\{Y_t\}$ pro $t = 1, \dots, n$. Jedná se tedy o souvislou časovou posloupnost Y_1, Y_2, \dots, Y_n , kde Y představuje pozorovaný a následně analyzovaný parametr, t je časová proměnná. Sběr dat, resp. měření, je prováděno v pravidelných rovnoměrných časových jednotkách (např. dnech, měsících, letech). [30]

Dnes již tradičním oborem, ve kterém je hojně využívána predikce na základě dat z minulosti, je ekonomie. Zejména pak při obchodování na burze je pro správné rozhodování nesmírně cenné odhadnout budoucí vývoj cen akcií. Za tímto účelem byla vynalezena řada metod a indikátorů, které se souhrnně označují jako technická analýza. Jedná se o nástroje vycházející převážně ze statistického zpracování historických dat, které se snaží nastínit nejpravděpodobnější budoucí vývoj sledovaného faktoru (např. cen na burze).

Historická data, jak již bylo naznačeno výše, sice v dlouhodobějším pohledu mohou vykazovat určitý trend, v menších časových intervalech však většinou vykazují náhodný nebo periodický charakter projevující se kolísáním hodnot kolem dlouhodobějšího trendu. V případě nystematického náhodného rozptýlení hodnot kolem trendu, tzv. šumu, je vhodné tato data vyhladit (redukovat šum) a zaměřit se právě na trend. Technická analýza k tomu používá celou řadu indikátorů a některé, ty nejobecnější, zde budou uvedeny.

Klouzavé průměry

První skupinu indikátorů technické analýzy tvoří klouzavé průměry. Používají se k:

- vyloučení krátkodobých výkyvů ve vývoji časových řad,
- potlačení šumových složek,
- identifikování primárních trendů,
- konstrukci krátkodobých předpovědí v časové řadě.

Vyrovnaný průběh časové řady se získá určitým zprůměrováním pozorovaných hodnot v okolí uvažovaného časového bodu, čemuž odpovídá představa okna klouzajícího podél původní časové řady, v jehož rámci se pak průměruje. [31] Okolí uvažovaného časového bodu se pak nazývá periodou. Prakticky se jedná o počet členů klouzajícího okna, ze kterých je průměr počítán. Volba délky periody ovlivňuje míru vyhlazení časové řady. Čím je zvolena delší perioda, tím je vyhlazení větší, ale současně hrozí, že dojde k potlačení některých systematických složek původní časové řady. Obecně délku periody označuje vztah $n = 2m + 1$, kde m je počet ztracených údajů na začátku a konci časové řady, čímž je zaručena lichá délka těchto průměrů. S tím souvisí i jedna nepříjemná vlastnost klouzavých průměrů – křivka klouzavého průměru je kratší než původní řada. Lichá délka periody se používá z důvodu, aby nebyly vyrovnávány hodnoty časové řady mezi pozorováními.

Existuje několik typů klouzavých průměrů a rozdíl mezi nimi spočívá v tom, jakým způsobem jsou přiřazovány váhy jednotlivým datům v rámci periody. Nejznámějším je **jednoduchý klouzavý průměr (JKP)**. Jedná se prakticky o obyčejné aritmetické průměry z původních hodnot v periodě, přičemž je všem hodnotám přiřazována stejná váha. Jednoduchý klouzavý průměr lze zapsat pomocí následujícího vztahu

$$JKP_{t,n} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Y_{t,n}, \quad (28)$$

kde $JKP_{t,n}$ je hodnota průměru v čase t za periodu n , n je délka periody a $Y_{t,n}$ je hodnota pozorování v čase t (např. počet nehod).[2]

Další skupinu tvoří **vážené klouzavé průměry (VKP)**. Hodnota časové řady v časovém bodě t se opět vyrovnává průměrem, ale na rozdíl od jednoduchého klouzavého průměru se jedná o průměr vážený. Váhy se nejčastěji odvozují na základě metody nejmenších čtverců, jsou symetrické kolem prostřední hodnoty a jejich součet je roven jedné. Jako příklad lze uvést vážený klouzavý průměr s periodou 5:

$$VKP_{t,n} = \frac{1}{35} \sum_{t=1}^n (-3Y_{t-2} + 12Y_{t-1} + 17Y_t + 12Y_{t+1} - 3Y_{t+2}). \quad (29)$$

Ostatní váhy pro různé délky periody lze nalézt v literatuře, např. [32] nebo [33].

Trojúhelníkový klouzavý průměr (TKP) - ačkoli jde o speciální typ váženého klouzavého průměru, jedná se prakticky o dvakrát za sebou provedený jednoduchý klouzavý průměr. Největší váhu mají data ležící uprostřed periody délky n a směrem k okrajům periody váha dat lineárně klesá. [31] Například trojúhelníkový klouzavý průměr pro periodu o délce 5 se vypočítá podle vztahu:

$$TKP_{t,n} = \frac{1}{9} \sum_{t=1}^n (Y_{t-2} + 2Y_{t-1} + 3Y_t + 2Y_{t+1} + Y_{t+2}). \quad (30)$$

Centrované klouzavé průměry (CKP) se používají v případě nutnosti průměrovat přes sudý počet pozorování, např. ve vztahu k jednotlivým částem roku (např. přes 12 nebo

6 měsíců). Jedná se o vážené průměry se speciálními vahami, které se volí tak, aby eliminovaly z časové řady sezónní složku. Délka periody se volí tak, že je vždy o jednu jednotku větší než délka sezóny a váhy se volí tak, že krajním hodnotám pozorování (v rámci periody) je přiřazována poloviční váha. CKP lze vyjádřit pomocí vztahu:

$$CKP_{t,n} = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n \left(\frac{Y_1}{2} + Y_2 + \dots + Y_{n-1} + \frac{Y_n}{2} \right). \quad [26] \quad (31)$$

Exponenciální vyrovnání

Jedná se o metodu založenou na klouzavém průměru. Vyrovnání hodnoty v časovém bodě t se při této metodě zakládá na všech dostupných minulých hodnotách. Parametry exponenciálního vyrovnání se odhadují pomocí vážené metody nejmenších čtverců, přičemž váhy exponenciálně klesají směrem do minulosti. Minimalizován je tedy výraz

$$(Y_t - \hat{Y}_t)^2 + (Y_{t-1} - \hat{Y}_{t-1})^2 \alpha + (Y_{t-2} - \hat{Y}_{t-2})^2 \alpha^2 + \dots, \quad (32)$$

kde α je vyrovnávací konstanta, pro kterou platí: $0 < \alpha < 1$.

Podle typu vyrovnávací křivky je možné exponenciální vyrovnání rozdělit na:

- jednoduché,
- dvojité,
- trojité.

Jednoduché exponenciální vyrovnání předpokládá, že trend lze v krátkých úsecích řady považovat za konstantní. Vyrovnaná časová řada se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$JEV_{t,n} = (1 - \alpha) \cdot Y_{t,n} + \alpha \cdot JEV_{t-1,n}, \quad (33)$$

kde

- $JEV_{t,n}$ je hodnota průměru v čase t za periodu n ,
- $JEV_{t-1,n}$ hodnota průměru v čase $t-1$ za periodu n a
- α vyrovnávací konstanta (hodnota z intervalu $(0, 1)$).

Hodnota vyrovnávacího koeficientu pro jednoduché exponenciální vyrovnání se ve většině případů pohybuje v rozmezí $(0,7; 1)$, i když obecně může nabývat jakékoliv hodnoty z intervalu $(0, 1)$. Čím více se hodnota konstanty blíží k jedné, tím větší váha je přisuzována starším hodnotám. Zde je nutné upozornit na odlišnosti u některých literárních zdrojů ve vzorci (33) a používané hodnotě vyrovnávací konstanty¹¹. [2] [32] [33] [30]

¹¹ V některých literárních zdrojích [2] [33] je vztah 33 uváděn ve tvaru $JEV_{t,n} = \alpha \cdot Y_{t,n} + (1 - \alpha) \cdot JEV_{t-1,n}$. Obvyklá hodnota vyrovnávací konstanty koeficientu se pak pohybuje v rozmezí $(0; 0,3)$ a čím je tato konstanta blíže nule, tím je přisuzována větší váha hodnotám z dávnější doby a naopak.

Dvojitě exponenciální vyrovnání předpokládá, že v krátkém období bude mít trendová složka lineární formu:

$$T_r = \beta_0 + \beta_1 \cdot t, \quad (34)$$

kde β_0 a β_1 jsou parametry, které se odhadují minimalizací výrazu [32]

$$\sum_{i=0}^{\infty} (Y_{t-i} - \beta_0 - \beta_1(-i))^2 \alpha^i. \quad (35)$$

K vyrovnané časové řadě pak lze dospět za pomoci dvou vyrovnávacích statistik, které víceméně představují dvojnásobné použití jednoduchého exponenciálního vyrovnání:

$$S1_t = (1 - \alpha) \cdot Y_t + \alpha \cdot S1_{t-1}, \quad (36)$$

$$S2_t = (1 - \alpha) \cdot S1_t + \alpha \cdot S2_{t-1}, \quad (37)$$

kde $S1_t$ je jednoduchá a $S2_t$ dvojitá vyrovnávací statistika.

Pro vyrovnanou časovou řadu pak platí vztah:

$$DEV_t = \left(2 + \frac{1 - \alpha}{\alpha}\right) \cdot S1_t + \left(1 + \frac{1 - \alpha}{\alpha}\right) \cdot S2_t, \quad (38)$$

přičemž hodnoty $S1$ a $S2$ jsou v čase $t = 1$ aproximovány hodnotou Y_1 . [30]

Trojité exponenciální vyrovnání předpokládá, že trend v krátkých úsecích řady lze vyrovnat parabolou:

$$T_r = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot t^2, \quad (39)$$

kde β_0 , β_1 a β_2 jsou opět parametry, které je třeba odhadnout. Postup při odhadu je obdobný jako v předchozích případech. [32]

Klouzavý medián

Klouzavý medián je reprezentantem robustních klouzavých průměrů. Ty se obecně používají k potlačení tzv. odlehlých pozorování, která vybočují z charakteru ostatních pozorování a mohou tak zkreslovat výsledky výše uvedených metod.

Klouzavý medián vrací prostřední hodnotu daného časového okna při současném uspořádání jeho hodnot podle velikosti. Tato funkce je obsažena v řadě softwarových programů zaměřených na statistiku a například pro použití v MS Excel ji lze vyjádřit následovně:

$$KM_{t,5} = \text{MEDIAN}(Y_{t-2}, Y_{t-1}, Y_t, Y_{t+1}, Y_{t+2}), \quad (40)$$

kde $KM_{t,5}$ je hodnota mediánu v čase t a $Y_{t,n}$ jsou pozorování za periodu o délce n . [31]

5.1 Fuzzy inferenční systém typu Takagi – Sugeno

V kapitole 3.1 byla představena všeobecná struktura FIS a v kapitole 4.3.1 jeho první základní typ Mamdani. Modifikací FIS typu Mamdani je možné dospět ke druhému základnímu

typu Takagi – Sugeno. Výstupem FIS Takagi – Sugeno je ostré číslo, které se získá jako hodnota lineární kombinace hodnot vstupních proměnných.

Necht' $x_1, x_2, \dots, x_p, \dots, x_n$ jsou opět¹² vstupní proměnné definované na referenčních množinách $X_1, X_2, \dots, X_p, \dots, X_n$ a y je výstupní proměnná definovaná na referenční množině Y . Potom FIS má n vstupních proměnných a jednu výstupní proměnnou. Každou množinu $X_i, i=1, \dots, n$, je možné i zde rozdělit na $p_j, j=1, \dots, m$, fuzzy množin $\mu_1^{(i)}(x), \mu_2^{(i)}(x), \dots, \mu_{p_j}^{(i)}(x), \dots, \mu_m^{(i)}(x)$. Jednotlivé fuzzy množiny $\mu_1^{(i)}(x), \mu_2^{(i)}(x), \dots, \mu_{p_j}^{(i)}(x), \dots, \mu_m^{(i)}(x), i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$ představují přiřazení hodnot jazykových proměnných, které se vztahují k množinám X_i . Potom podmíněné pravidlo ve FIS typu Takagi – Sugeno je možné zapsat následujícími způsoby [2]

$$\begin{aligned} & \text{IF } x_1 \text{ is } A_1^{(i)} \text{ AND } x_2 \text{ is } A_2^{(i)} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_{pj}^{(i)} \text{ THEN } y = h, \\ & i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m, \end{aligned} \quad (41)$$

nebo

$$\begin{aligned} & \text{IF } x_1 \text{ is } A_1^{(i)} \text{ AND } x_2 \text{ is } A_2^{(i)} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_{pj}^{(i)} \text{ THEN } y = f(x_1, \dots, x_n), \\ & i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m, \end{aligned} \quad (42)$$

kde

- $A_1^{(i)}, \dots, A_{pj}^{(i)}$ reprezentují hodnoty jazykové proměnné, které odpovídají fuzzy množinám $\mu_1^{(i)}(x), \mu_2^{(i)}(x), \dots, \mu_{p_j}^{(i)}(x), \dots, \mu_m^{(i)}(x), i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$,
- h je konstanta,
- $f(x_1, \dots, x_n)$ je funkce.

FIS, který je tvořen pravidly definovanými vztahem (41), se označuje jako FIS typu Takagi – Sugeno nultého řádu. V případě druhého způsobu pravidel (42) záleží označení FIS na použitém typu funkce v konsekventní části pravidla. V případě, že $f(x_1, \dots, x_n)$ je lineární funkce, nese FIS typu Takagi – Sugeno označení prvního řádu, pokud se jedná o funkci polynomickou, jedná se o FIS typu Takagi – Sugeno druhého řádu. [2]

5.1.1 Báze podmíněných pravidel

Návrh báze podmíněných pravidel může být realizován několika způsoby. Podobně jako tomu bylo u FIS typu Mandami, tak i zde lze využít heuristického přístupu tvorby pravidel – tedy, že je uživatel sám nadefinuje na základě svých zkušeností a znalostí. To ale není ve velkém množství případů vždy možné. Bázi podmíněných pravidel tak lze odvodit i jinými způsoby. Jedním z nich je extrakce báze podmíněných pravidel z historických údajů (pokud jsou k dispozici), popřípadě lze použít kombinaci heuristického přístupu a extrakce z historických údajů.

¹² Obdobným způsobem byla představena struktura FIS typu Mamdani a jeho podmíněných pravidel v kapitole 4.3.1

V případě použití extrakce báze podmíněných pravidel z historických dat může během tvorby báze podmíněných pravidel nastat problém s exponenciálním nárůstem počtu podmíněných pravidel. Na překonání tohoto problému lze využít některé optimalizační metody. Podle Oleje [2] jedny z nejlepších výsledků poskytuje metoda založená na optimalizaci tvarů výstupních funkcí příslušnosti na základě vstupních údajů.

Jinou možností, jak odvodit bázi podmíněných pravidel z historických údajů, je tzv. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System metoda (ANFIS metoda). Tato metoda je založena na principu neuro-adaptivním procesu učení, na jehož základě je možné z historických údajů odvodit parametry funkcí příslušnosti a extrahovat bázi podmíněných pravidel. Vstupní údaje jsou pomocí této metody přiřazovány k výstupním údajům, přičemž se postupně mění parametry jednotlivých funkcí příslušnosti. Parametry se mění tak, aby vztahy mezi prostorem vstupních proměnných a prostorem výstupních proměnných byly co nejlépe charakterizovány. Pro takový proces učení lze použít několik metod – např. metodu zpětného šíření chyby, popřípadě její kombinaci s metodou nejmenších čtverců a rovněž evoluční stochastické optimalizační algoritmy.

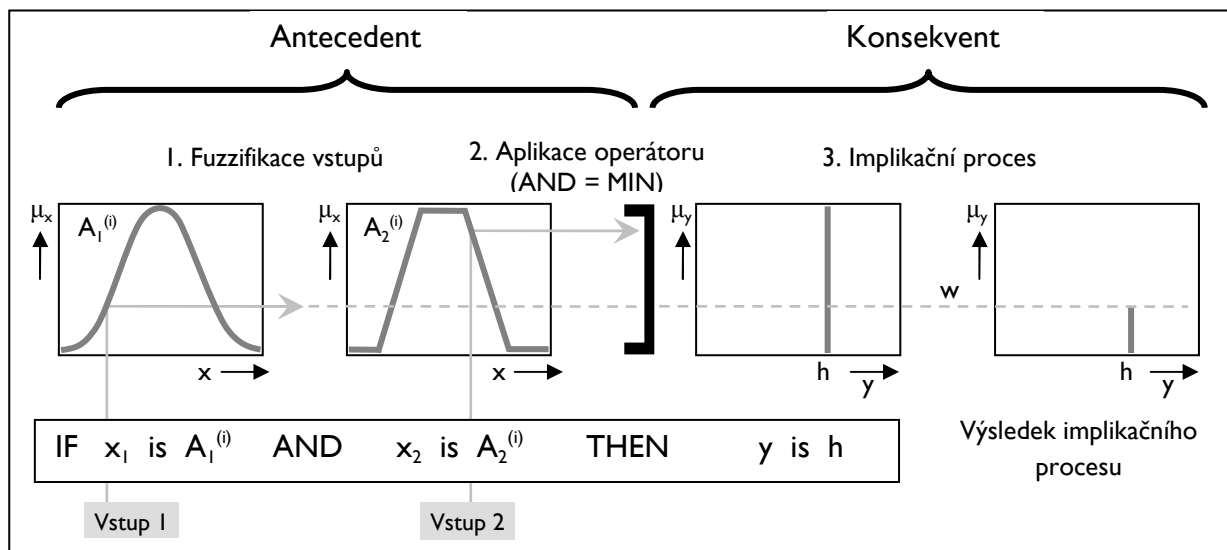
5.1.2 Fuzzifikace vstupu a aplikace operátorů v podmíněných pravidlech

Fuzzifikační proces a aplikace logických operátorů probíhá obdobným způsobem jako u FIS typu Mamdani a nebude z toho důvodu opětovně uváděn.

5.1.3 Implikace

Rovněž implikace probíhá obdobným způsobem jako u FIS typu Mamdani. Je tu ale rozdíl mezi podobami konsekventních částí podmíněných pravidel. Zatímco u FIS typu Mamdani byla konsekventem fuzzy množina, u FIS typu Takagi – Sugeno to je konstanta nebo funkce. Implikací se tak i v tomto případě rozumí změna funkce příslušnosti konsekventu, s tím rozdílem, že zde víceméně jde pouze o změnu váhy (míru podpory) příslušné výstupní hodnoty konstanty nebo funkční hodnoty (viz. Obr. 60).

FIS typu Takagi-Sugeno používá pro operátor AND k implikaci funkci MIN, tj. zkrácení, a pro operátor OR funkci MAX (prodloužení).



Obr. 60 Implikační proces u FIS typu Takagi – Sugeno

5.1.4 Agregací proces a defuzzifikace

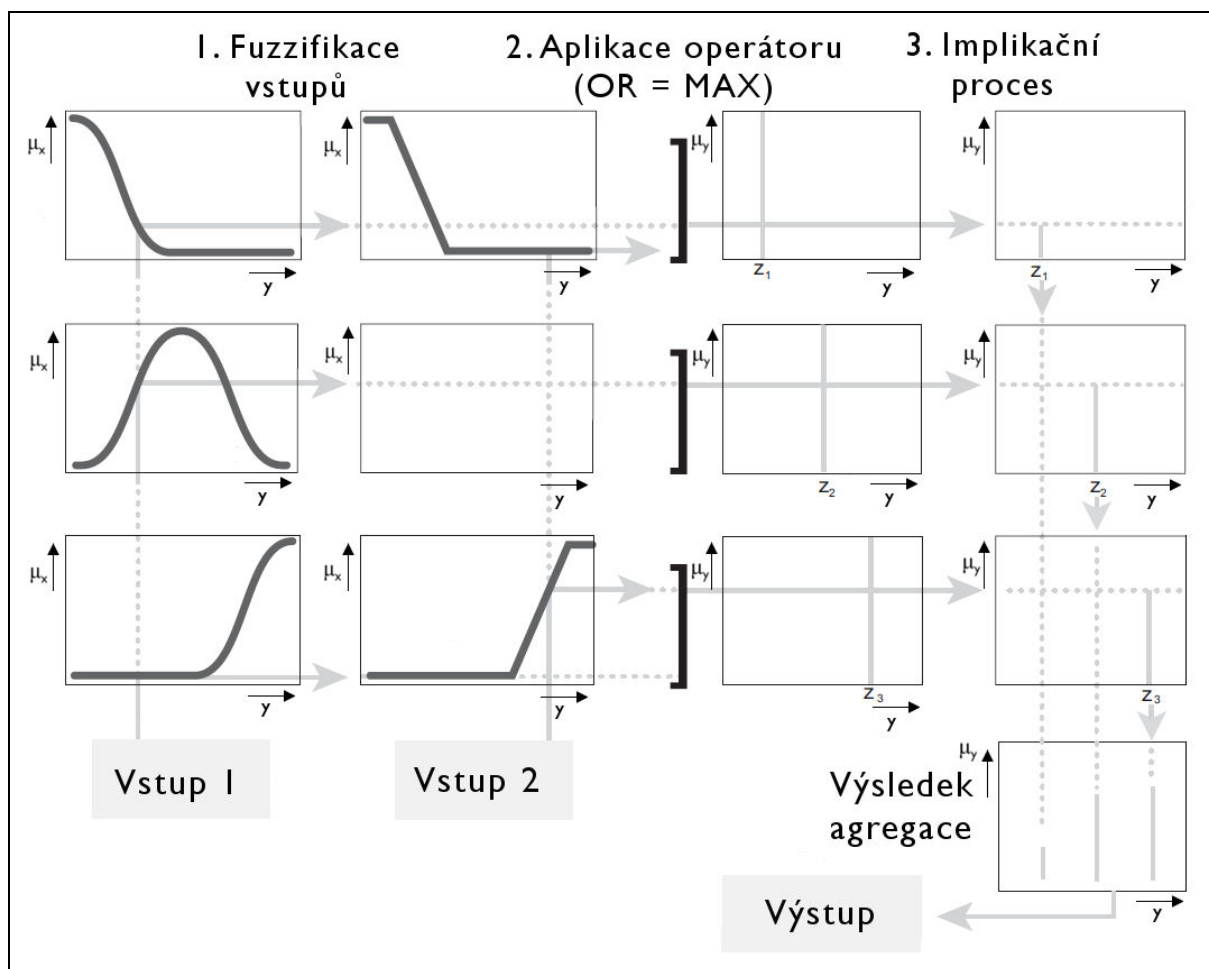
Opět je zde analogie s FIS typu Mamdani. Výstupy jednotlivých podmíněných pravidel jsou transformovány do jednoho celku. K agregaci je u FIS typu Takagi – Sugeno používána metoda MAX a agregovaná množina je tak tvořena souborem maximálních vah výstupních hodnot konstant nebo funkcí každého podmíněného pravidla.

Z toho důvodu tak u tohoto typu FIS není nutná klasická defuzzifikace – tedy alespoň ne v tom smyslu, jak tomu bylo u FIS typu Mamdani. Agregovanou množinu hodnot a jejich vah stačí zpracovat pouze pomocí váženého průměru:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot h_i}{\sum_{j=1}^N w_j}, \quad (43)$$

kde

- w_i jsou váhy (míry podpory Firing Strength) pravidla,
- h_i je konstanta nebo funkce v konsekvantní části pravidla a
- N je počet pravidel. [27]



Obr. 61 Agregací a defuzzifikační proces u FIS typu Takagi – Sugeno

5.2 Charakteristika konkrétních časových řad – následky nehod

V úvodu kapitoly 5 již bylo naznačeno, jaká data v této části disertační práce budou zpracovávána a že následky nehod jako soubor pozorovaných událostí za určité období vyhovují definici časové řady.

Asi nejvíce sledovanými parametry jsou dlouhodobé vývojové trendy následků dopravních nehod. K tomuto účelu se používají roční souhrny následků dopravních nehod, které pomáhají stanovit, resp. zpětně hodnotit, dlouhodobé cíle ve vývoji nehodovosti na pozemních komunikacích. Ty se pak obvykle začleňují do dlouhodobé strategie dopravní politiky. V příloze (Příloha 10) jsou uvedeny grafy vývoje následků dopravních nehod evidovaných Policií ČR v jednotlivých letech od roku 1976.

Z grafů je patrné, že jednotlivé křivky vzniklé spojením pozorovaných údajů za příslušné roky vytvářejí poměrně zřetelný a snadno interpretovatelný trend ve vývoji následků dopravních nehod. Není zde prakticky patrná žádná sezónnost a výrazný šum znesnadňující odhad budoucího vývoje.

Méně často jsou naproti tomu publikovány měsíční statistiky následků nehod. Jejich význam není sice tak strategický z hlediska dlouhodobých cílů dopravní politiky, ale naproti

tomu dokáží docela dobře podat obraz o účinnosti některých legislativních změn (např. silniční zákon), policejních bezpečnostních akcích a opatřeních a také o reakci a adaptaci různých účastníků silničního provozu na tyto změny, resp. opatření. Právě v této oblasti lze spatřovat jejich největší přínos.

V příloze (Příloha 11) jsou uvedeny grafy vývoje počtu dopravních nehod a jejich následků v jednotlivých měsících. Z grafů je patrné, že jednotlivá pozorování vykazují dynamičtější charakter než jak tomu bylo v případě ročních součtů. U většiny z nich lze při prvotním pohledu pozorovat jakoby určité sezónní chování, které je více¹³ či méně¹⁴ narušeno náhodnou složkou.

Dokonalejší představu o chování měsíčních pozorování je možné obdržet po selekci dat dle jednotlivých měsíců v průběhu sledovaných let¹⁵. Grafy vývoje počtu nehod, usmrcených, těžce a lehce zraněných osob v příslušných měsících v jednotlivých letech jsou uvedeny v příloze (Příloha 12), přičemž pozorování v příslušných měsících každého roku jsou barevně odlišena a zanesena do jednoho grafu. Z těchto grafů je možné snadno vyvodit, nakolik je sezónní složka stálá, resp. nakolik je stálá její perioda. V případě stabilní sezónní složky by se úsečky spojující jednotlivá pozorování v příslušných měsících měly co nejméně protínat a držet si mezi sebou určité rozestupy, popř. se vzájemně kopírovat. Je zřejmé, že všechny sledované parametry trpí poruchou takové stability sezónní složky. Nejvíce je to patrné u počtu evidovaných nehod a počtu usmrcených osob. Stabilnější chování naopak vykazují počty těžce a lehce zraněných osob. Na základě toho lze usuzovat, že pozorované parametry jsou zřejmě ovlivňovány řadou vlivů (např. počasí, bezpečnostní akce, hustota provozu, atd.), které z tohoto úhlu pohledu mají náhodný charakter.

Pro lepší přehlednost jsou v dalších přílohách (Příloha 13 až Příloha 16) uvedeny grafy sledovaných parametrů v příslušných měsících odděleně.

Kromě vlivů, které je obtížné zpětně identifikovat a kterým byl přisouzen náhodný charakter, jsou některá pozorování dotčena identifikovatelnými zásahy. Uvedené se týká především počtu dopravních nehod registrovaných Policií ČR. V průběhu posledních deseti let došlo k několika změnám hranice hmotné škody vzniklé účastníkům při dopravní nehodě, od které je povinné hlásit dopravní nehodu Policii ČR. První změna proběhla v lednu roku 2001, kdy se hranice hmotné škody posunula na 20 000 Kč. Následovala změna v červenci roku 2006, kdy došlo k posunu na hodnotu 50 000 Kč a poslední změna nabyla účinnosti v lednu roku 2009, kdy je povinností hlásit Policii ČR dopravní nehodu, při které vznikla hmotná škoda převyšující 100 000 Kč.

Pokles počtu nehod, resp. zastavení jeho růstu, jednoznačně připadá na vrub těchto legislativních změn. Takový zásah do časové řady a její následná deformace jsou

¹³ u počtu nehod a usmrcených osob

¹⁴ u počtu těžce a lehce zraněných osob

¹⁵ V případě počtu nehod a usmrcených osob se jedná o roky 1976 až duben 2010, v případě počtu těžce a lehce zraněných je to období 1982 až 2010.

z pohledu současné doby natolik závažné, že pro následné učení systému a predikci časové řady nelze tento parametr brát do úvahy.

Za podobně nespolehlivá data by bylo možné považovat i počet lehce zraněných, kdy se řada událostí do statistik nemusí vůbec dostat. Jelikož se v grafu vývoje počtu lehce zraněných osob nevyskytují žádné výrazné změny (poklesy trendu), jak je to patrné v případě počtu nehod, lze o případných chybách uvažovat tak, že se týkají všech pozorování zhruba stejnou měrou. Z tohoto důvodu bude s těmito daty pracováno i nadále.

Jako nejspolehlivější se jeví záznamy týkající se počtu usmrčených osob při dopravních nehodách a zřejmě i počtu těžce zraněných osob. Ty jsou vzhledem k závažnosti události monitorovány pečlivěji a jsou rovněž použity pro další práci.

5.3 Předzpracování dat

Následky nehod, členěné podle jednotlivých měsíců a let, je nutné pro následnou aplikaci fuzzy množin dále předzpracovat. V úvahu jsou brány údaje o počtu usmrčených, těžce a lehce zraněných osob, které tvoří samostatné kategorie následků dopravních nehod a jejichž hodnoty tvoří tři samostatné sloupcové vektory. Takové uspořádání však nevyhovuje základní struktuře FIS, která v antecedentu pravidla předpokládá několik vstupních hodnot funkcí příslušnosti spojených logickými operátory a v konsekventu hodnotu (konstantu) nebo funkci. Na vstupu do FIS je tedy nutné mít matici vstupních hodnot a na výstupu vektor výstupních hodnot. Splnit tento požadavek lze za pomoci celé řady variant uspořádání a statistického zpracování původního vektoru dat příslušné kategorie následků dopravních nehod.

5.3.1 Vstupní matice hodnot

Uspořádání pro jednoměsíční predikční modely

Pro vytvoření vstupní matice hodnot bylo zvoleno pět různých variant uspořádání původního vektoru a jeho statistického zpracování. Skladba jednotlivých variant je uvedena v tabulce (Tabulka 20).

Tabulka 20 Skladba vstupních matic pro jednotlivé varianty uspořádání původních a statisticky zpracovaných dat – jednoměsíční predikční modely

	vstupní vektory					
Varianta 1	$y(t-4)$	$y(t-3)$	$y(t-2)$	$y(t-1)$	-	-
Varianta 2	$JKP_{(t-1)}$	$VKP_{(t-1)}$	$KM_{(t-1)}$	$TKP_{(t-1)}$	$KSO_{(t-1)}$	
Varianta 3	$y(t-1)$	$JKP_{(t-1)}$	$VKP_{(t-1)}$	$KM_{(t-1)}$	$TKP_{(t-1)}$	$KSO_{(t-1)}$
Varianta 4	$EXP_{(t-1)}$	$JKP_{(t-1)}$	$VKP_{(t-1)}$	$KM_{(t-1)}$	$TKP_{(t-1)}$	$KSO_{(t-1)}$
Varianta 5	$EXP_{(t-1)}+1$	$JKP_{(t-1)}$	$VKP_{(t-1)}$	$KM_{(t-1)}$	$TKP_{(t-1)}$	$KSO_{(t-1)}$
$JKP_{(t-1)}$ – jednoduchý klouzavý průměr $VKP_{(t-1)}$ – vážený klouzavý průměr $KM_{(t-1)}$ – klouzavý medián $TKP_{(t-1)}$ – triangulační klouzavý průměr			$KSO_{(t-1)}$ – klouzavá směrodatná odchylka $EXP_{(t-1)}$ – jednoduché exponenciální vyrovnání $EXP_{(t-1)}+1$ – jednoduché exponenciální vyrovnání s predikcí +1 měsíc.			

Vstupní matice hodnot *Varianty 1* je tvořena výhradně původními vektory dat, které jsou ale vůči sobě posunuty o jeden měsíc. Vzniká tak regresní matice, která má následující podobu:

$$\Phi = \begin{pmatrix} y(t-N) & \dots & y(t-N+3) \\ \dots & \dots & \dots \\ y(t-5) & \dots & y(t-2) \\ y(t-4) & \dots & y(t-1) \end{pmatrix}, \quad (44)$$

kde $y(t)$ představuje hodnotu pozorování v měsíci t ,

N je celkový počet hodnot v časové řadě (počet měsíců). [23]

Varianta 2 je naproti tomu tvořena pouze statisticky zpracovanými původními vektory¹⁶ podle vybraných nástrojů technické analýzy uvedených v úvodu kapitoly 5. Pro všechny vyhlazovací nástroje i klouzavou směrodatnou odchylku byla použita jednotná délka periody $n = 5$ měsíců.

Varianta 3 vychází z *Varianty 2*, kde je navíc přidán vektor původních dat posunutých o jeden měsíc dozadu. Podobně je u *Varianty 4* oproti *Variantě 2* přidán vektor s exponenciálním vyrovnáním. Podle typu použitého exponenciálního vyrovnání je u *Varianty 4* použito odlišení pomocí písmen a , b , c .

Varianta 5 je obdobou *Varianty 4* s tím rozdílem, že u jednoduchého exponenciálního vyrovnání byla použita predikce časové řady $+1$ měsíc¹⁷.

Výstupní vektor byl tvořen původní časovou řadou příslušného parametru a měl tedy následující tvar:

$$y = \begin{pmatrix} y(t-N+4) \\ \vdots \\ y(t-1) \\ y(t) \end{pmatrix}. \quad (45)$$

Tímto způsobem byly připraveny všechny uvedené varianty pro každý ze zvolených následků dopravních nehod.

Uspořádání pro čtvrtletní a pololetní predikční modely

Vstupní matice pro čtvrtletní i pololetní predikční modely byly tvořeny čtveřicí různých variant uspořádání původního vektoru a jeho statistického zpracování. Na rozdíl od uspořádání v případě jednoměsíčních predikčních modelů zde byla vypuštěna *Varianta 2*. K tomuto kroku se přistoupilo po vyhodnocení trénovacího procesu jednotlivých variant FIS

¹⁶ Index $(t-1)$ u jednotlivých statistických zpracování značí, že vycházejí z původního vektoru posunutého oproti výstupnímu vektoru o jeden měsíc.

¹⁷ Všechna statistická zpracování byla provedena v MS Excel až na exponenciální vyrovnání, ke kterému byl použit statistický software STATISTICA.

(viz. dále) jednoměsíčních predikčních modelů, kde právě tato varianta vykazovala nejhorší výsledky. Skladby jednotlivých variant pro čtvrtletní a pololetní modely jsou uvedeny v tabulkách (Tabulka 23 a Tabulka 24).

Tabulka 21 Skladba vstupních matic pro jednotlivé varianty uspořádání původních a statisticky zpracovaných dat – čtvrtletní predikční modely.

	vstupní vektory					
Varianta 1	$y(t-12)$	$y(t-9)$	$y(t-6)$	$y(t-3)$	-	-
Varianta 3	$y(t-3)$	$JKP_{(t-3)}$	$VKP_{(t-3)}$	$KM_{(t-3)}$	$TKP_{(t-3)}$	$KSO_{(t-3)}$
Varianta 4	$EXP_{(t-3)}$	$JKP_{(t-3)}$	$VKP_{(t-3)}$	$KM_{(t-3)}$	$TKP_{(t-3)}$	$KSO_{(t-3)}$
Varianta 5	$EXP_{(t-3)+3}$	$JKP_{(t-3)}$	$VKP_{(t-3)}$	$KM_{(t-3)}$	$TKP_{(t-3)}$	$KSO_{(t-3)}$
$JKP_{(t-3)}$ – jednoduchý klouzavý průměr $VKP_{(t-3)}$ – vážený klouzavý průměr $KM_{(t-3)}$ – klouzavý medián $TKP_{(t-3)}$ – triangulační klouzavý průměr			$KSO_{(t-3)}$ – klouzavá směrodatná odchylka $EXP_{(t-3)}$ – jednoduché exponenciální vyrovnání $EXP_{(t-3)+3}$ – jednoduché exponenciální vyrovnání s predikcí +3 měsíce.			

Tabulka 22 Skladba vstupních matic pro jednotlivé varianty uspořádání původních a statisticky zpracovaných dat – pololetní predikční modely.

	vstupní vektory					
Varianta 1	$y(t-24)$	$y(t-18)$	$y(t-12)$	$y(t-6)$	-	-
Varianta 3	$y(t-6)$	$JKP_{(t-6)}$	$VKP_{(t-6)}$	$KM_{(t-6)}$	$TKP_{(t-6)}$	$KSO_{(t-6)}$
Varianta 4	$EXP_{(t-6)}$	$JKP_{(t-6)}$	$VKP_{(t-6)}$	$KM_{(t-6)}$	$TKP_{(t-6)}$	$KSO_{(t-6)}$
Varianta 5	$EXP_{(t-6)+6}$	$JKP_{(t-6)}$	$VKP_{(t-6)}$	$KM_{(t-6)}$	$TKP_{(t-6)}$	$KSO_{(t-6)}$
$JKP_{(t-6)}$ – jednoduchý klouzavý průměr $VKP_{(t-6)}$ – vážený klouzavý průměr $KM_{(t-6)}$ – klouzavý medián $TKP_{(t-6)}$ – triangulační klouzavý průměr			$KSO_{(t-6)}$ – klouzavá směrodatná odchylka $EXP_{(t-6)}$ – jednoduché exponenciální vyrovnání $EXP_{(t-6)+6}$ – jednoduché exponenciální vyrovnání s predikcí +6 měsíců.			

Vstupní matice hodnot *Varianty 1* jsou opět tvořeny výhradně původními vektory dat, které jsou vůči sobě posunuty o tři, resp. šest měsíců.

Rovněž ostatní varianty jsou pouze modifikací těch z uspořádání vstupních matic pro jednoměsíční predikci. Víceméně se liší pouze posunem hodnot o tři, resp. šest měsíců vůči výstupnímu vektoru, který zde zůstává beze změny a u *Variant 5* jsou na koncích vektorů exponenciálního vyrovnání použity predikce hodnot ve třech, resp. v šesti následujících měsících.

5.3.2 Trénovací, testovací a kontrolní množiny dat

Dalším krokem v předzpracování dat je vytvoření trénovací, testovací a kontrolní množiny dat. Aby učení systému bylo úspěšné a co nejkvalitnější, je potřebné vytvořit dostatečně velkou množinu reprezentativních trénovacích dat. Tato množina dat by měla být vytvořena tak, aby došlo nejen k nalezení správných vztahů mezi vstupními a výstupní hodnotou, ale aby tyto vztahy měly dostatečnou všeobecnou platnost. Reprezentativní data jsou taková, která postihují všechny nejvýznamnější nebo nejtypičtější události v průběhu jednoho kalendářního roku, resp. několika let. Jelikož jsou všechny zpracovávány časové řady tvořeny dostatečným počtem záznamů a nevyskytují se zde žádné výrazné anomálie, je

možné trénovací množinu dat vytvořit přímo vyjmutím části dat ze samotné matice předpřipravených hodnot příslušné varianty.

Každou vytvořenou variantu, představovanou maticí vstupních a vektorem výstupních dat, je tak možné rozdělit v poměru 2:1:1. Přičemž dva díly dat (např. leden 76 až květen 93) připadají množině trénovacích dat, která se používá v procesu učení modelu, resp. trénování. Jeden díl dat (např. červen 93 až květen 01) tvoří množinu testovacích dat, pomocí které se testuje naučenost navrhnutého modelu pro budoucí hodnoty a výsledek se porovnává s reálnými hodnotami. Poslední díl (např. od června 93 do května 2010) je použit na kontrolní data, která mají obdobný účel jako testovací data. Na základě výsledků z testovacích a kontrolních dat lze dojít k závěru, zda byla trénovaná data vhodně zvolena a zda je model dostatečně obecný (chyba z testovacích dat by měla být srovnatelná s chybou kontrolních dat).

Pokud by sestavení trénovacích, testovacích a kontrolních dat neprodukovalo uspokojivé výsledky, lze tyto množiny dat vytvořit pomocí náhodného výběru jednotlivých řádků z původní matice. Tento krok byl proveden u náhodně vybrané varianty každého z parametrů z důvodu kontroly a porovnání dosahovaných výsledků.

5.4 Návrhy predikčních modelů pomocí ANFIS

V případě vytváření predikčního modelu za využití fuzzy množin není nutné mít konkrétní znalost o vazbách mezi vstupními funkcemi příslušnosti a jejich vztahem k výstupní funkci příslušnosti, jak tomu bylo při vytváření FIS pro hodnocení bezpečnosti vozového parku. Jelikož nejsou k dispozici jiná data než záznamy o následcích dopravních nehod z předcházejících měsíců a let, bylo by výhodné odvodit chování modelu na základě těchto historických dat. K tomuto účelu lze v prostředí MATLABu využít adaptivního neuro-fuzzy inferenčního systému (ANFIS – adaptive neuro-fuzzy inference system). ANFIS metoda pracuje podobně jako neuronové sítě a umožňuje učení modelu z informací v množině poskytnutých dat.

Na začátku procesu je generován základní FIS. Tento proces v sobě zahrnuje jak vytvoření počátečních funkcí příslušnosti, tak i extrakci báze podmíněných pravidel. K dispozici jsou dvě metody generování FIS a to metoda využívající shlukovacích algoritmů (Subtractive Clustering) a naopak metoda, která nevyužívá shluků (Grid Partition). Pro každou z metod existuje několik možností nastavení – od volby počtu funkcí příslušnosti a jejich tvaru pro každý vstup¹⁸ až po stanovení různých parametrů shluků¹⁹. Základní FIS je následně optimalizován, přičemž se upravují parametry jednotlivých funkcí příslušnosti tak, aby co nejlépe sledovaly vstupní a výstupní data. Optimalizaci lze provádět pomocí algoritmu zpětného šíření chyby (backpropagation) nebo v kombinaci s metodou nejmenších čtverců

¹⁸ u metody Grid Partition

¹⁹ u metody Sub. Clustering

(hybridní metoda). Celý proces probíhá v několika krocích, tzv. epochách, jejichž počet volí uživatel.

V každém kroku optimalizace, resp. trénování systému, se počítá trénovací chyba. Jedná se o rozdíl mezi výstupní hodnotou trénovacích dat a výstupem z FIS, který odpovídá vstupním hodnotám těch samých trénovacích dat. Jinak řečeno je to rozdíl mezi reálnou hodnotou a výstupní hodnotou z modelu. Trénovací chyba je zjišťována na základě střední kvadratické chyby (RMSE - root mean squared error) v každé epoše trénování [27].

RMSE je matematicky vyjádřena pomocí vztahu [59]

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} (z_i - x_i)^2}, \quad (46)$$

kde z_i je predikovaný i -tý počet usmrčených, těžce nebo lehce zraněných osob, x_i reálný počet usmrčených, těžce nebo lehce zraněných osob, n je počet kontrolovaných párů.

Dostatečně optimalizovaný, resp. natrénovaný model je vhodné dále ověřit na množině testovacích a kontrolních dat. Pomocí těchto dvou kontrolních kroků lze zjistit, nakolik je natrénovaný model obecně platný a využitelný. Opět se zde zjišťují testovací a kontrolní chyby a využívá se přitom obdobné metodiky jako při zjišťování trénovací chyby.

5.4.1 Generování FIS

Základní FIS byl generován za pomoci ANFIS editoru v programovém prostředí MATLAB. Pro jednoměsíční predikci bylo generování FIS provedeno pro každou z variant předzpracovaných dat (Varianta 1 až Varianta 5) a pro každý sledovaný parametr²⁰.

Dále bylo nutné zjistit, pro jaké nastavení parametrů metod *Grid Partition* a *Subtractive Clustering*, především pak počtu funkcí příslušnosti vstupních proměnných, je dosahována minimální testovací a kontrolní chyba. Na základě tohoto požadavku bylo pro každý sledovaný parametr následků nehod a pro každou variantu předzpracovaných dat generováno dalších jedenáct až třináct FIS s různým nastavením používaných metod generování FIS. Nejdříve byly generovány FIS pomocí metody *Subtractive Clustering*, přičemž byl měněn parametr *míra vlivu* (*Range of Influence*) s krokem 0,1; přičemž některé intervaly byly dále zkráceny krokem 0,05.

Metodou *Grid Partition* byl následně generován pouze jeden FIS s počtem tří funkcí příslušnosti pro každou vstupní proměnnou. U této metody se vyskytuje problém s exponenciálním růstem počtu podmíněných pravidel v bázi podmíněných pravidel v závislosti na počtu proměnných a počtu funkcí příslušnosti. Tím je značně ovlivněn i výpočtový čas, který by při vyšším počtu funkcí příslušnosti byl s ohledem na dosažené výsledky neefektivní.

²⁰ počet usmrčených, těžce zraněných a lehce zraněných osob

K optimalizaci tvarů funkcí příslušnosti byl použit hybridní algoritmus a trénování FIS probíhalo ve 100 epochách²¹.

U čtvrtletní a pololetní predikce se postupovalo obdobným způsobem. Na základě zkušeností a výsledků z jednoměsíční predikce bylo ale provedeno několik redukcí. Byl snížen počet variant předzpracovaných dat a omezen byl i počet sledovaných parametrů na dva nejzávažnější. Upustilo se i od generování FIS pomocí metody *Grid Partition* a u metody *Subtractive Clustering* se omezil rozsah hodnot nastavení parametru *míra vlivu* pouze na ty, které při následném trénování nevykazovaly příliš velkou chybu a dlouhý, neefektivní čas výpočtu.

Dosažené výsledky trénování FIS pro sledované následky nehod a všechny použité varianty předzpracovaných dat jsou uvedeny v příloze (Příloha I7).

5.5 Predikce následků nehod

Cílem predikce bylo získat předpokládané hodnoty následků nehod v budoucím časovém horizontu. Podle délky tohoto horizontu byly vytvořeny tři skupiny predikčních modelů:

- **jednoměsíční**, zaměřený na odhad následků nehod v následujícím měsíci, než ke kterému jsou známa data,
- **čtvrtletní**, který odhaduje následky nehod v následujících třech měsících a
- **pololetní**, podávající informaci o předpokládaném vývoji následků nehod v následujících šesti měsících.

K predikci byly použity natrénované FIS těch variant předzpracovaných dat a nastavení parametrů generovacích metod, které vykazovaly nejmenší průměrnou střední kvadratickou chybu. Ta byla počítána jako aritmetický průměr ze střední kvadratické chyby testovacích a kontrolních dat. Vyhodnocení jednotlivých variant předzpracovaných dat a nastavení jejich parametrů vykazujících nejmenší kvadratickou chybu je pro každou skupinu predikčních modelů uvedeno v příloze (Příloha I8).

Nejmenší průměrné střední kvadratické chyby dosahovala u všech predikčních modelů Varianta5. U této varianty ale byly na vstupu použity již predikované hodnoty následků nehod pomocí exponenciálního vyrovnání. Prakticky se tak jedná o korekci predikce provedené exponenciálním vyrovnáním pomocí fuzzy systému učícího se z předzpracovaných historických dat. Pro porovnání schopnosti predikovat pouze z historických dat, resp. jejich předzpracovaných časových řad, byla k predikci vybrána ještě jedna varianta, která

²¹ V některých případech byl počet epoch upraven – většinou zmenšen, výjimečně zvětšen z důvodu přetrénování (overfittingu) systému, nebo snahy dosáhnout přesnějšího modelu.

vykazovala druhou nejmenší chybu a nebylo u ní na vstupu použito predikce pomocí exponenciálního vyrovnání²².

U obou vítězných variant byly k predikci použity kromě již natrénovaných FIS i nově generované a trénované FIS. Ty vycházely ze stejných variant předzpracovaných dat jako vítězné varianty a pro generování FIS byly použity i stejné parametry nastavení, ale k jejich trénování byl použit větší objem trénovacích dat než v předchozích případech. Testovací ani kontrolní chyby u nich už zjišťovány nebyly a data potřebná k jejich stanovení se přiřadila do množiny trénovacích dat. Do trénovací matice samozřejmě nebyla zařazena data používaná k následné predikci.

5.5.1 Jednoměsíční predikce následků dopravních nehod

Jednoměsíční predikce byla zaměřena na prognózu počtu usmrčených, těžce zraněných a lehce zraněných osob v druhém pololetí roku 2009 a v prvním pololetí roku 2010. Až na následky nehod za měsíc červen 2010 je možné všechny predikované hodnoty porovnat se skutečnými. Predikované následky nehod i skutečná pozorování jsou zaneseny do následujících grafů (Obr. 62 až Obr. 64).

První sloupec v příslušném měsíci vždy odpovídá skutečnému počtu případů usmrčených, těžce zraněných nebo lehce zraněných osob²³. Následující dva sloupce, označené jako *predikce 1* a *predikce 1a*, odpovídají hodnotám, které vypočetl predikční model s nejmenší průměrnou střední kvadratickou chybou. Odlišení písmenem *a* značí, že pro predikci byl použit model, který byl trénován z většího objemu vstupních dat, jak bylo uvedeno výše. Poslední dva sloupce přísluší výsledkům predikčních modelů (*predikce 2* a *predikce 2a*), které vykazují nejmenší průměrnou střední kvadratickou chybu a na jejich vstupu nebyla použita hodnota predikovaná za pomoci exponenciálního vyrovnání.

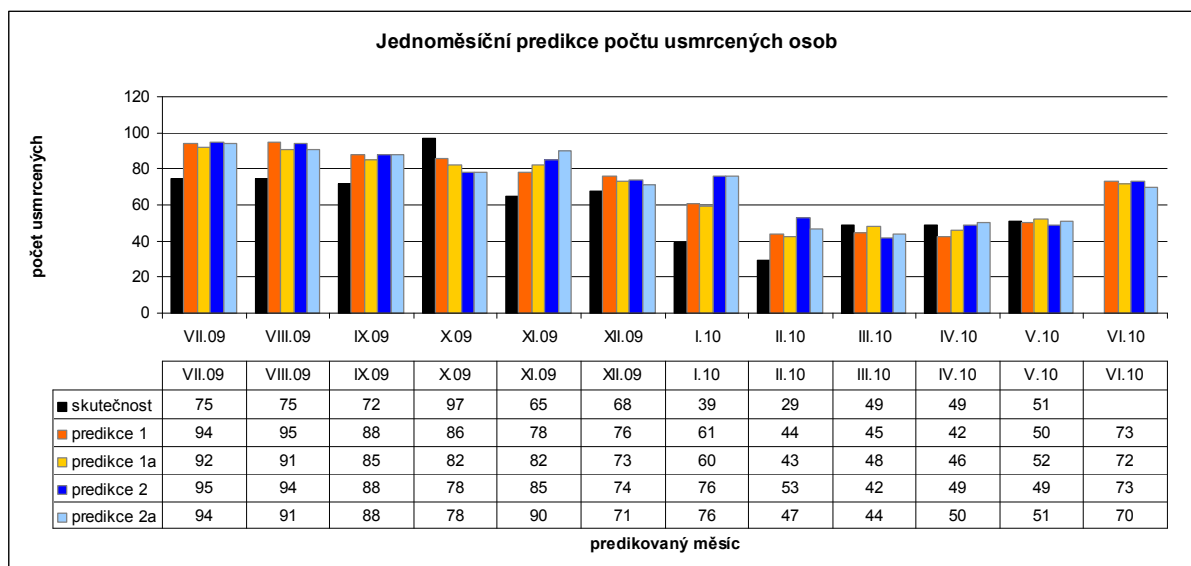
Z grafu jednoměsíčních predikcí počtu usmrčených osob při dopravních nehodách (Obr. 62) lze vysledovat určitý pozitivní trend ve vývoji počtu usmrčených osob. Reálné hodnoty pozorování jsou až na výjimky nižší než očekával model. Patrné je to především v měsících červenec 2009 až únor 2010, kde až na měsíc říjen 2009 všechny predikční modely byly pesimističtější a očekávaly vyšší počet usmrčených. Naopak měsíc říjen 2009 lze považovat za tragičtější, než bylo očekáváno. Nečekaně nízký počet usmrčených osob je potvrzený u prvních dvou měsíců roku 2010. V případě ledna se jedná o druhý nejnižší a v případě února o nejnižší počet usmrčených v příslušném měsíci od roku 1976. Zřejmě až vývoj následků nehod v následujících měsících ukáže, zda se jedná o systémovou změnu nebo pouze o mimořádný krátkodobý pokles. Více možná prozradí dlouhodobější predikční modely, které budou uvedeny o něco dále.

²² Jednalo se tedy o jednu z variant: Varianta 1 až Varianta 4.

²³ Černá barva – skutečný počet usmrčených osob, červená barva – počet pozorovaných těžce zraněných osob a šedá barva – počet pozorovaných lehce zraněných osob.

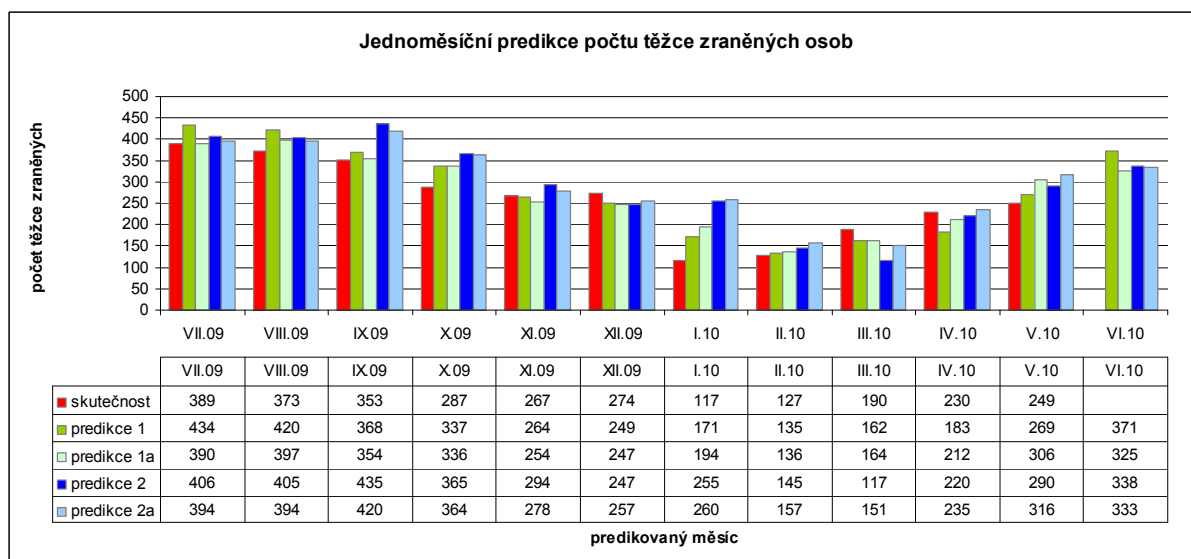
Skutečný počet usmrcených osob v jarních měsících roku 2010 již víceméně odpovídá predikovaným hodnotám. Tyto jsou rovněž oproti odpovídajícímu období v minulých letech nízké a v případě, že se skutečně jedná o dlouhodobý pokles počtu usmrcených osob, tak už se na něj predikční model stačil adaptovat.

V červnu roku 2010 je podle predikčních modelů očekáván obvyklý nárůst počtu usmrcených osob. Bude-li tento nárůst ve skutečnosti větší nebo menší, ukáží až statistiky Policie ČR, které v době tvorby této práce (25.7.2010) nebyly dosud publikovány.



Obr. 62 Jednoměsíční predikce počtu usmrcených osob

Predikovaný i skutečný počet těžce zraněných osob v jednotlivých měsících je znázorněn na následujícím grafu (Obr. 63).



Obr. 63 Jednoměsíční predikce počtu těžce zraněných osob

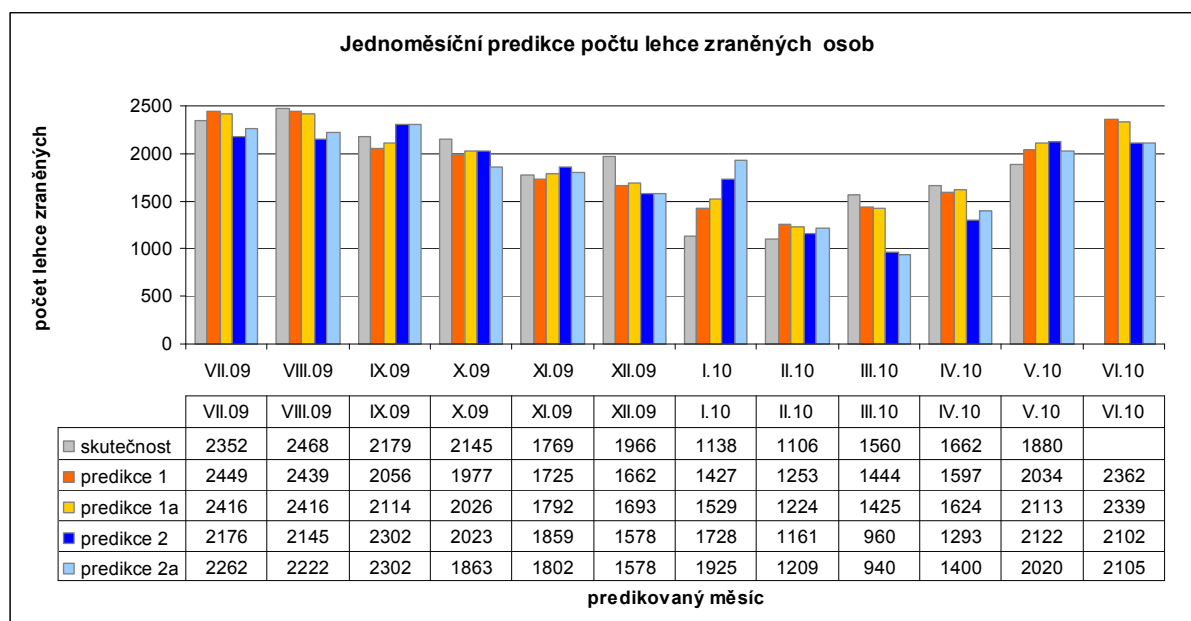
Rozdíly mezi skutečnými a predikovanými hodnotami ve druhé polovině roku 2009 již nejsou tak výrazné, jak tomu bylo u počtu usmrcených osob. Významnější pokles reálných hodnot oproti modelovým je patrný v měsíci říjnu 2009. Nehody v tomto měsíci byly zřejmě

vážnějšího charakteru a rozdíly mezi predikovanými hodnotami a skutečnými hodnotami jak u počtu usmrčených, tak i těžce zraněných osob naznačují, že určitá část těžce zraněných osob svým zraněním zřejmě podlehl²⁴. To se pravděpodobně projevilo právě nižším počtem těžce zraněných a vyšším počtem usmrčených osob, než očekávaly predikční modely.

Naopak fenomén pozorovaný v prvních měsících nového roku i zde ukazuje, že se skutečně událo nečekaně málo vážných dopravních nehod. V případě počtu těžce zraněných osob se v prvních dvou měsících roku 2010 jedná o nejnižší hodnoty v příslušných měsících od roku 1976. Z hlediska predikovaných hodnot je však zajímavé, že nízký počet těžce zraněných osob již v únoru roku 2010 model očekával a v následujícím měsíci byl dokonce o něco optimističtější než bylo skutečné pozorování.

Patrné jsou i větší rozdíly mezi výsledky jednotlivých predikčních modelů v některých měsících. Tyto jsou častější než tomu bylo v případě usmrčených osob. Více pesimistické chování vykazují predikční modely *predikce2* a *predikce2a*, čemuž odpovídá i jejich větší střední kvadratická chyba (jak trénovací, tak i testovací a kontrolní).

Posledním parametrem, který byl s jednoměsíčním předstihem predikován, je počet lehce zraněných osob při dopravních nehodách (Obr. 64). Z hlediska následků dopravních nehod vztahovaných ke zdraví osob má tento nejmenší závažnost. Samozřejmě i lehká zranění s sebou přinášejí určitou míru lidského utrpení a nemalé ekonomické náklady vynaložené na samotnou léčbu, pracovní neschopnost, atd. Účelem predikce však v tomto případě bylo v první řadě ověřit schopnosti predikčních modelů a porovnat výsledky se skutečnými hodnotami.



Obr. 64 Jednoměsíční predikce počtu lehce zraněných osob

Z grafu je patrné, že i v případě jednoměsíční predikce počtu lehce zraněných osob při dopravních nehodách jsou výsledky především prvního predikčního modelu, resp. jeho

²⁴ Do počtu usmrčených osob při dopravních nehodách jsou započítávána úmrtí do 30 dnů od nastalé události.

varianty učené z většího množství dat, uspokojivé. Chyba daná rozdílem mezi skutečnou a predikovanou hodnotou je zde sice větší než tomu bylo u předchozích dvou vážnějších následků, ale vzhledem k počtu případů lehkého zranění v každém sledovaném měsíci to nepředstavuje vážnější problém, což je nejlépe patrné pohledem na graf. Druhý predikční model a jeho varianta, označená jako *predikce 2a*, vykazují i v tomto případě méně kvalitní schopnost predikovat budoucí hodnoty. V některých případech jsou jejich hodnoty už významně odlišné od skutečnosti.

Největší rozdíly mezi predikovanými hodnotami a skutečným počtem událostí jsou tentokrát kromě ledna 2010 patrné i v prosinci 2009.

5.5.2 Čtvrtletní predikce následků dopravních nehod

Tříměsíční neboli také čtvrtletní predikce byly provedeny pouze u dvou nejzávažnějších následků dopravních nehod – počtu usmrcených a těžce zraněných osob. Období, na které predikce byla zaměřena, zahrnuje všechna čtvrtletí roku 2009 a první dvě čtvrtletí roku 2010. Predikované hodnoty byly opět porovnány se skutečnými událostmi (mimo červen 2010).

Skutečný i predikovaný počet usmrcených osob při dopravních nehodách v jednotlivých kvartálech je zanesen do grafu (Obr. 65). Z grafu je patrné, že predikční modely byly během téměř celého roku 2009 oproti skutečnému počtu usmrcených více pesimistické. Výjimku tvoří pouze počet událostí za měsíce leden a říjen, kde skutečné počty usmrcených byly o 10, resp. 15 osob vyšší, než předpokládal model. Z tohoto hlediska lze²⁵ vývoj počtu usmrcených osob za rok 2009 považovat za pozitivní.

V prvním pololetí se výrazněji odlišují první dva zimní měsíce roku 2010, ale odchylky v následujících měsících mezi modely a skutečností jsou již poměrně malé.

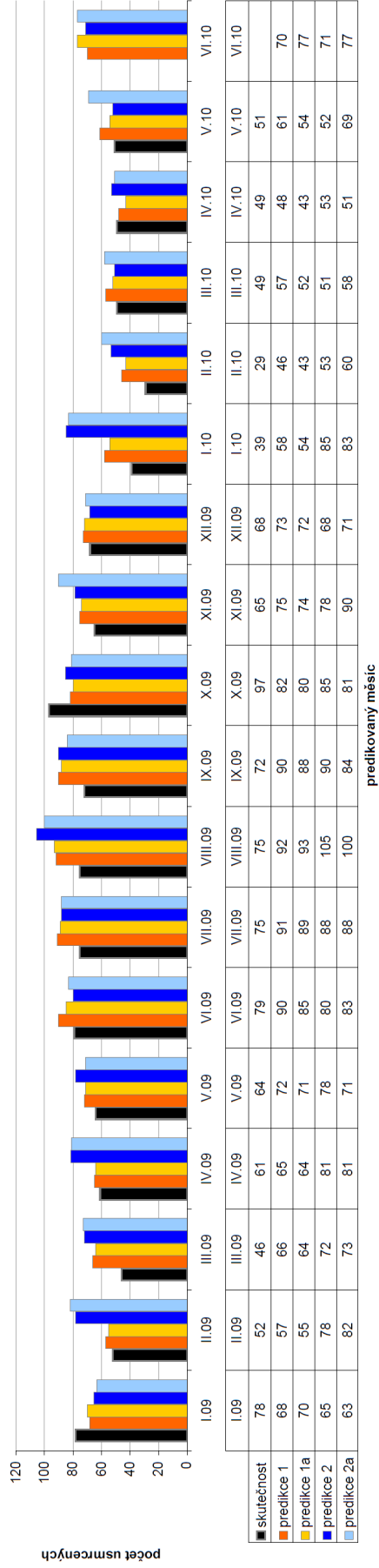
Porovnájí-li se stejná období predikovaná pomocí jednoměsíční i čtvrtletní predikce, lze dospět k závěru, že oba typy modelů podávají velice podobné výsledky, jejichž rozdíly se pohybují v jednotkách usmrcených osob.

Počet těžce zraněných osob byl predikován ve stejných čtvrtletích jako v případě počtu usmrcených osob. Výsledky predikce a k nim přiřazené skutečné hodnoty jsou zaneseny do grafu (Obr. 66). Z hlediska porovnání predikovaných a reálných hodnot lze považovat měsíce duben a květen v roce 2009 za tragičtější, než bylo očekáváno. Naopak letní měsíce roku 2009 vykazovaly o něco nižší počty těžce zraněných osob, než předpokládal model. Větší počet těžce zraněných, zhruba o padesát až 100 případů, byl modelem očekáván i v březnu 2009.

Pozitivní vývoj ve skutečném počtu těžce zraněných osob je opět zaznamenán u prvních dvou zimních měsíců v roce 2010. Zde narozdíl od hodnot měsíční predikce vykazují predikční modely v únoru 2010 očekávanou vyšší hodnotu počtu těžce zraněných osob a i v následujících měsících je čtvrtletní model více pesimistický.

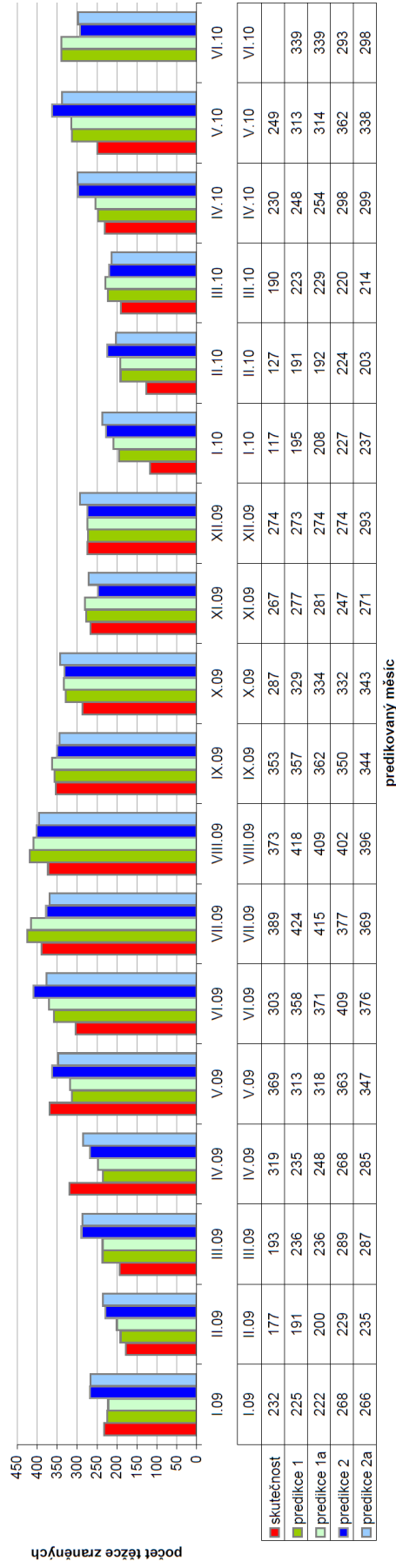
²⁵ v porovnání s predikčními modely

Čtvrtletní predikce počtu usmrcených osob



Obr. 65 Čtvrtletní predikce počtu usmrcených osob

Čtvrtletní predikce počtu těžce zraněných osob

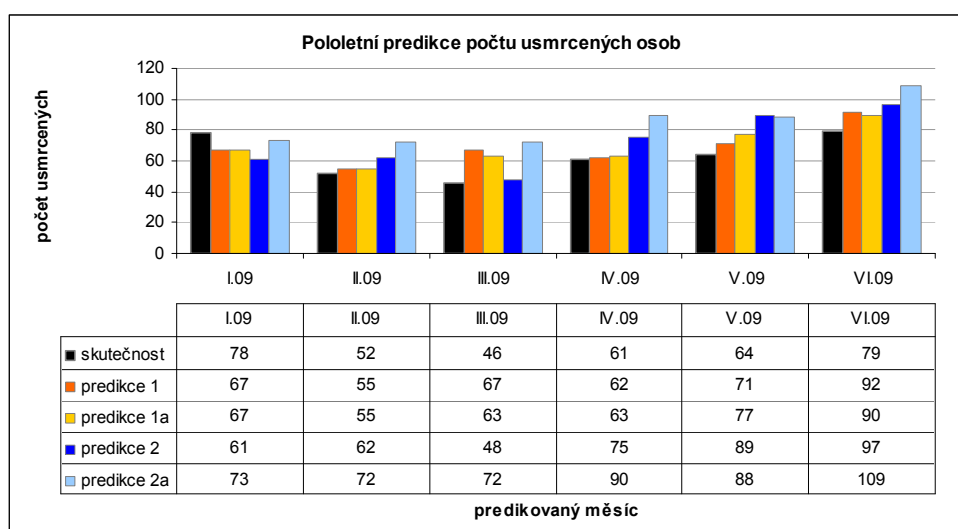


Obr. 66 Čtvrtletní predikce počtu těžce zraněných osob

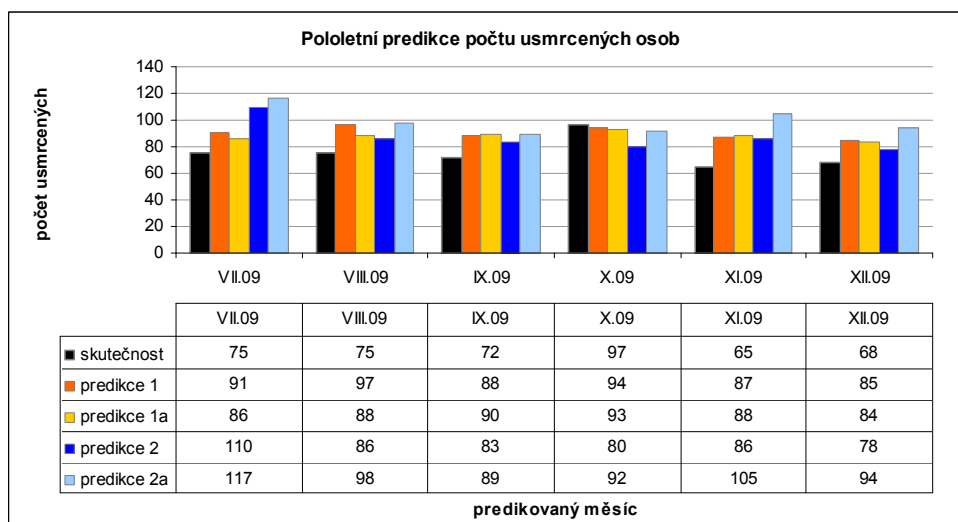
5.5.3 Pololetní predikce následků dopravních nehod

Podobně jako čtvrtletní predikce byla i pololetní prognóza zaměřena pouze na nejzávažnější následky nehod – tedy počty usmrcených a těžce zraněných osob. Predikovaným obdobím byla obě pololetí roku 2009 a první pololetí roku 2010 a až na měsíc červen 2010 lze opět všechny predikované hodnoty porovnat se skutečně pozorovanými. Výsledky pro jednotlivá pololetí jsou pro každý druh následků nehod uvedeny ve trojici grafů.

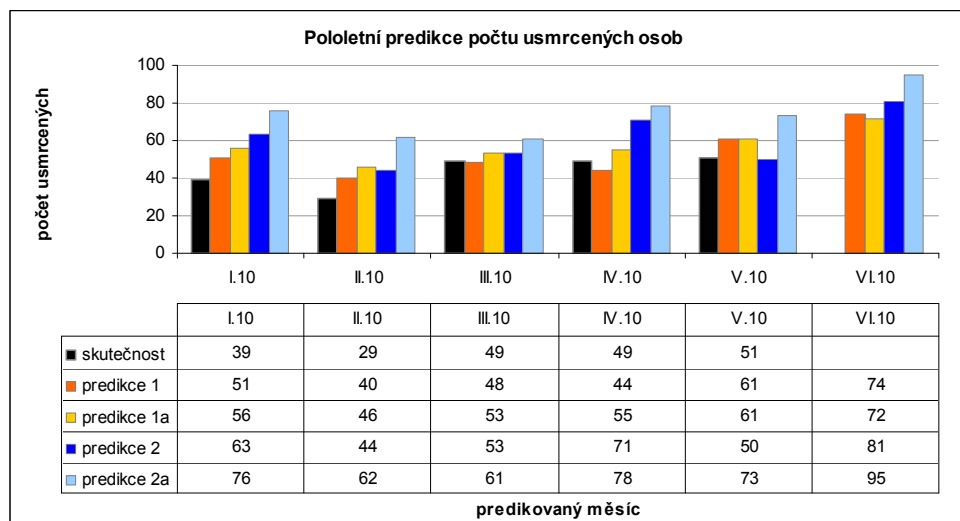
Predikovaný i skutečný počet usmrcených osob je zobrazen v následujících grafech (Obr. 67 – Obr. 69). Patrné je zde opět spíše pesimistické chování predikčních modelů a větší a častější rozdíly mezi jednotlivými predikčními modely.



Obr. 67 Pololetní predikce počtu usmrcených osob – první pololetí roku 2009



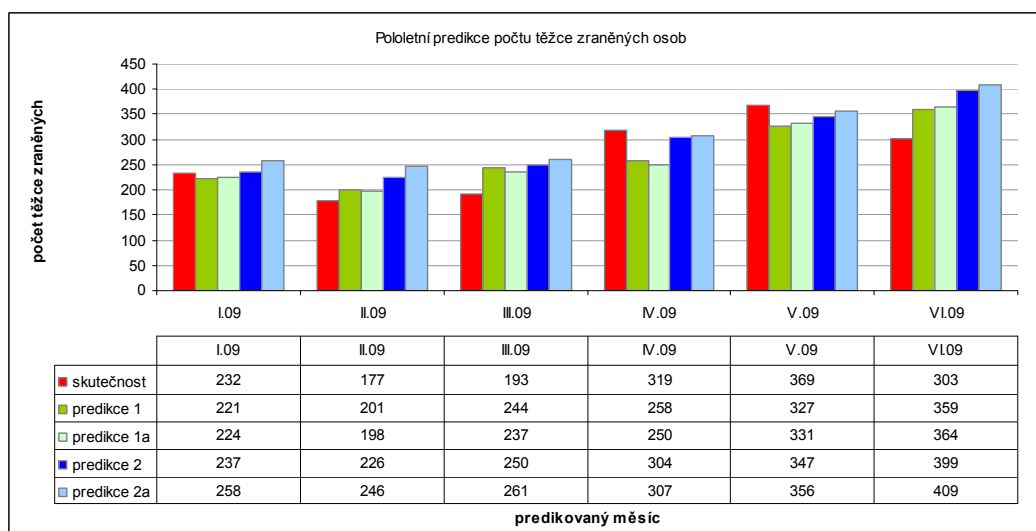
Obr. 68 Pololetní predikce počtu usmrcených osob – druhé pololetí roku 2009



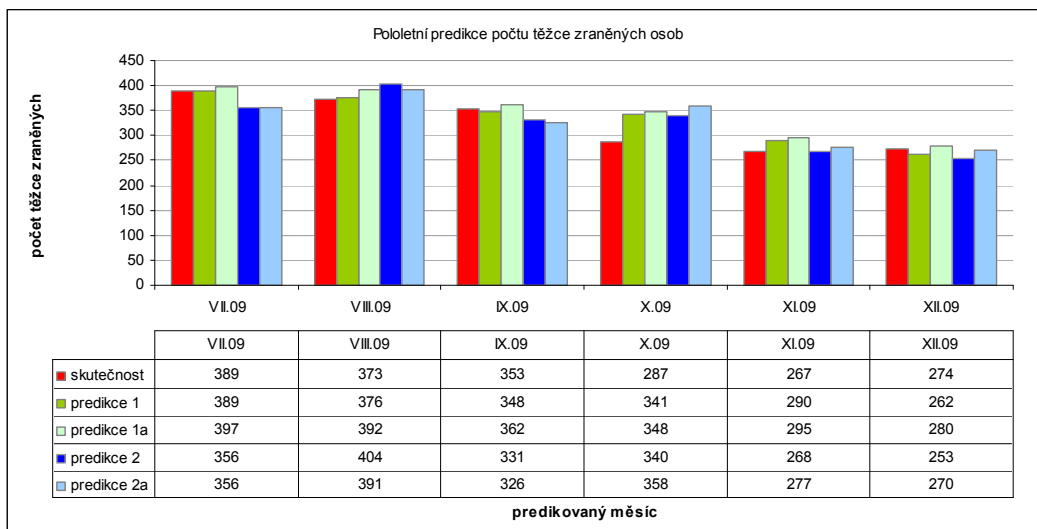
Obr. 69 Pololetní predikce počtu usmrcených osob – první pololetí roku 2010

Predikovaný i skutečný počet těžce zraněných osob je uveden v následující trojici grafů (Obr. 70 – Obr. 72). Lze zde opět pozorovat o něco optimističtější očekávání predikčních modelů v dubnu a květnu roku 2009, naopak více pesimistické byly prognózy v únoru, březnu, červnu a říjnu téhož roku. Na rozdíl od předchozích dvou predikcí jsou zde během prázdninových měsíců menší odchylky mezi predikcí a skutečností.

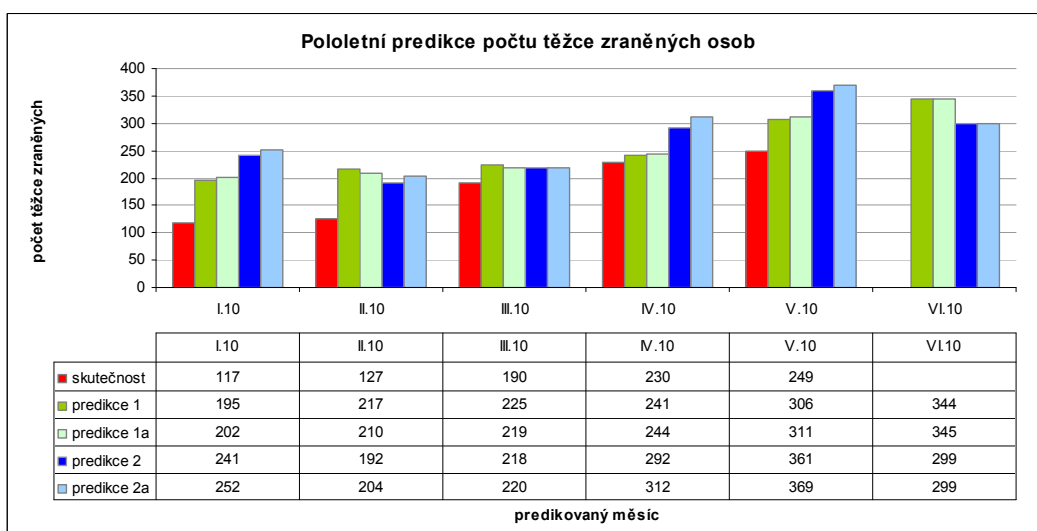
První pololetí roku 2010 je pak predikováno obdobně, jak tomu bylo v případě čtvrtletních modelů. Větší viditelné odchylky vykazuje pouze *predikce 2*.



Obr. 70 Pololetní predikce počtu těžce zraněných osob – první pololetí roku 2009



Obr. 71 Pololetní predikce počtu těžce zraněných osob – druhé pololetí roku 2009



Obr. 72 Pololetní predikce počtu těžce zraněných osob – první pololetí roku 2010

5.6 Porovnání predikčních modelů

V předcházející kapitole byly popisovány odchylky chování predikčních modelů od skutečných událostí pouze prostým porovnáváním a na základě grafické podoby dosažených výsledků. Takto prezentované výsledky je vhodné doplnit o podrobnější číselné vyjádření schopnosti modelů predikovat budoucí vývoj následků nehod.

Určitou představu o kvalitě predikční schopnosti modelů si bylo možné vytvořit již na základě testovacích, kontrolních, resp. z nich vypočtených průměrných středních kvadratických chyb (viz Příloha 18). Podle nich byly vybírány i predikční modely pro závěrečnou predikci (viz. kapitola 5.5). Kvalitativní rozdíly mezi vybranými predikčními modely dané těmito chybami by měly být potvrzeny i porovnáním výsledků predikcí a skutečné četnosti následků nehod.

Pro ověření kvality jednotlivých predikčních modelů byly vypočítány absolutní odchylky mezi skutečnými a predikovanými hodnotami. Z těch pak pro každý predikční model použitý

v dané skupině prognóz²⁶ byla vypočítána průměrná hodnota a vybrána největší a nejmenší absolutní odchylka. V následujících tabulkách (Tabulka 23 až Tabulka 25) jsou tyto hodnoty uvedeny.

Tabulka 23 Průměrná, maximální a minimální absolutní odchylka – jednoměsíční predikce

	usmrcení			těžce zranění			lehce zranění		
	průměr	max.	min.	průměr	max.	min.	průměr	max.	min.
predikce 1	12.4	22	1	31.1	54	3	139.7	304	30
predikce 1a	11.1	21	1	27.5	77	1	137.3	391	23
predikce 2	15.5	37	0	49.4	138	10	279.8	600	55
predikce 2a	14.5	37	0	43.8	143	5	279.5	787	33

Tabulka 24 Průměrná, maximální a minimální absolutní odchylka – čtvrtletní predikce

	usmrcení			těžce zranění		
	průměr	max.	min.	průměr	max.	min.
predikce 1	11.4	20	1	38.4	84	1
predikce 1a	9.6	18	3	40.1	91	0
predikce 2	15.5	46	0	51.4	113	0
predikce 2a	17.7	44	2	48.5	120	4

Tabulka 25 Průměrná, maximální a minimální absolutní odchylka – pololetní predikce

	usmrcení			těžce zranění		
	průměr	max.	min.	průměr	max.	min.
predikce 1	11.0	22	1	37.1	90	0
predikce 1a	11.5	23	2	38.9	85	6
predikce 2	15.0	35	1	48.6	124	1
predikce 2a	24.8	42	5	55.0	135	4

Z výsledků uvedených v tabulkách je zřejmé, že kvalita vybraných predikčních modelů je v souladu s hodnocením modelů podle průměrných středních kvadratických chyb získaných již v průběhu trénování modelů. Ty byly vždy nižší pro predikční model 1, kde již na vstupu byla použita predikce pomocí exponenciálního vyrovnání.

Konkrétní vyhodnocení vybraných modelů je třeba rozebrat zvlášť pro každý predikční interval.

Jednoměsíční predikce ve všech kategoriích následků nehod dokázal s nejmenšími odchylkami od reálné četnosti událostí produkovat predikční model označený jako *predikce 1a*. Jedná se o predikční model s nastavením parametrů odpovídajícím modelu *predikce 1* s tím rozdílem, že byl učen z delší časové řady. Jelikož u něj nebyly zjišťovány trénovací a kontrolní chyby, nedalo se dopředu příliš odhadnout, jak kvalitní výsledky bude produkovat. Nepatrně větší odchylky produkoval model *predikce 1*, u něhož se dobré výsledky očekávaly. O něco větší odchylky od skutečných hodnot²⁷ dosahovaly modely

²⁶ tj. měsíční, čtvrtletní a pololetní

²⁷ V případě počtu lehce zraněných osob už ale dosahovaly zhruba dvojnásobku průměrné odchylky oproti modelům *predikce 1* a *predikce 1a*.

predikce 2a a *predikce 2*, přičemž posledně jmenovaný lze označit z tohoto hlediska jako nejhorší.

Obdobná situace je i u čtvrtletní predikce v případě počtu usmrčených osob. V kategorii počet těžce zraněných osob došlo k prohození pořadí mezi prvními dvěma (*predikce 1* a *predikce 1a*) i následujícími dvěma (*predikce 2* a *predikce 2a*) modely.

U pololetní predikce již nejmenší průměrnou odchylku od skutečných dat u obou kategorií následků vykázal model *predikce 1*, který byl těsně následovaný jeho modifikací *predikce 1a*. Pořadí u zbývajících dvou zůstalo stejné jako u jednoměsíční predikce.

Modelem s nejmenší průměrnou odchylkou od skutečné hodnoty je v případě smrtelných následků nehod čtvrtletní model *predikce 1a*. Počet těžce zraněných odhadoval s nejmenší průměrnou odchylkou jednoměsíční model *predikce 1a*. Rozdíly v odchylkách mezi nejlepšími modely pro různá predikovaná období jsou však malé. Výjimku tvoří pouze jednoměsíční model *predikce 1a* v kategorii těžce zranění, který oproti ostatním dvěma nejlepším modelům dlouhodobějších predikcí vykázal průměrnou odchylku zhruba o 10 těžce zraněných osob menší.

Jednotlivé rozdíly mezi modely stejného typu ale odlišného predikovaného období lze vidět na grafech uvedených v příloze (Příloha 19).

6 Shrnutí výsledků – přínosy pro vědu a praxi

V disertační práci jsem se zabýval aplikací fuzzy množin jako jedné z metod výpočetní inteligence na řešení systému bezpečnosti silničního provozu. Konkrétně jsem se zaměřil na dvě oblasti.

První oblastí byl vzhledem k mému profesnímu zaměření subsystém vozidlo, u kterého jsem se snažil provést rešerši zaměřenou na parametry vozidla, které mají vliv na pasivní bezpečnost vozidla. Rozebrány zde byly především tyto parametry:

- věk vozidla,
- odolnost vozidla a ochrana cestujících z hlediska nárazových testů,
- hmotnost vozidla,
- vzájemná nekompatibilita mezi vozidly.

Na základě nastudovaných informací a vzhledem k charakteru dat byl vytvořen fuzzy inferenční systém umožňující hodnotit bezpečnost at' už jednotlivého vozidla nebo lépe větších skupin vozidel, kde je využití systému efektivnější. Konkrétně byl tento systém aplikován na 98% vozový park osobních vozidel registrovaných na území České republiky, který vycházel ze záznamů Centrálního registru vozidel s uzavírkou datovanou k 1.7.2007. Kromě stanovení bezpečnostního potenciálu vozového parku pomocí tohoto systému jsem provedl analýzu vozového parku ČR i z hlediska jednotlivých vstupních proměnných navrženého FIS.

Druhou oblastí, na kterou jsem se v disertační práci zaměřil, byly negativní důsledky silniční dopravy na životy a zdraví osob v souvislosti s dopravními nehodami. Silniční dopravu, resp. nebezpečí v silniční dopravě jsem zde opět vnímal jako systém a následky dopravních nehod jako určitý systematický projev jeho chování.

Sled následků dopravních nehod pozorovaných v pravidelných intervalech vytváří časovou řadu, ve které by se systematickosti chování jednotlivých subjektů silniční dopravy měla projevit. Tato hypotéza mě vedla k myšlence využít takového projevu k predikci budoucího vývoje následků nehod. K řešení tohoto úkolu jsem využil Fuzzy inferenční systém typu Takagi – Sugeno, který je mimo jiné právě vhodný pro predikční úlohy a učení z historických dat.

Připravil jsem tři skupiny variant a predikčních modelů za účelem získat jednoměsíční, čtvrtletní a pololetní predikční modely. Jednotlivé varianty v rámci každé skupiny se od sebe lišily způsobem a různými kombinacemi předzpracovaných dat. Po vyhodnocení jednotlivých variant jsem s vybranými modely provedl prognózu budoucího vývoje následků nehod a tu porovnal se skutečně pozorovanými událostmi.

Svoji práci pak spatřuji jako **přínosnou pro vědu** především z následujících důvodů:

- Využití metod výpočetní inteligence a ukázka dvou příkladů aplikací na systémové řešení bezpečnosti silničního provozu.
- Hodnocení pasivní bezpečnosti vozového parku představené v mé disertační práci lze považovat za jednu z charakteristik subsystému *vozidlo v systému bezpečnosti silničního provozu*, která na pasivní bezpečnost vozidla nahlíží z komplexnějšího hlediska než bylo dosud zvykem.
- Predikce následků nehod z historických dat pomocí fuzzy množin doplňuje jiné statistické nástroje, popřípadě umožňuje jejich využití pro dosažení kvalitnější prognózy.

Práci považuji rovněž za **přínosnou pro praxi** a to především v těchto bodech:

- V práci představené hodnocení bezpečnosti vozového parku není založeno pouze na odhadu podle průměrného stáří vozového parku, ale lépe využívá jeho strukturu. Takové hodnocení má pak vyšší vypovídající hodnotu a vzájemné porovnání bezpečnosti vozových parků mezi různými státy poskytuje přesnější představu o úrovni bezpečnostního potenciálu vozidel na daném území.
- Za vedlejší efekt hodnocení bezpečnosti vozového parku lze rovněž považovat možnost hodnotit vozový park z hlediska samotných vstupních parametrů do představeného FIS a získat tak konkrétnější představu o struktuře vozového parku.
- Predikce následků nehod z historických dat pomocí fuzzy množin je další alternativou k již používaným statistickým metodám jako jsou například ARIMA modely nebo exponenciální vyrovnání. Tyto se používají ke sledování účinnosti bezpečnostních opatření a naopak schopnosti adaptace účastníků silničního provozu na tato opatření z různě dlouhodobého hlediska.

Aplikace výpočetní inteligence na řešení bezpečnosti silničního provozu představená v této práci zdaleka nevyčerpává potenciál jejího využití v této oblasti. Tato práce je naopak pouze malou a spíše úvodní ukázkou toho, jaké možnosti tato metoda nabízí. Z hlediska **budoucí vědecko-výzkumné činnosti** je možné systém hodnocení bezpečnosti vozového parku rozšiřovat o další vstupní veličiny vztahující se především k vzájemné kompatibilitě/nekompatibilitě vozidel (např. světlá výška) a rovněž systém doplnit o hodnocení aktivní bezpečnosti vozidel.

Vizí je vytvořit hodnocení bezpečnostního potenciálu také u zbývajících dvou subsystémů systému bezpečnosti silničního provozu, kterými jsou komunikace a člověk jako účastník silničního provozu. Tím by se otevřela možnost zcela komplexního hodnocení a sledování vývoje úrovně bezpečnosti, resp. nebezpečí na silničních komunikacích určitého území.

7 Literatura

Citované informační zdroje

- [1] MEDELSKÁ, V., SLAMKA, J. *Teória bezpečnosti v cestnej premávke*, Bratislava: A-PZ, 1999.
- [2] Olej, V. *Modelovanie ekonomických procesov na báze výpočtovej inteligencie*, Hradec Králové: Miloš Vognar – M&V, 2003, 160 stran, ISBN 80-90324-9-1
- [3] KALOČ, R. *Dynamika I*, Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1965. 307 s.
- [4] VLK, F. *Stavba motorových vozidel*, Brno: Vlk, 2003, 499s.. ISBN 80-238-8757-2
- [5] SLAMKA, MEDELSKÁ, V., PAVLÍČEK K., POKORNÝ J., ŠEFČÍK I. *Vademekum bezpečné jazdy silničných vozidel*, text pripravený do tisku.
- [6] LÉCUYER, J.F., CHOUINARD, A. *Study on the Effect of Vehicle Age and the Importation of Vehicles 15 Years and Older on the Number of Fatalities, Serious Injuries and Collisions in Canada*, Proceedings of the Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference XVI; June 11-14, 2006; Winnipeg, Manitoba
- [7] OLIVARES, G., YADAV, V. *Mass Transit Bus-vehicle compatibility evaluations during frontal and rear collisions*. National Institute for Aviation Research. USA. 13 s. Paper Number 07-0477.
- [8] EVANS L, FRICK M.C. Car size or car mass – which has greater influence on fatality risk?. *Am J Public Health*. 1992, 82, s. 1105–1112.
- [9] EVANS L. Causal Influence of Car Mass and Size on Driver Fatality Risk, *Am J Public Health*. 2001, 91, s. 1076–1081
- [10] KAHANE Ch. J. *Vehicle Weight, Fatality Risk and Crash Compatibility of Model Year 1991-99 Passenger Cars and Light Trucks*. NHTSA Technical Report No. DOT HS 809 662. Washington. 2003. 325 s.
- [11] Unlink. *Status Report*. Insurance Institute for Highway Safety, Vol. 41, No.2, February 25, Arlington. 2005, 8 s.
- [12] Crash compatibility. *Status Report*. Insurance Institute for Highway Safety, Vol. 33, No.1, February 14, Arlington. 1998, 12 s.
- [13] Driver death rates. *Status Report*. Insurance Institute for Highway Safety, Vol. 35, No.7, August 19, Arlington. 2000, 8 s. ISSN 0018-988X
- [14] LUND A. K., *Statement before the U.S. Senate Committee on Commerce, Science, and Transportation: CAFE Standards*, Insurance Institute for Highway Safety, January 24, Arlington. 2002. 8s.

- [15] CHOU, C. C. *Vehicle crashworthiness and Occupant Protection*. Michigan : American Iron and Steel Institute, 2004. Fundamental Principles for Vehicle/Occupant Systems Analysis, s. 159-226.
- [16] TAKIZAWA, S., HIGUCHI, E., IWABE T., KISAI. T., SUZUKI. T. Study of Load Cell MDB Crash Tests for Evaluation of Frontal Impact Compatibility. In *Proceedings - 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*. Washington, D.C. : National Highway Traffic Safety Administration, 2005. s. 14.
- [17] DELANNOY, P., FAURE, J. Compatibility assessment proposal close to real life accidents, *Proceedings of the 18th ESV Conference*, Nagoya, 2003, Paper 94, s. 9.
- [18] HUANG, M. *Vehicle Crash Mechanics*, Boca Raton: CRC Press LLC, 2002, 481 s., ISBN 0-8493-0104-1
- [19] TAPIO, J., PIRTALA, P., ERNVALL, T. *The Accident Involvement and Injury Risk Rates of Car Models*, University of Oulu, Department of Civil Engineering, Road and Transport Laboratory, Finland, Publications 28, 96 p., ISBN 951-42-4144-4
- [20] FREI, P., KAESER, R., MUSER, M.H., NIEDERER, P.F., WALZ, F.H. *Vehicle structural crashworthiness with respect to compatibility in collisions*, The Universities of Zürich, Zürich 1999, 8 s. DOI:10.3929/ethz-a-004261403.
- [21] GERMAN, J. Weight reduction and safety implications, *Passenger Vehicle GHG Symposium*, April 21, Sacramento, 2008, prezentace: 29 s.
- [22] WENZEL, T. *Are SUVs really Safer than Cars?*, Berkeley Lab Friends of Science, February 19, Berkeley 2004, prezentace: 31 s.
- [23] AL-ZU'BI, Y. *Nile River Flow Forecasting Based Takagi-Sugeno Fuzzy Model*, Asian Network for Scientific Information, Journal of Applied Science 10 (4), 2010, p. 284-290, ISSN 1812-5654
- [24] ŠELMÁT, M. *Hodnocení bezpečnosti vozového parku České republiky*, Pardubice, 2008. 60 s. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- [25] LIŠKA, R. *Metody nárazových zkoušek a jejich srovnání*. Praha, 2007. 112 s. Diplomová práce. ČVUT.
- [26] MRÁZOVÁ, L. *Modelování hrubého domácího produktu pomocí fuzzy inferenčních systémů a dopředných neuronových sítí*. Pardubice, 2004, 92 s., Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- [27] *Fuzzy logic toolbox user's guide*. The MathWorks. Natick, 2010. 345 s. Dostupný také z WWW: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf>.
- [28] ROLEČEK, L. *Ocel a automobil*, Škoda auto, Mladá Boleslav 2006, prezentace: 56 s.

- [29] TECL, J. Modelování dopravní nehodovosti. *Silniční obzor*. 1999, 60, 2, s. 42-43. ISSN 0322-7154.
- [30] HANČLOVÁ, J., TVRDÝ, L. *Úvod do analýzy časových řad* [online]. Ostrava, 2003, [cit. 2010-6-19]. Dostupné z WWW: <http://gis.vsb.cz/pan-old/Skoleni_Texty/TextySkoleni/AnalyzaCasRad.pdf>.
- [31] CIPRA, T. *Praktický průvodce finanční a pojistnou matematikou*. I.vydání. Praha:Edice HZ, 1995.ISBN 80-901918-0-0, 320s.
- [32] ŘEZANKOVÁ, H., MAREK, L., VRABEC, M. *IASTAT – interaktivní učebnice statistiky* [online]. Fond rozvoje vysokých škol MŠMT ČR, 2001. [cit. 2010-6-14]. Dostupné z WWW: <<http://iastat.vse.cz/>>
- [33] ARTL, J. ANTLOVÁ, M. RUBLÍKOVÁ, E. *Analýza ekonomických časových řad s příklady* [online], Praha 2002. [cit. 2010-6-19]. Dostupné z WWW: <<http://nb.vse.cz/~artlova/vyuka/crsbir02.pdf>>.
- [34] NOVÁK, V. *Fuzzy množiny a jejich aplikace*, SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha 1986, 280 stran
- [35] OLEJ, V., PETR. P. *Umělá a výpočetní inteligence, část: Fuzzy množiny*, skriptá, Univerzita Pardubice, Pardubice 2004, 62 stran, ISBN 80-7194-670-2
- [36] FRANCEK, J. *Možnosti využití metod umělé inteligence v systémech pro podporu rozhodování*, diplomová práce, Univerzita Pardubice – FES, 2001
- [37] MOLNÁR, K. *Úvod do problematiky umělých neuronových sítí* [online]. [cit. 2005 – 07-12] Dostupné z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/00013/>>
- [38] *Úvod do fuzzy světa* [online]. [cit. 2005 – 07-12] Dostupné z WWW: <http://nwe228.vsb.cz/strankyWEB/Studenti/Kana/Fuzzy/Uvodfuzzy.htm>
- [39] ZADECH, L.A. *Fuzzy sets. Inf. & Control*, 8th outlay, 1965
- [40] DAŇKOVÁ, A. *Ekonomické ztráty způsobené nehodovostí v silničním provozu v ČR za rok 2006* [online]. [cit. 2010 – 27 – 07] Dostupné z WWW: <<http://www.cdv.cz/ekonomicke-ztraty-zpusobene-nehodovosti-v-cr-vv-roce-2006>>
- [41] *Centrální registr vozidel* [online]. [cit. 2010 – 19-01] Dostupné z WWW:<<http://www.mvcr.cz/clanek/centralni-registr-vozidel-676625.aspx>>
- [42] *Euro NCAP : About us* [online]. [cit. 2010-08-02]. History. Dostupné z WWW: <<http://www.Euro NCAP.com/history.aspx>>.
- [43] *Euro NCAP : Our tests : Technical information* [online]. [cit. 2010-27-02]. Protocols. Dostupné z WWW: <<http://www.Euro NCAP.com/Content-Web-Page/fb5e236e-b11b-4598-8e20-3eced15ce74e/protocols.aspx>>.

- [44] ANCAP [online]. [cit. 2010-02-08]. About ANCAP. Dostupné z WWW: <<http://www.ancap.com.au/about>>.
- [45] *Insurance Institute for Highway Safety, Highway Loss Data Institute : Vehicle ratings* [online]. [cit. 2010-03-01]. Frontal offset crash test details, ratings criteria, crash test verification. Dostupné z WWW: <http://www.iihs.org/ratings/frontal_test_info.html>.
- [46] *Frontal Offset Crashworthiness evaluation : Guidelines for Rating Structural Performance*. Arlington : Insurance Institute for Highway Safety, April 2002. 3 s. Dostupné z WWW: <<http://www.iihs.org/ratings/protocols/pdf/structural.pdf>>.
- [47] *IIHS Side Impact Test Program: Rating Guidelines*. [online]. Duben 2006 [cit. 2010-03-01]. Dostupné z WWW: <http://www.iihs.org/ratings/protocols/pdf/iihs_side_impact_guide.pdf>.
- [48] National Highway Traffic Safety Administration#NCAP. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 10 March 2006 , last modified on 28 February 2010 [cit. 2010-11-03]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/National_Highway_Traffic_Safety_Administration#NCAP>.
- [49] *SafeCarGuide.com* [online]. 2000-2009 [cit. 2010-03-15]. Weight Matters. Dostupné z WWW: <<http://www.safecarguide.com/exp/weight/idx.htm>>.
- [50] ŠÍPEK, A. *Tisková informace č. 16/2009*, Sekretariát Sdružení automobilového průmyslu, Praha
- [51] HYAN, T. Kousek Volva pro každého. *Automobil Revue*. 2000, 5, s. 50.
- [52] *Ministerstvo dopravy České republiky* [online]. c2005 [cit. 2005 – 30-11]. Dopravní politika České republiky pro léta 2005-2013. Dostupné z WWW: <http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/652F57DA-5359-4AC6-AC42-95388FED4032/0/MDCR_DPCR20052013_UZweb.pdf>
- [53] *Zákon č. 361/2000 Sb.* [online]. [cit. 2010 – 27-07]. §47 odst. 4. Dostupné z WWW: <<http://www.zakonycr.cz/seznamy/361-2000-Sb-zakon-o-provozu-na-pozemnich-komunikacich-a-o-zmenach-nekterych-zakonu.html>>
- [54] *Evropský parlament – pozměňovací návrhy 28-55* [online]. Dostupné z WWW: <www.europarl.eu.int/meetdocs/2004_2009/documents/am/547/547323/547323cs.pdf>
- [55] ČSÚ – *Soudnictví, kriminalita, nehody - metodika* [online]. [cit. 2005 – 29-11] Dostupné z WWW: <http://www.czso.cz/csu/edicniplan.nsf/o/10n1-04-_2004-soudnictvi,kriminalita,nehody___metodika>.
- [56] Genetický algoritmus. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 6.4.2005, last modified on 9.11.2005 [cit. 2010-08-04]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Genetick%C3%BD_algoritmus>.

- [57] *News release: New Study of relationships between vehicle weight and occupant death rates helps put in perspective issue of crash compatibility.* Insurance Institute for Highway Safety, Tuesday, February 10, Arlington. 1998, 4 s.
- [58] *Safety: size vs. weight debate*, Aluminum Transportation Group, 2008, 3 s. Dostupný také z WWW: <<http://autoaluminum.org/downloads/2008SizeWeight.pdf>>
- [59] WOOD, J.D. *The geomorphological characterisation of digital elevation models*, PhD Thesis, University of Leicester, UK, 1996 185 s. Dostupný také z WWW: <<http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>>.
- [60] *How safe is your car? : Folksam's report on the safety of 172 car models.* Folksam, November 2007. 13 s. Dostupné z WWW: <<http://folksam.se/english/reports>>.
- [61] EKSLER, V., HEINRICH, J., TECL J. *Udržitelná doprava - šance pro budoucnost : Zpráva o stavu řešení výzkumného záměru za rok 2006.* Brno : Centrum dopravního výzkumu, březen 2007. Spolehlivost a bezpečnost silniční dopravy, s. 28. i.k. CEZ 4499457501.
- [62] NEWSTEAD, S; CAMERON, M; LE, C.M. *Vehicle crashworthiness ratings and crashworthiness by year of vehicle manufacture : Victoria and NSW crashes during 1987-97, Queensland crashes during 1991-96.* Repost No. 150. Clayton Victoria : Monash University Accident Research Centre, March 1999. 30 s. Dostupné z WWW: <<http://www.iec.monash.edu.au/muarc/reports/muarc150.html>>. ISBN 073261449X.

Necitované informační zdroje a zdroje použité v přílohách

- [63] POKORNÝ, J. *Interakce dopravního prostředku s chodcem z hlediska biomechaniky (Aplikace výpočetní inteligence v řešení bezpečnosti silničního provozu)*, Pardubice, 2006. 32 s. Zpráva k doktorské zkoušce. Univerzita Pardubice.
- [64] POKORNÝ, J; SLAMKA, J; ŠEFČÍK, I *Aplikace výpočetní inteligence v řešení bezpečnosti silničního provozu.* In *Medzinárodný odborný seminár Štatistika v odvetvi dopravy, pôšt a telekomunikácií.* Žilina : Výskumný ústav dopravný, a.s, 2006. s. 7.
- [65] POKORNÝ, J; ŠELMÁT, M *Passive Safety of Car Fleet in the Czech Republic.* In *MOSATT 2009 - Modern Safety Technologies in Transportation.* Košice : Slovak Transport Society at the Slovak Academy of Science, 2009. s. 5. ISBN 978-80-970202-0-0.
- [66] POKORNÝ, J; ŠELMÁT, M. *Passive Safety of Car Fleet in the Czech Republic.* *Science & military.* 2009, 4, 2, s. 79-82. ISSN 1336-8885.
- [67] *Ministerstvo vnitra České republiky : Statistiky* [online]. c2007 [cit. 2007-12-10]. Centrální registr vozidel. Dostupné z WWW: <<http://www.mvcr.cz/statistiky/crv.html>>.
- [68] COX Earl: *The Fuzzy Systems Handbook*, Academic Press, San Diego, USA, 1998, 716 p., ISBN 0-12-194456-5.

- [69] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1976.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1977.
- [70] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1977.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1978.
- [71] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1978.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1979.
- [72] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1979.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1980.
- [73] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1980.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1981.
- [74] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1981.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1982.
- [75] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1982.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1983.
- [76] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1983.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1984.
- [77] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1984.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1985.
- [78] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1985.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1986.
- [79] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1986.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1987.
- [80] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1987.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1988.
- [81] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1988.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1989.
- [82] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1989.* Praha : Federální správa Veřejné bezpečnosti, 1990.
- [83] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu za rok 1990.* Praha : Centrála federální policie, 1990.
- [84] *Celostátní přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České a Slovenské federativní republiky za rok 1991.* Praha : BESIP, duben 1992.
- [85] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 1992.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, duben 1993.

- [86] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 1993.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, 1994.
- [87] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 1994.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, 1995.
- [88] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 1995.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, 1996.
- [89] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 1996.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, 1997.
- [90] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 1997.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, 1998.
- [91] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 1998.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, březen 1999.
- [92] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 1999.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, březen 2000.
- [93] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 2000.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, březen 2001.
- [94] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 2001.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, duben 2002.
- [95] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 2002.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, duben 2003.
- [96] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 2003.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, duben 2004.
- [97] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 2004.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, duben 2005.
- [98] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 2005.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, duben 2006.
- [99] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 2006.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, duben 2007.
- [100] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 2007.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, duben 2008.
- [101] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 2008.* Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, duben 2009. 60 s.

- [102] *Přehled o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 2009*. Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, duben 2010. 60 s.
- [103] PATERA, Z. *Auta 5P* [online]. © 5P 2000-2010 [cit. 2010-07-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.auta5p.eu/>>.
- [104] *Carfolio.com* [online]. © 2010 [cit. 2010-07-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.carfolio.com/>>.
- [105] *Katalog automobilů.cz* [online]. © 2003-2010 [cit. 2010-07-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.katalog-automobilu.cz/>>.
- [106] *Safe Car Guide* [online]. © 2000-2010 [cit. 2010-07-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.safecarguide.com/>>.
- [107] *Wikipedia* [online]. [cit. 2010-07-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.wikipedia.org/>>.
- [108] *Frontal Offset Crashworthiness Evaluation : Guidelines for Rating Restraints and Dummy Kinematics*. Arlington : Insurance Institute for Highway Safety, August 2007. 9 s. Dostupné z WWW: <<http://www.iihs.org/ratings/protocols/pdf/kinematics.pdf>>.
- [109] *Insurance Institute for Highway Safety, Highway Loss Data Institute* [online]. ©1996-2010 [cit. 2010-04-10]. 50 years of research & communications. Dostupné z WWW: <<http://www.iihs.org/50th/default.html>>.
- [110] ADAC [online]. [cit. 2010-04-08]. Pkw gegen Geländewagen: Groß gegen Klein. Dostupné z WWW: <http://www1.adac.de/Tests/Crash_Tests/gross_vs_klein/ggk/default.asp?ComponentID=87720&SourcePageID=221928>.
- [111] ADAC [online]. [cit. 2010-04-08]. ADAC Verbraucherschutz: Crashtest Kleinwagen gegen Geländewagen. Dostupné z WWW: <http://www1.adac.de/Tests/Crash_Tests/gross_vs_klein/kw_vs_gw/default.asp?ComponentID=223019&SourcePageID=221928>.
- [112] ADAC [online]. [cit. 2010-04-10]. Jubiläumcrash: 20 Jahre Verbraucherschutz-Crashtests. Dostupné z WWW: <http://www1.adac.de/Tests/Crash_Tests/Jubilaemscrash/default.asp?ComponentID=193389&SourcePageID=8645>.

Seznam příloh

- Příloha 1** – Grafické znázornění nárazových zkoušek EuroNCAP
- Příloha 2** – Příklady hodnocení kinematiky figuríny během čelního nárazu – IIHS
- Příloha 3** – Porovnání výsledků nárazových testů
- Příloha 4** – Úmrtnost při dopravních nehodách dle hmotnosti vozidla a typu karoserie
- Příloha 5** – Příklady vzájemných srážek hmotnostně a velikostně odlišných vozidel
- Příloha 6** – Příklady následků srážky věkově o několik generací odlišných vozidel
- Příloha 7** – Báze podmíněných pravidel Ideového návrhu
- Příloha 8** – Graficky znázorněné vztahy mezi proměnnými – Ideový návrh
- Příloha 9** – Graficky znázorněné vztahy mezi proměnnými – Index_japo09 (Var. 7ac)
- Příloha 10** – Grafy vývoje následků dopravních nehod v jednotlivých letech od r.1976
- Příloha 11** – Následky nehod v jednotlivých měsících
- Příloha 12** – Vývoj následků nehod v příslušném měsíci v jednotlivých letech
- Příloha 13** – Roční sumy počtů nehod v příslušném měsíci od roku 1976
- Příloha 14** – Roční sumy počtů usmrčených v příslušném měsíci od roku 1976
- Příloha 15** – Roční sumy počtů těžce zraněných v příslušném měsíci od roku 1982
- Příloha 16** – Roční sumy počtů lehce zraněných v příslušném měsíci od roku 1982
- Příloha 17** – Výsledky trénování FIS
- Příloha 18** – Vyhodnocení jednotlivých variant předzpracovaných dat po trénování FIS
- Příloha 19** – Rozdíly mezi předikovanými hodnotami modelů s různým predikčním intervalem

Pozn.: Všechny přílohy se nacházejí na přiloženém CD.

Seznam nejčastěji používaných zkratk

ANFIS – Adaptivní neuro-fuzzy inferenční systém

BSP – bezpečnost v silničním provozu

CRV – Centrální registr vozidel

EEVC – European Enhanced Vehicle-safety Committee

FIS – Fuzzy inferenční systém

IHS – Insurance Institute for Highway Safety

LTV – Light Truck Vehicle

MPV – Multi Purpose Vehicle

NCAP – New Car Assessment Programme

ANCAP – Australasian New Car Assessment Programme

Euro NCAP – European New Car Assessment Programme

US NCAP – viz. NCAP

NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration

RMSE – root mean squared error

SUV – Sport Utility Vehicle