

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Ústav soudního znalectví v dopravě

Disertační práce

**Možnosti snížení následků dopravních nehod
technickými opatřeními a opatřeními po nehodě**

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojkách
Studijní obor: Dopravní systémy a technika
Školitel: doc. Ing. Jindřich Šachl, CSc.

Praha, 2010

Ing. Tomáš Mičunek

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé disertační práce doc. Ing. Jindřichu Šachlovi, CSc. za podmínky, které mi vytvořil během mého studia, odborné rady a připomínky z oboru mechaniky, soudního znaleství, zkušené vedení, konzultace a debaty k teoretické části disertační práce, ale zejména za jeho trpělivost a vstřícnost.

Poděkování též patří všem mým kolegům z Ústavu soudního znaleství a vřelému kolektivu na Fakultě dopravní Českého vysokého učení v Praze.

V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým nejbližším za morální podporu a toleranci, které se mi dostávalo při zpracování disertační práce.

Prohlášení

Předkládám tímto k obhajobě disertační práci, zpracovanou na závěr doktorského studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem svou disertační práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu použité literatury.

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

Praha, březen 2010

Ing. Tomáš Mičunek

Anotace:***Možnosti snížení následků dopravních nehod technickými opatřeními a opatřeními po nehodě***

Problematika snižování účinků nárazů (dopravních nehod) na cestující se dosud řešila převážně cestou optimalizace deformačních zón vozidel a konstrukcí zádržných systémů ve vozidlech. Značná rezerva je ve snížení agresivity pevných překážek. Agresivita je dána pevností a tvrdostí překážky a z toho plynoucí potenciální tvrdosti nárazu. Ze statistik plyne, že dopravní nehody s pevnou překážkou tvoří přibližně jednu šestinu všech nehod v daném roce, ale mají na svědomí čtvrtinu obětí. Skupinu pevných překážek představují čela propustků v odvodňovacích příkopech. Samostatný sjezd v přímé blízkosti jízdního pruhu nebývá na první pohled viditelný a proto řidič při mimořádné situaci - jako může být úhybný manévr - nepočítá s možností nárazu na umělou překážku. Předmětem disertační práce je návrh technického řešení konstrukce samostatného sjezdu s integrovanou deformační zónou.

Abstract:***The Possibilities of Traffic Accidents Effects Reduction by Technical and Post-accident Measures***

*Road accident consequences are influenced by many factors. Destruction effect on passengers in case of road traffic accident was decreased especially using deformation zones optimization and restraint system application. There is still significant reserve in solid hindrances aggressiveness reduction. The danger can be demonstrated by stiffness and firmness of the hindrance which effects impact hardness. **From statistical point of view represent accidents with solid hindrances one sixth of all accident in certain year, but they are more serious because of one fourth of all traffic accident victims.** Solid hindrance can be represented by drainage ditch culvert face. The access bridge is not usually conspicuous enough near the traffic lane so the driver can ditch and crash this hindrance in case of exceptional situation such avoidance manoeuvre. This doctoral thesis deals with the technical solution of access bridges with integrated deformation zone.*

Obsah práce:

Úvod	8
1. Pasivní bezpečnost motorových vozidel.....	10
1.1. Mechanismus nárazu	12
1.1.1. Střet s pevnou překážkou.....	12
1.1.2. Pohyb těla cestujícího při kolizi s pevnou překážkou	13
2. Biomechanika poranění	15
2.1. Modely v biomechanice poranění [7].....	15
2.2. Posloupnost vzniku poranění.....	17
2.3. Hodnocení poranění.....	18
2.3.1. Reálné důvody vzniku biomechanických poranění.....	19
2.4. Biomechanická kritéria.....	20
2.4.1. Biomechanické kritérium poranění hlavy.....	20
2.4.2. Biomechanické kritérium krční páteře	22
2.4.3. Biomechanická kritéria poranění hrudníku	23
2.4.4. Biomechanické kritérium poranění břicha APF	25
2.4.5. Biomechanické kritérium poranění pánve	25
2.4.6. Biomechanická kritéria poranění končetin	26
2.5. Zlomeniny končetin, poranění kloubů svalů a šlach	26
2.5.1. Zlomeniny končetin.....	27
2.5.2. Poranění kloubů.....	27
2.5.3. Poranění svalů a šlach.....	27
2.6. Typická zranění z dopravních nehod.....	27
2.6.1. Zranění od doplňkového systému Airbag.....	28
3. Pasivní bezpečnost pozemních komunikací	29
3.1. Pozemní komunikace a prostředí.....	29
3.2. Základní princip bezpečnosti pozemních komunikací	29
3.3. Statistika vývoje nehodovosti.....	30
3.3.1. Celkový přehled.....	30
3.3.2. Statistika vývoje nehodovosti – pevná překážka.....	31
3.3.3. Zhodnocení statistických dat	33
3.4. Bezpečnostní odstup	33
3.5. Bezpečnostní zóna pozemní komunikace.....	35

3.6.	Záchytné bezpečnostní systémy	37
4.	Pevné překážky.....	38
4.1.	Pevné překážky přírodní - stromy	39
4.2.	Pevné překážky umělé.....	42
4.2.1.	Podpěrné konstrukce dopravního značení.....	42
4.2.2.	Zábradlí v dopravním prostoru.....	44
4.2.3.	Propustky.....	44
4.2.4.	Směrové sloupky.....	46
4.2.5.	Drobná zařízení místních služeb.....	46
4.2.6.	Reklamní plochy.....	47
4.2.7.	Osvětlení komunikací.....	47
4.2.8.	Protihlukové stěny, zídky	47
4.3.	Shrnutí poznatků.....	48
5.	Analýza střetu s pevnou překážkou.....	49
5.1.	Rozbor problematiky nárazu	49
5.1.1.	Agresivita překážky.....	49
5.2.	Úhel vyjetí ze silniční koruny.....	51
5.2.1.	Při pohybu ve smyku (i na suché vozovce).....	52
5.2.2.	Vyjetí ze silnice pod malým úhlem	53
5.2.3.	Vyjetí ze silnice pod velkým úhlem	53
5.3.	Umístění pevné překážky	53
5.4.	Snižování následků střetu	56
5.5.	Analýza vybraných dopravních nehod	56
5.5.1.	Zpracování dat	57
5.5.2.	Průběh deformace – typy nárazu	60
5.5.3.	Shrnutí	64
6.	Metodika určení třídy nebezpečnosti samostatných sjezdů.....	65
6.1.	Vyhodnocení.....	71
6.2.	Návrh opatření	72
7.	Matematické modelování	75
7.1.	Teorie tvorby simulačního systému.....	75
7.2.	Software na FD ČVUT v Praze	75
7.3.	Software Virtual Crash	76
7.4.	Software MADYMO	76
7.5.	Návrh modelu	77

7.5.1.	Virtual Crash	77
7.5.2.	MADYMO	81
7.6.	Vyhodnocení matematických simulací.....	84
7.7.	Vyhodnocení.....	85
8.	Návrh samostatného sjezdu s integrovanou deformační zónou	86
8.1.	Konstrukční řešení.....	86
8.2.	Návrh deformačního bloku.....	93
9.	Závěr.....	96
10.	Literatura	98
11.	Seznam zkratek.....	100
12.	Seznam použitých jednotek.....	102
13.	Rejstřík obrázků.....	103
14.	Seznam příloh.....	105

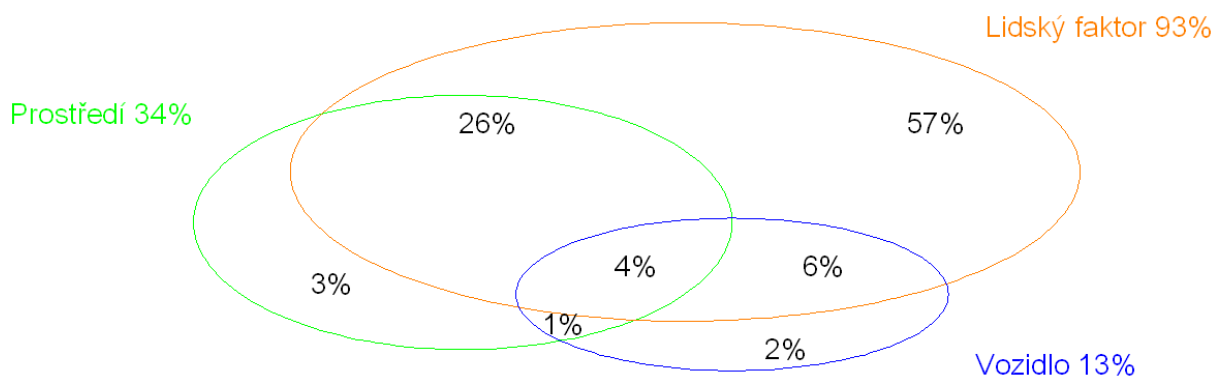
Úvod

Jedno z nejvýznamnějších průmyslových odvětví nastartoval Karl Benz, když v roce 1885 získal patent číslo 37 435 na první automobil na světě. Touha člověka odhalovat vše nové a nepoznané vedla k tomu, že s využitím dostupných materiálů a fyzikálních zákonů začal objevovat vynálezy, které umožnily v několika stoletích ohromný technický pokrok. Díky strhujícímu rozvoji techniky a také nutnosti cestovat se automobil a ostatní dopravní prostředky staly nedílnou součástí našich životů.

Nárůstem počtu dopravních prostředků se však zvýšila nehodovost. Následky dopravních nehod si lidé začali uvědomovat již na konci 19. století, o čemž svědčí použití bezpečnostního pásu na sedadle kočáru v roce 1885. Tříbodový bezpečnostní pás byl patentován ve Francii již v roce 1903. Hmotné škody (resp. poranění účastníků nehody) daly podnět ke sledování a k podrobné analýze nehod. Snaha o zvýšení bezpečnosti posádky při nárazu se projevila až v 50. letech 20. století hlavně díky zpřísnující se legislativě.

Následky dopravní nehody ovlivňuje celá řada faktorů. Předcházet nehodám lze v oblasti konstrukce dopravních prostředků, v oblasti stavby komunikací a v neposlední řadě ve vzdělávání a motivování řidičů i cestujících k bezpečnému chování při provozu na pozemních komunikacích. Každý je odpovědný sám za sebe. Dokud si řidič neuvědomuje nebezpečí, nemůže být odpovědný k sobě ani ke společnosti.

Nehodovost v dopravním procesu je celosvětově identifikovaná jako jedna z nejčastějších příčin smrtelných zranění. Nehoda vzniká narušením rovnováhy mezi jednotlivými složkami systému řidič – prostředí – vozidlo. Obvykle se na jejím vzniku podílí několik činitelů současně.



Obrázek 1 Faktory vzniku dopravních nehod (zdroj: Road Safety Manual, PIARC 2004)

Disertační práce se zaměřuje na problematiku vzájemné symbiózy:

- pasivní bezpečnosti moderních osobních vozidel, jenž má zabezpečit cestující v průběhu nehodového děje a po jeho ukončení,
- pasivní bezpečnosti komunikace, jenž má svou konstrukcí jednotlivých prvků v kolizní zóně snížit agresivitu nárazu.

Záměrem je popsat nehodový i ponehodový děj osobního automobilu s vytypovanou pevnou překážkou, zhodnotit zranění cestujících a navrhnout konstrukční řešení pro snížení následků dopravních nehod pro cestující v automobilu. V disertační práci se mohou opřít o vlastní poznatky získané ze spolupráce s hasičským záchranným sborem, s lékaři rychlé lékařské pomoci nebo policisty vyšetřující dopravní nehody a soudními znalci z oboru analýzy silničních nehod a zdravotnictví.

1. Pasivní bezpečnost motorových vozidel

Pasivní bezpečnost vozidel je soubor technických opatření vedoucí k ochraně cestujících v dopravním prostředku před mechanickým a biomechanickým poraněním způsobeným při kolizním ději vozidla. Pasivní bezpečnost se zabývá i ochranou ostatních osob účastníků silničního provozu (převážně chodců). Nutnost klást větší důraz na systémy pasivní bezpečnosti a zvyšovat jejich účinnost je dána prudkým nárůstem hustoty dopravního provozu a rostoucí dopravní rychlostí.

Teprve v šedesátých letech minulého století se společnost odvrátila od ryze ladných tvarů karosérií a začala se ptát po bezpečnosti svých vozidel. Automobilky pochopily, že se dá vedle tvaru prodávat i bezpečnost. Dnes se nám zdá nepochopitelné, že sériovou výrobu vozů s tříbodovým bezpečnostním pásem zavedla automobilka Ford a Chrysler před padesáti lety v roce 1955, přestože byly patentovány již v roce 1903. Nicméně zavádění zádržných systémů, používání přileb pro motocyklisty a cyklisty není jedinou možností, jak omezit následky dopravní nehody.

Pasivní a aktivní bezpečnost vozidel je dnes ve společnosti vnímána jako nedílná součást automobilu. Aktivní bezpečnost má jako prvořadý úkol kolizím předejít. Klade důraz na jízdní vlastnosti, způsob ovládní, brzdňý účinek a akceleraci vozidel a na odstranění nežádoucích vlivů jízdy, které snižují pozornost posádky (vibrace, hluk, aj.). Pasivní bezpečnost má co možná nejlépe eliminovat rozvoj poranění účastníků při střetu.

Trend zvyšování bezpečnosti je dán konkurenčním bojem o zákazníka a zpřísňující se legislativou. Bezpečnost se zlepšuje optimalizací struktury karoserie, která při nehodě zabezpečuje pro cestující dostatečný prostor pro přežití a zároveň pomocí zádržných systémů omezuje působení sil a zajišťuje jejich rozklad, čímž příznivě ovlivňuje rozvoj biomechanických poranění. Vysoký důraz je kladen na ochranný účinek, který dnešní systémy poskytují. Účinek zádržných systémů nesmí být přidáním dalších prvků nijak rušen nebo dokonce snížen, což je základním předpokladem pro další vývoj nových systémů a dílenských zpracování jednotlivých částí vozidel.



Obrázek 2 Provozní automobilová bezpečnost [16]

Vnitřní a vnější bezpečnost

Pojem vnitřní bezpečnost představuje vlastnosti interiéru vozidla:

- deformace karoserie – vytvoření (zachování) prostoru pro přežití,
- ochrana proti vymrštění (vypadnutí) osob,
- zádržné a doplňkové systémy,
- protipožární vybavení interiéru.

Do kategorie vnější bezpečnosti patří:

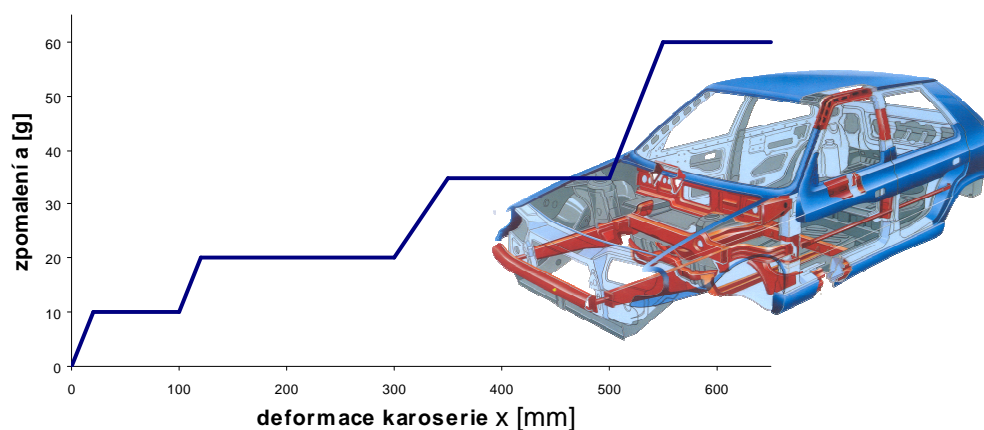
- vnější rozměry karoserie a obrys vozidla,
- tuhosti deformačních zón,
- zaoblení hran, vnější výstupky na karoserii.

Vnitřní a vnější kompatibilita

Vnitřní kompatibilita zaručuje sladění činností jednotlivých zádržných systémů při procesu zpomalení kabiny automobilu pro dodržení mezních hodnot biomechanických kritérií. Vnější kompatibilita se pokouší setřít rozdíl mezi dopravními prostředky různých kategorií vhodnou optimalizací deformačních sil a deformačních drah se zřetelem na rozdílné nárazové energie (např. zábrany proti podjetí u nákladních vozidel)

1.1. Mechanismus nárazu

Automobily mohou narazit do překážky různými částmi své karoserie. Průběh zpomalení automobilu při nárazu není jednoduchou funkcí, protože na průběhu výsledné kontaktní síly F_d a zrychlení nedeformované části karoserie se podílejí vedle nosníků i agregáty a vybavení karoserie. Schopnost pohltit nárazovou energii je základní charakteristikou karoserie automobilu. Nosná struktura musí mít při kolizi podle druhu namáhání dostatečnou schopnost přeměnit pohybovou energii do deformační práce, aby nebyly překročeny hodnoty biomechanických kritérií. Deformace zároveň nesmí zasahovat do prostoru pro cestující, kde by mohly způsobovat kompresivní nebo řezná poranění cestujících. [1, 15]



Obrázek 3 Deformace přídě osobního automobilu

1.1.1. Střet s pevnou překážkou

Na vozidlech vznikají deformace elastické i plastické. Rovnice energetické rovnováhy popisuje rovnost kinetické energie v okamžiku nárazu a deformační energie při maximální deformaci.

$$\frac{1}{2} m \cdot v_0^2 = \int_0^{x_{\max}} F dx \quad (1),$$

kde m [kg] je hmotnost vozidla, v_0 [m/s] je nárazová rychlost, F [N] je okamžitá deformační síla a x [m] je velikost deformace vozidla. Deformace elastické (napětí v materiálu, které nevykonalo deformační práci) se po ukončení první fáze nárazu promítnou do koeficientu

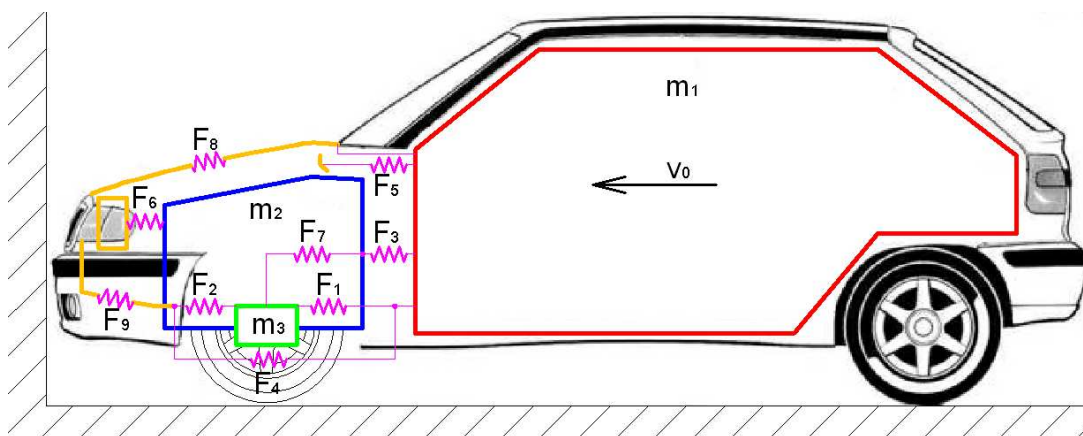
restituce k . Koeficient restituce je záporný poměr rychlosti odrazu k rychlosti nárazu na pevnou překážku. Při větších rychlostech střetu je vhodné uvažovat pouze deformace plastické, protože koeficient restituce nedosahuje ani hodnoty 0,1. [7]

Rovnice pohybu vozidla od okamžiku nárazu na bariéru má tvar:

$$m \cdot \ddot{x} + F_{def} = 0, \quad (2)$$

kde m je hmotnost vozidla v [kg], \ddot{x} je druhá derivace posuvu nedeformované části karoserie [m] a F_{def} deformační síla [N].

Jednoduchý matematický model pro simulování čelního nárazu automobilu do pevné překážky lze znázornit takto:



Obrázek 4 Jednoduchý dynamický model pro simulaci čelního nárazu

kde hmotnosti m_1 , m_2 , m_3 zastupují karoserii, agregáty respektive přední nápravu, síly F_1 až F_9 reprezentují deformační síly mezi jednotlivými komponenty a v_0 znázorňuje rychlost automobilu.

1.1.2. Pohyb těla cestujícího při kolizi s pevnou překážkou

Cestující v okamžiku střetu má rychlost pohybu v_c rovnou rychlosti automobilu v_a , kde $v_c = v_a$. Vozidlo od okamžiku nárazu převádí vlastní pohybovou energii na deformační práci své přídě, čímž se zpomaluje na aktuální rychlost v_v . Pokud cestující nepoužije bezpečnostní pásy, narazí do interiéru vozidla původní rychlostí v_c . V případě, kdy cestující bezpečnostní pásy použije, lze jeho nárazovou rychlost do interiéru automobilu vyjádřit takto:

$$v_n = v_c - v_v = \sqrt{2 \cdot h \cdot a_v}, \quad (3)$$

kde a_v [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$] je zpomalení vozidla při kolizi, h [m] dráha volného pohybu cestujícího do účinku bezpečnostních pásů.

Energie nárazu je dána vztahem:

$$E_n = \frac{1}{2} \cdot m_t \cdot v_n^2, \quad (4)$$

kde m_t je hmotnost těla v [kg] a v_n nárazová rychlost v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Při nárazu těla do překážky se mění pohyb z rovnoměrného na pohyb (nerovnoměrně) zpomalený. energii nárazu musí absorbovat tkáň – při překročení limitních hodnot vzniká poranění. Tento proces trvá až do okamžiku, kdy se rychlost cestujícího opět vyrovná s rychlostí vozidla.

Připoutaný cestující je spjat s vozidlem prostřednictvím bezpečnostního pásu, a proto rozdíl rychlostí v_c a v_v je nepatrný. Volný setrvačný pohyb těla h byl eliminován aktivací předepínače bezpečnostních pásů ($h \rightarrow 0$). Při vysokých kolizních rychlostech mohou bezpečnostní pásy způsobit smrtelná zranění (hranice 5 kN), proto se v obvodu smyčky bezpečnostních pásů umísťují omezovače tažné síly v pásu. Tyto konstrukční prvky sníží okamžité silové působení pásů za cenu zvýšení následné kolizní rychlosti, například těla s interiérem vozu. Nastavení této citlivé hranice je předmětem neustálého výzkumu.

Přes velký dosažený pokrok v této oblasti je třeba stále hledat rezervy v součinnosti jednotlivých druhů zádržných systémů a Pre-Crash sensoriky.

2. Biomechanika poranění

Výzkum silničních nehod a jejich analýza je vzhledem k posouzení pasivní bezpečnosti vozidla důležitou vědní oblastí. Poskytuje přehled o nejčastějších druzích nárazů a poranění, která při nich vznikla. Z těchto dat můžeme usuzovat na průběh pohybu, velikost sil působících na posádku v době havárie a na funkci systémů, které mají zvýšit bezpečnost cestujících ve vozidlech i ostatních účastníků dopravního provozu. Následky dopravní nehody, sociologické i ekonomické vlivy, vyžadují mezioborové zkoumání problematiky - člověk versus vozidlo. Největší pozornost se věnuje hlavě, obličeji a hrudníku (společenský dopad, náklady na rekonvalescenci). Je nutné vyhodnotit mechanismy poškození a navrhnout odpovídající technická řešení.

Biomechanika poranění studuje mechanické vlastnosti biologických systémů. Sleduje reakce živých organismů, orgánů a tkání na vnější podněty, stanovuje přípustné meze (prahové hodnoty), které s určitou pravděpodobností nezpůsobí vznik poranění.

Cíle biomechaniky poranění:

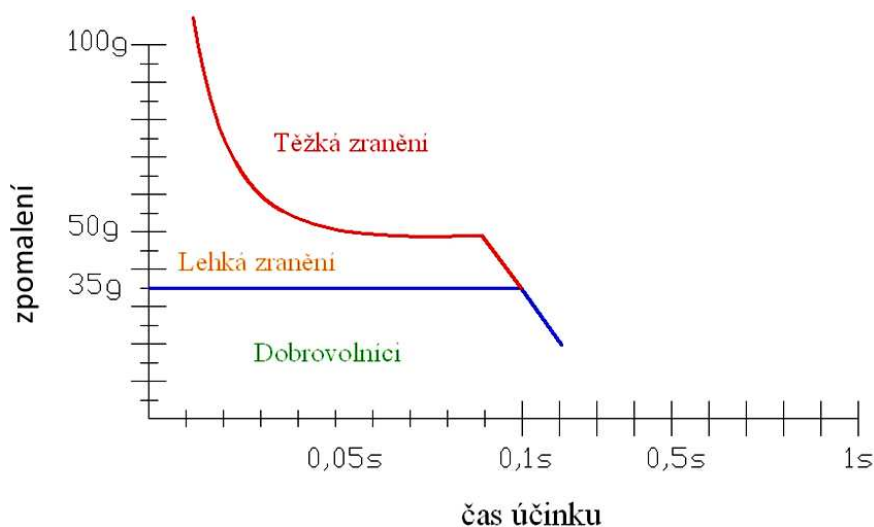
- kvantifikace traumatologických nálezů,
- hledání limitů pro poranění a vývoj výzkumných metod,
- analýza mechanismů poranění kritických částí,
- hodnocení poranění a účinnosti konstrukčních opatření.

2.1. Modely v biomechanice poranění [7]

Biomechanika se opírá o značnou databázi získanou z experimentálních výzkumů. Studium mechanismů poranění ukazuje cesty, jak zmírnit následky poranění těla při nárazu. K dosažení tohoto cíle se používají různé testovací procedury a objekty (náhradníci) za postižené při dopravních nehodách :

- dobrovolníci – se kterými se provádějí testy pouze do prahu bolestivosti. Zjišťují se vlastnosti a rozsahy jednotlivých kloubních spojení a vlastností tkání v průřezu celou

populací. Průkopníkem biomechaniky byl John Paul Stapp, který v letech 1946 až 1958 prováděl nárazové zkoušky na zvířatech, dobrovolnících, ale hlavně sám na sobě. Položil základy pro konstruktéry nadzvukových letadel, raket a automobilů. Významným testem lidské odolnosti prošel armádní pilot J.P. Stapp na Holloman Air Force Base, kde se nechal urychlit ve speciálních raketových kolejových saních z nulové rychlosti do rychlosti 1000 km/h v čase 1,4 s. Simuloval střední přetížení odpovídající dvacetinásobku gravitačního zrychlení g po dobu 1,4 s, přičemž mžikové špičkové přetížení dosáhlo dokonce čtyřicetinásobku g . Nedá se říci, že by vystoupil a odešel (četné podlitiny, problémy oběhového systému, problémy s dechem, oddělené oční rohovky), ale žádné zranění nebylo neslučitelné se životem a po krátké rekonvalescenci se zcela zotavil. Pro srovnání: - na piloty nadzvukových armádních letadel působí přetížení okolo 7 g po několik sekund, - na kosmonauty při startu působí přetížení cca 4 g řádově po desítky sekund, - při dopravní nehodě na Vás působí průměrně cca 30 g po dobu děje nehody (tedy okolo 0,2 s), - při panickém brzdění se svým vozidlem vyvinete zpomalení rovnající se řádově 0,7 g ,



Obrázek 5 Dovozená zatížení při testech na dobrovolnících

- neživá těla – tato těla osazená monitorovací technikou ukazují chování a kritické veličiny stavby lidského těla a orgánů při působení vysoké zátěže. Nicméně neposkytují informace o svalové a fyziologické reakci,
- zvířata ve stavu anestézie – umožňují adaptovat výsledky z neživých těl pro získání fyziologické reakce na vzniklé poškození.

Výsledkem měření jsou podklady pro další modely biomechanického poranění:

- matematické modely – velice cenné nedestruktivní simulační prostředky vycházející z databází popsaných výše. Jejich omezení je v realističnosti matematického modelu, identifikaci a dosažitelnosti dat. (Simulační program MADYMO),
- mechanické modely – antropologická zkušební zařízení, jejichž pohybový rozsah a stavba těla odpovídají určité části populace. Zpravidla na ocelovou kostru je nanesena plastická hmota imitující deformační funkci lidských tkání. Dle svého účelu je osazena dostatečným počtem měřicí techniky, aby zaručovala opakovatelnost a rekonstrukci měření.

Mechanické a matematické modely prověřují konstrukční trendy pouze v laboratorních podmínkách, kde vnější vlivy jsou předem známy. Při reálné srážce je otázkou, do jaké míry je člověk schopen svou fyzickou silou ovlivnit průběh nárazu, protože při zpomalení 25 g váží průměrný jedinec bezmála 2 tuny ; a další zranění může vznikat při sekundárních nárazech. Sledujeme řadu faktorů, z nichž připomeňme:

- špičkové zrychlení a zpomalení,
- střední a výsledné zrychlení,
- změny hodnot zrychlení v závislosti na čase a době trvání,
- ohybové momenty,
- rozdělení sil a tlaků na ploše těla.

2.2. Posloupnost vzniku poranění

- Náraz vozidla – karoserie vozidla se deformuje, což vyvolává zpomalení vozidla. Pasažér pokračuje v pohybu původním směrem, dokud není zachycen bezpečnostními prvky nebo neutrpí kolizi s interiérem vozu. Je nutno podotknout, že zpomalení měřené přímo na karoserii je vlivem větších deformačních zón nižší než následné zvětšené zatížení pasažéra vzniklé od bezpečnostních prvků nebo od interiéru vozu,
- vzniklá zatížení – dynamické případně konstantní síly působí na cestující,
- aktivace bezpečnostních prvků – bezpečnostní prvky pasivní bezpečnosti odebírají lidskému organismu rozdílný potenciál energie, neboli spojují posádku

s deformačními bloky vozidla, které maří nárazovou energii. Čím dříve začnou plnit bezpečnostní prvky ve vozidle svou činnost (ideál $h = 0$ [m]), tím jsou kontaktní síly menší. Je snaha o udržení těchto veličin pod prahovými hodnotami jednotlivých partií těla,

- biomechanická odezva posádky – relativní postavení jednotlivých částí těla vůči sobě vlivem vnějších sil,
- při překročení kritických hodnot se začnou rozvíjet mechanismy poranění, což má za následek vznik poranění účastníka nehodového děje. Jednotlivé subjekty nereagují na zatížení stejně, takže podobná zranění mohou být způsobena různými mechanickými podněty.

2.3. Hodnocení poranění

Závažnost poranění se hodnotí různými kritérii a stupnicemi. Ke klasifikaci poranění v jednotlivých oblastech lidského těla slouží například manuál závažnosti úrazů AIS (Abbreviated Injury Scale) americké společnosti při automobilovém lékařství. Zahrnuje poznatky a přesně popisuje jednotlivé varianty vícečetných poranění, která dělí do osmi kategorií, ze kterých informativně uvádím :

AIS	Hlava	Hrud'	Břicho	Páteř	Končetiny	Ostatní
0 bez zranění						
1 malá zranění	bolest bez ztráty vědomí	zlomená žebra	povrchová zranění	natažení	zlomeniny prstů	odřeniny, otláčeniny popáleniny 1st - 70% popáleniny 2st - 10%
2 střední zranění	lin. zlomenina bezvědomí do 1h	2-3 žebra zlom Sternum	kontuze jater, ledvin	zlomenina bez vlivu na kanál	jednotlivé zlomeniny zlomenina pánve	velkoplošné odřeniny porušení slabin popáleniny 2st - až20%
3 závažná zranění	vpáčená zlomenina bezvědomí 1-6h	více než 4 zl. žebra pneumotorax nebo hemotorax	rozsáhlá poranění sleziny a ledvin	prasklý disk s poškozením nervu	vykloubení kolena zlomenina stehenní kosti	otevřené rány poškození nervů, cév popáleniny 2st - 30%
4 velmi vážná poranění	otevřená zlomenina bezvědomí 6-24h	kolaps hrudníku	velká zranění orgánů * odtržení *	částečné poškození míchy	amputace končetin rozdrcení pánve	nebezpečné krvácení poškození mozku popáleniny 3st - 10%
5 kritická zranění	velký hematom bezvědomí přes 24h	roztržení aorty	roztržení orgánů	Quadruplegie	otevřené rozdrcení pánve	popáleniny 3st - 50%
6 nelze přežít						
9 nezjištěno						

Obrázek 6 Příklady hodnocení poranění z manuálu AIS [7]

2.3.1. Reálné důvody vzniku biomechanických poranění

1. Fáze nárazu (primární)

- První fáze – karoserie koliduje s tuhou nebo deformovatelnou překážkou,
- druhá fáze – cestující ve vozidle, kteří jsou přirozeně přepravováni stejnou rychlostí jako vozidlo, se střetnou s částí interiéru vozidla, tj. s volantem, sloupkem řízení, palubní deskou, čelním sklem a bezpečnostními prvky vozidla. Při této fázi může docházet k pronikajícímu mechanismu poranění. U moderních vozidel jej způsobují převážně cizí předměty (náklad, aj.), které s konstrukcí dopravního prostředku nesouvisí,
- třetí fáze – odehrává se přímo v těle postiženého. Jedná se o nepronikající druh poranění, který vzniká vzájemným působením orgánů těla. Orgány v těle nejsou pevně ukotveny, proto je možný jejich vzájemný pohyb :
 - poranění statickou silou (stlačení), přičemž vzniká napětí a deformace překračující biologické limitní hodnoty,
 - poranění dynamickou silou (pohyb částí), kdy vnitřní orgány (mozek x lebka, srdce x hrudník, aj.) působí navzájem setrvačnými silami vyvolávajícími rozvoj poranění,
 - poranění impulzní (osamocený ráz), které má za následek vznik tlakové vlny, která se šíří kontinuem tkání. Visko-elastické rázové vlny přímo poškozují vnitřní stavbu orgánů (preparace jednotlivých buněk, rozpad nervového obalu).

2. Ponehodová poranění (sekundární)

- Vlivy vnějšího prostředí (požár, voda, nestabilita konstrukcí, aj.) sehrávají svou úlohu přibližně u 0,5 % dopravních nehod [10]. Následky však bývají tragické,
- poranění vzniklé při agresivním zásahu složek IZS.

V plné polovině všech případů úrazů dochází k poranění hlavy, z toho 75 % jsou smrtelná. Dále následuje poranění hrudníku a to ve 20 % všech případů poranění, z toho je každé druhé smrtelné. Zranění břicha představuje 8 % všech případů, z toho 20 % smrtelných. Velice vážným zraněním je poškození krční páteře. Nastává přibližně u 8 % dopravních nehod, ale přímé ohrožení života nastává u 25 % případů. Převládá riziko závažného poškození míšního kanálu (celkové ochrnutí).

Do oblasti méně ohrožující vlastní život jsou řazena poranění končetin. Nastávají přibližně u 40 % vážných dopravních nehod. Nejčastěji se jedná o poranění kolen v 20 %, zranění ramenního kloubu 10 %, paží u 30 % nehod a to nejčastěji v nadloktí.

2.4. Biomechanická kritéria

Mezi nejdůležitější biomechanická kritéria patří :

- maximální zatížení člověka při zpomalení,
- poranění hlavy,
- poranění hrudníku a některých nitrohručních orgánů,
- poranění vnitrobřišních orgánů,
- hraniční hodnoty pevnosti obratlů páteře a pánve.

2.4.1. Biomechanické kritérium poranění hlavy

Hlava se anatomicky dělí na mozkovou a obličejovou část. Poranění mozkové části může představovat zlomenina kostí lebky (lineární, kompresivní). Při poranění obličeje jde o povrchová poranění tkání obličeje, zlomeniny obličejových kostí, poškození smyslových orgánů.

Kontaktní poranění statickou silou je dáno překročením meze pevnosti kostí a následnou zlomeninou. Vnější síly statické jsou z pohledu poranění hlavy takové, které nemění svůj směr a velikost v čase kratším než 200 ms.

Kontaktní poranění dynamickou silou způsobuje vznik rázové vlny, která se šíří kontinuem struktur, způsobuje poranění mozku i na opačné straně lebky, než bylo místo působení vnější síly, a může rovněž způsobit lineární zlomeniny spodiny lebeční.

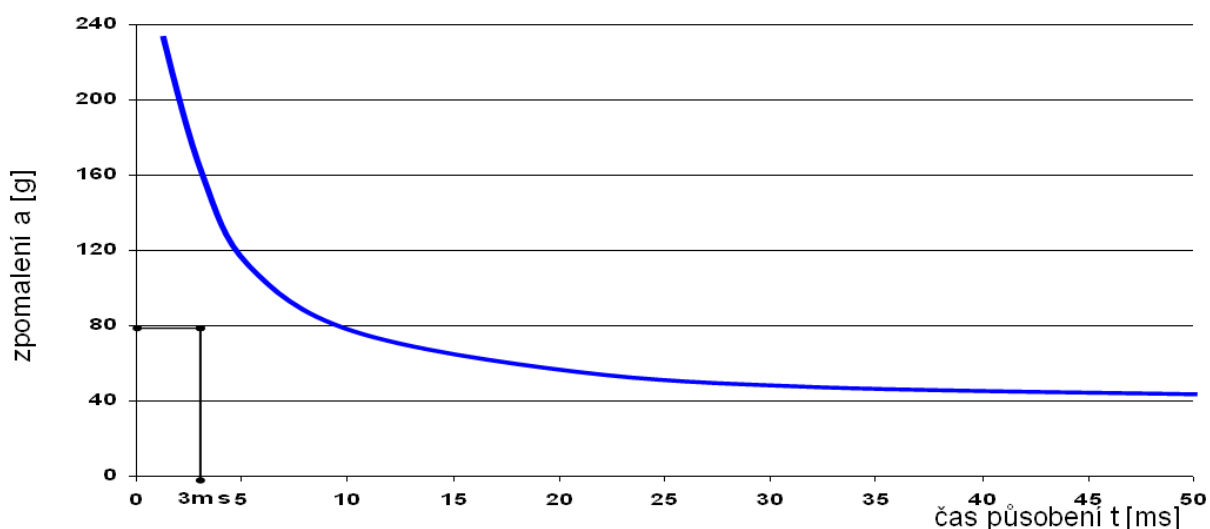
Dynamické účinky působí v čase kratším než 50 ms a jejich původcem může být vnější rázová síla nebo změna pohybového stavu soustavy.

Bezkontaktní poranění je způsobeno setrvačnou silou jako odezvou na zrychlení. Důsledkem mohou být krevní výrony různého typu.

Poranění mozku – vlastní tkáně nebo obalu:

- kontuzní (zhmoždění) – těžké poranění tkání, prokrvácení, otoky,
- difuzní – poranění nervových buněk (neuronů),
- lokální (ohniskové) – poranění malé části ústrojí.

Limity pro špičkové zatížení hlavy byly určeny na základě WSU – křivky (Wayne State University), která uvádí hraniční zpomalení hlavy v závislosti na době trvání účinku.



Obrázek 7 Hranice zatížení pro lidský mozek (WSU-křivka) [7]

Křivka WSU byla experimentálně stanovena z dat získaných při testech nárazu hlav lidských mrtvol na tvrdou podložku. Přestože tato křivka platí pouze pro úzce specifikovaný druh zatížení, je hranice 80 g pro zpomalení hlavy (ve všech směrech) po dobu trvání 3 ms začleněna do zkušebních předpisů EHK.

Se zřetelem k WSU – křivce bylo experimentálně určeno prvotní kritérium SI (Severity index). Vychází z časového integrálu zrychlení změřeného tříosým snímačem umístěným ve středu hlavy testovací figuríny, umocněného na 2,5. Index mocniny 2,5 pochází ze zjištěné mezní křivky pro poškození mozku a poranění lebky na úrovni AIS 3 a vyšší. Limitní bezrozměrná hodnota pro přežití je 1000.

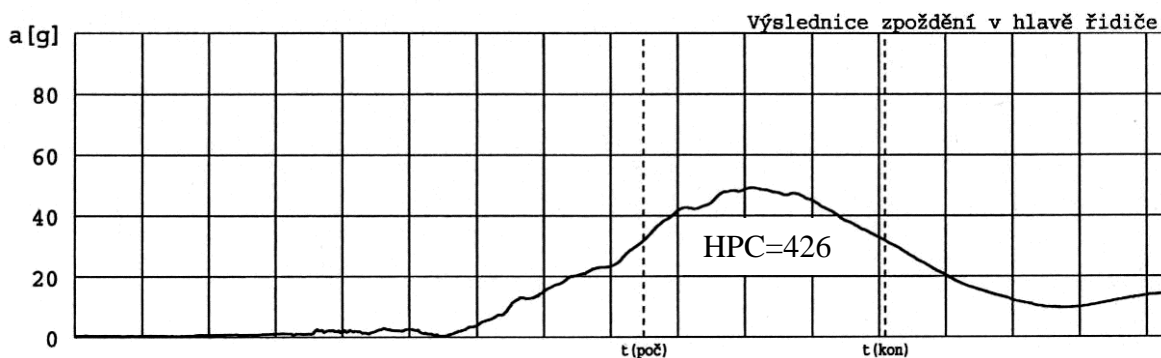
$$SI = \int_0^T a_r^{2,5}(t) \cdot dt \leq 1000, \quad (5)$$

kde proměnná a_r [g] je výsledné zpomalení - $a_r = \sqrt{(a_x^2 + a_y^2 + a_z^2)}$. (6)

Nejčastěji používaným biomechanickým kritériem pro poranění hlavy je kritérium HPC (Head Performance Criterion). Vstupem do tohoto kritéria jsou hodnoty zrychlení naměřené akcelerometry umístěnými v hlavě zkušební figuríny. Výpočet je prováděn integrálem z výsledného zrychlení v určitém časovém intervalu.

$$HPC = \max \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} \right\}, \quad (7)$$

kde $a(t)$ je výsledné zrychlení vyjádřené v jednotkách g. Hodnoty t_1 a t_2 , které se udávají v sekundách, jsou hraniční hodnoty intervalu, v němž je hodnota HPC maximální. Došlo-li ke kontaktu hlavy s interiérem vozidla, uvažuje se šíře tohoto intervalu 15 ms. Nedošlo-li ke kontaktu hlavy s interiérem vozidla, vozidlo je například vybaveno doplňkovým zádržným systémem Airbag, uvažuje se šíře intervalu 36 ms.



Obrázek 8 Vozidlo Škoda Octavia test č. 7230-00 podle Euro-NCAP [14]

Výsledná hodnota HPC, která nesmí překročit hraniční hodnotu 1000 pro splnění testu, byla stanovena historickým vývojem výzkumu poranění hlavy z hlediska zpomalení. U moderních vozidel a seriózních výrobců je toto kritérium plněno se značnou rezervou.

2.4.2. Biomechanické kritérium krční páteře

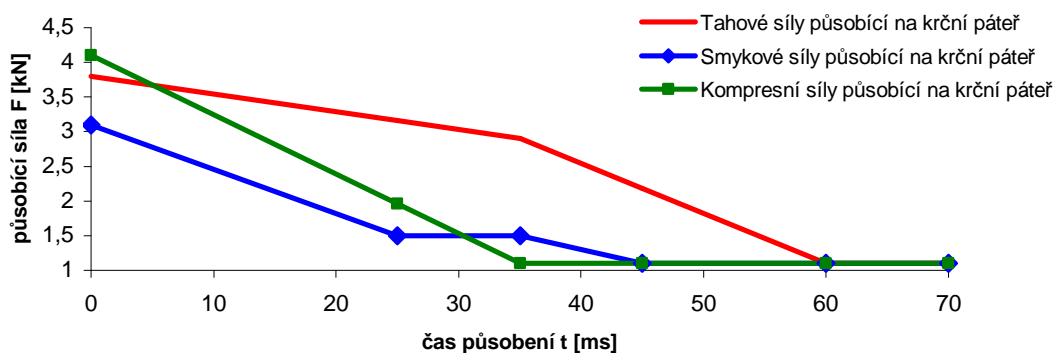
Mechanismus poranění je dán setrvačnými účinky relativního pohybu hlavy a trupu. Z hlediska poranění vzniklých při dopravních nehodách jsou podstatné pohyby, které se odehrávají v podélné rovině symetrie vozidla. Pohyb ovlivněný asymetrií nárazu nebo asymetrie vyvolané třibodovým bezpečnostním pásem není v tomto případě dominantní. Významný je pohyb hlavy vpřed s rychlým svihem směrem vzad (whiplash = prásknutí biče), při kterém dochází k rozlomení těla obratlů, zlomeninám oblouku (obratel krční páteře),

k porušení spojujících vazů a následně k porušení míchy. Toto může mít za následek vážné ochrnutí dolních končetin, poloviny těla či totální nepohyblivost.

Pohyb hlavy vpřed není tak významný pro dospělého člověka jako u dětských cestujících. Lidská hlava dosahuje 50 % své velikosti už v 18 měsících, zatímco hrudník dosáhne 50 % velikosti dospělého jedince až v osmi letech věku. Tento nepoměr je považován za důležitý činitel zranění. Proto se maximální dráha hlavy dítěte v dětské sedačce uvažuje 550 mm.

Pro poranění krční páteře nejsou vypracována žádná komplexní kritéria poranění. Měřenými hodnotami jsou:

- tahové síly působící na šíji,
- síly stříhu a maximální ohybové momenty,
 - čelní ohyb 50,2 Nm,
 - zaklonění 20,3 Nm,
 - boční ohyb 47,5 Nm.



Obrázek 9 Kritéria poranění NIC

2.4.3. Biomechanická kritéria poranění hrudníku

Poranění hrudníku mohou vznikat nárazem tupým předmětem, či jako pronikající poranění. Poranění tupým předmětem, stlačením nebo nárazem na tvrdou podložku bývají provázena zlomením žeber a hematomy stěn hrudníku. Pronikající poranění mohou vést k poranění stěn hrudních i vnitřních orgánů, poranění srdce, velkých cév a poranění plic.

Pronikající poranění se při dopravních nehodách nevyskytují tak často, a proto se do sestavování kritérií poranění hrudníku nezahrnují.

Nepřipoutaný řidič při dopravních nehodách narazí hrudním košem na volant, kdy může dojít i k zástavě srdce nebo fibrilaci komor, natržení stěny srdeční nebo chlopně, vedoucí k selhání oběhu a k šoku.

Poranění hrudníku lze rozdělit dle způsobu zatížení na :

- komoce (otřes) při prudkém nárazu na hrudník či na záda,
- kontuze (zhmoždění) provázená zlomeninami žeber, poraněním jater, sleziny, ledvin, bránice - bývá spojena s těžkým šokem a s dýchacími potížemi,
- komprese (stlačení) při tlaku na rozepjaté plíce vedoucí až k roztržení plic, nebo při náhlém stlačení hrudníku v okamžiku vdechu.

Hodnocení poranění hrudníku vycházejí zpravidla z experimentálních dat.

Kritérium 3 ms

Kritérium definuje hraniční hodnoty zrychlení naměřené během zkoušky vozidla na hrudi zkušební figuríny. Hodnoty nesmí překročit míru 60 g na dobu delší než 3 ms. (u dětí pouze 45 g)

Kritérium maximálních sil

Toto kritérium určuje, aby při kolizi s volantem nebyly síly naměřené na hrudní kosti vyšší než 3,29 kN a síly působící na rameno a hrud' nesmí překročit hodnotu 8,0 kN.

Kritérium TTI

Kritérium TTI (Thorax Trauma Index) se užívá pro boční náraz.

$$TTI = 1,4 * AGE + 0,5 * (RIBY + T12Y) * \frac{MASS}{m_{st}}, \quad (8)$$

kde AGE je věk, RIBY je maximální zrychlení na 4. až 8. žebru na nárazové straně v [g], T12Y je maximální zrychlení na 12.hrudním obratli v [g], MASS je hmotnost testované osoby, hodnota m_{st} je průměrná hmotnost cestujícího ($m_{st} = 75$ kg), TTI [g].

Maximální přípustná hodnota závisí na druhu respektive tuhosti karoserie:

- pro čtyřdveřové automobily 85 g,
- pro dvoudveřové 90 g.

Kritérium měkkých tkání V*C

Kritérium V*C (Viscous Criterion) se používá u testu s kolizní rychlostí nad 30 m/s, tedy nad hranici 100 km/h. Vypočte se dle následujícího vzorce:

$$V * C = \frac{d[D(t)]}{dt} * \frac{D(t)}{D}, \quad (9)$$

kde $D(t)$ je deformace hrudníku v čase. Písmeno D představuje stanovenou veličinu poloviny rozměru torza hrudníku.

Maximální přípustná hodnota tohoto kritéria je $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a maximální deformace v oblasti žeber 42 mm. Platí pro čelní a boční náraz dle předpisů EHK 94 respektive 95.

Kritérium stlačení hrudníku ThPC

Kritérium ThPC (Thorax Performance Criterion) definuje maximální stlačení hrudníku na 50 mm čelně.

Kritérium deformace žeber RDC

Kritérium deformace žeber RDC (Rib Deflection Criterion) se užívá při testování bočního nárazu a nesmí překročit hodnotu 42 mm.

2.4.4. Biomechanické kritérium poranění břicha APF

V dutině břišní je řada orgánů (játra, slezina, ledviny či slinivka břišní), jejichž poškození může vést k vážnému ohrožení života či k metabolickým problémům.

Maximální přípustné zatížení břicha stanovuje kritérium APF (Abdomen Peak Force). APF je suma maximálních hodnot ze tří snímačů umístěných 39 mm pod povrchem těla na nárazové straně figuríny. Limitní hodnota je 2,5 kN (ekvivalentní vnější síla 4,5 kN). Kritérium APF se užívá při testování bočním nárazem.

2.4.5. Biomechanické kritérium poranění pánve

Kostra pánve je tvořena uzavřeným řetězcem kostí. Na straně kostí pánevních jsou kloubním spojením ukotveny dolní končetiny. K závažnému poranění patří zlomeniny pánve,

jenž mají za následek ztrátu stability celého těla. Kromě toho zde může vzniknout masivní krvácení z uložených orgánů a cév.

V oblasti pánve jsou uloženy důležité orgány – močový měchýř a rektum, u ženského pohlaví dále vaječníky, pochva a děloha. Dále pánev obsahuje velké cévy, nervy a bohaté cévní pletence.

Pro testování se užívá kritéria maximálního zatížení stydkých kostí PSPF (Pubic Symphysis Peak Force). Kritérium PSPF se užívá při testování bočním nárazem. Měří se maximální hodnota síly ve sponě stydké, která nesmí překročit hodnotu 6 kN.

2.4.6. Biomechanická kritéria poranění končetin

Při testování vozů se uvažují kritéria jen pro dolní končetiny. Figurína EuroSID pro boční náraz horní končetiny postrádá. Tkáně rukou mohou odebrat až 15 % nárazové energie. Dolní končetiny jsou nejčastěji poraněny kolizí s přístrojovou deskou, kontaktem s pedály nebo deformací podlahy vozu.

- kritérium stehenní kosti FPC (Femur Performance Criterion), při němž nesmí axiální síla působící na kost překročit 10 kN,
- kritérium tlakové síly působící na holení kost TCFC, limitní hodnota nesmí přesáhnout hodnotu 8 kN,
- index holení kosti TI, vypočte se z následujícího vzorce:

$$TI = |M_R / (M_C)_R| + |F_z / (F_C)_Z| \quad M_R = \sqrt{(M_X)^2 + (M_Y)^2}, \quad (10)$$

kde M_X je ohybový moment okolo osy x, M_Y je ohybový moment okolo osy y, $(M_C)_R$ je kritický ohybový moment, za který se považuje 244 N.m, F_Z je axiální tahová síla ve směru z, $(F_C)_Z$ je kritická tlaková síla ve směru z, za kterou se považuje 35,9 kN.

Pro kritérium je povolena limitní hodnota 1,3.

2.5. Zlomeniny končetin, poranění kloubů svalů a šlach

Pohybový aparát je tvořen končetinami, kloubovým spojením a výkonnou silou svalů a šlach. Při vážnějších dopravních nehodách dochází u vysokého procenta cestujících k řezným nebo tržným ranám a ke zlomeninám. Tato zranění tvoří základní pohybové omezení pro bezpečné opuštění vozidla po nehodovém ději.

2.5.1. Zlomeniny končetin

Horní končetiny tvoří kosti pažní a dvě kosti předloktní. Dolní končetiny jsou tvořeny kostí stehenní a dvěma kostmi bérce.

Jestliže není porušena vrchní kožní vrstva, mluvíme o zlomenině uzavřené. V opačném případě se jedná o zlomeniny otevřené, u kterých velice často dochází k rozvoji šokových stavů (protišoková opatření).

Otevřená poranění dělíme na:

- jednoduché zlomeniny, kdy je porušena jen kůže,
- složité zlomeniny, kdy jsou poraněny i svaly, šlachy, nervy nebo klouby,
- ztrátové zlomeniny, kdy došlo ke ztrátě části končetiny nebo k masivnímu krvácení.

2.5.2. Poranění kloubů

Při zkoumání poranění kloubů nacházíme změny od mikroskopických prasklin až po totální rozdrčení hlavicových a jamkových struktur kloubů. Poranění mohou být uzavřená i otevřená. Porucha funkce kloubu je doprovázena značnou bolestivostí, výronem a prosáknutím kloubových tkání. Mechanické vlivy zasahují i vazivové aparáty. Jednotlivé klouby a vazy se liší svojí stavbou, přičemž je i různá pravděpodobnost poranění.

2.5.3. Poranění svalů a šlach

Svalová funkce je mechanicky spjata s kostrou. Sval je aktivní složka schopná smrštění (rozeznáváme svalovinu srdeční, hladkou a příčně pruhovanou). Na stavbě končetin se podílí svalstvo příčně pruhované. Šlachy jsou připojovacím elementem svalu na kost. Lidské tělo je tvořeno přibližně 600 převážně párovými svaly, které tvoří až 40 % celkové hmotnosti těla dospělého jedince. Častým mechanismem poranění je náhlý a prudký tah nebo úder do svalu nebo šlachy většinou ve stavu svalové kontrakce.

2.6. Typická zranění z dopravních nehod

V letech 2007 a 2008 došlo na našich silnicích k 343 112 dopravním nehodám, z nichž 45 541 bylo se zraněním cestujících (13 %).

	2007	2008	pokles v %
Počet nehod	182 736	160 376	12,2
z toho počet nehod:			
*s usmrcením	1 021	908	11,1
*s těžkým zraněním	3 294	3 223	2,2
*s lehkým zraněním	18 745	18 350	2,1
*pouze hmotná škoda	159 676	137 895	13,6

Následky nehod	2007	2008	pokles v %
*usmrceno	1 123	992	11,7
*těžce zraněno	3 960	3 809	3,8
*lehce zraněno	25 382	24 776	2,5
Hmotná škoda (v mil)	8467,3	7741,5	8,6

Obrázek 10 Počet dopravních nehod a zranění v letech 2007-2008 [5]

U vážných dopravních nehod dochází k tržným a řezným ranám, zhmoždění jednotlivých částí těla (obličej – poškozená funkce smyslových orgánů, hrudník – ztížené dýchání), zlomeninám žeber a končetin, k amputaci končetin, aj. Zranění jsou velmi bolestivá a manipulace s postiženými obtížná. V určitých situacích jsou zranění v dopravních prostředcích nevyhnutelná. Vozidla nemohou disponovat (prostorová náročnost) takovými deformačními zónami, které by mohly pohltit energie vzniklé nárazem, a tím snížit negativní vlivy na cestující pod hranici rozvoje biomechanického poranění. Ponehodová pasivní bezpečnost motorových vozidel pomáhá cestujícím v opuštění vozidla po nehodě, zabraňuje vzniku nežádoucích situací (požár vozidla, náhodná aktivace systému Airbag) a vytváří komunikační systémy, které navazují spojení se složkami IZS.

2.6.1. Zranění od doplňkového systému Airbag

Od začátku sériové montáže jsou zaznamenávány určité počty zranění způsobené přílišnou agresivitou rozbalujícího se vaku. Nejcitlivěji vnímaná zranění jsou úrazy dětí při out-of-position (z důvodu tělesných rozměrů je jejich pohyb při kolizi mimo optimální polohy pro použití vaků) a zranění nemluvnat posazených do dětské sedačky na přední sedadlo proti směru jízdy. Zbytečné ohrožení out-of-position nastává u dospělých lidí, kteří se nepřipoutají. Je-li pasažér, z jakékoli příčiny, mimo optimální oblast pro použití vaku, a dojde-li k inicializaci systému, je jeho tělo rozvíjejícím se airbagem odhozeno zpět, jeho hlava se dostává do rotace, která negativně zatíží mozek a krční páteř. Přičemž poškození mozku a krční páteře, potažmo míchy, se snažíme zabránit. Dochází k popáleninám obličeje a horních končetin od horkých plynů z generátoru a v ojedinělých případech i k alergické reakci na prášek, kterým je tkanina vaku ošetřena proti stárnutí.

3. Pasivní bezpečnost pozemních komunikací

Bezpečnost na komunikacích lze zajistit opatřeními aktivní a pasivní bezpečnosti. Aktivní opatření vozidlo vedou a usměrňují jeho pohyb v souladu se zásadami zklidňování dopravy, ochrany chodců a cyklistů. Pasivní část opatření působí až v průběhu mimořádné události. Dnes už tyto prvky musí obsahovat jak návrh na provedení novostavby, tak i rekonstruovaná část komunikace.

3.1. Pozemní komunikace a prostředí

Vedení a uspořádání pozemní komunikace musí přispívat k jednoznačnosti, rozpoznatelnosti a srozumitelnosti trasy. Komunikace musí být projektována nejen s ohledem na provozní požadavky, ale i na určitou úroveň kontinuity. Logická návaznost v řešení jednotlivých dopravních situací pomáhá řidiči předvídat a lépe se orientovat v tom, co ho čeká v následujících úsecích trasy. Tomuto subjektivnímu pocitu následně řidič přirozeně přizpůsobuje svou okamžitou rychlost, proto je kontinuita řešení obzvláště důležitý bezpečnostní prvek. Právě nepřiměřená rychlost je uvedena jako nejčastější příčina těžkých dopravních nehod. Kontinuita, rozpoznatelnost a srozumitelnost trasy je při návrhu pozemní komunikace kombinací následujících činitelů:

- návrhové prvky pozemní komunikace, jako je návrhová rychlost a jí odpovídající poloměry směrových oblouků, příčné sklony, délky rozhledu aj.,
- vybavení komunikace, jako jsou stavební prvky, bezpečnostní zařízení, signalizační zařízení, dopravní značení, osvětlení, aj.,
- bezprostřední okolí trasy.

3.2. Základní princip bezpečnosti pozemních komunikací

Silniční komunikace je tvořena vozovkou, krajnicemi, vybavením komunikace včetně dopravního značení a dopravního zařízení, mostními a hospodářskými objekty, ochrannými ostrůvky, svahy tělesa komunikace, příkopy aj. Musí vytvářet takový obraz, aby přirozeně motivoval řidiče k volbě optimální rychlosti a aby v případě havarijního opuštění komunikace byla minimalizována možnost střetu s pevnou „agresivní“ překážkou. Komunikace musí zároveň poskytovat dostatek informací nejen pro samotného řidiče, ale i pro ostatní účastníky

provozu o stavu komunikace včetně všech aspektů provozu, které zajišťují maximální možný komfort a bezpečí. Z mnoha studií vyplývá, že pro minimalizaci následků vzniklé havárie bývá rozhodující, jestli po opuštění vozovky mohl automobil účinně zpomalovat do zastavení bez překročení hodnot biomechanických kritérií posádky. Technické provedení bezpečnostních zón musí také účinně snižovat riziko převrácení nebo dokonce opakované převrácení automobilu a zároveň nesmí řešit odvrácení střetu automobilu s pevnou překážkou pasivním nekontrolovaným odhozením automobilu například zpět na vozovku, kde dezorientovaný řidič představuje vysoké riziko vzniku následné dopravní nehody s tragičtějsími následky.



Obrázek 11 Kolize automobilu se samostatným sjezdem [2]

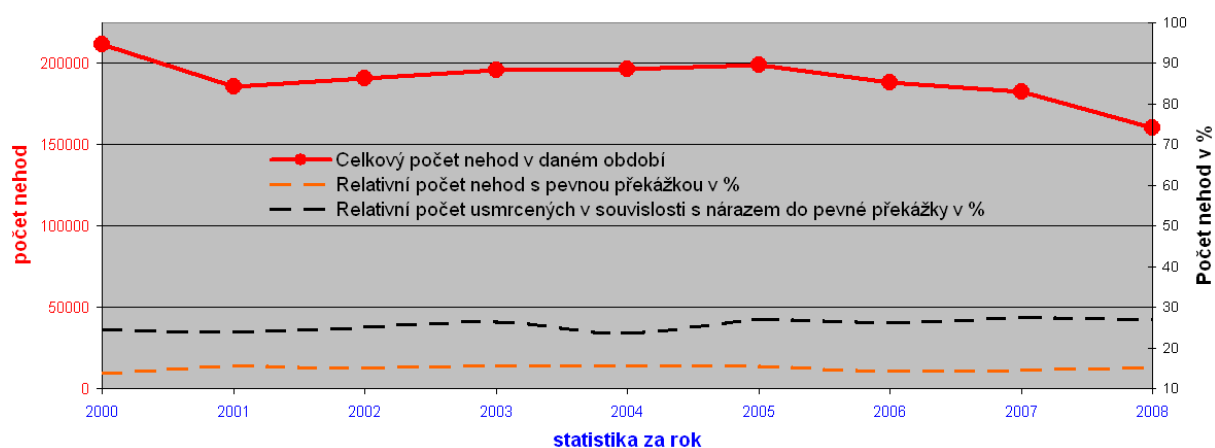
Oblast pasivní bezpečnosti pozemních komunikací nezahrnuje pouze problematiku nehod s pevnými překážkami. Nebezpečné mohou být i nevhodně utvářené krajnice, svahy zářezu, odvodňovací příkopy, nevhodně umístěná či ukončená svodidla a další vybavení pozemních komunikací.

3.3. Statistika vývoje nehodovosti

3.3.1. Celkový přehled

Uspořádání komunikace i jejího bezprostředního okolí má podle zahraničních výzkumů vliv na vznik více než 30 % všech nehod. Bezpečné utváření pozemních komunikací a jejich okolí tedy nabízí značné možnosti pro snižování následků dopravních nehod. Ideálem je provozovat moderní a bezpečné dopravní prostředky po silnici, která splňuje nároky na moderní komunikaci a je tvořena prvky co nejméně agresivními pro případný náraz dopravního prostředku.

Celkový počet nehod v České republice [10] (křivka červené barvy) v období 2000 až 2008 je na obrázku č. 12 porovnán s relativním počtem nehod s pevnou překážkou (křivka oranžové barvy). Tragické následky střetu s pevnou překážkou dokumentuje křivka černé barvy, která dokládá relativní počet usmrčených osob v souvislosti s nárazem do pevné překážky. Střety s pevnou překážkou tvoří přibližně jednu šestinu všech nehod v daném roce, ale mají na svědomí čtvrtinu obětí. Během sledovaných let je průběh křivky nehod s pevnou překážkou stabilní (tedy pro rok 2008 cca 24031 nehod). Ekonomické vyčíslení škod vzniklých při dopravních nehodách na pozemních komunikacích není jednoduché objektivně stanovit. Dopravní nehody kromě psychické újmy a poškození okolního prostředí způsobují ekonomické ztráty, které dopadají nejen na samotné aktéry havárie, ale i na společnost, tedy na státní rozpočet.



Obrázek 12 Vývoj nehodovosti v letech 2000 až 2008

3.3.2. Statistika vývoje nehodovosti – pevná překážka

Ve statistikách dopravní nehodovosti Policie ČR jsou ve značné míře zastoupeny jak nehody s pevnou překážkou přírodního charakteru (nejčastěji se stromem), tak umělého charakteru (svodidlem, sloupkem dopravního značení či reklamního poutače). Pevná překážka přirozeně nebývá primární příčinou nehody, avšak výrazným způsobem ovlivňuje míru jejího následku.

1989	1990	1991	1992	Statistika Policie ČR	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
79717	94664	101387	125599	Počet nehod v ČR - celkem	211516	185664	190718	195851	196484	199262	187965	182736	160376
914	1173	1194	1395	Počet usmrcených v ČR - celkem	1336	1219	1314	1319	1215	1127	956	1123	992
11876	14781	16829	19197	Náraz do pevné překážky	28960	29091	28687	30265	30387	30837	26908	26606	24031
3291	3898	3966	4410	strom	5308	5628	5333	5930	5677	5509	4838	4830	4353
2422	3083	3465	3738	sloup	3652	3731	3590	3706	3595	3759	3221	3254	3040
445	510	631	626	odrazník, patník, sloupek	3398	3169	3271	3315	3435	3577	3172	3267	3158
1186	1546	2227	2721	svodidlo	3706	4113	4077	4161	4257	4446	3674	3516	3103
128	167	169	256	překážka - jiné vozidlo	540	443	471	446	456	427	386	332	305
2045	2512	2946	3355	zeď, stavební konstrukce, propustky	3892	3770	3714	3855	3935	3835	3416	3511	3136
155	163	139	137	závory železničních přejezdů	179	171	173	148	184	223	207	194	177
134	163	172	182	překážka - stavební činnost	434	348	318	372	362	356	396	284	283
2070	2739	3114	3772	jiné	7851	7718	7740	8312	8486	8705	7598	7418	6476
14.90	15.61	16.60	15.28	Relativní počet nehod do pevné překážky za rok v %	13.69	15.67	15.04	15.45	15.47	15.48	14.32	14.56	14.98
160	216	247	291	Počet s usmrcením	294	262	301	314	256	273	218	269	233
2795	3291	3470	4092	Počet se zraněním	4145	4509	4309	4853	4500	4294	3691	3829	3996
8921	11274	13112	14814	Počet jen s hmotnou škodou	24521	24320	24077	25098	25631	26270	22999	22508	19802
175	248	294	340	Usmrceno	330	291	332	349	288	303	250	308	267
4081	5016	5321	6260	Zraněno	5967	6482	6203	6916	6467	5950	5128	5338	5383
-	-	-	-	Hmotná škoda v miliardách Kč	1.17	1.45	1.48	1.64	1.65	1.67	1.49	1.43	1.33
19.15	21.14	24.62	24.37	Relativní počet usmrcených v souvislosti s nehodou do pevné překážky	24.70	23.87	25.27	26.46	23.70	26.89	26.15	27.43	26.92

Obrázek 13 Statistika nehodovosti v letech 2000 až 2008

Pro potřeby statistické analýzy jsou pevné překážky děleny do následujících kategorií:

- strom,
- sloup – telefonní vedení, veřejné osvětlení, elektrické vedení,
- odrazník, patník, sloupek dopravní značky,
- svodidlo,
- překážka vzniklá provozem jiného vozidla,
- zeď, pevná část mostů, podjezdů, tunelů (propustek),
- závory železničního přejezdu,
- překážka vzniklá stavební činností,
- jiná překážka (např. zábradlí, oplocení, násyp, ostrůvek).

V absolutních číslech bylo v roce 2008 usmrceno 267 osob a 5383 osob bylo zraněno právě v souvislosti s nárazem na pevné překážky umístěné v blízkosti komunikace. Podmnožinu těchto nehod tvoří střety charakterizované jako náraz na zeď, část mostu, tunelu nebo čelo propustky. Každoročně se stane přibližně 3600 těchto nehod – v roce 2008 došlo k 3136 dopravním nehodám. Konkrétní následky těchto nehod nelze vyhledat, protože nebyly takto cíleně statisticky zpracovány. Pro potřeby této disertační práce bylo ve spolupráci s Policejním prezídiem Policie ČR vyříděno 72 dopravních nehod na území Středočeského kraje v letech 2006 až 4/2008 (2/2009), které spadají do výše uvedené kategorie pevných překážek a došlo při nich k vážným zraněním. Podrobná analýza těchto nehod vnese do této práce základní vstupní hodnoty pro návrh nových preventivních opatření.

3.3.3. Zhodnocení statistických dat

Nehody s pevnou překážkou tvoří přibližně jednu šestinu všech nehod v daném roce, ale mají na svědomí čtvrtinu obětí. Přestože se pasivní bezpečnost dopravních prostředků neustále zvyšuje, tragické následky těchto dopravních nehod zůstávají stejné, viz obrázek 12. Proč? Konstrukce pevné překážky se nemění? Byly vynaloženy nemalé prostředky na úpravu technického řešení upevnění dopravního značení, vylepšení stávající konstrukce svodidel a vývoj nové konstrukce. Jen obtížně probíhá náprava nepříznivé situace v oblastech vzrostlé vegetace kolem komunikací (zhruba 5500 nehod za rok) a nepatrný pokrok vykazuje stavební konstrukce opěrných zdí, propustků a samostatných sjezdů.

Náraz automobilu do nedeformovatelné překážky je střet nekompatibilního charakteru. Silové poměry při střetu dvou automobilů jsou odlišné od střetu s pevnou překážkou. Bohužel obecně šířené povědomí o vysoké bezpečnosti automobilů vede řidiče ke klamnému pocitu nezranitelnosti, tedy ve výsledku k nezodpovědnosti.

3.4. Bezpečnostní odstup

Bezpečnostní odstup b_0 je nezbytný odstup určitého druhu dopravního pruhu od pevné překážky. Jeho šířky jsou 0,25 metru, 0,5 metru a 0,75 metru. Přehled poskytuje Česká státní norma 73 6110 (dále jen ČSN), kapitola „Skladební prvky místních komunikací“.

Typ pruhu nebo pásu	Typ sousedního prostoru, pruhu nebo překážky							Zvýšená obruba na vnější straně hlavního dopravního prostoru
	Jízdní pruh	Parkovací pruh	Přidružený prostor	Pruh pro cyklisty	Pruh pro chodce	Pevná překážka	Střední dělicí pás	
Jízdní pruh nebo pás a,b)	--	--	0,5	--	0,5	c) 0,5	0,5	šířka vodícího proužku
Pruh pro cyklisty b,d)	(0,5) e)	0,75 (0,5)	0,5	2 f,g) 0,25	0,5	h) 0,25	--	(0,5) (0,25)
Pruh pro chodce b)	0,5	0,5	--	0,5	--	0,25	--	0,5
Parkovací pruh	--	--	0,5	0,75 (0,5) i)	0,5	0,5	--	--
Parkovací pás	1,0	--	0,75 (0,5) i)	1,0 (0,5) i)	0,5	0,5	--	--
Tramvajový pás	0,25	--	0,5	--	0,5	j) 2,25	--	1,3 k) (1,75) k)

Obrázek 14 Bezpečnostní odstup b_0 [6]

poznámka:

- a) Bezpečnostní odstup se vkládá vně vodícího proužku.
- b) Bezpečnostní odstup k pevné překážce, k přidruženému dopravnímu prostoru a k pruhu pro chodce se ve stísněných podmínkách a při návrhové dovolené rychlosti ≤ 30 km/h snižuje na 0,25 metru. Pro typy příčného uspořádání s nezpevněnou krajnicí platí vždy 0,5 metru. Stožáry veřejného osvětlení se vždy považují za pevnou překážku.
- c) Pro zábradlí se snižuje na 0,25 metru.
- d) Bezpečnostní odstup k parkovacímu místu pro kolmá/šikmá stání se zvětší na $\geq 1,0$ metr, šířky a uspořádání bezpečnostních odstupů ve vztahu ke stezkám/pásům/pruhům pro cyklisty.
- e) Při protisměrném pohybu cyklistů v jednosměrné komunikaci.
- f) Protisměrný provoz cyklistů.
- g) Při intenzitách větších než 120 cyklistů/h v obou směrech se může vypustit.
- h) Vzdálenost od zadního líce svodidla, od obrubníku vyššího jak 0,02 metru. Podél souvislé zástavby se zvětšuje nejméně na 1,5 metru.
- i) Ve stísněných podmínkách a při návrhové/dovolené rychlosti ≤ 30 km/h.
- j) Vzdálenost od osy koleje, pro zábradlí platí 1,75 metru.
- k) Vzdálenost od osy koleje (vzdálenost 1,3 metru je standardní a odpovídá vzdálenosti obruby nástupního ostrůvku zastávky nebo obruby zastávkového mysu od osy koleje, vzdálenost 1,75 metru od okraje průjezdného průřezu).

U jízdního pruhu/pásu pro motorová vozidla se bezpečnostní odstup vkládá vně vodícího proužku. U jízdního pruhu pro cyklisty je vodící proužek součástí bezpečnostního odstupu.

Jízdní pruh nebo pás	Pruh pro cyklisty	Pruh pro chodce	Parkovací pruh	Parkovací pás	Tramvajový pás
0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	2,25

Obrázek 15 Bezpečnostní odstup b_0 [6]

poznámka:

Bezpečnostní odstup k pevné překážce, k přidruženému dopravnímu prostoru a k pruhu pro chodce se ve stísněných podmínkách a při návrhové/dovolené rychlosti ≤ 30 km/h snižuje na 0,25 metru. Pro typy příčného uspořádání s nezpevněnou krajnicí platí vždy 0,5 metru. Stožáry veřejného osvětlení se vždy považují za pevnou překážku. Pro zábradlí se hodnota bezpečnostního odstupu od jízdního pruhu/pásu snižuje na 0,25 metru. Bezpečnostní odstup k parkovacímu stání (kolmá/šikmá) se zvětší na $\geq 1,0$ metru.

V okolí komunikace je nutné zajistit takový prostor, aby v celé její délce byl zaručen dostatečný rozhled pro zastavení a co nejdelší úsek pro předjíždění (ČSN 736110). Proto je nutné zajistit volný boční odstup pro všechny překážky a předměty v okolí komunikace,

tj. včetně silničních záchytných systémů (svodidel). Návrhy úprav rozhledových polí nesmí umožňovat ani vytváření přechodných překážek v rozhledu (např. parkování vozidel). [6]

3.5. Bezpečnostní zóna pozemní komunikace

Bezpečnostní zóny tvoří plochy přiléhající k pozemní komunikaci. V těchto plochách nemají být žádné překážky, do kterých by vozidlo v případě havarijního pohybu mohlo narazit. Filozofie „promíjející“ komunikace je založena na tom, že účastníci dopravního provozu se mohou dostat z mnoha příčin mimo pojezďenou plochu, například při:

- vysokých rychlostech jízdy vozidla,
- chybném odhadu parametrů komunikace, vlastních schopností, možností vozidla či vývoje dopravní situace,
- předjíždění a vyhýbání se jiným účastníkům silničního provozu, překážkám a zvířím,
- povětrnostních podmínkách (námraza, aquaplaning)
- nepozornosti, únavě aj.,
- lokální závadě v konstrukci komunikace (např. opačný příčný sklon vozovky),
- selhání brzd při nevhodném způsobu sjíždění dlouhých svahů (jiná technická závada).

Náhlá vybočení vozidel z vozovky s následnými haváriemi nelze určitě zcela vyloučit, protože některé příčiny těchto situací mohou mít i objektivní charakter. Vyskytují se situace, kdy volba vyjetí ze silnice je (nebo by mohla být) jedinou možností jak zabránit střetu s vozidlem, jenž se například ve smyku pohybuje v protisměru.

Danou problematiku nelze řešit pouze „výchovou řidičů – prevencí“, protože vznik a řešení krizové situace vždy závisí na zkušenosti a odpovědnosti jednotlivého účastníka dané situace, jeho okamžité kondici a na dalších vnějších faktorech. Proto je třeba okolím komunikací této skutečnosti přizpůsobit s cílem výrazně snížit pravděpodobnost možností nárazů do pevné překážky. Znamená to především redukovat počet, blízkost a masivnost pevných překážek na nejnutnější míru a kromě toho ještě provést taková technická opatření, která mohou v případě havárie dále snížit následek kolize.

Základní kritéria pro návrh a dimenzování bezpečnostních zón jsou závislá například na: kategorii dané komunikace, intenzitě dopravy, směrových poměrech, uvažované návrhové rychlosti a v neposlední řadě na charakteru krajiny resp. sklonech svahů.

V mezinárodním projektu RISER (Roadside Infrastructure for Safer European Roads - výzkumný projekt 5. rámcového programu EU) byly porovnány odpovídající předpisy sedmi evropských zemí. Byly zjištěny výrazné rozdíly v šířce bezpečnostních zón. Ve Finsku jsou tři rozdílné kategorie bezpečnostních zón, a to v souvislosti s kategorií komunikace, příčným profilem komunikace a s ohledem na to, je-li komunikace vedena v zářezu. Šířka zóny je v intravilánu 2 až 9 metrů v závislosti na návrhové rychlosti a průměrné denní intenzitě dopravy. Ve Velké Británii je standardní šířka 4,5 metru, avšak značky a jiné vybavení je instalováno do této zóny. V extravilánu je u směrově dělené komunikace šířka bezpečnostní zóny 4,8 metrů a na směrově nedělených (ostatních) komunikacích šířka do 3,5 metrů. Ve Francii je šířka zóny závislá na návrhové rychlosti. Pro stávající (rekonstruované) komunikace se uplatňují kritéria, která nedosahují nároku na stavbu nových komunikací. V Nizozemí je šířka zóny v případě dálnic s návrhovou rychlostí 120 km/h (u nově postavených komunikací) 13 metrů, u stávajících dálnic nebo u silnic s návrhovou rychlostí 100 km/h je minimální šířka zóny 10 metrů. U komunikací s návrhovou rychlostí 90 km/h je šířka zóny stanovena 8 až 10 metrů, na silnici s návrhovou rychlostí 80 km/h je šířka určena v rozmezí 4,5 až 6 metrů. Šířka bezpečnostní zóny se měří od vnitřní strany vodící čáry k nejbližší hraně překážky. V americkém Road Design Guide (2002) je doporučená šířka bezpečnostní zóny předepsána pouze u silnic větší šířky silniční koruny než 9 metrů. V Německu se v současnosti pracuje na tvorbě nových předpisů. Obecně lze tedy vypozařovat určitou souvislost mezi návrhovou rychlostí a šířkou bezpečnostní zóny. [6]

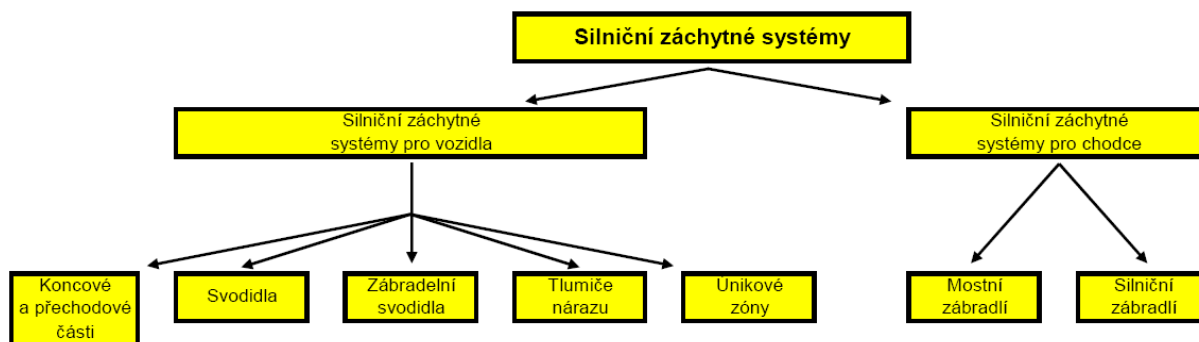
Problémem bezpečnostních zón jsou zejména nároky na zábor pozemků a také to, že stavbou bezpečnostních zón je rozšířeno okolí komunikace, která tak vypadá širší, což subjektivně podporuje rychlejší jízdu.

3.6. Záchytné bezpečnostní systémy

Definice:

Silniční záchytné bezpečnostní systémy jsou zádržné systémy navržené a nainstalované za účelem zmírnění následků při případném vyjetí vozidla mimo vozovku v místech, kde je vyjetí nežádoucí nebo nebezpečné. [2]

Silniční záchytné systémy jsou výrobky, které zvyšují pasivní bezpečnost silničních komunikací. Jejich výroba a využití se řídí dle zákona 22/1997 Sb. „o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů“. Jejich zkoušením se zabývá norma ČSN EN 1317 „Silniční záchytné systémy“, která je nástupcem normy ČSN 73 7001. V souladu s Vnitřními předpisy CEN/CENELEC jsou povinny tuto evropskou normu zavést všechny země EU. Česká republika přijala šest částí normy v letech 1998 až 2001.



Obrázek 16 Rozdělení dle ČSN EN 1317 - Silniční záchytné systémy [6]

Při rozhodování, jaký silniční záchytný systém umístit před pevnou překážku, je nutno znát možnosti použití a vlastnosti těchto výrobků. Aby tlumící nebo vodící prvek plnil svou funkci musí mu být poskytnuta dostatečná pracovní šířka dle provedení. Pracovní šířkou je myšlen volný prostor, na kterém se záchytný systém může deformovat a tím odebírat pohybovou energii jedoucímu vozidlu.

Ze zákonů č. 361/2000 Sb. a č.465/2006 Sb. vyplývá povinnost účastníků nehody hlásit správci komunikace poškození součástí komunikace (svodidel, dopravního značení apod.). Pokud se oprava neprovede neodkladně, pak při následné kolizi naráží vozidlo do již aktivovaného místa silničního záchytného systému, tedy do nekryté agresivní pevné překážky.

4. Pevné překážky

Hlavní náplní disertační práce je problematika pevných překážek – zejména proto, že statistiky dopravních nehod zpracované Policií ČR [10] pro území České republiky mají v tomto segmentu příčin dlouhodobě stagnující charakter. Jedná se přibližně o 15 % z celkového počtu dopravních nehod. Využiji i vlastní zkušenosti, neboť jsem měl možnost podílet se od roku 2001 na odstraňování následků dopravních nehod v rámci Integrovaného záchranného systému.

Následky sjetí ze silnice zůstávají výrazně nižší, pokud je kolem komunikace k dispozici boční prostor bez překážek, kde vozidlo může zpomalit nebo zastavit bez kolize, která by vedla k překročení biomechanických limitů. Riziko usmrcení při nárazu do stromu je více než pětinasobné, při nárazu na svodidlo více než dvojnásobné v porovnání s tím, kdy k vyjetí ze silnice dojde na místě bez pevných překážek podél silnic. [13]

Pro rozhodování o opatřeních souvisejících s touto problematikou postačuje rozlišovat, co se považuje za pevné překážky a co ne. Podrobnější dělení by bylo zbytečně komplikující a není zde nutno zohledňovat ani třídění komunikací. Kritériem pro přijetí méně náročných opatření může být eventuálně to, zda v daném úseku komunikace je vhodnou stavební úpravou omezena jízdní rychlost vozidel na 50 km/h eventuálně na rychlost ještě nižší. [13]

Při havarijním pohybu vozidel se jako pevné překážky uplatňují nejen objekty, jež nejsou nezbytnou funkční součástí komunikací (např. nosné konstrukce reklam, stromy apod.), ale i stožáry pro osvětlení, portálové konstrukce dopravních značek, sloupy pro nadzemní vedení, zdi, budovy, pilíře mostů, portály tunelů, zárubní zdi (zejména jejich začátky, nároží), protihlukové stěny (zejména jejich čela), zábradlí, skály, čela propustků, překážky vzniklé stavební činností apod.

Za pevné překážky se nepovažují křoviny do průměru dřeviny 8 centimetrů, ohrady, ploty a tísňové (telefonní) hlásky bez podezdívky nebo s podezdívkou nižší než 0,20 metru, obrubníky, měřičské značky, směrové sloupky, sloupky dopravních značek s výjimkou sloupů portálových konstrukcí, zemní svahy a jiné nízké a poddajné nebo snadno deformovatelné předměty.

4.1. Pevné překážky přírodní - stromy

Stromy podél komunikací reprezentují nejčastěji se vyskytující pevnou překážku. Nebezpečnost je hrozivá: v ČR v roce 2007 bylo registrováno 4830 dopravních nehod se stromy při nichž bylo 199 osob usmrceno. Nejčastěji v témže roce docházelo k dopravním nehodám na silnicích III. tříd (1806 případů), kde jako typickou lze uvést problematiku osaměle stojícího stromu vně směrového oblouku. V okolních státech je situace obdobná

To je v ČR přes 13 nárazů denně a každý druhý den jeden mrtvý člověk !!

Odstupy stromů od okrajů vozovek jsou u nás často tak malé, že není k dispozici ani minimální účinná šířka pro svodidla. Je třeba volit takovou vegetaci, jež nemá pevné kmeny a lze ji upravovat stříháním. Vhodně volené křoviny mohou při případném výjezdu mimo komunikaci částečně působit jako záchytná síť. V zimním období mohou omezovat tvorbu sněhových jazyků a závějí na vozovkách. Stromy (s korunou na kmeni) tento příznivý účinek nemají, naopak vytvářejí pevné překážky v bezprostředním okolí komunikací.

Pro boční odstupy stromů platí kritéria uvedená níže. Pro snižování počtu a zejména následků dopravních nehod se jeví jako účelné zajistit, aby těmito kritériím vyhovovaly všechny stromy podél komunikací, jež nejsou součástí souvislých plošných lesních porostů. Výsadba nových stromů v malém bočním odstupu od vozovky je z hlediska bezpečnosti silničního provozu nepřijatelná a nezodpovědná.

Pozitivní vlivy zeleně podél silnic:

- funkce prostředí - zlepšení klimatických, hygienických a estetických (psychické pohody uživatelů) podmínek,
- krajnotvorná funkce - spoluurčení architektonické podoby a hodnoty stavby, začlenění technického díla do krajiny, spoluutváření krajinného rázu dotčené části území,
- bezpečnostní funkce - vliv na snížení rychlosti při průjezdu stromořadím, optické vedení a zdůraznění trasy, ochrana proti oslnění a nežádoucím klimatickým vlivům, bránění větrné a vodní erozi u krajnic a svahů.

Negativní vlivy zeleně podél silnic:

- snížení rozhledu na křižovatkách a v obloucích, nebo v pohledu na dopravní značení, bezpečnostní zařízení a jiná vozidla,
- při vybočení vozidla mimo komunikaci ohrožuje jeho posádku,
- zhoršuje adhezní podmínky na pozemních komunikacích a to zejména spadem: listí, plodů, větví a v neposlední řadě polomů,
- zvyšuje nebezpečí vzniku náledí (trvalejší vlhkost vozovky).

Řešení problematiky v ČR – zákony, předpisy, normy [6]

- **Zákony:**

Zákon o pozemních komunikacích č.13/1997 Sb.

Zákon o státním fondu životního prostředí č.388/1991 Sb.

Zákon č.50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů, (novela č. 183/2006 Sb.).

Zákon č.17/1992 Sb., o životním prostředí.

Zákon č.114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

Zákon č.389/1991 Sb., o státním fondu životního prostředí.

Zákon č.282/1991 Sb., o České inspekci životního prostředí.

Zákonná opatření ČNR č.347/1992 Sb., kterým se mění zákon č.114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

Zákon č.244/1992 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a vyhláška č.499/1992 Sb.

Zákon č.309/1991 Sb., ve znění z.č.218/1992 Sb., a č.158/1994 Sb. úplné znění zákona č. 211/1994 Sb., o ochraně ovzduší.

Vyhláška č.395/1992 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona ČNR č.114/92 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

Zákon č.125/1997 Sb., o odpadech a související předpisy.

Zákon č.334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu a prováděcí vyhlášky č.36/1987 Sb., č.528/1991 Sb. a č.13/1994 Sb.

Zákon č.289/1995 Sb., o lesích.

Zákon č.266/1994 Sb., o drahách.

Zákon č.284/1991 Sb., o pozemkových úpravách a úřadech.

Zákon č.92/1991 Sb., o podmínkách převodu majetku státu na jiné osoby.

Zákon č.229/1991 Sb., ve znění zákona č.93/1992 Sb. - vlastnické vztahy k půdě.

Vyhláška č.104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemích komunikacích.

Vzorová koncepce silniční zeleně - generel doprovodných porostů komunikací. Ministerstvo vnitra ČR
- Správa pro dopravu. Veronika 1989

- **Normy, Technické podmínky (dále jen TP) :**

ČSN 46 0310	Osivo a sadba.Společná ustanovení pro osivo a sadbu.
ČSN 46 4902	Výpěstky okrasných dřevin. Společná a základní ustanovení.
ON 46 4910	Výpěstky okrasných dřevin. Jehličnaté dřeviny.
ON 46 4920	Výpěstky okrasných dřevin. Listnaté stromy.
ON 46 4921	Výpěstky okrasných dřevin. Stálé zelené.
ON 46 4930	Výpěstky okrasných dřevin. Okrasné listnaté keře a keřové tvary stromu
ČSN 73 3050	Zemní práce.
ČSN 73 6005	Prostorová úprava vedení technického vybavení.
ČSN 73 6100	Názvosloví silničních komunikací.
ČSN 73 6102	Projektování křižovatek na silničních komunikacích
ČSN 73 6110	Projektování místních komunikací.
ČSN 73 6380	Železniční přejezdy a přechody.
ČSN 83 9000	Sadovnictví a krajinářství. Terminologie.
ČSN DIN 18915	Sadovnictví a krajinářství -práce s půdou. (83 9011)
ČSN DIN 18916	Sadovnictví a krajinářství - Výsadby rostlin (83 9021)
ČSN DIN 18918	Sadovnictví a krajinářství - Technicko-biologická zabezpečovací opatření (83 9041).
ČSN DIN 18919	Sadovnictví a krajinářství - Rozvojová a udržovací péče o rostliny (83 9051).
ČSN DIN 18920	Sadovnictví a krajinářství - Ochrana stromů, porostů a ploch pro vegetaci při stavebních činnostech (83 9061).

TP 53 Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. MHPR ČR – SD 1992

Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací - kapitola 13 Vegetační úpravy, MDS 1997.

Technické kvalitativní podmínky staveb PK - kapitola 8 Vybavení a příslušenství PK, MDS 1997

4.2. Pevné překážky umělé

Mezi umělé pevné překážky řadíme všechny pevné překážky zbudované člověkem, které jednak slouží provozu, jako například: podpěrné konstrukce dopravních značek, sloupy inženýrských sítí, zábradlí, čela propustků, opěrné zdi, patníky, aj. nebo naopak komerci jako billboardy a ostatní reklamní plochy, které jsou z hlediska bezpečnosti dopravy nepřijatelným rizikem.

4.2.1. Podpěrné konstrukce dopravního značení

Norma ČSN 73 6110, kapitola "Dopravní značení" stanovuje, že žádná část stálých svislých dopravních značek ani jejich nosných konstrukcí nesmí zasahovat do průjezdního profilu. Zařízení pro dopravní telematiku se musí umísťovat mimo průjezdní prostory místních komunikací. Je-li podpěrná konstrukce pevnou překážkou, je nutné ji ochránit osazením svodidel, případně tlumičem nárazu. Technické podmínky TP 65 rozumí podpěrnými konstrukcemi podpěrný sloupek, stojku, konzolu nebo jinou konstrukci, kotvící patku, pomocí kterých je značka osazena v terénu. Patky a sloupky musí vyhovovat TP 118. Podpěrné konstrukce musí vyhovovat požadavkům normy ČSN EN 12767, nebo musí být konstrukce umístěna za svodidlem.

Boční umístění svislých dopravních značek dle TP 65 [2]

Bezpečnostní principy návrhu místních komunikací musí sledovat a respektovat zejména správné provedení a umístění svislého a vodorovného dopravního značení včetně dopravních značek informativních.

Stálé značky ani jejich nosné konstrukce nesmějí podle ČSN 73 6101, ČSN 73 6110 a ČSN 73 6201 zasahovat do vymezené části dopravního prostoru stanovené volnou šířkou pozemní komunikace (včetně části vymezené pro cyklisty). Nosné konstrukce značek a dopravních zařízení mohou zasahovat pouze do průchozího prostoru pro chodce, a to pouze za předpokladu, že v daném místě zůstane volná šířka 1,50 metru.

Nejmenší vodorovná vzdálenost nejbližšího okraje svislé značky, či dopravního zařízení včetně jejich nosné konstrukce od vnějšího okraje zpevněné části krajnice, případně

od vozovky (u pozemní komunikace bez zpevněné části krajnice), je 0,50 metru a největší vzdálenost je 2,00 metru. Ve výjimečných případech je možno v obci (na pozemních komunikacích bez krajnice) nejmenší vzdálenost snížit na 0,30 metru. Dopravní značení je vhodné umístit za příkop či rigol, neosazovat návěstní tabule s „rozkročením“ přes příkop a to nejen z důvodů bezpečnosti, ale také možnosti údržby příkopu nebo zeleně v tomto prostoru.

V úsecích pozemní komunikace, kde jsou umístěna záchytná bezpečnostní zařízení, je nutné sloupky a nosné konstrukce značek a dopravních zařízení umísťovat za deformační zónu záchytných bezpečnostních zařízení.

Výše uvedené zásady se nevztahují na značky a dopravní zařízení, která označují překážky v provozu, pracovní místa a jiná obdobná dopravní omezení. Zde pak podrobnosti upravují TP 66.

S ohledem na bezpečnost silničního provozu mohou být podpěrné konstrukce provedeny tak, aby se při nárazu oddělily nebo deformovaly, což řeší norma ČSN EN 12767 „Pasivní bezpečnost podpěrných konstrukcí a zařízení na pozemních komunikacích“. Požadavky a zkušební metody (česká verze normy EN 12767:2000) stanovuje tři kategorie podpěrných konstrukcí [6]:

- s vysokou absorpcí energie (HE),
- s nízkou absorpcí energie (LE),
- bez absorpce energie (NE).

Podpěrné konstrukce s absorpcí energie vozidlo podstatně zpomalují, čímž se snižuje nebezpečí sekundárních nárazů do staveb, stromů, chodců a jiných účastníků silničního provozu. Různé kategorie absorpce energie umožňují národním a místním silničním správním úřadům, aby zvolily vhodný funkční typ podpěrné konstrukce na pozemní komunikaci s ohledem na bezpečí účastníků silničního provozu.

Přitom je nutno brát v úvahu následující faktory:

- kategorie pozemní komunikace,
- jízdní rychlosti, které jsou na příslušném úseku pozemní komunikace běžné,
- existence jiných konstrukcí, stromů nebo přítomnost chodců,
- pravděpodobnost zranění v případě nárazu a případné ekonomické náklady,
- existence záchytných systémů pro vozidla.

Podpěrné konstrukce, které jsou předmětem normy, mají být navrhovány a posuzovány tak, aby uspokojivě plnily svou funkci. Kvalita výroby, trvanlivost, a dobré podmínky pro instalaci jsou důležitými bezpečnostními kritérii, která mají být při užití těchto podpěrných konstrukcí zohledňována.

Tato evropská norma představuje společný základ pro provádění nárazových zkoušek podpěrných konstrukcí na pozemní komunikaci. Také umožní využívat výsledky výzkumu i výsledky zkoušek ke zlepšování budoucích specifikací, včetně přepracování úrovní prudkostí nárazu a metod jejich stanovení.

4.2.2. Zábradlí v dopravním prostoru

Jako zvláště závažná pevná překážka se uplatňují zábradlí postavená podélně v dopravním prostoru komunikace (např. mezi tramvajovými kolejemi kvůli zabránění přebíhání chodců přes kolejové těleso). Na taková zábradlí narážejí svými příděmi například sanitní vozy s právem přednosti v jízdě (dnes již i neukáznění řidiči) spěchající po tramvajovém tělese. V takových případech dochází dokonce k průniku podélné trubky zábradlí hluboko do vozidla. V podélném směru pohledu je takové zábradlí totiž špatně viditelné, zejména za snížené viditelnosti. Proto by se oba konce takových zábradlí měly zvýraznit například (zúženou) směrovací deskou (dopravní značka Z4) nebo jiným vhodným způsobem spojeným se zvětšením viditelné plochy začátku zábradlí (reflexní plochy, odrazky).

Na takových místech je třeba dát přednost zábradlím řetízkovým (svislé tyče mezi kterými je natažen řetězový nebo lanový výplet) před zábradlími s podélnými trubkami.

4.2.3. Propustky

Samostatnou skupinu pevných překážek představují čela propustků v odvodňovacích příkopech. Vozidla, která vybočila z vozovky, bývají koryty příkopů doslova vedena a směřována na čela propustků. Proto jsou zvláště nebezpečné příkopy se strmými svahy podél starých silnic. Při rekonstrukcích silničního tělesa je nutno svahy upravit a provést technická opatření pro snížení agresivity případného nárazu na čelo samostatného sjezdu nebo napojení (vyústění) jiné komunikace, například účelové. V neposlední řadě je při rekonstrukci komunikace nezbytné u jednotlivých propustků prověřit, zda i nadále trvá funkční

opodstatnění toho, proč byly zřízeny (např. polní sjezdy na plochy, jež byly později spojeny do větších celků), a to i v obcích.

U větších objektů, jež jsou vybaveny vtokovými šachtami, je třeba uvážit proveditelnost ochrany podélným svodidlem před úrovní takového objektu.

Problematice konstrukce propustků není věnována zdaleka taková pozornost jako ostatním kategoriím pevných překážek. Stavba probíhá po povolení odborem dopravy příslušného pověřeného úřadu a po vyjádření dopravního inspektorátu Policie ČR.

Stavební odbor zkoumá světlost zatrubnění povolovaného objektu v souvislosti s jeho délkou a hydrologickými poměry v místě stavby dle vyhlášky 104/1997 Sb. Dále obvykle předepisuje, že povrch napojení/hospodářského přejezdu a jeho okolí bude provedeno z bezprašných materiálů, aby nedocházelo ke znečišťování přilehlé komunikace, že stavba vlastního napojení/hospodářského přejezdu na silnici bude opatřena betonovými čely propustku, úprava betonových čel bude provedena tak, aby netvořila pevnou překážku na přilehlých komunikacích. **Jakým způsobem toho má stavebník docílit, není stanoveno.**

Nově se čela propustků budují zešikmená, předpokládá se, že vozidlo po zkoseném čele propustku vyjede a nedojde k jeho deformaci, což zmírní negativní účinky střetu na posádku uvnitř vozidla. Tato koncepce nezohledňuje následný nehodový pohyb vozidla především při vysoké kolizní rychlosti, kdy šikmé čelo propustku vozidlo katapultuje do prostoru. Nevhodné použití (umístění) koncepce zešikmených čel, dle názoru zpracovatele studie, povede k mnohem složitějšímu nehodovému ději a tím i k závažnějším následkům.

Způsoby a provedení odvodnění komunikace je popsáno v ČSN 73 6101, kapitola 10.2.3 Odvodňovací zařízení.



Obrázek 17 Konstruktivní řešení samostatných sjezdů

4.2.4. Směrové sloupky

Směrové sloupky slouží jako vodící zařízení pro vedení vozidel za snížené viditelnosti. Vyrábějí se z takových materiálů, aby byly ohebné nebo lehce ulomitelné, při nárazu vozidla nezpůsobily výrazná poškození, byly snadno vyměnitelné a při strojní údržbě snadno vyjímatelné z krajnice. Patří do kategorie – Vodící bezpečnostní zařízení ČSN 73 6101.

Osamělé patníky

Ze silnic je nutno systematicky odstraňovat staré kamenné patníky. Těmi se na tereziánských silnicích zviditelňovaly hlavně směrové oblouky (na vnější straně).

4.2.5. Drobná zařízení místních služeb

Do této kategorie pevných překážek patří drobná zařízení, která se mohou situovat do přidruženého dopravního prostoru jako například: prodejní stánky, kiosky, restaurační zahrádky, hygienická zařízení, telefonní budky. Tato zařízení mají být umístěna ve vzdálenosti od 1 metru do 1,5 metru od okraje hlavního dopravního prostoru. V případě restaurační zahrádky povoluje ČSN 73 6110 snížit tuto vzdálenost až na 0,5 metru. V zájmu zajištění bezpečného rozhledu musí být tato zařízení včetně samostatných reklamních poutačů

umístěna v nejmenší vzdálenosti 20 metrů od hranice křižovatky viz vyhláška MMR ČR č.396/2000 Sb.

4.2.6. Reklamní plochy

Problematika reklamních billboardů je řešena pouze zákonem 13/1997 Sb., případně jeho novelou z roku 2001. Další prováděcí předpisy k této problematice nejsou vydány, protože každý reklamní poutač je natolik specifický, že nelze postihnout všechny varianty pro jejich výstavbu nebo zrušení. Při návrhu poutače musí investor nejprve vypracovat projekt s umístěním, vizualizací, výškou, velikostí a dalšími detaily, které se reklamního poutače týkají. Má-li být poutač umístěn do ochranného pásma komunikace, které bylo rozšířeno na 250 metrů, je nutné požádat příslušný orgán o stanovisko. Pro dálnice a rychlostní komunikace vydává povolení Ministerstvo vnitra a pro silnice nižších tříd Policie ČR. Je posuzována nejen bezpečnost vlastní konstrukce poutače, ale hlavně umístění na trase (kolize s dopravními značkami, nebezpečnost umístění ve smyslu případné kolize), osvětlení poutače, výška poutače, úhel ke komunikaci (kvůli odvádění pozornosti řidičů).

4.2.7. Osvětlení komunikací

Z normy ČSN 73 6110 plyne, že sloupy veřejného osvětlení musí být navrženy a osazeny tak, aby nezasahovaly do průchozího *nebo průjezdného* prostoru. Ve stísněných podmínkách v zájmu úspory prostoru mohou být osazeny do přilehlého oplocení, nebo zdroje osvětlení mohou být umístěny přímo na fasádu přilehlých staveb (konstrukcí) nebo na převěsy přes komunikace. Všechna tato zařízení nesmí omezit šířku průchozího prostoru a musí splňovat podmínky zvláštního předpisu – vyhlášky MMR ČR č.369/2001 Sb.

4.2.8. Protihlukové stěny, zídky

O protihlukových clonách pojednává norma ČSN 73 6110. V úsecích s osazenými protihlukovými clonami musí být zachován rozhled pro zastavení, případně pro předjíždění a rozhled v křižovatkách. Nejčastějším prohřeškem proti bezpečnosti silničního provozu je nevhodné ukončení protihlukové clony. Jestliže ukončení clony není řešeno stavebně nebo jinými technickými prostředky tak, aby případné kolidující vozidlo bylo před svislou čelní hranou clony zachyceno a zpomaleno nebo bezpečně vychýleno z kolizního směru, může docházet k velice agresivnímu nárazu na hmotnou překážku o malé čelní ploše. Tyto agresivní překážky obecně způsobují poškození pronikající hluboko do konstrukcí vozidel, což má

za následek vznik deformací i v prostoru pro cestující a způsobuje poranění cestujících. Protihlukové clony se dále navrhují podle: ČSN EN 1794-1, ČSN EN 1794-2 a TP 104.



Obrázek 18 Nevhodné zakončení protihlukové clony [2]



Obrázek 19 Ochrana protihlukové clony proti nárazu [2]

4.3. Shrnutí poznatků

Z provedené analýzy pevných překážek a dostupné legislativy k této problematice je patrný různý stupeň rozpracovanosti řešení snížení následků nehodovosti u jednotlivých typů překážek.

Přestože se legislativa jasně vyslovuje v tom smyslu, že agresivní překážky nesmí stát v přímém okolí komunikace bez patřičných opatření k snížení následku případné kolize s vozidlem, lze stále nacházet příklady nevhodného provedení.

Samostatnou skupinu pevných překážek, a dosud opomíjenou, představují čela propustků v odvodňovacích příkopech (hospodářské přejezdy). Vozidla, která vybočila z vozovky, jsou koryty příkopů doslova vedena a směřována na čela propustků, která nejsou chráněna. Proto jsou tyto pevné překážky obzvláště agresivní vůči účastníkům silničního provozu.

5. Analýza střetu s pevnou překážkou

Opustí-li vozidlo z jakéhokoli důvodu vozovku, dochází v prostoru mimo silnici k zastavení bez nárazu nebo s nárazem na pevnou překážku.

Zpomalení havarijního pohybu vozidla je limitováno třením o povrch terénu (vozovku či travnatý terén), přičemž součinitel tření obvykle nepřevyšuje hodnotu 0,8, tedy přetížení působící na posádku uvnitř automobilu nepřevyšuje 0,8 násobek gravitačního zrychlení. A tak dokonce i převrácení automobilu lze s vysokou pravděpodobností přežít bez vážnějšího zranění. [13]

Pokud však vozidlo v havarijním pohybu narazí na pevnou překážku či na vozidlo protijedoucí, redukuje se dráha pro vlastní zastavení jen na deformační zónu, což má za následek zvětšení síly zastavující pohyb vozidla o jeden i více řádů – a s tím přirozeně stejně veliký nárůst přetížení působících na posádku. V této souvislosti jsou tolik nebezpečné pevné překážky (stromy a sloupy reklamních poutačů) v blízkosti pozemních komunikací.

5.1. Rozbor problematiky nárazu

5.1.1. Agresivita překážky

Dominantním ukazatelem nebezpečnosti / agresivity pevné překážky jsou následující faktory:

Tuhost překážky

Důležitou charakteristikou v problematice nárazu je tuhost. Tuhost obecně určuje odolnost materiálové struktury proti stlačení a lze jí vyjádřit jako poměr síly k velikosti deformace. Tuhost pevné překážky bývá až o několik řádů vyšší než tuhost karoserie.

Lehké a poddajné směrové sloupky nepředstavují překážku v havarijním pohybu vozidel (vč. motocyklů). Sloupky dopravních značek a kmeny stromů do průměru 8 centimetrů působí destruktivně zejména při bočních nárazech lehkých osobních automobilů a jednostopých vozidel. V těchto případech pronikající poškození karoserií vozidel působí ztrátová zranění cestujícím. Za tuhé překážky lze považovat ocelové a železobetonové sloupy veřejného osvětlení, trolejového a jiného nadzemního vedení, sloupy rozměrných dopravních

značek (např. Návěstí před křižovatkami) z válcovaných I-nosníků, zděné objekty, zvláště pak pilíře a krajní opěry mostů, protihlukové stěny (zejména jejich čela), nároží zárubních zdí, kmeny stromů, skály, čela propustků apod.



Obrázek 20 Náraz nákladního automobilu do mostního pilíře

Tvar překážky

Tvar překážky rozhoduje o kumulaci sil při nárazu vozidla. Z tohoto hlediska jsou zvláště nebezpečné tuhé sloupy z válcovaných ocelových profilů, trub či železobetonové sloupy a nároží zděných objektů. Nárazy na zděné plochy přicházejí v úvahu téměř výhradně šikmé (viz kap. 5.2 „Úhel vyjetí vozidla ze silniční koruny“).



Obrázek 21 Střet s pevnou překážkou

Tvar překážky určuje velikost a oblast působení deformačních sil. Tlak je fyzikální veličina, obvykle označovaná symbolem p (z anglického pressure), vyjadřující poměr velikosti síly F , působící kolmo na rovinnou plochu a rovnoměrně spojitě rozloženou po této ploše, a obsahu této plochy S , tedy

$$p = \frac{F}{S} \quad (11)$$

Pokud vnější síla působí pouze kolmo (neexistuje žádná tečná složka), je tlak označován jako prostý (čistý). Pokud není tato síla F rozložena na dané ploše rovnoměrně, pak veličinu p , danou předchozím vztahem, nazýváme střední tlak. Místním tlakem, tj. tlakem působícím v nějakém bodě uvažované plochy rozumíme diferenciální podíl

$$p = \frac{dF}{dS} \quad (12)$$

Zobecněnou definici tlaku (pro síly působící libovolným směrem na obecně nerovinnou plochu) můžeme ve vektorovém tvaru zapsat rovnicí

$$dF_s = p dS, \quad (13)$$

kde dF_s je složka vektoru síly kolmá k elementu plochy dS na který působí, přičemž směr vektoru popisujícího element dS má směr normály k této plošce.

Hmotnost překážky

Uplatňuje se zejména u překážek, jež nejsou pevně spojeny se zemí (lze je vyvrátit). Takovými překážkami je např. dopravní značení nebo staré kamenné silniční patníky, které bohužel bývají umístěny právě ve směrových obloucích „starých“ silnic.

5.2. Úhel vyjetí ze silniční koruny

Úhel vyjetí vozidla ze silniční koruny podléhá určitým zákonitostem a není libovolně veliký.

Havarijní pohyb probíhá mnohdy ve smyku za současné rotace vozidla kolem svislé osy. V takových případech směr stop pneumatik na silnici nebývá shodný se směrem pohybu těžiště vozidla.

Největší úhel (až max 29°) přichází v úvahu, když řidič prudkým stržením volantu odvrací vyjetí do prostoru mimo vozovku. Jestliže řidič přitom nesrovná řízení s náležitým předstihem (k čemuž nebývá vycvičen), ale naopak s reakční prodlevou, je vozidlo přesměrováno k druhé straně vozovky, a to buď jediným strmým obloukem, nebo dochází k rezonanční eskalaci směrového zvlnění dráhy vozidla (v důsledku zmíněných reakčních prodlev), což je spojeno i s rezonanční eskalací bočního rozkývání vozidla. Výsledkem je sice

odvrácení výjezdu na jedné straně, ale pak následný výjezd na straně druhé. Přitom přejezd z jedné na druhou stranu vozovky může probíhat ve dvou odlišných variantách:

- řidič opožděně srovnává řízení, dráha vozidla se napřimuje, ale při dané rychlosti a šikmosti dráhy již není čas na provedení protisměrného oblouku k vyrovnání dráhy vozidla do směru osy komunikace,
- řidič pokračuje ve stáčení řízení ještě v době, kdy už je nutno „točit na druhou stranu“ - vozidlo je uvedeno do přetáčivého smyku s následným napřímením dráhy jeho těžiště.

Z výše uvedeného popisu plyne důležité zjištění, že úhel směru výjezdu vozidla se zvětšuje pouze v průběhu bočního přemístování přes první dva jízdní pruhy, při pohybu přes další jízdní pruhy se úhel dál nezvětšuje.

Výjimečné nejsou ani případy, kdy vozidlo koliduje postupně se svodidly na obou stranách vozovky. Přitom nemusí jít v pravém smyslu o (pružný) odraz vozidla od svodidla; „odraz“ bývá umocněn odvratnou reakcí řidiče (popsanou výše).

5.2.1. Při pohybu ve smyku (i na suché vozovce)

Úhel dráhy těžiště vozidla je na okraji silniční koruny v rozsahu 6° až 29° , přičemž větší hodnoty přísluší situaci, kdy smyk probíhal přes více než jeden jízdní pruh a přilehlou krajnici. Přitom nezáleží na tom, ve kterém jízdním pruhu došlo k iniciaci smyku, tedy uvedené úhly vyjetí přicházejí v úvahu shodně nalevo i napravo od silnice. To znamená, že ani na jednosměrných (např. dálničních) vozovkách nelze tvrdit, že na pravé straně přicházejí v úvahu menší úhly nárazu než na straně levé. K iniciaci smyku může totiž dojít i v pruhu levém (je to dokonce pravděpodobnější, neboť v levém pruhu se jezdí rychleji, např. při předjíždění). Také ve směrových obloucích jsou úhly vyjetí spíše větší. Úhlový rozdíl mezi vyjetím v přímém úseku a v zatáčce však není nijak zásadní. Ve směrových obloucích totiž dochází k iniciaci smyku většinou při vjezdu do oblouku anebo při výjezdu z něho - tam se odstředivá síla kombinuje s působením přídavných bočních sil na kolech přední anebo zadní nápravy, jež mají původ ve změně rotační hybnosti vozidla. Kolem středu délky směrového oblouku dochází k iniciaci smyku výjimečně - v nepřehledných směrových obloucích, kde vedení trasy není zdaleka viditelné. (pozn. ŠACHL, J. - MIČUNEK, T. - FRYDRÝN, M. Limity úhlu havarijního výjezdu vozidla z pozemní komunikace, XVIII. mezinárodní vědecké konference soudního inženýrství)

Pouze pro ilustraci : předepsaný úhel nárazu pro zkoušení únosnosti svodidel je 15° až 25° , což v souvislosti s předchozím textem reprezentuje reálné poměry získané z analýzy jednotlivých dopravních nehod.

5.2.2. Vyjetí ze silnice pod malým úhlem

Vyjetí pod malým úhlem od 0° do 6° přichází v úvahu při:

- usnutí (mikrospánek) řidiče, a to většinou v úhlu kolem 3° ,
- míjení protijedoucích vozidel na silnicích nižších tříd, kdy řidič vozidla následně sjede mimo komunikaci,
- nezvládnutí vozidla při průjezdu směrového oblouku, kdy vlivem mírně navýšené rychlosti řidič vozidla sjede mimo komunikaci.

5.2.3. Vyjetí ze silnice pod velkým úhlem

K vyjetí ze silniční koruny pod velkým úhlem (větším než 30°) a následnému nárazu na pevnou překážku dochází běžnou provozní rychlostí prakticky jen na úrovních křižovatkách (zejména tvaru "T a Y").

5.3. Umístění pevné překážky

Pokud podél silnice stojí pevné překážky, stoupá pravděpodobnost nárazu zejména :

- s rychlostí,
- ve směrových obloucích,
- se zmenšením vzdálenosti mezi překážkou a okrajem vozovky.

Výzkumy v USA ukázaly, že [13]:

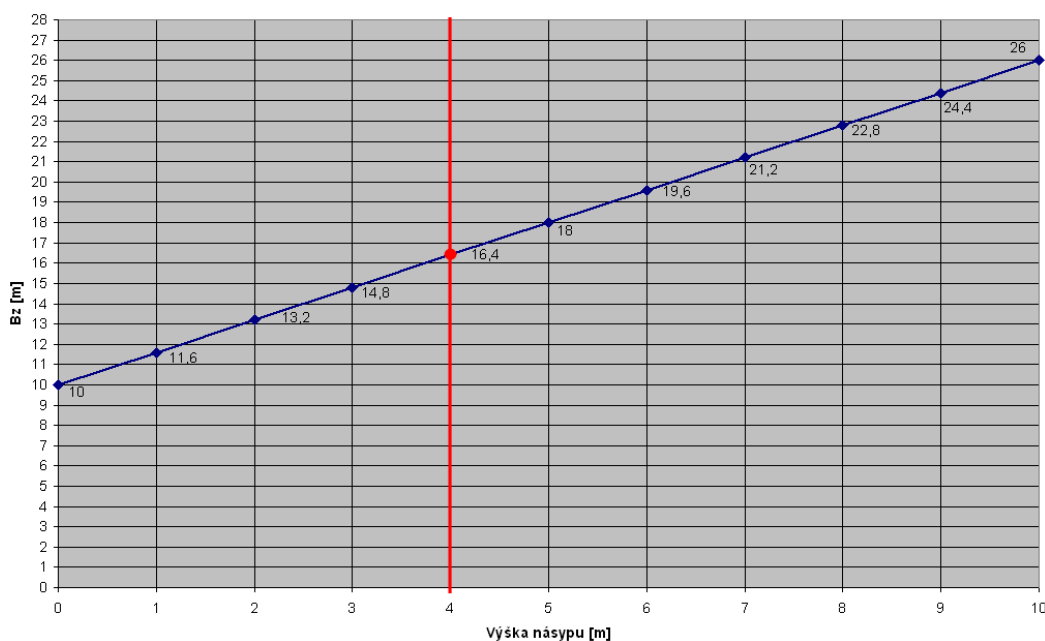
- 80 až 85 % vybočujících vozidel se dostává do boční vzdálenosti menší než 10 metrů, pokud už předtím nenarazí na žádnou překážku; tedy jen 15 až 20 % vozidel vybočuje víc než 10 metrů, rychlost za touto hranicí bývá již výrazně snížena a ne každé vozidlo tam narazí na pevnou překážku,
- asi 70 % vozidel opustivších vozovku zanechává v terénu dráhu kratší než 100 metrů, pokud nenarazí na žádnou překážku,
- 80 % vozidel opouští vozovku pod úhlem menším než 20° .

Poznámka: Z podrobného rozboru dopravních nehod se samostatnými sjezdy v kapitole 5.5 a s ohledem na databázi posudků Ústavu soudního znalectví v dopravě FD ČVUT a ústavu ADN - Konzult se potvrzuje platnost uvedených údajů i pro poměry v České republice.

Pravděpodobnost nárazu na pevnou překážku je menší, pokud odstup překážky od okraje silnice je větší než minimální zjištěný odstup B [m] reprezentovaný vztahem:

$$B = B_z + Z, \quad (14)$$

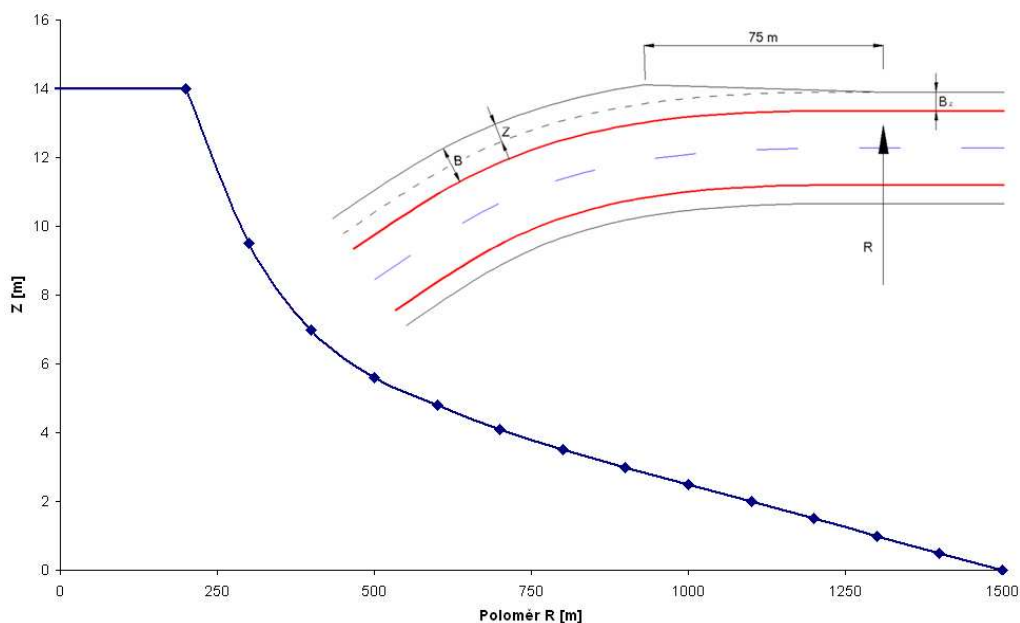
kde B_z je minimální odstup na přímých úsecích, na vnitřní straně zatáček a na vnější straně zatáček o poloměru $R > 1500$ metrů. Hodnota B_z [m] v závislosti na výšce násypu je dána v obr.16. Na násypech vyšších než 4,00 metry (měřeno ode dna přilehlého odvodňovacího příkopu) a strmějším násypovým svahu než ve sklonu 1:2 se osazuje svodidlo (další podrobnosti jsou v [13])



Obrázek 22 Nejmenší boční odstup B_z pevných překážek

Přídavek bočního odstu Z je na vnější straně zatáček, kde poloměr $R \leq 1500$ metrů. Vozidlo, které opustilo vozovku v zatáčce, se pohybuje přibližně přímkově a tudíž do větší vzdálenosti od krajnice než by tomu bylo na přímém úseku silnice. Přídavek Z v závislosti na poloměru oblouku je v obrázku 23.

Nejmenší základní odstup může být zmenšen na $B_z = 4,5$ metru, pokud je dovolená rychlost z jiných důvodů omezena na 70 km/h eventuelně na rychlost ještě nižší.



Obrázek 23 Příklad k bezpečnostní zóně Z [m]

Boční míry je třeba vztahovat k okrajům zpevněných krajnic, neboť úbytek rychlosti vozidla v průběhu pohybu po zpevněné krajnici v havarijní situaci nebývá významný. Teprve v přílehlém terénu dochází většinou k navýšení jízdních odporů a k zpomalování vozidla.

Pravděpodobnost nárazu do pevné překážky, která stojí na svahu vyšším než 3,0 metry nad úrovní vozovky, je nízká.

Ochrana u pevných překážek na pozemní komunikaci se provádí z důvodů :

- ochrany provozu na pozemní komunikaci (osádky neovládaného vozidla a dalších účastníků provozu),
- ochrany okolí pozemní komunikace (včetně ochrany konstrukcí objektů pozemních komunikací).

Rozhodnutí o způsobu ochrany u pevných překážek na pozemní komunikaci se provádí na základě příslušných ČSN a TP, požadavků státních orgánů eventuálně jiných odůvodněných požadavků.

5.4. Snižování následků střetu

Strategii řešení pro snížení následků kolizí automobilu s pevnou překážkou lze spatřovat ve :

- zvýšení pasivní bezpečnosti automobilů, což ale povede k navýšení jejich hmotnosti, která způsobí opětovné navýšení energetické bilance v průběhu uvažovaného střetu, a v neposlední řadě navýší konstrukční, materiálové, technologické a ekonomické nároky na stavbu automobilů,
- vývoji systémů aktivní bezpečnosti vozidel, které by minimalizovaly četnost těchto kolizí (virtuální koleje na vozovce – odstranit člověka jako řidiče),
- provedení konstrukční změny na vlastní pevné překážce nebo alternativně tuto pevnou překážku dodatečnými technickými řešeními oddělit od vlastního provozu a tím tedy ve výsledku snížit její agresivitu.

5.5. Analýza vybraných dopravních nehod

Na základě statistik dopravních nehod policie ČR jsem ve spolupráci s Policejním prezídiem ČR vyhledal dopravní nehody ve Středočeském kraji, které lze charakterizovat jako náraz automobilu do samostatného sjezdu. V policejních statistikách nefiguruje samostatný sjezd jako samostatná rubrika. Policista při řešení dopravní nehody pomocí kódové značky tyto sjezdy začlení do statistiky. Není tedy přesně určeno, do které sekce samostatný sjezd začlení (a- zdi, části mostů, mosty; b- překážka vzniklá stavební činností; c-jiné). Analyzováno bylo 1356 dopravních nehod v sekci pevné překážky/zdi, části mostů, mosty, kde jsem podle klíčové věty vytřídil 135 dopravních nehod ve Středočeském kraji za období 2006 až 4/2008, které odpovídaly vstupním požadavkům, tj. náraz automobilu na samostatný sjezd a došlo při nich ke zranění cestujících. Dalším zdrojem informací k dopravním nehodám byly zprávy o zásahu IZS při řešení vzniklých následků nárazu (ve formě tištěné či digitální). Z těchto zdrojů se podařilo dohledat dalších 6 dopravních nehod ve Středočeském kraji za dané období, přičemž 3 dopravní nehody nebylo možno ztotožnit, pravděpodobně kvůli chybným vstupním údajům, které nebylo možno ověřit. S nedohledanými dopravními nehodami nebylo dále pracováno.

5.5.1. Zpracování dat

Vybrané dopravní nehody byly dále analyzovány podle závažnosti a rozříděny na nehody se zraněním (36 tj. 26 %) a na nehody bez zranění (102 tj. 74 %). Cíl disertační práce – zabránit rozvoji zranění cestujících ve vozidle – vyžadoval podrobný rozbor nehodového děje dopravních nehod a nalezení způsobu, kde a jakým způsobem lze vstoupit do nehodového procesu a technickými opatřeními zamezit fatálním následkům střetu automobilu s pevnou překážkou.

Nehody se zraněním cestujících ve vozidle (nikdo nebyl zraněn mimo vozidlo) jsem dále podrobně analyzoval. V součinnosti s Policií ČR jsem zpracoval 36 katalogových listů - ke každé nehodě zvlášť, kde jsem uvedl poškození jednotlivých vozidel, zranění cestujících a jejich pozice ve vozidle, geometrické informace o místě střetu a samostatném sjezdu. Katalogové listy byly dále statisticky zpracovány a na jejich základě byly vytypovány tři základní průběhy nehodového děje v závislosti na průběhu deformací vozidla (viz Příloha A).

Číslo DN	24	Pachatel	(A) N	Airbag	(A) N	Počasí	bez vlivu
Datum	8.9.2007	Den SO	14:15	Místo	INEXK	Vozovka	sucho
Zranění	(A) N	1 TZ/smrt	2 TZ	3 LZ kojenec	5	Náraz	LP

Druh a typ vozidla: Osobní automobil Citroen Xara 1,4 r.v.2004
 Vyčíslená škoda na vozidle: 150.000,-
 Vyčíslená škoda na sjezdu: nevyčíslená
 Popis dopravní nehody:
 Řidič sjel do levého příkopu, kde narazil do sjezdu na pole.

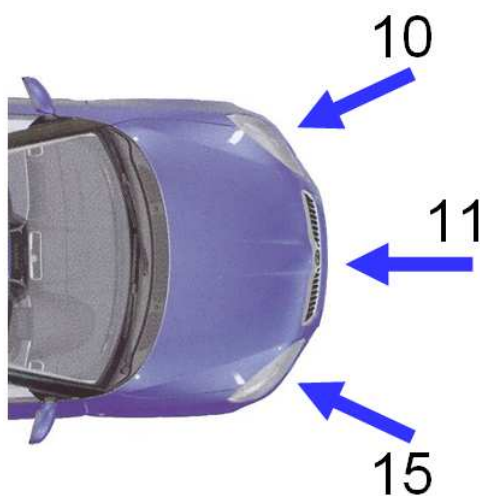
Poloha místa/katastr: 50°9'30.0"N, 15°14'9.034"E Kolaje
 Popis místa:
 Sjezd (příjezd na pole) je mimo obec. Čelo propustku je betonový monolit o šířce 290 cm a tloušťce 30 cm s propustí tvořenou betonovou trubkou o průměru 60 cm. Povrch sjezdu je tvořen štěrkem. Hloubka příkopu (výška čela) v místě sjezdu je 80 cm a osa dna příkopu je 420 cm od levého vodičského proužku. Jízdní pruhy jsou 3x380 cm, jsou na vozovce vyznačeny 4 vodičí/středové proužky a v místě nehody je zpevněná krajnice L 150 cm a P 40 cm. Čelo propustku je 280 cm od levého vodičského proužku. Místu nárazu předcházela z pohledu řidiče rovný úsek v mírném stoupání.

Obrázek 24 Katalogový list analýzy dopravních nehod

Z katalogových listů, výpovědí účastníků dopravních nehod, fotodokumentace (byla-li poskytnuta) a prohlídky míst dopravních nehod, lze usuzovat na průběh nehodového děje a technickou příčinu havarijního pohybu automobilů.

Při analyzovaných 36 dopravních nehodách bylo 59 cestujících zraněno. Lehce bylo zraněno 32 cestujících, 19 cestujících bylo zraněno těžce a 8 cestujících svým zraněním podlehl na místě nehody nebo následně.

Deformace vozidel, směr deformační síly a vzniklé deformace ukazují na geometrii střetu vozidla s pevnou překážkou, tj. samostatným sjezdem.



Obrázek 25 Četnost a směr nárazu automobilu na čelo sjezdu

Sestavené katalogové listy a prohlídka místa nehody umožnily rekonstruovat nehodový děj před nárazem.



Obrázek 26 Rozdělení četnost nárazů

Z obrázku 26 plyne, že z analyzovaných dopravních nehod se 45 % nárazů stalo v levém silničním příkopu. Toto překvapivé zjištění vyvrací původní předpoklad o tom, že hlavní příčinou nárazu automobilu do čela sjezdu je najetí vozidla na krajnici. V důsledku to znamená, že **je bezpodmínečně nutné zajistit ochranu obou čel samostatného sjezdu** jak ve směru jízdy vozidla tak i proti směru jeho jízdy. Jako hlavní příčiny sjetí do levého silničního příkopu (z pohledu původního směru jízdy vozidla) lze uvést:

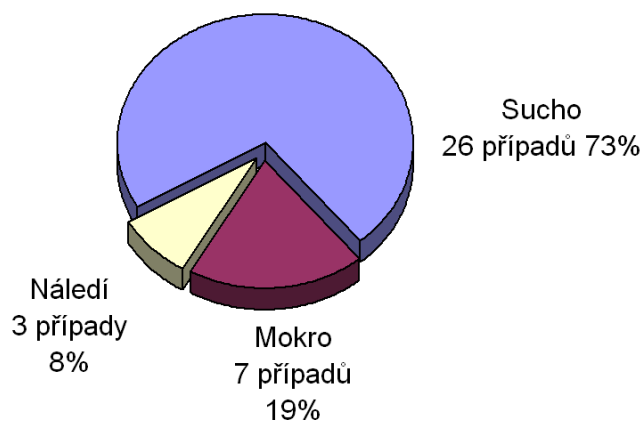
- nezvládnutý předjížděcí manévr, kdy řidič zabraňuje střetu s protijedoucím vozidlem,
- přetáčivý smyk automobilu po průjezdu levotočivé zatáčky.

Dvacet jedna případů (tj. 55 %) vzniklo vjetím automobilu do pravého silničního příkopu, kde došlo ke kolizi s čelem samostatného sjezdu. Jsou zdokumentovány případy, kdy řidič před nárazem projížděl silničním příkopem desítky metrů. Jako hlavní příčiny sjetí do pravého silničního příkopu (z pohledu původního směru jízdy vozidla) lze uvést:

- vyhýbání protijedoucích vozidel,
- únava (usnutí) řidiče.

Pohyb vozidla po nárazu je závislý na konfiguraci střetu s pevnou překážkou. Při devíti dopravních nehodách došlo k převrácení automobilu přes střechu. Tento nekontrolovatelný a nepředvídatelný pohyb zvyšuje pravděpodobnost zranění cestujících v automobilu a poškozením únikových cest snižuje pravděpodobnost samostatného opuštění automobilu po nehodě. Ve dvou případech byl automobil po nárazu postižen požárem, jeden řidič uhořel.

Problematika výskytu dopravních nehod se samostatným sjezdem v závislosti na povětrnostních podmínkách je zobrazena dále. Ve většině případů konstatovali policisté na místě dopravní nehody, že stav komunikace není příčinou nehody. V jednom případě nemohl na lokální námraze (výtok povrchové vody z vodoteče do prostoru křižovatky) řidič zastavit své vozidlo a tím dát přednost v jízdě řidiči jedoucímu po hlavní silnici. Přímému střetu řidič jedoucí po hlavní silnici zabránil tím, že strhl řízení a narazil se svým vozidlem do betonového čela samostatného sjezdu (křižovatka v intravilánu).



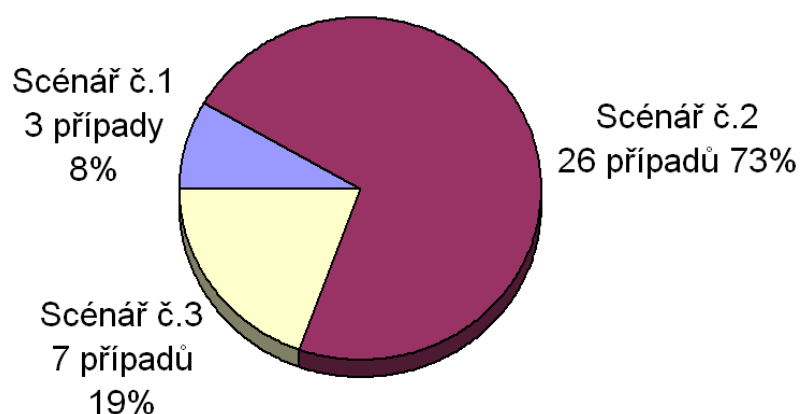
Obrázek 27 Adhezní podmínky vozovky v době nehody

Přes dvě třetiny (26 případů) dopravních nehod vzniklo v extravilánu a 10 případů je zdokumentováno v intravilánu. Čtyři usmrcené osoby jsou spojeny s nárazem na čelo sjezdu uvnitř obce, kde bezohledný řidič jedoucí neadekvátní rychlostí nezvládl průjezd zatáčky a tím způsobil fatální následky nejenom sobě, ale i ostatním cestujícím ve vozidle.

Z hlediska pasivní bezpečnosti: 16 automobilů v analyzovaných nehodách bylo vybaveno doplňkovým zádržným systémem airbag, který byl ve 13ti případech nárazem aktivován.

5.5.2. Průběh deformace – typy nárazu

Analýza střetového děje vybraných dopravních nehod umožňuje sestavení tří základních scénářů průběhu vzniku deformací na vozidle v závislosti na poškození vozidla, konečné poloze automobilu a vzniklých zranění.



Obrázek 28 Průběh vzniku deformací

„Scénář č.1“

Automobil sjíždí do mělkého silničního příkopu (typu A, výjimečně B, C; viz str.66), kde naráží na tuhé nedeformovatelné čelo samostatného sjezdu svým spodním rohem předního nárazníku nebo alternativně pouze pneumatikou předního kola. Vzniklá deformační energie se realizuje deformací zavěšení předního kola, které je posunuto vzad. V dalším kroku se přední kolo opře o karoserii automobilu, kde v této variantě působí horní hrana čela (překážky) pod středem otáčení kola automobilu, tj. automobil je po deformaci kola a deformaci karoserie „nadhozen“, uvolněn a do konečné polohy snižuje svou rychlost dřením a rytím v okolním terénu. Pohybová energie není tedy zmařena pouze nárazem. Hrozí nebezpečí následných sekundárních nárazů. Při tomto druhu havárie nedochází zpravidla k vážným zraněním. Bývá poškozena přední část automobilu, zavěšení předního kola, karoserie v oblasti předního A-sloupku a napojení podlahy. Primární deformační zóny automobilu nejsou nárazem zasaženy. U starších automobilů bývá toto poškození karoserie hodnoceno jako nerentabilní oprava, tj. totální škoda.



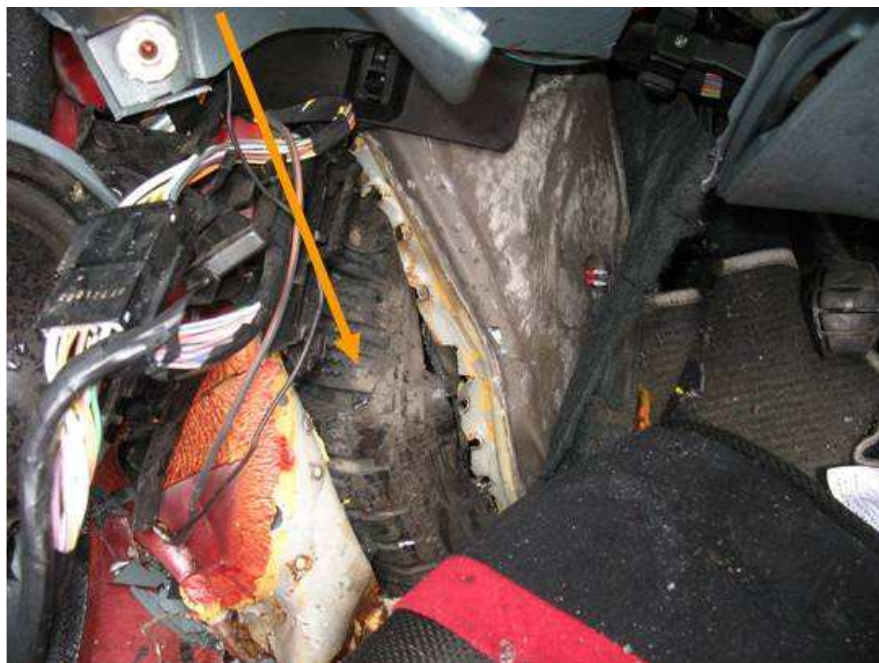
Obrázek 29 Modelová situace dle scénáře č.1

„Scénář č.2“

Automobil sjíždí do silničního příkopu (typu B nebo C, výjimečně A; viz str.66) v těsné blízkosti samostatného sjezdu, kde naráží do tuhého nedeformovatelného čela samostatného sjezdu rohem předního nárazníku (podélník karoserie není nárazem zasažen). Vzniklá deformační energie se realizuje deformací předního kola a jeho zavěšení, které je posunuto vzad. V dalším kroku se přední kolo opře o karoserii automobilu, kde v této variantě působí horní hrana čela (překážky) nad středem otáčení kola automobilu, tj. automobil je po deformaci kola a deformaci karoserie „zachycen“. Deformační síla nepůsobila na deformační zóny automobilu, agregáty v motorové části jsou deformací zasaženy pouze částečně. Procedura aktivace doplňkových zádržných systému neprobíhá standardním způsobem. Deformační síla začne v plném rozsahu působit až na motorovou stěnu, tj. v rozhraní přední části automobilu a prostoru pro cestující. Karoserie automobilu ve střední části nedisponuje dostatečným prostorem pro řízenou deformaci bezpečnostních zón. Hrozí reálné nebezpečí zhroucení tvaru karoserie, tj. karoserie automobilu nevytvoří dostatečný prostor pro přežití cestujících. Při tomto druhu havárie dochází zpravidla k vážným zraněním cestujících a k totální škodě na automobilu. Rozsáhlé poškození karoserií ve spojení s poraněním cestujících znemožňuje opuštění automobilu po nehodě bez cizí pomoci.



Obrázek 30 Modelová situace dle scénáře č.2



Obrázek 31 Protržení levého předního podběhu - pneumatika vnikla do interiéru automobilu



Obrázek 32 Poloha automobilu po nehodě – zásah složek IZS

„Scénář č.3“

Automobil sjíždí do silničního příkopu (typu C, nelze vyloučit i B; viz str.66), kde naráží do tuhého nedeformovatelného čela samostatného sjezdu svou přídí. Většina pohybové energie je zmařena primárním nárazem, zbytek pohybové energie může po excentrickém nárazu automobil převracet. Vzniklá deformační energie se realizuje deformační prací v deformačních zónách karoserie a agregátů v motorovém prostoru. Zpravidla bývají aktivovány doplňkové zádržné systémy (je-li jimi automobil vybaven).



Obrázek 33 Modelová situace dle scénáře č.3

5.5.3. Shrnutí

Z rozboru problematiky nárazu na čelo samostatného sjezdu a z provedené analýzy vybraných dopravních nehod lze dojít k závěru, že není možné vytvořit dostatečné konstrukční řešení jen na straně dopravního prostředku. Náraz nelze považovat za kompatibilní střet vzhledem k rozmanitosti konstrukce jednotlivých samostatných sjezdů. V oblasti aktivní a pasivní bezpečnosti vozidel bylo vyvinuto značné úsilí a bylo dosaženo značného pokroku. Čela stávajících sjezdů neposkytují adekvátní ochranu automobilům a dá se říct, že ani nové konstrukce sjezdů neposkytují z tohoto hlediska významné zlepšení.

Vzhledem k rozložení četnosti nárazů v levém respektive pravém silničním příkopu (45:55) je nezbytné provádět opatření na snížení agresivity u obou čel samostatného sjezdu.

6. Metodika určení třídy nebezpečnosti samostatných sjezdů

V letech 2006 až 2009 jsem provedl průzkum, kde bylo zmapováno 280 vybraných samostatných sjezdů a to na komunikaci II/605 v úseku Beroun - Cerhovice, na komunikaci II/115 v úseku Řevnice – Osov, II/118 v úseku Jince – Libomyšl, II/114 Neumětely – Lochovice a na komunikaci III/11536 (7) v úseku Podbrdy – Všeradice, III/11530 Všeradice – Nové Dvory, III/11549 Lážovice – Osov, III/11552 Osov – Jince, III/11411 Libomyšl – Neumětely, III/11412 Neumětely – Lážovice, III/11517 Řevnice – Zadní Třebaň, III/11525 Zadní Třebaň – Liteň, III/11524 Liteň – Beroun, III/11542 Králův Dvůr, III/11413 Koněprusy – Bykoš, III/11537 Bykoš – Všeradice. V průzkumu bylo zahrnuto 162 km vybraných silnic.

Zjišťované údaje jsou:

- poloha můstku GPS, číslo komunikace, datum prohlídky (pro následnou identifikaci),
- umístění můstku z hlediska bezpečnosti provozu (náčrt místa),
- šířka, hloubka a charakter silničního příkopu,
- tloušťka, šířka a provedení čel můstku (materiál),
- šířka můstku a povrch pojezděné plochy (materiál),
- parametry přilehlé komunikace,
- fotodokumentace.

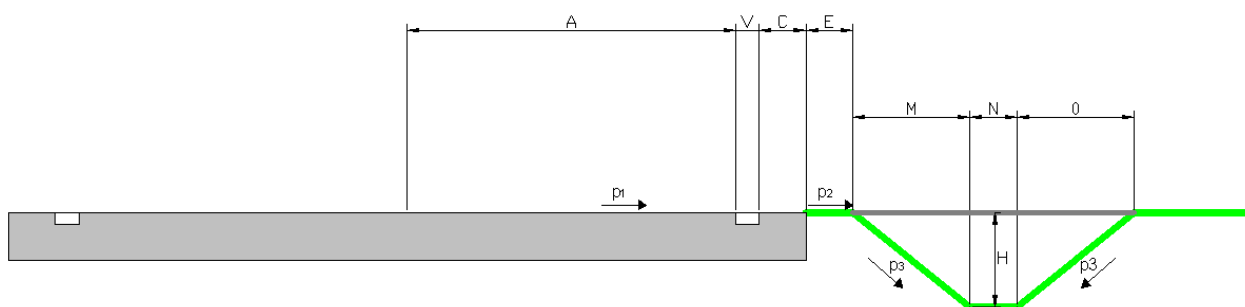
Zjištěné parametry jsem zaznamenával do formuláře pro průzkum sjezdů a následně použil pro sestavení katalogových listů s rozdělením můstků do specifikovaných kategorií. Z analýzy střetu s pevnou překážkou (z kapitoly 5.5) plynou jako stěžejní parametry pasivní bezpečnosti komunikace:

1. geometrické uspořádání vozovky, silničního příkopu a samostatného sjezdu v místě střetu (parametr X_1),
2. konstrukce samostatného sjezdu (parametr X_2).

Kód nebezpečnosti je pak tvořen složením parametrů 1 a 2.

$$KN_{X_1X_2},$$

kde parametr X_1 nabývá hodnoty A, B a C dle následující specifikace:



Parametr X_1	A [m]	V [m]	C [m]	E [m]	M [m]	N [m]	O [m]	H [m]	p_1	p_2	p_3	šířka čela	výška čela
A	3,5	0,25	0,5	0,5	0,15	0,2	0,15	0,3	2%	8%	1:0,5	0,5	0,25
B	3,5	0,25	0,5	0,5	1,25	0,5	1,25	0,5	2%	8%	1:2,5	2	0,5
C	3,5	0,25	0,5	0,5	1,25	0,5	1,25	1	2%	8%	1:1,25	2	1

- A [m] šířka jízdního pruhu
- V [m] šířka vidicího proužku
- C [m] šířka zpevněné krajnice
- E [m] šířka nezpevněné krajnice
- M [m] šířka svahu příkopu
- N [m] šířka dna příkopu
- O [m] šířka svahu příkopu
- H [m] hloubka dna příkopu
- p_1 příčný sklon vozovky a zpevněné krajnice
- p_2 příčný sklon nezpevněné krajnice
- p_3 sklon svahu příkopu

Obrázek 34 Vzorové geometrické uspořádání místa stavby sjezdu

pozn.: V jednotlivých případech bylo posouzeno geometrické uspořádání místa stavby samostatného sjezdu s přihlédnutím k nehodovému scénáři dle kapitoly 5.5.2 jako velice důležitému hledisku na dopravní ne/bezpečnost posuzovaného sjezdu.

Parametr X_2 nabývá hodnoty D, E až G dle následující specifikace:

- D – tuhé nedeformovatelné čelo (kompaktní),
kde čelo takového samostatného sjezdu je tvořeno zpravidla betonovým monolitem.
Do kategorie D patří i betonové překlady a panely s úzkou nárazovou hranou.
- E – tuhé nedeformovatelné čelo (zděné),
kde čelo takového samostatného sjezdu je tvořeno zpravidla vyzdívkou za použití betonových tvarovek, kamene nebo cihel a cementové malty.
- F – sypané čelo samostatného sjezdu.
- G – konstrukčním opatřením snížená tuhost čela samostatného sjezdu.

pozn.: V konkrétních případech byl posouzen aktuální stav sjezdu a následně zařazen do příslušné specifikace. Výrazné poškození čela a nebo stárí čela mohlo vést k přehodnocení parametru X_2 .

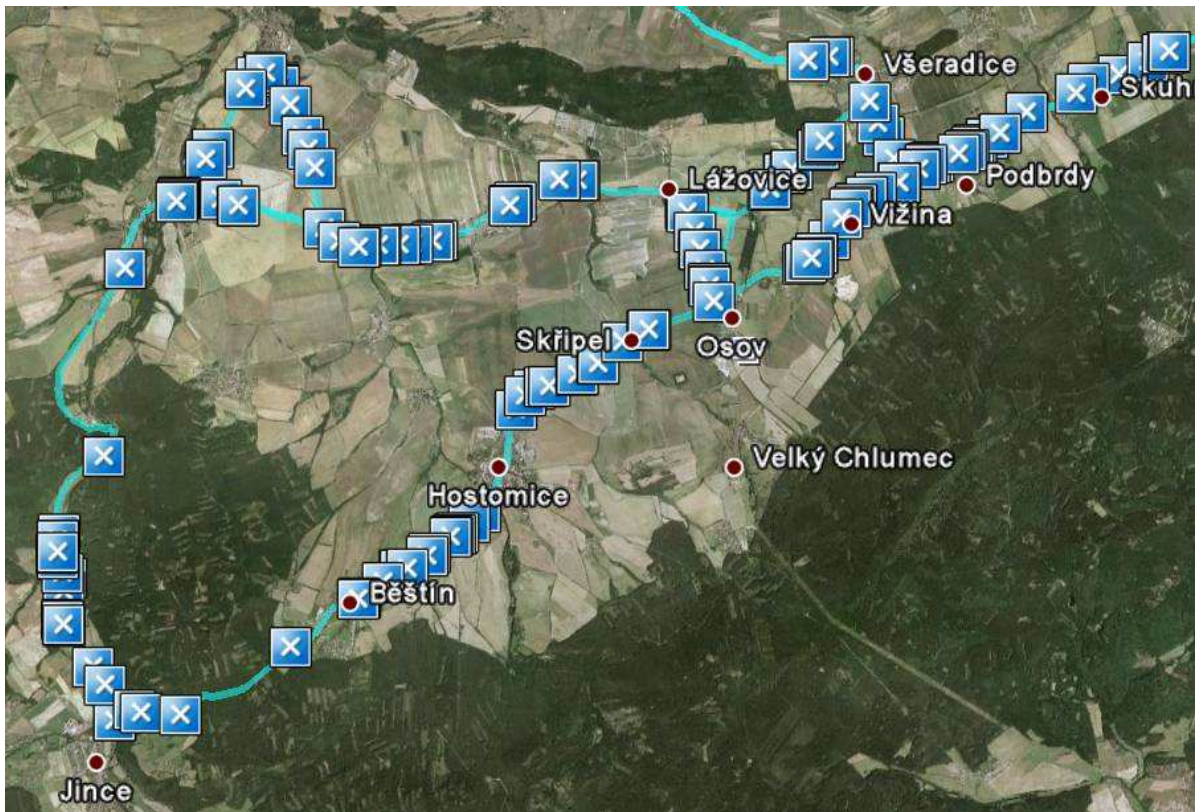
Číslo archu	13	Datum	3.6.2008	GPS	N495317	E141104
Třída	II	Komunikace	115	Mezi	Halouna-Svinaře P	

náčrt, poznámky:

Obrázek 35 - Formulář pro průzkum sjezdů

Č. SJEZDU	GPS	FOTO	FOTO	STAVBA	KÓD	TŘÍDA
1	49.865665N, 14.097861E			BZB	KN_AD	II.
2	49.865434N, 14.0975E			ZZZ	KN_AF	III.
3	49.864745N, 14.096879E			BZB	KN_BD	I.
4	49.862203N, 14.092445E			BSB	KN_BD	I.

Obrázek 36 Formulář – katalogový list (viz Příloha B)



Obrázek 37 Rozmístění samostatných sjezdů na trase Lochovice, Jince, Hostomice, Osov, Řevnice



Obrázek 38 Rozmístění sjezdů na komunikaci II/605 – Levín, úsek 0,9 km (23)



Obrázek 39 Rozmístění sjezdů na komunikaci II/605 v úseku Cerhovice – Žebrák, úsek 4,4 km (20)



Obrázek 40 Konstrukce samostatných sjezdů v extraviľanu (přijezdy k firmám)



Obrázek 41 Konstrukce samostatných sjezdů v extraviľanu (zemědělské sjezdy)

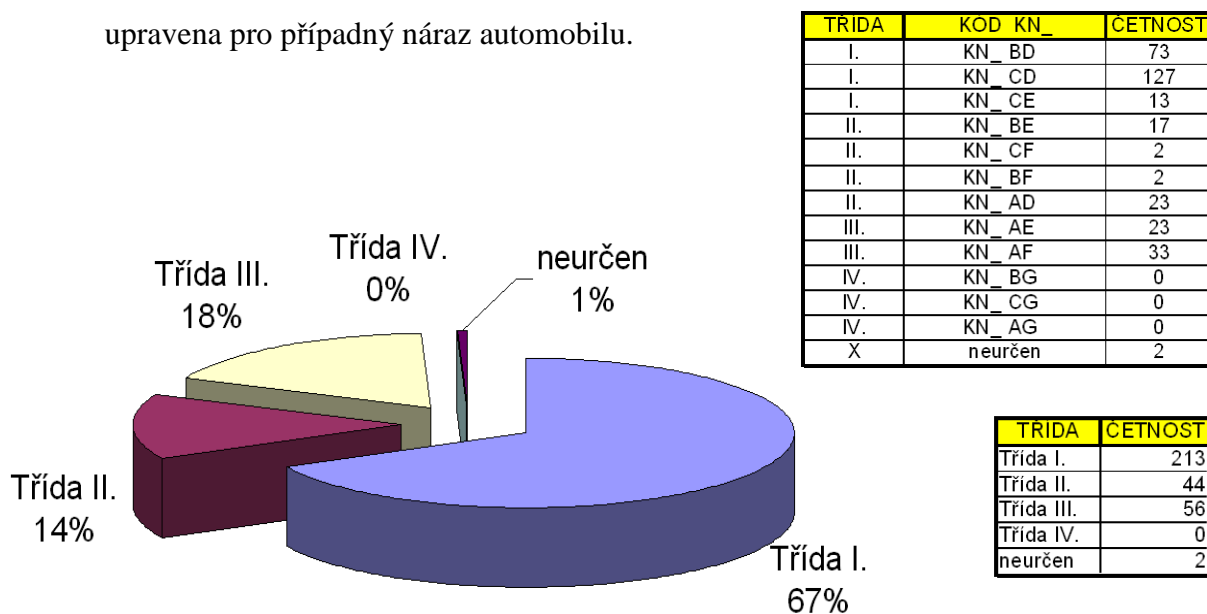


Obrázek 42 Konstrukce samostatných sjezdů v intraviľanu

6.1. Vyhodnocení

Zpracováno bylo 315 samostatných sjezdů, a to jak z provedeného průzkumu (280 sjezdů), tak i z katalogových listů analyzovaných nehod v (35 sjezdů). Třída nebezpečnosti každého samostatného sjezdu je určena podle příslušného kódu nebezpečnosti KN_X₁X₂, kde:

- **Třída I.** odpovídá kódu KN – BD, CD, CE a představuje vážné ohrožení posádky automobilu pro případ nárazu do nechráněného čela sjezdu. V těchto případech lze předpokládat nehodový scénář typu „2“ nebo „3“. Čelo propustku je tvořeno zpravidla betonovým monolitem a výška čela je zpravidla v rozmezí 0,5 až 1 m.
- **Třída II.** odpovídá kódu KN – BE, CF, BF, AD a představuje ohrožení posádky automobilu pro případ nárazu do nechráněného čela sjezdu. V těchto případech lze předpokládat nehodový scénář typu „2“ případně „3“. Čelo propustku je tvořeno tuhým nedeformovatelným materiálem a výška čela je zpravidla v rozmezí 0,5 až 1 m.
- **Třída III.** odpovídá kódu KN – AE, AF a představuje nízké ohrožení posádky automobilu pro případ nárazu do nechráněného čela sjezdu. V těchto případech lze předpokládat nehodový scénář typu „1“ případně „2“, kde čelo sjezdu není tak tuhé, pevné nebo vysoké, aby zachytilo kolidující automobil. Čelo propustku je tvořeno zpravidla sypaným materiálem a výška čela je zpravidla v rozmezí 0,2 až 0,5 m.
- **Třída IV.** odpovídá kódu KN – BG, CG, AG a představuje čela sjezdů, která jsou upravena pro případný náraz automobilu.



Obrázek 43 Třídy nebezpečnosti samostatných sjezdů

STAVBA	CELO	POVRCH	CELO	CETNOST
PPP	panel	panel	panel	8
BBB	litý beton	litý beton	litý beton	42
AAA	asfalt	asfalt	asfalt	1
BAB	litý beton	asfalt	litý beton	82
BSB	litý beton	šterk, šotolina	litý beton	30
BZB	litý beton	travnatý povrch	litý beton	73
BKB	litý beton	dlažba	litý beton	2
KAB	zděné čelo	asfalt	litý beton	1
KBK	zděné čelo	litý beton	zděné čelo	1
KKK	zděné čelo	dlažba	zděné čelo	1
KAK	zděné čelo	asfalt	zděné čelo	3
KSK	zděné čelo	šterk, šotolina	zděné čelo	2
KZK	zděné čelo	travnatý povrch	zděné čelo	1
SSS	sypané kamenivo	šterk, šotolina	sypané kamenivo	1
SZS	sypané kamenivo	travnatý povrch	sypané kamenivo	1
ZAB	sypaná zem	asfalt	litý beton	1
ZSB	sypaná zem	šterk, šotolina	litý beton	1
BZZ	litý beton	travnatý povrch	sypaná zem	2
ZBZ	sypaná zem	litý beton	sypaná zem	1
ZAZ	sypaná zem	asfalt	sypaná zem	11
ZSZ	sypaná zem	šterk, šotolina	sypaná zem	5
ZZZ	sypaná zem	travnatý povrch	sypaná zem	43
X	neurčen	neurčen	neurčen	2

Obrázek 44 Stavební skladba analyzovaných samostatných sjezdů a jejich kódové označení

6.2. Návrh opatření

Navrhovaná opatření mají oporu v provedených analýzách nehodových míst, v provedeném průzkumu konstrukce samostatných sjezdů, ve studiu literatury a příslušných norem a ve vědomostní bázi (viz kapitolu 5 a Přílohy A, B).

Redukce samostatných sjezdů

Z průzkumu samostatných sjezdů a z jeho vyhodnocení plyne, že mnohé sjezdy dnes již neplní svůj účel, neprobíhá jejich údržba (zanesené) ani jejich opravy (statické závady - několik let po dopravní nehodě jsou čela sjezdů nadále rozvalená). Neexistuje přesná evidence samostatných sjezdů – nejsou přesně definovaná vlastnická práva. V případě rekonstrukce komunikace by měly být nefunkční a nepovolené sjezdy odstraněny.

Přemístění samostatných sjezdů

Utváření a uspořádání pozemní komunikace musí přispívat k uniformitě, rozpoznatelnosti a srozumitelnosti trasy [6]. Tato prevence obsažená už ve fázi návrhu pozemní komunikace bohužel v České republice selhává, protože v policejních statistikách dopravní nehodovosti je uvedena nepřiměřená rychlost jako nejčastější příčina těžkých dopravních nehod na jedné straně, a na druhé straně se setkáváme s výstavbou nebezpečných pevných překážek i na nových anebo právě zrekonstruovaných úsecích silniční sítě (viz. obrázek 11). V rozboru nehodového děje (viz kapitola číslo 5 na straně číslo 49) jsou popsány příčiny vzniku nehodové situace a podmínky, za jakých automobily opouštějí v havarijním pohybu vozovku:

- přímý úsek – vyhýbání se protijedoucímu vozidlu, usnutí, technická závada,
- směrový oblouk – smyk, špatné vedení a uspořádání komunikace.

Z analýzy reálných dopravních nehod plyne, že nehodová místa jsou rozprostřena do celé silniční sítě, tedy nelze pouhým přemístěním samostatného sjezdu snížit potencionální nebezpečí z nárazu automobilu na jeho tuhé čelo. Proto je nutno přijmout jiná opatření popsaná v kapitole 6.2.

Úprava čela sjezdu

- Optimalizace tvaru čela samostatného sjezdu – jednou z možností, jak minimalizovat pravděpodobnost rozvoje biomechanických poranění posádky automobilu v souvislosti s nárazem na čelo samostatného sjezdu, je změna jeho sklonu (šikmosti). Toto inovativní řešení se dnes realizuje, ale nejsou zpracovány studie o vlivu daného typu provedení šikmého čela na vývoj postřetového pohybu automobilu.



Obrázek 45 Příklad provedení kolmého a šikmého čela sjezdu

- Předsazené tlumiče nárazu – samostatný sjezd klasické konstrukce může být (dovolí-li to prostorové nároky) doplněn o tlumiče nárazu, které mohou být osazeny na stávající kolmé nedeformovatelné čelo sjezdu. Tlumič nárazu musí být navržen tak, aby zajistil průtok vody v odvodňovacím příkopu, a zároveň musejí být provedena taková opatření, aby vozidla přejíždějící přes samostatný sjezd nemohla najet na neúnosnou konstrukci tlumiče nárazu.
- Záchytné bezpečnostní systémy - silniční záchytné bezpečnostní systémy (jak říká definice) jsou zádržné systémy navržené a nainstalované za účelem zmírnění následků při případném vyjetí vozidla mimo vozovku v místech, kde je vyjetí nežádoucí nebo nebezpečné. [2] Tyto systémy mohou zabránit sjetí vozidla do silničního příkopu a tím nárazu na čelo sjezdu (prevence), ale nezmírňují následky v případě střetu. Z kapitoly 5.5.3 plyne, že ochrana musí být provedena z obou stran sjezdu.



Obrázek 46 Ochrana samostatného sjezdu svodidly (pouze z jedné strany!)

Konstrukce samostatného sjezdu s integrovanou deformační zónou

Funkce a vlastní konstrukce samostatného sjezdu s integrovanou deformační zónou je podrobně rozebrána v kapitole číslo 8. Patentový návrh samostatného sjezdu s integrovanou deformační zónou je zařazen v Příloze F disertační práce.

7. Matematické modelování

Simulace a počítačové modelování je jednou z velmi významných oblastí využití výpočetní techniky. Razantní vývoj hardwaru a softwaru v posledních letech umožňuje aplikaci složitých matematických postupů.

Definice: Matematická simulace je tedy výzkumná metoda, která spočívá v tom, že zkoumaný dynamický systém nahradíme modelem a provádíme na něm operace s cílem získat informace o původním zkoumaném objektu. [11]

Výhodou je, že tyto modely jsou k dispozici v prvních fázích vývoje nového projektu a je možné poměrně snadno měnit navržené konstrukce, či upravovat funkčnost jednotlivých prvků. Mezi nevýhody matematického modelování mohou patřit některá zjednodušení, která jsou vyžadována objemem výpočtů. Dále modelování s podporou počítačových softwarů má široké možnosti využití, ale nenahrazuje praktické zkušenosti z řešených případů.

7.1. *Teorie tvorby simulačního systému*

- sledování původního (reálného) systému neboli vzoru,
- popis činností systému – vytvoření modelu, obrazu, rovnic,
- formální popis systému – obraz,
- výběr simulačního programu,
- ladění a verifikace programu,
- simulační experimenty,
- aplikace výsledků.

7.2. *Software na FD ČVUT v Praze*

Na Fakultě dopravní jsou k dispozici licence softwarových produktů Virtual Crash, PC Crash, Impulz Expert, Simpack a Madymo, ANSYS, LS-DYNA. Softwary jsou navzájem kompatibilní. Lze využívat mezivýpočty z jedné aplikace jako vstup pro výpočty v dalších programech, a tím využít přednosti jednotlivých softwarů k dosažení optimálního výsledku.

Zároveň je možné, vycházet z jednoduché kinematické simulace a stále zdokonalovat (výpočetně komplikovat) stávající matematický model.

V současné znalecké praxi patří k nejpoužívanějším programy PC Crash a Virtual Crash. Aplikace MADYMO se pro svou složitost zadávání úloh, nutnost preprocesingového a postprocesingového softwarového vybavení prakticky nepoužívá, přestože umožňuje kompletní analýzu.

7.3. Software Virtual Crash

Virtual Crash je program umožňující kinematické a dynamické výpočty chování modelu. Jeho využití směřuje především do oblastí analýzy nehodového děje. Program využívají renomované ústavy a jednotliví znalci zabývající se analýzou dopravních nehod.

Model pohybu vozidla umožňuje v programu Virtual Crash simulovat celý průběh jízdy vozidla v různých jízdních stavech. Virtual Crash obsahuje dva modely pro simulaci pohybu vozidel: kinematický a dynamický model. Dynamický model, který bude použit pro tvorbu simulací, zohledňuje všechny dynamické síly působící na vozidlo. Všechny výsledky lze po provedení výpočtů simulace zobrazit v grafické případně číselné podobě. Systém podporuje import modelů ve formátu souboru *.dxf, což je důležité pro tvorbu prostorových terénů a modelů vozidel.

7.4. Software MADYMO

MADYMO (MAtheMatical DYnamic MOdel) je program umožňující výpočty dynamického chování systému těles, především analýzu kolize automobilů a stanovení případných poranění cestujících. Autorem programu je výzkumný ústav TNO (nizozemská organizace pro aplikovanou vědu a výzkum). Jedná se o světově uznávaný program pro simulaci, který je používán ve výzkumných a vývojových střediscích a technických univerzitách.

Hlavní oblasti použití programu jsou:

- bezpečnost silničních vozidel,
- bezpečnost železniční dopravy,
- bezpečnost motocyklů,
- bezpečnost letadel a vrtulníků,
- rekonstrukce dopravních nehod.

Možnosti programu jsou:

- model může být tvořen tělesy tuhými nebo tělesy, jejichž deformace se počítá metodou konečných prvků, či kombinací obou metod. Výpočet metodou konečných prvků se provádí v každém integračním kroku. Tato metoda se užívá při modelování airbagů, bezpečnostních pásů či těl cestujících,
- k jednotlivým tělesům systému lze připojovat elipsoidy, válce a roviny definovaných rozměrů, poloh a vlastností,
- je možné aplikovat pole zrychlení (např. gravitačního), které se popisuje uspořádanými dvojicemi čas-zrychlení. Toho se dá využít, máme-li k dispozici časový průběh zrychlení na vozidle během bariérové zkoušky,
- součástí programu je rozsáhlá databáze modelů, která obsahuje např. zkušební figuríny, deformovatelné bariéry a modely nafukovacích vaků,
- pro práci s programem jsou k dispozici různé postprocesory pro zpracování a zobrazení výsledků.

7.5. Návrh modelu

Matematické modely mají přinést do disertační práce hodnoty biomechanického zatížení pasažérů ve vozidle a trajektorie pohybů automobilů v okamžiku střetu, následně po střetu v kontextu s následným havarijním pohybem, který může být pro pasažéry ještě více zraňující (nebezpečný z hlediska vzniku poranění) než vlastní střet. Případný nekontrolovaný pohyb automobilu může zranit třetí osoby a způsobit další škody.

Matematický model je vytvořen interakcí dvou simulačních prostředí. V prostředí simulačního programu Virtual Crash byl vytvořen průběh havarijního pohybu databázového automobilu Škoda Fabia I při nárazu do pevné překážky definované v kapitole 5.5.2 na straně číslo 60. Výsledné hodnoty polohy těžiště karoserie a naklopení automobilu byly vloženy jako vstupní hodnoty do modelu v MADYMO.

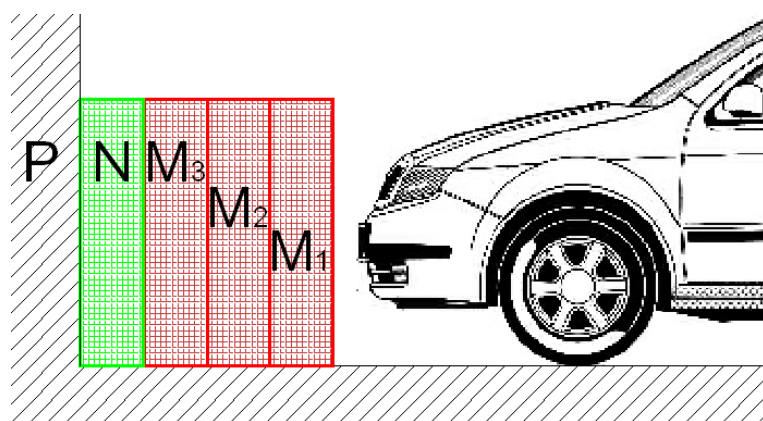
7.5.1. Virtual Crash

Vytvořené modely prokáží účinnost navržených technických opatření, a to včetně simulace pohybu automobilu v průběhu střetu a v postřetovém pohybu.

Simulace budou provedeny na jednotlivých třídách nebezpečnosti samostatných sjezdů a to dle analyzovaných průběhů nehodového děje, tj. „scénář č. 1, 2 a 3.

Pevná překážka

Kolizní oblast je v návrhu tvořena velice tuhým a hmotným objektem „P“ – reprezentující Zemi. Na tento objekt navazuje adaptabilní blok „N“, kterým je možno v řádech změnit deformační charakteristiku navrhovaného deformačního bloku „M_x“ v konstrukci samostatného sjezdu. Automobil naráží přímo na deformovatelné bloky skládající se ze tří segmentů „M_x“ různých tuhostí například pro jednotlivé intervaly hmotnosti narážejících vozidel.



Obrázek 47 Schéma modelu pevné překážky

Bloky M₁, M₂, M₃ a blok N

Software Virtual Crash neumožňuje přímé nastavení charakteristických vlastností deformačních bloků podle kapitoly 8.2. Bloky jsou kalibrovány pomocnými simulacemi, kde proměnným parametrem je vlastní hmotnost bloku.

Blok N má definovanou maximální tuhost, tj. charakterizuje tuhou překážku.

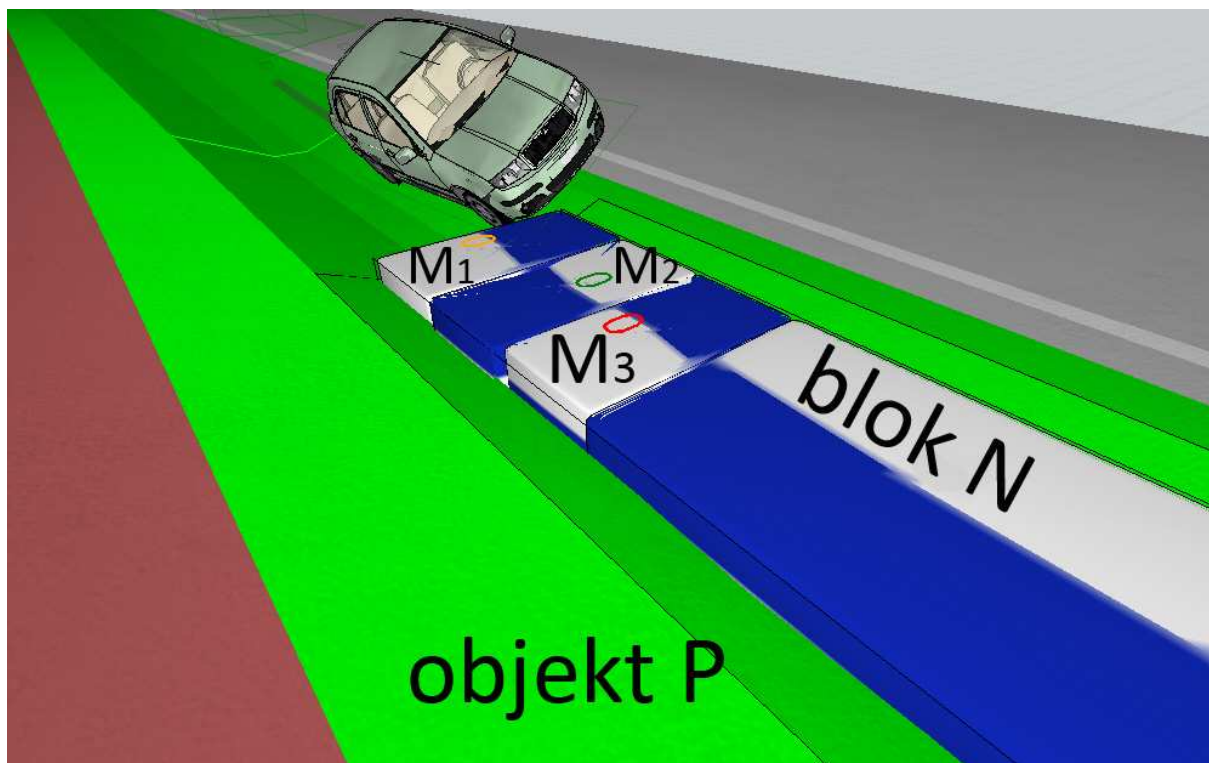
Sjezd stávající konstrukce, tj. bez ochrany, je tvořen pouze blokem N.

Tvar terénu a rozměry samostatného sjezdu – objekt P

Tvar silničního příkopu, tedy i tvar čela samostatného sjezdu, odpovídá (v jednotlivých simulacích) vzorovému geometrickému uspořádání místa stavby sjezdu dle kapitoly 6, strana číslo 66. Terén je vymodelován ve formátu *.dxf pomocí softwaru Autocad 2010.

Automobil

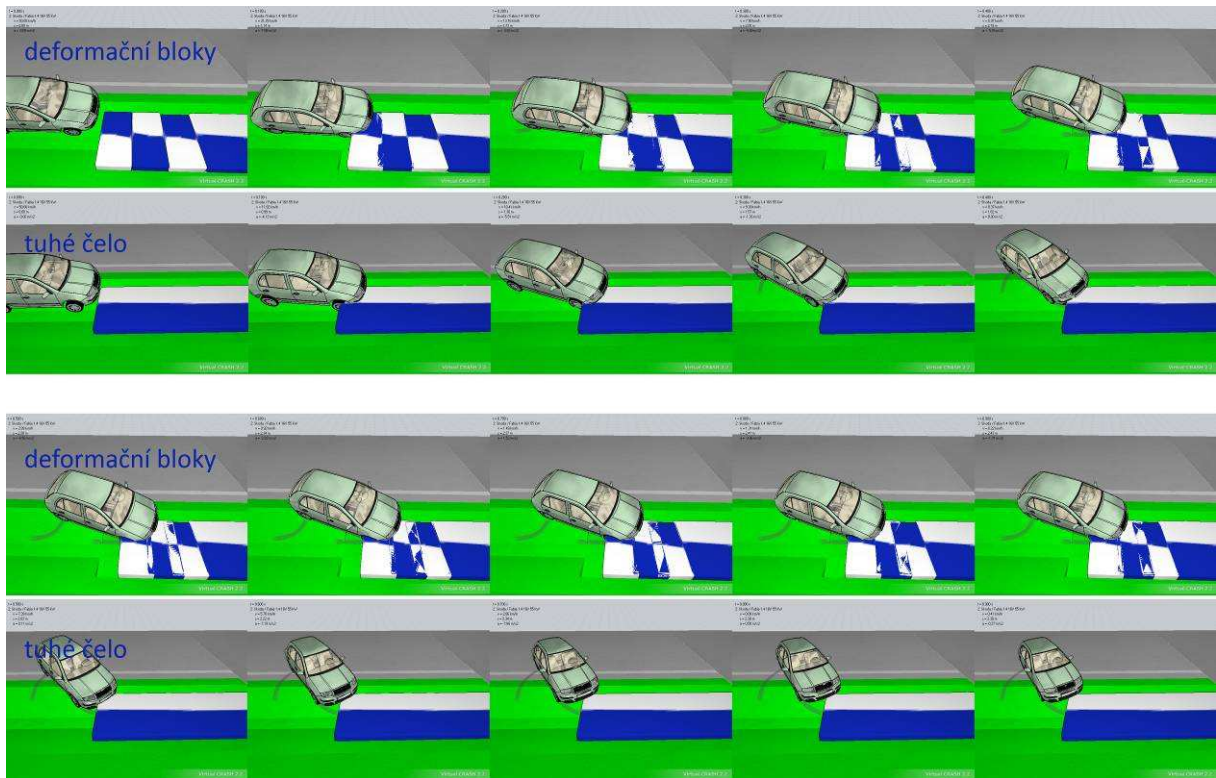
Vlastnosti modelu automobilu byly převzaty z databázového modelu automobilu Škoda Fabia. Interiér vozidla je geometricky shodný s automobilem (zjednodušený s ohledem na výpočetní nároky vzniklého matematického modelu).



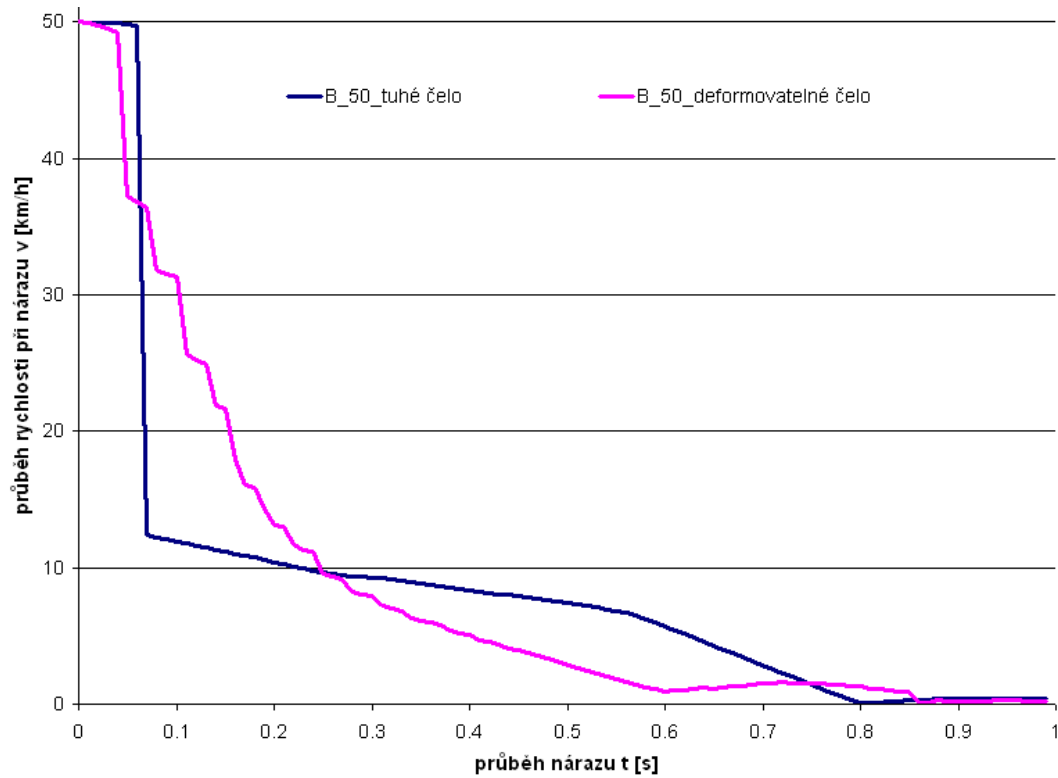
Obrázek 48 Konfigurace nárazu dle KN_BD, třída I.

Simulace

Protokoly k provedeným simulacím jsou obsahem příloženého DVD, kde jsou v Příloze D jednotlivé modely tříděny podle tvaru čela sjezdu, jeho tuhosti a nárazové rychlosti. Ve variantě A (tj. automobil naráží na čelo sjezdu předním kolem, a to pod úroveň středu otáčení kola) nedochází ke kontaktu s karoserií vozidla, což způsobí, že nejsou generovány rázy. Ve variantě B bez deformovatelného čela (B_XXX_C) jsem byl nucen změnit výšku polohy těžiště automobilu (z 0,54 m na 0,34 m). Pro tento druh excentrického nárazu implicitní hodnota vedla k nerealistickému postřetovému pohybu.



Obrázek 49 Průběh střetu ve variantě B_50_X (s úpravou, bez úpravy)



Obrázek 50 Průběh rychlosti automobilu v průběhu nárazu B_50_X

Modelování střetu automobil versus samostatný sjezd předcházela simulace vlastního průjezdu automobilu silničním příkopem dle jednotlivých variant. Aktuální poloha automobilu (poloha těžiště, náklon karoserie) v místě budoucího střetu byla přenesena jako počáteční poloha automobilu do vlastní simulace nehodového pohybu dle příslušné varianty (vytvořen nový simulační bod).

Vstupní podklady pro simulační software MADYMO

Vstupní hodnoty pro simulační software MADYMO tvoří poloha těžiště karoserie automobilu a úhly náklonu karoserie v okamžiku nárazu a v průběhu střetového pohybu z výpisu karty Dynamika vozidla programu Virtual Crash 2.2 – dle varianty modelu. Získaná data byla formálně upravena do požadovaného formátu a rozdělena do šesti textových souborů pro tři souřadnice těžiště (čas [s] poloha [m]) a tři úhly natočení karoserie (čas [s] úhel [rad]).

Výpis z karty Dynamika vozidla programu Virtual Crash 2.2 dle varianty modelu zaznamenává průběh nehodového pohyb od místa střetu.

vozidlo/překážka: 2 - Skoda / Fabia 1.4 16V 55 kW, řidič:										
čas [s]	dráha [m]	rychlost [km/h]	úhel natočení - X,Y,Z [deg]	směr rychlosti (m/vz) [deg]			poloha těžiště - X,Y,Z [m]			
0.000	0.000	50.000	35.129	0.205	0.070	0.000	-38.565	703.894	51.884	0.778
0.010	0.088	30.848	33.274	0.219	-0.472	15.878	-6.819	703.976	51.907	0.763
0.020	0.174	31.513	31.564	0.245	-1.104	14.287	-5.451	704.059	51.930	0.754
0.030	0.254	28.346	31.165	0.543	-0.940	2.978	0.885	704.138	51.937	0.753
0.040	0.333	28.259	31.144	0.802	-0.731	-0.302	2.624	704.217	51.938	0.755
0.050	0.412	28.688	31.376	0.928	-0.697	-0.738	2.876	704.296	51.938	0.759
0.060	0.492	29.084	31.661	1.026	-0.686	-1.114	3.057	704.376	51.937	0.763
0.070	0.548	20.015	31.954	1.483	-0.949	0.532	9.381	704.431	51.938	0.771
0.080	0.604	20.282	32.215	1.875	-1.238	0.135	9.200	704.487	51.938	0.780
0.090	0.660	20.519	32.499	2.233	-1.544	-0.204	8.950	704.543	51.938	0.789
0.100	0.718	20.728	32.800	2.557	-1.866	-0.494	8.644	704.599	51.937	0.798
0.110	0.775	20.811	33.095	2.801	-2.181	-0.325	9.338	704.656	51.937	0.807
0.120	0.833	20.958	33.398	3.014	-2.503	-0.535	8.892	704.713	51.937	0.817
0.130	0.889	20.143	33.803	3.252	-2.755	0.881	9.079	704.768	51.938	0.826
0.140	0.945	20.267	34.211	3.464	-3.008	0.708	8.584	704.824	51.938	0.834
0.150	1.002	20.391	34.613	3.647	-3.266	0.504	8.068	704.880	51.939	0.842
0.160	1.059	20.511	35.003	3.805	-3.524	0.304	7.544	704.936	51.939	0.850
0.170	1.116	20.631	35.378	3.939	-3.781	0.104	7.017	704.993	51.940	0.857
0.180	1.173	20.751	35.737	4.050	-4.035	-0.096	6.491	705.050	51.940	0.864
0.190	1.221	17.006	36.141	4.369	-4.337	1.749	8.109	705.098	51.941	0.871
0.200	1.269	16.950	36.519	4.631	-4.630	2.504	10.114	705.144	51.943	0.878
0.210	1.316	17.030	36.855	4.808	-4.902	2.310	9.402	705.191	51.945	0.886
0.220	1.363	17.114	37.165	4.961	-5.169	2.107	8.694	705.237	51.946	0.894
0.230	1.411	17.203	37.450	5.092	-5.431	1.895	7.993	705.285	51.948	0.901
0.240	1.454	13.320	37.724	5.303	-5.671	4.730	10.892	705.327	51.950	0.907
0.250	1.490	12.968	37.979	5.558	-5.888	5.328	12.605	705.362	51.953	0.915

Obrázek 51 Výpis z karty Dynamika vozidla programu Virtual Crash 2.2 – viz Příloha D

7.5.2. MADYMO

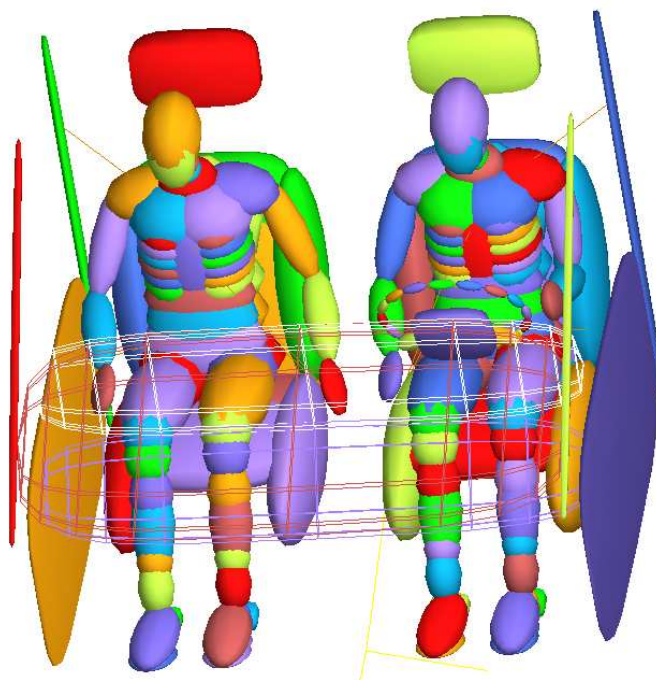
Model je sestaven pro výzkum vlivu tvrdosti nárazu automobilu na čelo samostatného sjezdu a bude použit pro určení trajektorie pohybu posádky a pro zjištění hodnot biomechanických kritérií poranění cestujících v automobilu. Z tohoto důvodu nebyl kladen důraz na přesné materiálové charakteristiky použité v interiéru. Materiálové charakteristiky jsou předmětem průmyslového tajemství každé automobilky.

Automobil

Geometrické uspořádání prostoru pro cestující odpovídá rozměrově automobilům nižší střední třídy. Model automobilu je doplněn pouze o tříbodové bezpečnostní pásy a opěru hlavy v opěradle sedadla, tj. základní ochrana cestujících v dnes používaných osobních automobilech.

Model je tvořen kombinací sedmi systémů, z čehož dva systémy jsou reprezentovány posádkou, dva systémy představují horní a spodní část věnce volantu, jeden systém tvoří interiér automobilu včetně sedadel a sedmý systém je tvořen kotvícími body pro uchycení bezpečnostních pásů. Mezi systémy jsou vazby, které definují vzájemnou polohu systému v počátečním čase simulace a určují stupně volnosti objektu v průběhu výpočtu simulace pohybu. Interiér automobilu je spojen s referenčním (základním) systémem volnou vazbou. Volná vazba je v průběhu simulace řízena vstupními soubory dle varianty simulace. K interiéru automobilu jsou připojeny rotační vazbou dvě části volantového věnce s možností definování tuhosti volantové části. Systém reprezentující kotevní body je vetknut do systému interiéru vozidla. Posádka vozidla je s interiérem spojena volnou vazbou.

Bezpečnostní pás se skládá ze dvou popruhů (hrudního a bederního pásu). Hrudní pás je tvořen čtyřmi segmenty, které jsou mezi sebou propojeny vazbou (belt_tying). Bederní pás se skládá ze dvou segmentů.



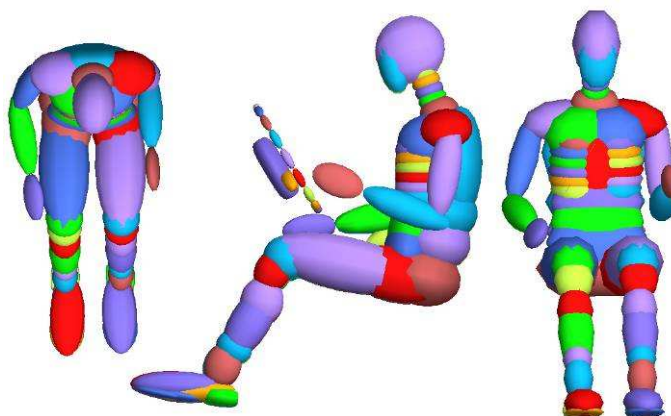
Obrázek 52 Model s tříbodovým bezpečnostním pásem

Model cestujících

Velkým přínosem systému MADYMO při řešení pasivní bezpečnosti je rozsáhlá databáze zkušebních figurín. Figuríny jsou vybaveny snímači fyzikálních veličin (převážně zrychlení), které umožňují výpočet biomechanických kritérií poranění. Figurína Hybrid III 50% je užívána pro testování čelního nárazu. Svou váhou a výškou reprezentuje průměrného mužského zástupce populace USA. Byla vyvinuta u GM USA v roce 1976 a následně několikrát modernizována. Konstrukce figuríny o základní hmotnosti 77,5 kg splňuje zvýšené nároky na biologickou věrnost a požadavky na zlepšení charakteristik biomechanické odezvy hlavy, krku, ramene, hrudi a kolen. K dispozici jsou modely tvořené elipsoidy i modely využívající deformovatelných těles.

Usazení obou cestujících do systému interiéru bylo provedeno formou pre-simulace.

V průběhu kolizního děje na posádce působí vlastní setrvačné, gravitační a dynamické síly (kontakty) vygenerované s objekty interiéru, ze kterých jsou určeny hodnoty biomechanických kritérií (viz kapitola 2.4).



Obrázek 53 Použitá figurína Hybrid III

Zatěžovací puls

Výpis z karty Dynamika vozidla programu Virtual Crash 2.2 (dle varianty nárazu) jsem převedl do textové podoby, kterou bylo možno importovat do prostředí softwaru MADYMO. Textové soubory jsou psány ve tvaru $čas [s]$ $souřadnice\ těžiště [m]$ pro celý průběh simulace, a to pro odebrání všechny stupňů volnosti:

- poloha těžiště karoserie v ose $X [m]$
- poloha těžiště karoserie v ose $Y [m]$
- poloha těžiště karoserie v ose $Z [m]$

- úhel natočení karoserie kolem podélné osy X [rad] (klonění)
- úhel natočení karoserie kolem boční osy Y [rad] (klopení)
- úhel stáčení karoserie kolem osy Z [rad] (stáčení)

7.6. Vyhodnocení matematických simulací

Pro porovnání účinnosti navržených opatření v konstrukci samostatného sjezdu a scénáři nehodového děje jsou užitá následující biomechanická kritéria vypočtena na figuríně Hybrid III.:

- Kritérium HPC,
- Kritérium 3MS,
- Kritérium CTI Combined Thoracic Index,
- Kritérium VC.

Přehled výsledků biomechanických kritérií

TEST	BIOMECHANICKE KRITERIUM										ZMĚNA o %		
	HPC - 15 ms		HPC - 36 ms		3 ms		CTI		VC				
	řidič	spolujezdec	řidič	spolujezdec	řidič	spolujezdec	řidič	spolujezdec	řidič	spolujezdec			
SJEZD TYPU A	A 50 C	2.6072	4.0829	3.7307	5.4539	195.34	172.71	0.29309	0.2392	7.03E-03	1.87E-03	-0.3	
	A 50 B	2.6072	3.7307	4.0829	5.4539	195.34	172.71	0.29309	0.2392	6.83E-03	1.85E-03		
	POKLES o [%]	0	8.6	-9.4	0	0	0	0	0	0	2.9		1
	A 80 C	2.8364	3.5761	3.6282	4.8477	199.87	169.19	0.31067	0.25621	6.18E-03	2.69E-03		
SJEZD TYPU B	A 80 B	2.8364	3.5761	3.6282	4.8477	199.87	169.19	0.31067	0.25621	6.18E-03	2.69E-03	0	
	POKLES o [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	A 100 C	2.8364	3.5761	3.6282	4.8477	199.87	169.19	0.31067	0.25621	6.18E-03	2.69E-03		
	A 100 B	2.8129	3.5831	3.6917	4.8686	199.56	169.49	0.33208	0.25811	1.87E-02	3.31E-03		
SJEZD TYPU C	POKLES o [%]	0.8	-0.2	-1.8	-0.4	0.2	-0.2	-6.9	-0.7	-202.2	-22.7	(0)	
	B 50 C	308.03	1300.3	519.37	1300.3	815.31	815.31	1.4677	1.6012	0.57426	0.71597	-83.8	
	B 50 B	22.962	25.387	42.427	28.743	199.55	198.12	0.48646	0.49173	9.87E-02	8.76E-02		
	POKLES o [%]	92.5	98	91.8	97.8	75.5	75.7	66.9	69.3	82.8	87.8		
	B 80 C	97049	3.93E+05	97049	3.93E+05	1206.5	2490.4	2.1864	3.6157	1.5396	1.3378	-87.9	
	B 80 B	109.39	132.99	183.69	153.87	316.35	329.64	0.72028	0.75422	0.18723	0.20393		
	POKLES o [%]	99.9	100	99.8	100	73.8	86.8	67.1	79.1	87.8	84.8		
	B 100 C	73769	15436	73769	15436	2192	1900.4	3.4061	3.1557	1.8613	2.2437	-88.6	
	B 100 B	201.01	334.36	278.4	367.06	342.13	356.06	0.81618	0.84042	0.24627	0.2381		
	POKLES o [%]	99.7	97.8	99.6	97.6	84.4	81.3	76	73.4	86.8	89.4		
	C 50 C	106.39	95.611	139.08	125.64	357.54	291.99	0.82697	0.75021	0.34922	0.25601	-61.2	
	C 50 B	16.444	14.247	28.623	22.25	255.12	173.38	0.50989	0.41271	0.10693	0.10524		
POKLES o [%]	84.5	85.1	79.4	82.3	28.6	40.6	38.3	45	69.4	58.9			
C 80 C	38723	29976	38723	29976	822.94	1014.9	1.3483	1.6781	0.26042	0.52298	-71.7		
C 80 B	42.635	138.1	60.367	138.1	361.19	640.78	0.64015	1.0405	7.18E-02	0.19808			
POKLES o [%]	99.9	99.5	99.8	99.5	56.1	36.9	52.5	38	72.4	62.1			
C 100 C	6158	2233	6158	2233	752.05	875.03	1.2615	1.5292	0.2173	0.39747	-27.6		
C 100 B	437.64	621.41	502.92	621.41	932.66	1101.7	1.39	1.7427	0.22966	0.29076			
POKLES o [%]	92.9	72.2	91.8	72.2	-24	-25.9	-10.2	-14	-5.7	26.8			

Obrázek 54 Biomechanická kritéria řidiče a spolujezdce (dle varianty simulace)

7.7. Vyhodnocení

Porovnáním výsledků uvedených v kapitole Matematické modelování je zřejmé, že změny provedené v konstrukci samostatného sjezdu zmírňují biomechanické zatížení působící na posádku v průběhu nárazu do pevné překážky.

Varianta A – stavebně malé samostatné sjezdy na kterých lze předpokládat střet podle Scénáře č.1 (horní hrana překážky je pod středem otáčení kola automobilu, automobil je po deformaci kola a deformaci karoserie „nadhozen“ (uvolněn) a do konečné polohy snižuje svou rychlost dřením a rytím v okolním terénu) nejsou efektivně chráněny samostatným sjezdem s integrovanou deformační zónou. Při tomto druhu nárazu jsou zjištěné hodnoty biomechanických kritérií v obou variantách (s deformačním prvkem i bez deformačního prvku) zanedbatelné. Ochranou provedenou podle návrhu opatření 1 až 3 (viz kapitola 6.2 disertační práce) lze účinně snižovat rozsah poškození automobilu.

Varianta B – reprezentující excentrický náraz podle Scénáře č.2, uvádí v průběhu primárního nárazu karoserii automobilu do rotace (stáčení) a cestující jsou vrženi šikmo (cca 20°) k „A“ sloupku karoserie, kde lze předpokládat kontakt se skleněnou výplní dveří a sloupkem karoserie „A“. Tato místa karoserie lze chránit instalací doplňkových zádržných systému (airbag) do vozidla. Deformační zóny automobilu nejsou nárazem, podle Scénáře č.2, aktivovány a náraz na čelo nechráněného sjezdu způsobí tvrdý a krátký pulz. Ponehodový děj je velice složitý, lze předpokládat rozvoz poranění i v postřetovém pohybu automobilu do konečné polohy. Samostatné sjezdy s integrovanou deformační zónou mohou, podle provedených simulací, zmírnit hodnoty biomechanických kritérií hlavy i hrudníku a zcela odstranily nepříjemný ponehodový pohyb s výraznou rotací vozidla. Automobil se po nárazu na tuhé čelo přetočil (odrazil) a přelétl vozovku nebo zůstal v konečné poloze napříč přes vozovku, zatímco deformační prvek sjezdu automobil zastaví ve své blízkosti.

Varianta C – stavebně velké samostatné sjezdy na kterých lze předpokládat střet podle Scénáře č.3 (automobil narazí do sjezdu většinou plochy své přídě - pohybová energie je zmařena primárním nárazem) mohou být efektivně chráněny samostatným sjezdem s integrovanou deformační zónou. Navržené deformační bloky snížily hodnoty biomechanických kritérií hlavy, částečně i hrudníku, ale pro nárazovou rychlost 100 km/h (C_100_B) již neposkytuje pracovní dráha deformačních bloků předpokládaný ochrany účinek.

Pro další výzkum je nezbytné sestavení přesnějších modelů, a to včetně materiálových charakteristik prvků v interiéru vozidla. Postup tvorby simulací lze využít i ve znalecké praxi.

8. Návrh samostatného sjezdu s integrovanou deformační zónou

8.1. Konstrukční řešení

Automobil je nejlépe konstrukčně řešen pro případ čelního nárazu. Při typické dopravní nehodě se samostatným sjezdem automobil do překážky naráží čelně, ale jeho deformační zóny nedokáží zabránit rozvoji poranění posádky, a proto se konstrukce bezpečného samostatného sjezdu musí spolupodílet na přeměně pohybové energie vozidla, kterou převede do vlastní deformace sjezdu, čímž dojde ke snížení pravděpodobnosti zranění posádky vozidla. Provedené změny v konstrukci sjezdu sekundárně povedou ke snížení rychlosti vozidla po primárním nárazu do propustku, což přispěje k výraznému snížení pravděpodobnosti zranění posádky vozidla při postřetovém pohybu (případné převrácení vozidla, následné střety s okolím nebo s dalšími vozidly).

Dosud se zděná či betonová čela samostatných sjezdů nijak neupravují z hlediska snížení jejich agresivity při nárazu vozidel, která vybočila z prostoru silniční koruny. Důsledkem nárazu na pevné čelo samostatného sjezdu bývají těžká zranění či úmrtí ve vozidlech. Vozidla po sjetí do silničního příkopu bývají příkopem vedena a narážejí na čelo samostatného sjezdu nejčastěji svou přídí.

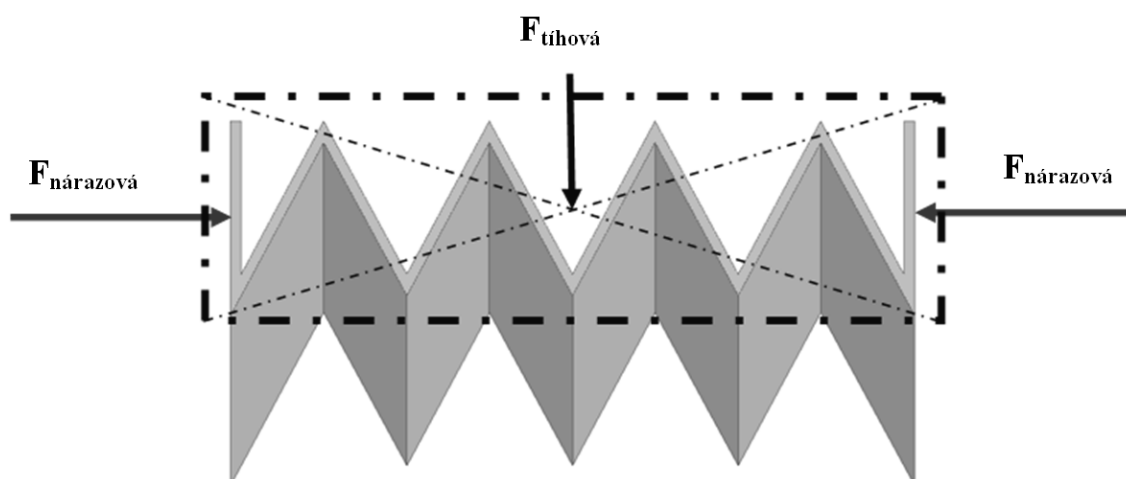
Technické předpisy stanovují světlost zatrubnění sjezdu v souvislosti s jeho délkou a hydrologickými poměry v místě stavby. V projektové dokumentaci se obvykle předepisuje, že povrch samostatného sjezdu a jeho okolí musí být z bezprašných materiálů, aby nedocházelo k znečišťování přilehlé komunikace, ale problematika tuhosti čel propustků (jako pevné překážky v bezprostřední blízkosti komunikace) není pojednána (řešena). Sjezd se v současné době zpravidla opatřuje betonovými čely, u starších sjezdů bývají použita čela zděná.

Betonová nebo zděná čela bývají vytvořena buď jako svislá, nebo zešikmená vůči směru pohybujících se vozidel. U zešikmených čel samostatných sjezdů se předpokládá, že vozidlo po zkoseném čele vyjede a nedojde k zásadní deformaci vozidla, což zmírní negativní účinky střetu na posádku uvnitř vozidla. Nevýhodou tohoto řešení je, že nezohledňuje následný nehodový pohyb vozidla především při vysoké kolizní rychlosti, kdy šikmé čelo samostatného sjezdu vozidlo katapultuje do prostoru.

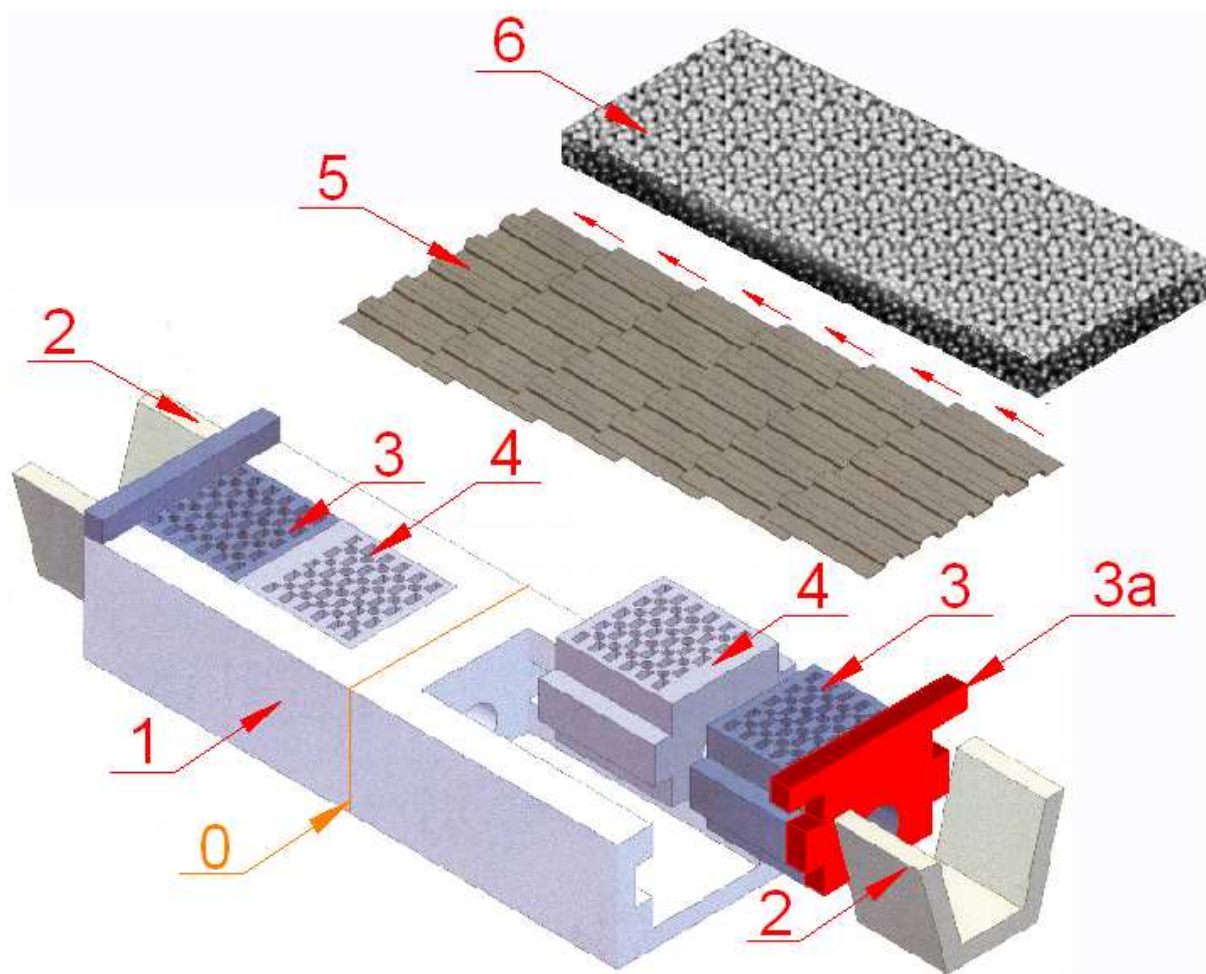
Monolitický prefabrikovaný bezpečnostní konec samostatného sjezdu se šikmou nárazovou plochou je popsán například v patentovém spisu WO 2004/027156. Tam popsané zařízení určité délky je umístěno na dně silničního příkopu a tvoří čelo samostatného sjezdu. Spodní část zařízení je tvořena podélnou základnou, po jejíchž obou podélných stranách jsou směrem k samostatnému sjezdu vedeny dvě bočnice s křídly. Tyto bočnice s křídly se od kraje zařízení směrem k samostatnému sjezdu zvyšují, čímž tvoří šikmou nárazovou plochu. Vozidlo však může za určitých okolností sjet mezi bočnice do prostoru základny a následně narazit do čela samostatného sjezdu. I v případě, že se vozidlo odrazí od šikmých bočnic s křídly, hrozí reálné nebezpečí katapultování vozidla do prostoru a vážné následky, tak jak je popsáno výše.

Uvedené nevýhody do značné míry odstraňuje navrhované technické řešení podle mého vynálezu. Zvyšuje pasivní bezpečnost pozemních komunikací, což je obecný soubor stavebně-technických opatření na silniční komunikaci, který v případě havarijního opuštění komunikace minimalizuje jednak možnost střetu vozidla s pevnou „agresivní“ překážkou nebo rozsah poškození vozidla a zranění cestujících a ostatních účastníků silničního provozu.

Podstatou technického řešení bezpečného samostatného sjezdu přes silniční příkop (Samostatného sjezdu s integrovanou deformační zónou) je jeho konstrukční sestavení z dílů umožňujících deformaci působením síly ve směru vodorovném, a zároveň zajišťujících únosnost ve směru svislém při přejezdu vozidel přes samostatný sjezd. Tato definice je patrná z obrázku. 55 a 56.



Obrázek 55 Princip funkce deformačních bloku s diferencovanou tuhostí



Obrázek 56 Konstrukce samostatného sjezdu s integrovanou deformační zónou.

pozn.: Seznam vztahových značek: 1 - základní tvarovka; 2 – představec; 3 - deformační čelo; 3a – nárazník; 4 – deformační blok; 5 – záklop; 6 – zásyp; 0 - dělicí rovina.

Konstrukce podle vynálezu odstraňuje nedostatky dosavadních úprav tím, že výrazně změkčuje zónu potenciálního nárazu, a tím snižuje rázovou sílu, která určuje míru přetížení působícího na posádku a také míru deformací vozidla. Samostatný sjezd sestává ze základní tvarovky a nejméně jednoho deformačního čela, jehož součástí je tuhý nedeformovatelný nárazník. V deformačním čele a v tuhém nedeformovatelném nárazníku je otvor sloužící k průtoku vody skrz samostatný sjezd. Tato sestava je překryta záklopem, na němž je umístěn zásyp. Variantně může být v základní tvarovce umístěn za deformačním čelem nejméně jeden deformační blok s otvorem sloužícím k průtoku vody skrz samostatný sjezd.

Základním konstrukčním dílem samostatného sjezdu je základní tvarovka ve tvaru "U" usazená na dně silničního příkopu. Základní tvarovka je zpravidla tvořená betonovým prefabrikátem, jenž vymezuje vzájemnou polohu jednotlivých dílců a tvar samostatného sjezdu. V některých případech je základní tvarovka v polovině svojí délky doplněna o příčku

s otvorem, který slouží k průtoku vody skrz samostatný sjezd. Příčka slouží k zajištění polohy deformačních bloků během nehodového děje, zabráňuje jejich posunu a zároveň umožňuje definovanou deformaci deformačních čel a deformačních bloků. Varianta základní tvarovky bez příčky je použita u samostatných sjezdů, jejichž délka neumožňuje vytvoření deformační zóny s dostatečnou pracovní délkou pro danou kategorii komunikace. V takovém případě jsou deformována obě deformační čela, eventuelně ve spojení se všemi deformačními bloky. Variantně může být základní tvarovka v místě příčky rozdělena na dvě poloviny. Toto řešení je užito v případě stavebně dlouhého samostatného sjezdu (s dlouhým potrubím propustku), případně v místech, kde se silniční příkop zanořuje pod povrch. V případě dlouhého samostatného sjezdu jsou použity obě poloviny základní tvarovky a tvoří okraje samostatného sjezdu. Prostor mezi základními tvarovkami, resp. příčkami, je po zatrubnění vyplněn běžným způsobem, např. zhutněnou zeminou. V případě užití v místech, kde se silniční příkop zanořuje pod povrch, je použita pouze jedna polovina základní tvarovky.

Na čele základní tvarovky je umístěn představec. Představec je zpravidla prefabrikovaný, betonový nebo plastový, dílec. Je ovšem možno jej vytvořit na místě například z betonových desek. Představec je přibližně tvaru U, přičemž jeho šířka se může směrem od základní tvarovky rozšiřovat. Představec definuje tvar silničního příkopu v okolí samostatného sjezdu, zabráňuje nárazu automobilu do čela základní tvarovky a navádí automobil na tuhý nedeformovatelný nárazník deformačního čela, tvořící čelo samostatného sjezdu. Zároveň zajišťuje deformační čelo proti vysunutí ze základní tvarovky. Představec je na místo usazen po zasunutí deformačního čela (a případně též deformačních bloků) do základní tvarovky.

Deformační čelo je dílec vytvořený zpravidla z betonu, plastu, hliníku, epoxidu či jiného vhodného materiálu. Deformační čelo má ve svém objemu vytvořeny vnitřní prostory. To umožňuje deformaci působením síly ve směru vodorovném, a zároveň zajišťuje únosnost pro svislé zatížení při přejezdu vozidel přes samostatný sjezd. Deformační čelo je na své vnější straně doplněno o tuhý nedeformovatelný nárazník. Funkcí nárazníku je rozložit zatížení z nárazu automobilu na celou čelní plochu deformačního čela a případně i deformačního bloku, čímž je zaručena jejich rovnoměrná destrukce. Nárazník dále odsouvá záklop tvořící svrchní vrstvu samostatného sjezdu. Deformační čelo má na svých podélných bočních stranách vytvořeno několik drážek a/nebo výstupků, které korespondují s odpovídajícími drážkami a/nebo výstupky na podélných vnitřních stěnách základní tvarovky. Tyto drážky a/nebo výstupky slouží jako vedení deformujícího se deformačního

čela a brání jeho vysunutí směrem vzhůru. Drážky a/nebo výstupky zároveň zabraňují nechtěnému sklopení nebo vysunutí tuhého nedeformovatelného nárazníku. Ten je tedy při deformaci deformačního čela veden v drážkách svisle a kolmo k podélné ose základní tvarovky a zajišťuje ideální destrukci deformačního čela (a případně i deformačního bloku), a to i v případě excentrického nárazu.

Za deformačním čelem může být variantně umístěn deformační blok, což je dílec vytvořený zpravidla z betonu, plastu, hliníku, epoxidu či jiného vhodného materiálu. Deformační blok má ve svém objemu vytvořeny vnitřní prostory. To umožňuje deformaci působením síly ve směru vodorovném, a zároveň zajišťuje únosnost pro svislé zatížení při přejezdu vozidel přes samostatný sjezd. Směrová tuhost deformačního bloku závisí na jeho konstrukci a lze vytvářet a programově sestavovat skupiny deformačních bloků pro dosažení požadovaného ochranného efektu pevné překážky tvořené samostatným sjezdem. Deformační blok má, stejně jako deformační čelo, na svých podélných bočních stranách vytvořeno několik drážek a/nebo výstupků, které korespondují s odpovídajícími drážkami a/nebo výstupky na podélných vnitřních stěnách základní tvarovky. Tyto drážky a/nebo výstupky slouží jako vedení deformujícího se deformačního bloku a brání jeho vysunutí směrem vzhůru. Tuhost deformačního bloku je vždy stanovena tak, že je nižší, než tuhost deformačního čela. Při nárazu vozidla na samostatný sjezd tedy nejprve dochází k deformaci deformačního bloku a až následně k deformaci deformačního čela. Tím je opět zajištěno, že tuhý nedeformovatelný nárazník je do poslední chvíle nehodového děje veden svisle a kolmo k podélné ose základní tvarovky a zajišťuje ideální destrukci deformačního čela a deformačního bloku.

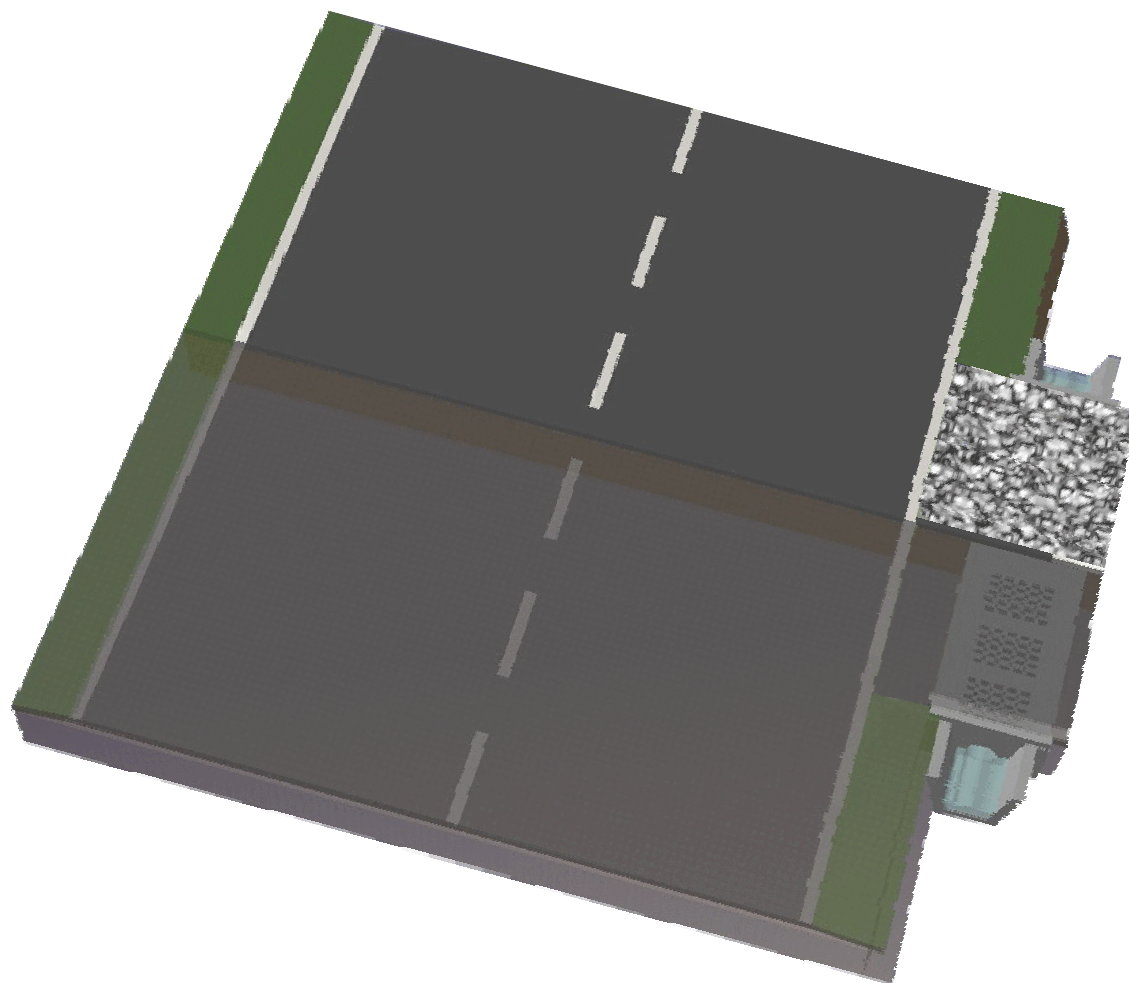
Na základní tvarovce vyplněné nejméně jedním deformačním čelem, a případně i nejméně jedním deformačním blokem, je umístěn záklop. Záklop může být tvořen pevnými, deskovými, po sobě vzájemně posuvnými segmenty z plechu, plastu, nebo jiného vhodného materiálu. Ve variantním řešení mohou být tyto segmenty tvarované trapézově ve směru podélné osy silničního příkopu. Jednotlivé segmenty záklopu se při deformaci deformačních čel a deformačních bloků po sobě teleskopicky posouvají, čímž neovlivňují výchozí parametry tuhosti deformačních čel a deformačních bloků. Trapézově tvarované segmenty jsou díky svému tvarování při posunu vedeny v ose nárazu a zároveň zajišťují větší stabilitu záklopu při přejezdu vozidel přes samostatný sjezd. Dále může být záklop tvořen měkkým houževnatým deformovatelným materiálem. Takovým materiálem může být například gumový pás. Záklop zabraňuje vyplnění konstrukčních dutin deformačních čel

a deformačních bloků nečistotami. Konstrukční dutiny musí pro správnou funkčnost deformačních čel a deformačních bloků zůstat prázdné (deformovatelné) pro aktivaci ochranné funkce sjezdu. Záklop zároveň brání rozletu úlomků materiálu z deformovaných deformačních čel a deformačních bloků.

Svrchní vrstvu celého přejezdu tvoří zásyp tvořený sypkým bezprašným materiálem, například šterkem, směsí šterku s jílem, případně jiným vhodným materiálem běžně používaným ke stavbě nezpevněných komunikací. Zásyp chrání záklop před vlivy prostředí a dorovnává terénní nerovnosti. Vlastnosti použitého materiálu nesmějí výrazně ovlivnit navržené vlastnosti deformačních čel a deformačních bloků.

Odlišným variantním řešením samostatného sjezdu je jeho lehká varianta vytvořená z deformačních čel, případně doplněných o deformační bloky, přičemž tyto stavební díly jsou volně ložené na dně silničního příkopu, bez jejich usazení do základní tvarovky. Na deformačních čelech (případně i na deformačních blocích) spočívá záklop a na něm zásyp. Záklop a zásyp jsou definované stejně, jako v případě užití u samostatného sjezdu se základní tvarovkou. Tento lehký samostatný sjezd je v praxi využitelný jako přechod pro pěší nebo jako přejezd cyklostezky přes silniční příkop.

Míra následků havarijního výjezdu vozidla ze silniční koruny závisí zejména na tvrdosti nárazu na pevnou překážku, jakou bývají mimo jiné i betonová či zděná čela samostatných sjezdů. Provedení podle vynálezu vytváří deformační zónu v samostatném sjezdu jako takovém, čímž výrazně změkčuje náraz, zmenšuje deformaci vozidla, snižuje rázové síly a tím i přetížení působící při nehodě na posádce vozidla. Zařízení v sobě spojuje funkci užitnou (přejetí vozidel, průtok srážkové vody) a zároveň funkci bezpečnostní (pasivní bezpečnost). Technické řešení deformačních čel a deformačních bloků poskytuje deformační zónu pro přeměnu pohybové energie z nárazu vozidla na deformační práci samostatného sjezdu, čímž v důsledku snižuje biomechanické zatížení posádky vozidla při havárii. V podrobnostech viz Přílohu C.



Obrázek 57 Vizualizace umístění samostatného sjezdu

8.2. Návrh deformačního bloku

Samostatný sjezd s deformační zónou respektive jeho deformovatelné bloky jsou dle návrhu primárně určené pro ochranu cestujících osobních automobilů a malých dodávkových automobilů s hmotností do 3,5 t.

Ochranná funkce samostatného sjezdu pro velké nákladní automobily je omezena konstrukční délkou vlastního sjezdu, přičemž jeho tuhost musí být přizpůsobena spíše pro nárazy malých vozidel. Prostor pro posádku těžkých nákladních vozidel nebývá nárazem na čelo sjezdu přímo zasažen (posádka je výše nad vozovkou). Při těchto nárazech je nejčastěji deformováno uložení přední nápravy a rám vozidla, zřídka dochází k odlomení kabiny automobilu. Velké nebezpečí pro cestující v kabině nákladního automobilu představuje uložení přepravovaného nákladu nebo vypadnutí posádky před vozidlo při prvním nárazu do čela sjezdu.

Deformační bloky navrhovaných samostatných sjezdů jsou principiálně shodné s tlumiči nárazu. Pro použití tlumičů nárazu již existuje v českých předpisech TP 158 „Tlumiče nárazu“ z června 2003. Tlumiče nárazu jsou zkoušeny podle ČSN EN 1317-3 a přičemž se zohledňuje zákon 22/1997 Sb. „o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů“ stejně tak jako nařízení vlády 163/2002 Sb. „technické požadavky na vybrané stavební výrobky“.

Z TP 158 je převzata testovací nárazová rychlost ve vztahu k maximální dovolené rychlosti v úseku, pro které má být sjezd navržen – úroveň zadržení.

Úroveň zadržení	Maximální povolená rychlost	Uvažovaná nárazová rychlost
A	≥ 110 km/h	100 km/h
B	90 km/h až 109 km/h	80 km/h
C	< 90 km/h	50 km/h

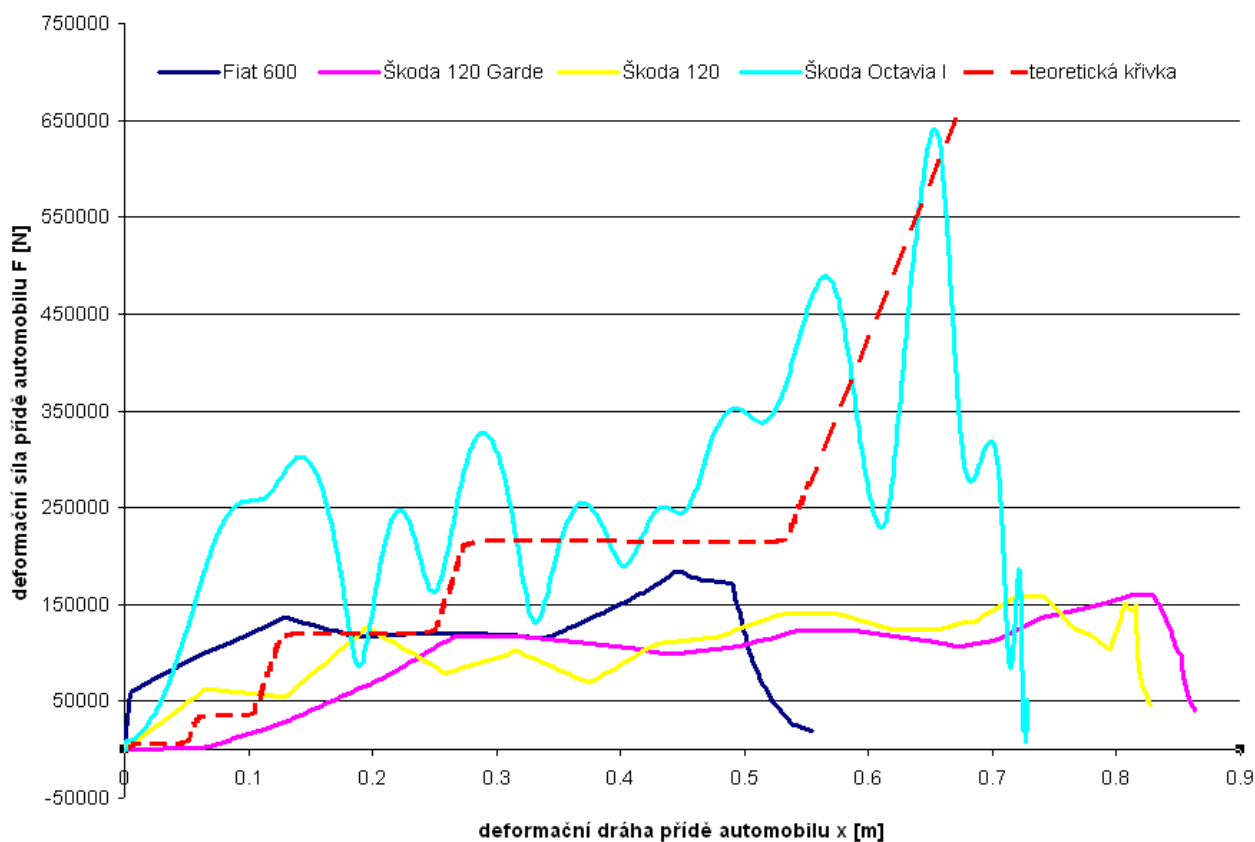
Obrázek 58 Úroveň zadržení deformačního bloku

Navrhovaný deformační blok (sestava bloků) odebírá kinetickou energii narážejícího automobilu ve dvou fázích (I. a II.):

- I. destrukce bloků a posun trosk uvnitř bloku – jde o to, aby reakční síla bloku v průběhu jeho deformace byla přibližně konstantní případně vhodně odstupňovaná – při nárazu automobilu se přemění kinetická energie automobilu v deformační práci potřebné pro destrukci struktury deformačního bloku. Před automobilu při nárazu před sebou hrne trosky bloků až do okamžiku, kdy trosky vyplní volný prostor mezi přední automobilu a tuhou přepážkou v základní tvarovce samostatného sjezdu (dle patentu).

II. sekundární destrukce trosek (drolení) – nárůst deformační síly – drcení vlastní struktury materiálu deformačních bloků.

Deformační síly pro aktivaci ochranné funkce samostatného sjezdu jsou závislé na tuhostech karosérií běžných dopravních prostředků. Obrázek 59 znázorňuje deformační síly působící na příď vozidla při nárazu na tuhou nedeformovatelnou bariéru. Křivky zachycují jak konstrukčně stará vozidla, tak vozidlo používající moderní trendy v pasivní bezpečnosti vozidel. Křivky deformačních sil pro dodávkové automobily nejsou k dispozici. Teoretická křivka (červená barva) je „Ideální progresivní, stupňovitá deformační charakteristika příde automobilu“ [15].



Obrázek 59 Deformační vlastnosti přídí automobilů – progresivní stupňovitá deformační charakteristika

Křivky deformačních sil přídí automobilů dle obrázku 59 stanovily deformační hladiny deformovatelných bloků v rozmezí 100 kN až 300 kN.

Optimalizace (naladění) jednotlivých deformačních hladin je provedena podle výpočtu, kde od nárazové kinetické energie automobilu jsou odečítány deformační energie pro destrukci bloků sjezdu, které svou strukturou tlumí účinky nárazu do čela sjezdu.

$$\frac{1}{2} m \cdot v_n^2 = \int_0^{x_{\max}} P dx, \quad (15)$$

kde m [kg] je hmotnost vozidla, v_n [m/s] je rovna nárazové rychlosti, F [N] okamžitá deformační síla a x [m] je velikost deformace vozidla.

$$E_{Kn} - (E_{K def. vozidla} + E_{K def. sjezdu}) - E_{Kz} = 0 \quad (16),$$

kde E_{Kn} je kinetická energie v okamžiku nárazu vozidla, $E_{K def. vozidla}$ je kinetická energie vozidla vyčerpaná na destrukci deformačních zón vozidla, $E_{K def. sjezdu}$ je kinetická energie vozidla přeměněná do deformační práce bloku samostatného sjezdu, E_{Kz} zbytková je kinetická energie vozidla, která nebyla převedena do deformační práce deformačních zón – zbytkovou kinetickou energií automobil narazí do tuhé nedeformovatelné přenášky základní tvarovky, tj. zbytková energie bude pohlcena karoserií automobilu.

Provedené výpočty prověřují úrovně zadržení A, B i C, nezohledňují vlastní pasivní bezpečnost automobilu pro nedostatek vstupních dat (výpočet je proveden pro nejnepříznivější situaci – automobil s minimální vlastní pasivní bezpečností) a zohledňují tři hmotnostní hladiny automobilů:

- malé osobní automobily – o hmotnosti 950 kg,
- osobní automobily střední třídy – o hmotnosti 1750 kg,
- velké osobní automobily a dodávkové automobily – do hmotnosti 3500 kg.

Návrhová hmotnost vozidla [kg]	Návrhová nárazová rychlost I [km/h]	Název bloku	Pracovní délka bloku [m]	Deformační síla bloku		Deformační dráha bloku		Zbytková rychlost vozidla [km/h]	Odebraná deformační energie [%]	Dráha penetrace [m]
				fáze I.	fáze II.	fáze I.	fáze II.			
950	100	BLOK M1	1	100kN	150kN	2/3	1/3	0	132	2.58
	80							0	206	1.92
	50							0	527	0.92
1750	100	BLOK M2	1	100kN	200kN	2/3	1/3	53	72	3.00
	80	BLOK M3	1	100kN	300kN	2/3	1/3	0	112	2.83
	50							0	286	1.57
3500	100							80	36	3.00
	80							53	56	3.00
	50							0	143	2.44

Obrázek 60 Návrh vlastností deformačních bloků samostatného sjezdu

Zbytková rychlost vozidla v km/h udává rychlost nárazu automobilu na tuhou nedeformovatelnou přepážku tvarovky sjezdu, tj. E_{Kz} . Odebraná deformační energie v % zobrazuje účinnost deformačních bloků sjezdu pro danou variantu (hodnota $\geq 100\%$ znamená, že automobil byl deformačními bloky zastaven – zelená barva), Dráha penetrace (průniku) v metrech udává využití pracovní délky deformačních bloků sjezdu. Pracovní délka deformačních bloku samostatného sjezdu je dána jeho konstrukcí. V podrobnostech viz Přílohu C.

Navržené deformační síly bloků a deformační dráhy bloků samostatného sjezdu jsou simulovány v matematických modelech dle variant (viz kapitulu 7).

9. Závěr

Zvyšování bezpečnosti dopravy je jednou z priorit výzkumné činnosti subjektů zabývajících se dopravní problematikou. Přístupy ke zvyšování bezpečnosti mohou být různé. Opatření můžeme principiálně provádět ve třech základních oblastech problematiky: na člověku, na dopravním prostředku nebo na komunikaci, kde se celý dopravní proces odehrává.

V průběhu posledních let dochází k citelnému zvyšování intenzity dopravy a tento trend bude v průběhu několika dalších let nejspíše stále pokračovat. Z toho plyne i předpokládaný nárůst počtu dopravních nehod, který si bude žádat účinná opatření a takové vědecké přístupy, aby docházelo ke snižování počtu nehodových situací i jejich následků. Problematika snižování účinků nárazů (dopravních nehod) se dosud řešila převážně cestou zvýšení pasivní bezpečnosti vozidel. Pro tvorbu bezpečných krajnic je velice důležité uspořádání navazující bezpečnostní zóny v nejbližším okolí vozovky. Uspořádání krajnice, příkopů i svahů významným způsobem ovlivňuje případný nehodový pohyb vozidel, která opustí vozovku.

Přínos disertační práce je v řešení problematiky nebezpečnosti (agresivity) pevných překážek v dopravní síti České republiky a to zejména:

- a) podrobnou analýzou naší a zahraniční literatury, legislativy resp. technických podkladů a možností řešení konstrukce propustků v silničním příkopu,
- b) vytvořením vlastní metodiky pro stanovení třídy nebezpečnosti samostatných sjezdů v návaznosti na prostorové uspořádání komunikace,
- c) analýzou a vyhodnocením reálných dopravních nehod na území Středočeského kraje se zaměřením na určení úhlu, pod kterým automobil opouští vozovku, úhlu nárazu na propustek, nárazovou rychlost, sekundární kolizi automobilu, stav deformačních zón automobilu a zranění cestujících v automobilu,
- d) analýzou průběhu deformací karoserie automobilu, zobecnění nehodového děje pro následný návrh konstrukčních opatření a provedení matematických simulací v systému Virtual Crash / MADYMO,

- e) návrhem konstrukce samostatného sjezdu s deformační zónou pro snížení agresivity čel sjezdů v silničním příkopu.

Disertační práce upozornila na tragické následky nehod střetu s pevnou překážkou vyplývající ze statistik dopravních nehod, otevřela diskusi na toto téma a dala do souvislosti agresivitu překážky s následky dopravních nehod.

Téma disertační práce bylo prezentováno na odborných konferencích týkajících se bezpečnosti silničního provozu, problematiky vyprošťování posádky vozidla po nehodě, a to jak v České republice, tak v zahraničí. Řešené téma inicializovalo vznik odborného semináře Ředitelství silnic a dálnic ČR: Systém odvodnění silničních komunikací a jeho vliv na bezpečnost provozu, trvanlivost stavby i život v jejím okolí. Na základě poznatků zjištěných při analýze dopravních nehod byla navržena nová konstrukce samostatného sjezdu. Samostatný sjezd s integrovanou deformační zónou byl dne 31.8.2009 přijat Patentovým úřadem ČR jako Užité vzor. Návrh je rovněž přihlášen do patentového řízení na Patentovém úřadu ČR a v současné době se zpracovává mezinárodní patentová přihláška.

Jako pedagog a člen Ústavu soudního znalectví v dopravě, Fakulty dopravní, vidím nutnost budovat a doplňovat otevřenou znalostní bázi shrnující poznatky z analýzy nehodového děje střetu vozidel a pevných překážek na silniční síti. Tento úkol bude vyžadovat koordinovaný postup mnoha týmů v různých vědních oborech.

10. Literatura

- [1] Bradáč, A., kol.: Soudní inženýrství, Cerm akademické nakladatelství, 1999
- [2] Elektronický systém jakosti v oboru pozemních komunikací VI., Informační centrum ČKAIT, s.r.o. Praha 2006
- [3] Evropská hospodářská komise OSN, dokument č. E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505-Add 93/Rev., přeložil Šatochin, V.: Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska ochrany cestujících při čelním nárazu, 1995 – další aktualizace Koutný, Z., 1998
- [4] First, J., kol.: Zkoušení automobilů a motocyklů, S&T CZ s.r.o., Praha 2008
- [5] Jan, Z., Vémola, A., Ždánský, B.: Automobil I, Cerm akademické nakladatelství, 2003
- [6] Janata, M., Pokorný, P., Simonová, E., Smělý, M.: Pasivní bezpečnost pozemních komunikací, CDV 2007
- [7] Kovanda, J., Šatochin, V.: Pasivní bezpečnost vozidel, Skripta ČVUT-FD, Praha, 2000
- [8] Maršík, J.: Zádržné systémy, Diplomová práce ČVUT v Praze, 2003
- [9] Mičunek, T.: Ponehodová opatření v pasivní bezpečnosti, vyprošťování osob z havarovaných vozidel, diplomová práce 2004
- [10] Přehled nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za roky 1989 až 2008, Publikaci vydalo Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, Praha
- [11] Schmidt, D.: Softwarové simulace a analýzy dopravních nehod, disertační práce 2006
- [12] Šachl, J.(st), Šachl, J.(ml): Mechanismy působení vnějšího násilí na lidské tělo při dopravních nehodách, Skripta ČVUT-FD, Praha, 2000
- [13] Šachl, J.: Návrh účinné ochrany u pevných překážek na pozemních komunikacích, Praha 2000
- [14] Šatochin, V.: Protokol č.:7230-00 Zkouška čelním nárazem podle Euro-NCAP, Praha, 2000
- [15] Vlk, F.: Automobilová technická příručka, Brno 2003
- [16] Vlk, F.: Karoserie motorových vozidel, Brno, 2001
- [17] Vlk, F.: Koncepce motorových vozidel, Brno 2001

- [18] Internetové stránky: www.mvcr.cz,
www.auto.cz,
www.skoda-auto.cz,
<http://skoda.panda.cz>,
www.pozary.cz,
www.euroncap.com,
www.sap.cz,
www.cdv.cz

11. Seznam zkratek

Zkratka	Význam	Poznámka
1st	↔ první stupeň	
2st	↔ druhý stupeň	
3st	↔ třetí stupeň	
AIS	↔ manuál k hodnocení poranění	Abbreviated Injury Scale
APF	↔ kritérium pro břicho	Abdomen Peak Force
apod.	↔ a podobně	
atd.	↔ a tak dále	
bezp.	↔ bezpečnostní	
č.	↔ číslo	
ČNR	↔ Česká národní rada	
ČR	↔ Česká republika	
ČVUT	↔ České vysoké učení technické	
def.	↔ deformace, deformační	
DI	↔ Dopravní inspektorát	
DIN	↔ zahraniční norma	
E48	↔ číslo komunikace	
EHK	↔ Evropská hospodářská komise	
EN	↔ evropská norma	
EU	↔ Evropská unie	
FD	↔ Fakulta dopravní	
FIA	↔ motoristická organizace	
FPC	↔ kritérium zatížení stehení kosti	Femur Performance Criterion
HE	↔ vysokou absorpcí energie	
HPC	↔ biomechanické kritérium hlavy	Head Performance Criterion
HZS	↔ Hasičský záchranný sbor	
IZS	↔ Integrovaný záchranný systém	
Kč	↔ Korun českých	
LE	↔ nízkou absorpcí energie	
MADYMO	↔ simulační software	MAthematical DYnamic MOdel
min	↔ minuta	
MMR ČR	↔ Ministerstvo místního rozvoje ČR	
např.	↔ například	
NE	↔ bez absorpce energie	
NIC	↔ kritérium šíje	
ON	↔ oborové normy	
OSN	↔ Organizace spojených národů	
pozn.	↔ poznámka	
PSPF	↔ kritérium zatížení stytké kosti	Pubic Symphysis Peak Force
RDC	↔ kritérium pro žebra	Rib Deflection Criterion
resp.	↔ respektive	
Riser	↔ výzkumný projekt	Roadside Infrastructure for Safer European Roads
Sb.	↔ Sbírky	
SI	↔ biomechanické kritérium	Severity index

Zkratka	Význam	Poznámka
t_1	↔ počáteční čas pro výpočet kritéria HPC	
t_2	↔ koncový čas pro výpočet kritéria HPC	
TCFC	↔ - kritérium zatížení holenní kosti	
ThPC	↔ - kritérium pro hrudník	Thorax Performance Criterion
TI	↔ index holenní kosti	
tj.	↔ to je	
TNO	↔ Nizozemská organizace	
TP	↔ technické podmínky	
TTI	↔ - kritérium hrudní páteře	Thorax Trauma Index
USA	↔ Spojené státy Americké	
V*C	↔ - kritérium měkkých tkání	Viscous Criterium
Vcrash	↔ simulační software	Virtuál Crash
WSU	↔ křivka biomechanického kritéria	Wayne State University

12. Seznam použitých jednotek

Název	Značka	Rozměr	Poznámka
čas	t	[s]	↔ 0,001s = 1.ms
deformace karoserie	x	[m]	
deformační síla	F	[N]	
délka	x,y,z	[m]	
energie	E	[J]	
hmotnost	m	[kg]	↔ 1000 kg = 1t (tuna)
kontaktní síla	F	[N]	↔ 1000N = 1 kN
moment	M	[N.m]	
prodleva účinku bezp. pásů	h	[m]	
rychlost	v	[m.s ⁻¹]	↔ 1 m.s ⁻¹ = 3,6 km/h
rychlost	v	[km.h ⁻¹]	
teplota	T	[°C]	
tlak	P _t	[Mpa]	
zrychlení	a	[m.s ⁻²]	↔ 9,81 m.s ⁻² = 1g

13. Rejstřík obrázků

Obrázek 1 Faktory vzniku dopravních nehod (zdroj: Road Safety Manual, PIARC 2004).....	8
Obrázek 2 Provozní automobilová bezpečnost [16].....	11
Obrázek 3 Deformace přídě osobního automobilu.....	12
Obrázek 4 Jednoduchý dynamický model pro simulaci čelního nárazu	13
Obrázek 5 Dovolená zatížení při testech na dobrovolnících	16
Obrázek 6 Příklady hodnocení poranění z manuálu AIS [7].....	18
Obrázek 7 Hranice zatížení pro lidský mozek (WSU-křivka) [7].....	21
Obrázek 8 Vozidlo Škoda Octavia test č. 7230-00 podle Euro-NCAP [14]	22
Obrázek 9 Kritéria poranění NIC	23
Obrázek 10 Počet dopravních nehod a zranění v letech 2007-2008 [5].....	28
Obrázek 11 Kolize automobilu se samostatným sjezdem [2].....	30
Obrázek 12 Vývoj nehodovosti v letech 2000 až 2008	31
Obrázek 13 Statistika nehodovosti v letech 2000 až 2008	32
Obrázek 14 Bezpečnostní odstup b_0 [6]	33
Obrázek 15 Bezpečnostní odstup b_0 [6]	34
Obrázek 16 Rozdělení dle ČSN EN 1317 - Silniční záchytné systémy [6].....	37
Obrázek 17 Konstrukční řešení samostatných sjezdů	46
Obrázek 18 Nevhodné zakončení protihlukové clony [2].....	48
Obrázek 19 Ochrana protihlukové clony proti nárazu [2].....	48
Obrázek 20 Náraz nákladního automobilu do mostního pilíře.....	50
Obrázek 21 Střet s pevnou překážkou	50
Obrázek 22 Nejmenší boční odstup B_z pevných překážek	54
Obrázek 23 Přídavek k bezpečnostní zóně Z [m].....	55
Obrázek 24 Katalogový list analýzy dopravních nehod.....	57
Obrázek 25 Četnost a směr nárazu automobilu na čelo sjezdu	58
Obrázek 26 Rozdělení četnost nárazů	58
Obrázek 27 Adhezní podmínky vozovky v době nehody.....	60
Obrázek 28 Průběh vzniku deformací	60
Obrázek 29 Modelová situace dle scénáře č.1	61
Obrázek 30 Modelová situace dle scénáře č.2.....	62
Obrázek 31 Protržení levého předního podběhu automobilu	63
Obrázek 32 Poloha automobilu po nehodě – zásah složek IZS.....	63
Obrázek 33 Modelová situace dle scénáře č.3.....	64

Obrázek 34 Vzorové geometrické uspořádání místa stavby sjezdu	66
Obrázek 35 - Formulář pro průzkum sjezdů.....	67
Obrázek 36 Formulář – katalogový list (viz Příloha B)	67
Obrázek 37 Rozmístění samostatných sjezdů na trase Lochovice, Jince, Osov, Řevnice	68
Obrázek 38 Rozmístění sjezdů na komunikaci II/605 – Levín, úsek 0,9 km (23)	68
Obrázek 39 Rozmístění sjezdů na komunikaci II/605 v úseku Cerhovice – Žebrák.....	69
Obrázek 40 Konstrukce samostatných sjezdů v extravilánu (příjezdy k firmám).....	69
Obrázek 41 Konstrukce samostatných sjezdů v extravilánu (zemědělské sjezdy).....	70
Obrázek 42 Konstrukce samostatných sjezdů v intravilánu.....	70
Obrázek 43 Třídy nebezpečnosti samostatných sjezdů	71
Obrázek 44 Stavební skladba analyzovaných samostatných sjezdů a jejich kódové označení	72
Obrázek 45 Příklad provedení kolmého a šikmého čela sjezdu	73
Obrázek 46 Ochrana samostatného sjezdu svodidly (pouze z jedné strany!).....	74
Obrázek 47 Schéma modelu pevné překážky	78
Obrázek 48 Konfigurace nárazu dle KN_BD, třída I.	79
Obrázek 49 Průběh střetu ve variantě B_50_X (s úpravou, bez úpravy)	80
Obrázek 50 Průběh rychlosti automobilu v průběhu nárazu B_50_X.....	80
Obrázek 51 Výpis z karty Dynamika vozidla programu Vcrash 2.2 – viz Příloha D	81
Obrázek 52 Model s třibodovým bezpečnostní pásem.....	82
Obrázek 53 Použitá figurína Hybrid III.....	83
Obrázek 54 Biomechanická kritéria řidiče a spolujezdce (dle varianty simulace).....	84
Obrázek 55 Princip funkce deformačních bloku s diferencovanou tuhostí.....	87
Obrázek 56 Konstrukce samostatného sjezdu s integrovanou deformační zónou.....	88
Obrázek 57 Vizualizace umístění samostatného sjezdu	92
Obrázek 58 Úroveň zadržení deformačního bloku.....	93
Obrázek 59 Deformační vlastnosti předí automobilů – progresivní charakteristika.....	94
Obrázek 60 Návrh vlastností deformačních bloků samostatného sjezdu	95