

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V PRAZE**

FAKULTA STROJNÍ



**PODOBNOST BARIÉROVÝCH
ZKOUŠEK A MOŽNOSTI JEJÍ
APLIKACE V OUT-OF-POSITION
KONFIGURACÍCH V
AUTONOMNÍCH VOZIDLECH
2020**

**LADISLAV
NUSSBAUER**

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci s názvem: „Podobnost bariérových zkoušek a možnosti její aplikace v out-of-position konfiguracích v autonomních vozidlech“ vypracoval samostatně pod vedením svého vedoucího práce Ing. Václava Jirovského Ph.D. Při psaní této práce jsem použil literaturu a další zdroje, které jsou uvedeny v Seznamu literatury.

V Praze dne

.....

Ladislav Nussbauer

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Václavu Jirovskému Ph.D. za pomoc při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu.

ANOTACE

Abstrakt

Tato práce se zabývá nárazovými zkouškami vozidel s nárazy s mírným a malým přesahem podle IIHS. Nejprve jsou podrobněji popsány specifikace těchto zkoušek. Poté je provedena analýza možnosti provést zkoušku dle specifik nárazu s malým přesahem, kde by místo nárazové bariéry bylo použito jiné vozidlo a která by byla provedena mimo laboratoř. Dále je provedeno srovnání nárazů s mírným a malým přesahem a matematicky popsán vzájemný vztah mezi nimi z hlediska kinematiky figuríny. Nakonec je vytvořen částečný model pohybu figuríny v těchto nárazech. Je také diskutována úprava specifik těchto testů tak, aby reflektovala způsoby sezení v autonomních vozidlech 4. nebo 5. stupně autonomie.

Abstract

This thesis deals with IIHS moderate and small overlap crash tests of vehicles. First, it describes specifications of these tests. Then an analysis of possibility to do the small overlap test of two vehicles (instead of a crash of vehicle and barrier) outside of laboratory is made. After that, the small and moderate overlap tests are compared and the relationship between the tests regarding the dummy kinematics is mathematically described. In the end, a partial model of dummy movement in those crashes is created. The adjustment of these tests to accommodate sitting postures relevant for autonomous vehicles of 4th and 5th degree is discussed as well.

Klíčová slova

nárazové zkoušky, náraz s mírným přesahem, náraz s malým přesahem, srážka dvou vozidel, kinematika figuríny při nárazu, sezení v autonomních vozidlech

Keywords

crash tests, moderate overlap crash, small overlap crash, crash of two vehicles, dummy kinematics after the crash, sitting postures in autonomous vehicles

OBSAH

| | |
|---|----|
| Prohlášení | 2 |
| Poděkování | 3 |
| Anotace..... | 4 |
| Abstrakt | 4 |
| Abstract | 4 |
| Klíčová slova | 4 |
| Keywords | 4 |
| Obsah..... | 5 |
| 1. Úvod | 8 |
| 2. Testování vozidel podle IIHS..... | 10 |
| 2.1. Čelní náraz | 10 |
| 2.1.1 Test s mírným přesahem | 11 |
| 2.1.2 Test s malým přesahem na straně řidiče..... | 11 |
| 2.1.3 Test s malým přesahem na straně spolujezdce..... | 12 |
| 2.1.4 Kritéria hodnocení..... | 13 |
| 2.2. Boční náraz | 13 |
| 2.2.1 Historie | 14 |
| 2.2.2 Provedení testu IIHS | 14 |
| 2.2.3 Kritéria hodnocení..... | 15 |
| 2.3. Test pevnosti střechy..... | 15 |
| 2.3.1 Provedení testu dle IIHS | 15 |
| 2.4. Další testy | 16 |
| 2.5. Figuríny užívané v testech | 17 |
| 2.5.1 Hybrid III | 17 |
| 2.5.2 SID-IIs..... | 18 |
| 3. Specifikace testů..... | 19 |
| 3.1. Podmínky testu s malým přesahem na straně řidiče | 19 |
| 3.1.1 Náraz..... | 19 |
| 3.1.2 Bariéra | 19 |

| | |
|--|----|
| 3.1.3 Příprava vozidla | 20 |
| 3.1.4 Příprava figurín | 22 |
| 3.1.5 Fotografie | 23 |
| 3.2. Měření a vyhodnocení..... | 23 |
| 3.2.1 Hmotnost vozidla..... | 23 |
| 3.2.2 Rychlost nárazu | 23 |
| 3.2.3 Přesah | 23 |
| 3.2.4 Zrychlení | 24 |
| 3.2.5 Integrita palivového systému | 24 |
| 3.2.6 Integrita elektrického systému..... | 24 |
| 3.2.7 Měření vniknuté hmoty..... | 24 |
| 3.2.8 Pohyby figuríny..... | 25 |
| 3.3. Podmínky testu na straně spolujezdce..... | 25 |
| 3.4. Porovnání s nárazem s mírným přesahem | 26 |
| 3.4.1 Podmínky nárazu | 26 |
| 3.4.2 Bariéra | 27 |
| 3.4.3 Příprava vozidla | 28 |
| 3.5. Shrnutí | 29 |
| 4. Vedení vozidla..... | 30 |
| 4.1. Tažení vozidla | 30 |
| 4.1.1 Koncept IIHS | 30 |
| 4.1.2 Messring | 31 |
| 4.1.3 Calspan | 33 |
| 4.1.4 Exponent..... | 34 |
| 4.2. Ovládání vozidla | 35 |
| 5. Provedení srážky dvou vozidel | 37 |
| 5.1. Vedení vozidla | 37 |
| 5.2. Pohon vozidla | 38 |
| 5.2.1 Výpočet výkonu motoru | 38 |
| 5.3. Výběr pohonu | 40 |
| 5.3.1 Elektromotor | 40 |
| 5.3.2 Spalovací motor..... | 41 |
| 5.3.3 Hydraulický akumulátor | 41 |
| 5.3.4 Tažení vozidlem | 41 |

| | |
|---|----|
| 5.4. Délka dráhy..... | 45 |
| 5.4.1 Hmotnost lana a jeho vliv..... | 45 |
| 5.5. Směrové vedení..... | 46 |
| 5.5.1 Vedení v kolejnici..... | 46 |
| 5.5.2 Řízení vozidla..... | 46 |
| 5.6. Moje volba provedení..... | 47 |
| 5.7. Kontrola přesahu..... | 48 |
| 5.8. Možnost praktického provedení..... | 48 |
| 5.8.1 Rozdíly srážky dvou vozidel a vozidla s bariérou..... | 49 |
| 5.9. Popis nárazu..... | 51 |
| 5.9.1 Definice veličin..... | 52 |
| 5.9.2 Hodnoty veličin u kolizí s pevným objektem..... | 53 |
| 5.9.3 Kolize dvou vozidel nebo vozidla s pohyblivou bariérou..... | 54 |
| 5.9.4 Shrnutí..... | 56 |
| 5.9.5 Příklad srážky dvou vozidel s 25 % přesahem..... | 56 |
| 5.9.6 Ekvivalentní srážka..... | 56 |
| 6. Srovnání výsledků testů..... | 58 |
| 6.1. Test s malým a mírným přesahem podle IIHS..... | 58 |
| 6.2. Vzájemné rozdíly testů IIHS..... | 59 |
| 6.3. Matematický vztah mezi nárazy..... | 64 |
| 7. Out-of-position konfigurace v autonomních vozidlech..... | 69 |
| 8. Model pohybu figuríny..... | 77 |
| 8.1. Kinematika jednotlivých částí těla..... | 77 |
| 8.1.1 Pánev..... | 77 |
| 8.1.2 Hrudník..... | 78 |
| 8.1.3 Hlava..... | 81 |
| 8.1.4 Konfigurace out of position..... | 84 |
| 8.1.5 Výpočet zranění hlavy..... | 84 |
| 8.1.6 Výsledek vybrané konfigurace out-of-position..... | 84 |
| 9. Závěr..... | 86 |
| Použitá literatura..... | 88 |
| Seznam obrázků..... | 90 |
| Seznam příloh..... | 92 |

1. ÚVOD

Nárazové zkoušky automobilů, nazývané rovněž crashtesty, jsou destruktivní zkoušky vozidel, prováděné za účelem testování pasivní bezpečnosti vozidel, tedy za účelem zjištění, jak moc je vozidlo nebezpečné pro svoji posádku při nárazu. Při nárazové zkoušce jsou ve vozidle umístěny napodobeniny lidí (figuríny), které jsou osazeny senzory. Tyto figuríny simulují posádku vozidla při nárazu. Vozidlo může být rovněž osazeno dalšími senzory. Poté je proveden náraz vozidla na překážku s přesně definovanými podmínkami (rychlost vozidla, poloha a tvar překážky) nebo jiné vozidlo (s přesně definovanou vzájemnou polohou a rychlostí) a jsou vyhodnoceny výsledky pomocí dat ze sensorů. Také se provádí test srážky s chodcem, kde místo pevné překážky je použita maketa chodce se senzory; v tomto případě se zkoumá především to, jak je srážka nebezpečná pro chodce. Hlavními a nejdůležitějšími výstupy jsou: průběh sil, které působily během nárazu a po nárazu na figuríny (ze kterého se dá posoudit, jestli by byl náraz pro lidi ve vozidle smrtelný, případně jak vážná zranění by jim způsobil), průběh pohybu figurín a míra deformace vozidla, a to nejen vnějšku, ale především vnitřku – prostoru pro posádku. Podle těchto dat je možné dojít k závěru, kterým může být úspěšná homologace vozidla k silničnímu provozu, která je vyžadována zákony, nebo počet bodů či „hvězdiček“, které poskytují informace pro spotřebitele o tom, jak je vozidlo při srážkách bezpečné.

U každého crashtestu jsou kromě výsledku zásadní také počáteční podmínky. Ty jsou proto přesně definované a je potřeba je dodržet, aby byl výsledek vypovídající. Neexistuje však jeden standard, jelikož tyto podmínky si určují společnosti provádějící tyto testy samy. Hodnocení vozidel se proto může u různých společností lišit. Obvykle je působnost společností vymezena geograficky. Mezi poskytovatele těchto testů patří evropský **Euro NCAP**, angloamerické **IIHS** a **NHTSA**, latinskoamerické **Latin NCAP**, čínské **C-NCAP**, australský **ANCAP** nebo například německý **ADAC**. Existuje velké množství dalších poskytovatelů crashtestů, ale cílem této práce není jejich výčet.

Úspěšnost vozidel v nárazových zkouškách má velký vliv na prodejnost daného vozidla. Například v roce 2006 vozidlo Daewoo Kalos získalo v testech Euro NCAP pouze 2 hvězdičky, což způsobilo značné snížení prodeje při uvedení na trh. Ke stejnému výsledku došel také ANCAP u vozidla Holden Barina, což je název vozidla Daewoo Kalos pro australský trh.

K situaci se tehdy musel vyjádřit tehdejší ředitel Holdenu Denny Mooney. [1] Je tedy zřejmé, že úspěšnost v crashtestech je nutnou podmínkou pro úspěch na trhu.

Následující tabulka srovnává rozdíly mezi testy prováděnými EuroNCAP (tedy v zemích EU) a IIHS (v USA) [32].

| Název testu IIHS | Ekvivalent EuroNCAP | Vlastnosti |
|-------------------------------------|---------------------------------|--|
| Moderate Overlap test | Offset-Deformable Barrier test* | Vozidlo 64 km/h, 40% přesah, statická deformovatelná bariéra |
| Small Overlap test – driver side | Není | Vozidlo 64 km/h, 25% přesah, statická tuhá bariéra |
| Small Overlap test – passenger side | Není | Vozidlo 64 km/h, 25% přesah na straně spolujezdce, statická tuhá bariéra |
| Side crash test | Side Mobile Barrier | IIHS – 50 km/h deformovatelná bariéra naráží z boku |
| | | EuroNCAP – 60 km/h deformovatelná bariéra naráží z boku |
| Roof strength test | Není | Snímání síly na střechu v závislosti na posuvu – viz níže |

* Tento test se prováděl do roku 2020, kdy byl nahrazen testem Mobile Progressive Deformable Barrier test, kde naráží vozidlo do protijedoucí deformovatelné bariéry s 50 % přesahem, přičemž oba objekty se pohybují 50 km/h; výsledky by měly být ekvivalentní [32]

Z tabulky vyplývá, že náraz s 25 % přesahem nemá u EuroNCAP ekvivalent, a jelikož se tato práce zabývá porovnáním nárazů s 25 % a se 40 % přesahem, budu se v práci věnovat testům prováděným IIHS, jelikož tato společnost provádí oba typy testů.

2. TESTOVÁNÍ VOZIDEL PODLE IIHS

The Insurance Institute for Highway Safety, neboli IIHS, je nezávislá a nezisková organizace mající za cíl snížit dopady (úmrtní, zranění a škody na majetku) dopravních nehod. IIHS byla založena v roce 1959 v USA. V roce 1969 začaly provádět testy nárazníků vozidel, což vedlo k zavedení amerických federálních standardů pro nárazníky. Dále crashtesty prováděné IIHS zjišťovaly nebezpečí úniku paliva při srážce zezadu (1973). Výzkumy IIHS z roku 1979 vedly k prodloužení doby oranžového světla na světelných signálech. V roce 1989 IIHS publikovalo informace, které porovnávaly jednotlivá vozidla podle počtu úmrtí řidičů. IIHS také prosazovalo od roku 1976 povinné umístění airbagů ve vozidlech, které posléze vešlo v platnost v roce 1990.

Velkým milníkem byl rok 1995, kdy IIHS začalo provádět crashtesty s přesahem (viz obr. 1), které věrněji testovaly odolnost vozidel při čelním nárazu, a výsledky těchto testů publikovali jako informace pro spotřebitele. Také začalo hodnotit hlavové opěrky vozidel z hlediska bezpečnosti při zadním nárazu. Následovaly testy bočního nárazu v roce 2003. Od roku 2005 společnost uděluje „Top Safety Pick award“, které je uděleno vozidlům, která dosáhnou maximálního skóre pro čelní, boční i zadní náraz. Od roku 2012 začalo IIHS používat nový druh testu čelní srážky, a to tzv. malý (neboli 25 %) přesah (viz obr. 2). Vozidla zpočátku nedosahovala v tomto testu příliš dobrých hodnocení, jelikož tento test klade větší nároky na vozidlo. Tento test byl prováděn pouze na straně řidiče, ale od roku 2017 se provádí také na straně spolujezdce. [2] [3] Právě testům s nárazem s mírným (40 %) a malým (25 %) přesahem se budu v této práci věnovat hlouběji.

2.1. Čelní náraz

Nejčastějším typem nehody vedoucí ke smrti jsou čelní nárazy. Je to především proto, že k těmto nárazům dochází v největší rychlosti. Proto se tyto testy začaly provádět jako první, a proto je také kladen velký důraz na co největší odolnost vozidel proti tomuto typu nárazu – co největší deformační zóna má pohltit co nejvíce energie, naopak sekce s posádkou vozidla je co nejpevnější a nejtužší, aby se deformace šířila do prostoru s posádkou co nejméně. IIHS provádí tři druhy testů čelního nárazu – test s mírným přesahem, test s malým přesahem na straně řidiče a test s malým přesahem na straně spolujezdce. Na rozdíl od testů NHTSA, které se v USA také provádějí a kde vozidlo naráží do překážky v plné šířce, v testech IIHS naráží vozidlo vždy s přesahem, tj. ne v celé šířce. [4]

2.1.1 Test s mírným přesahem

Tento test je ze zmíněných nejstarší, dříve se nazýval čelní test s přesahem. Od doby zavedení testu byla výrazně zlepšená tuhost částí vozidla s pasažéry, což společně s rozšířením bezpečnostních pásů a airbagů vedlo k výraznému zlepšení výsledků vozidel.

V tomto testu se vozidlo pohybuje rychlostí 40 mil za hodinu (což odpovídá 64,4 km/h nebo 17,9 m/s) proti překážce z hliníkové struktury, která je deformovatelná. Překážka je vysoká přes 2 stopy (neboli 610 mm). Na místě řidiče je umístěna figurína typu Hybrid III 50th Male, která odpovídá průměrnému dospělému muži (viz kapitola 2.5). Do překážky naráží 40 % šířky vozidla na straně řidiče. Konfiguraci tohoto testu popisuje obrázek 1.



Obrázek 1

EuroNCAP do roku 2020 prováděl téměř shodný test s názvem Offset-Deformable Barrier (ODB), kde byla rychlost nárazu a přesah stejný, rozdíl byl pouze v tom, že u testu ODB byly ve vozidle dvě „dospělé“ figuríny na předních sedadlech a na zadních sedadlech byly „dětské“ figuríny. Použitá bariéra měla také mírně odlišné charakteristiky. Od roku 2020 tuto zkoušku nahradil Mobile Progressive Deformable Barrier test, kde se sráží protijedoucí vozidlo a deformovatelná bariéra vážící 1400 kg, přičemž oba tyto objekty se pohybují 50 km/h. Přesah je 50 %. Opět jsou zde „dospělé“ figuríny vpředu a „dětské“ vzadu. [32]

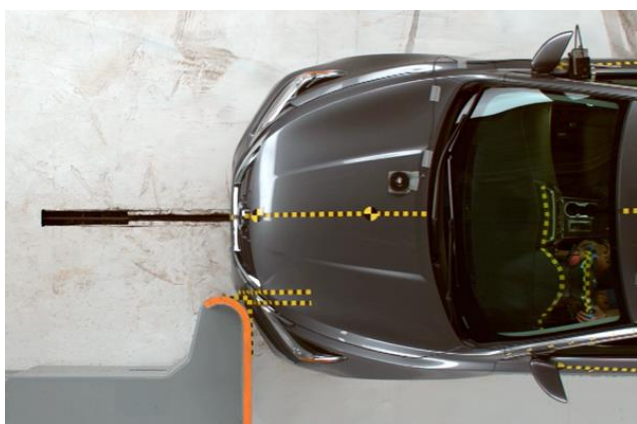
2.1.2 Test s malým přesahem na straně řidiče

V roce 2012 byl zaveden tento test za účelem dalšího zlepšení pasivní bezpečnosti vozidel. Test simuluje náraz levého předního rohu vozidla do jiného vozidla nebo například stromu či tyče s dopravní značkou. Tento náraz se liší od předchozího také tím, že se posádka vozidla pohybuje po nárazu vůči vozidlu nejen dopředu, ale také mnohem více do strany (boční relativní pohyb figuríny u nárazu s mírným přesahem je mnohem méně výrazný).

V tomto testu se vozidlo pohybuje rychlostí 40 mil za hodinu (opět 64,4 km/h nebo 17,9 m/s) proti překážce vysoké 5 stop (1524 mm). Tato překážka je pevná, tzn.

nedeformovatelná. Je použita opět figurína Hybrid III na místě řidiče. Do překážky naráží 25 % šířky vozidla na straně řidiče.

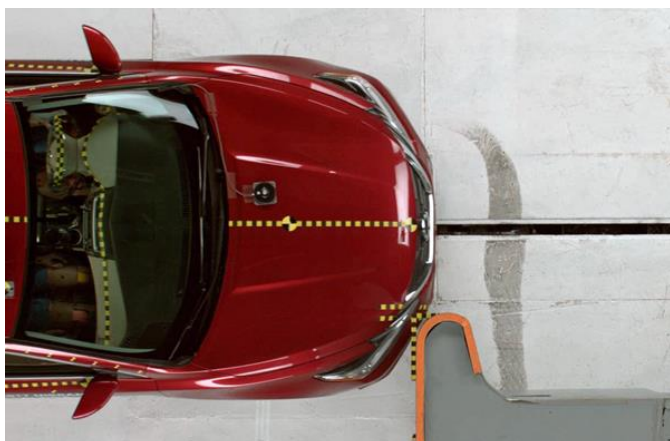
Jak je obvyklé při uvedení nového způsobu testování, i v tomto případě byly výsledky vozidel zpočátku horší. Hlavním důvodem je to, že většina deformačních zón je soustředěna v prostřední části vozidla, tudíž je jejich účinnost pro tento test značně omezená. Síly působí na přední kolo a odpružení. Často je navíc kolo vtlačeno do prostoru pro nohy řidiče, což může způsobit vážná zranění. Bylo nutné upravit klec vozidla tak, aby odolala silám působícím v těchto místech. Dále pomohlo umístění bočních a bočních hlavových airbagů. Na obrázku 2 je vidět, jak tento test vypadá. EuroNCAP neprovádí žádný test, který by byl podobný tomuto testu.



Obrázek 2

2.1.3 Test s malým přesahem na straně spolujezdce

Ačkoliv se test s malým přesahem osvědčil a došlo ke zpevnění klece vozidla a zlepšení bezpečnosti při testech s malým přesahem na straně řidiče, výzkum IIHS zjistil, že někteří výrobci toto vylepšení provedli jen na straně řidiče. Proto začali s testováním také na straně spolujezdce. Překážka je stejná, ale tvar má samozřejmě zrcadlový. Na rozdíl od testu na straně řidiče jsou tady figuríny umístěny dvě, jedna na místě řidiče a druhá na místě spolujezdce. Konfigurace je patrná na obrázku 3. EuroNCAP neprovádí žádný test, který by byl podobný tomuto testu.



Obrázek 3

2.1.4 Kritéria hodnocení

V testech se vyhodnocují tři faktory, které určují úspěšnost vozidla v testu:

- **Pevnost klece:** Je změřeno množství materiálu, který po kolizi vnikne do oblasti pro pasažéry v kritických oblastech. Vyhodnotí se množství a také tvar vniknuvší hmoty a podle toho se posoudí, jak moc mohou být ohroženy osoby ve vozidle.
- **Měření zranění:** Figuríny mají umístěny senzory v hlavě, krku, hrudníku, nohou a chodidlech. Po nárazu jsou data z těchto senzorů vyhodnocena a lze z nich získat pravděpodobnost zranění osob.
- **Pohyb figurín:** Jelikož ve skutečnosti nejsou vždy pasažéři stejně vysokí jako figuríny a nejsou často ani usazeni v ideální poloze (nejsou zcela opřeni, nemají správně nastavené sedadlo apod.), je potřeba vzít v úvahu fakt, že např. pokud figurína při nárazu zastaví svůj pohyb těsně před volantem, skutečná osoba do něj může narazit. Aby byl zaznamenán pohyb figurín, je použita vysokorychlostní kamera. Navíc jsou hlava, kolena a spodní část nohou natřeny barvou, která při kontaktu s částmi vozidla zanechává otisk. Tato opatření umožní přesně sledovat pohyb figurín a předpovědět pravděpodobnost zranění pro skutečné srážky.

2.2. Boční náraz

Boční nárazy způsobují zhruba 25 % úmrtí při dopravních nehodách v USA. Ochrana při tomto typu nárazu je poněkud obtížnější, jelikož bok vozidla nenabízí na rozdíl od přední a zadní části vozidla mnoho prostoru pro deformační zónu a ochrannou klec. Od doby, kdy se tyto testy zavedly, byl v tomto směru učiněn značný pokrok. Kromě zavedení bočních airbagů, které snižují šanci přímého nárazu do částí vozidla a rozprostřou působící sílu na větší plochu,

čímž sníží tlak na určitá místa na osobě a tím také riziko zranění, se také zvýšila pevnost ochranné klece. [5]

2.2.1 Historie

Testování v IIHS začalo v roce 2003. Ačkoliv NHTSA již provádělo tento typ testování, IIHS jej zavedlo také, jelikož testování dle NHTSA nesimulovalo dle názoru IIHS dostatečně reálně skutečnou nehodu. Důvodem bylo to, že překážka, která nabourá do vozidla, byla vytvořená v 80. letech v době, kdy nebyla rozšířena vozidla typu SUV a pickup, která jsou v USA dnes relativně častá a která jsou vyšší, a tím pádem mohou ohrožovat také hlavu řidiče. Porovnání mezi výškami těchto bariér je patrné z obrázku 4, kde žlutá je překážka NHTSA a stříbrná je výška překážky IIHS.



Obrázek 4

2.2.2 Provedení testu IIHS

V testu je použita pohyblivá překážka o hmotnosti 3300 liber (1497 kg, simulující SUV), která narazí do dveří na straně řidiče v rychlosti 31 mil za hodinu (49,9 km/h). Ve vozidle jsou figuríny SID-II, které svou velikostí odpovídají ženám malého vzrůstu (nižšího, než je 95 % dospělých žen) nebo průměrně vysokému dvanáctiletému dítěti. Tyto figuríny jsou umístěny na pozici řidiče a také na levé zadní sedačce. Tyto figuríny byly zvoleny, jelikož ženy, obzvláště menšího vzrůstu, jsou náchylnější ke zranění hlavy při tomto typu srážky.

Tento test je poměrně náročný a je málo pravděpodobné, že by osoby při podobné srážce vyvázly bez zranění. Je však možné vyvážnout bez vážných zranění, pokud je vozidlo dostatečně chráněné.

EuroNCAP provádí podobný test, který se liší nárazovou rychlostí (60 km/h) a použitou figurínou (použit je 50percentilový muž), také bariéra je nižší (nesimuluje vozidlo typu SUV, ale běžný sedan, combi nebo hatchback). [32]

2.2.3 Kritéria hodnocení

Opět se vyhodnocují tři faktory, které tvoří celkové hodnocení:

- **Měření zranění:** Měření probíhá podobně jako u čelního nárazu, ale liší se umístění senzorů – ty jsou umístěny v hlavě, krku, hrudníku, břichu, pánvi a stehnu. Největší důraz je kladen na data z horní části těla.
- **Ochrana hlavy:** Na hlavu je nanesena barva, která zanechává stopy. V ideálním případě by měla být po nárazu celá na bočním hlavovém airbagu. I zde se používá vysokorychlostní kamera, aby bylo možné určit také pravděpodobnost zranění i pro osoby jiných fyzických proporcí oproti figurínám.
- **Pevnost klece:** Je měřeno množství materiálu, který pronikne do prostoru pro cestující v okolí B-sloupku (sloupek mezi dveřmi). Důležité je nejen množství, ale také pozice a tvar – zatímco v některých oblastech tento průnik nepředstavuje větší riziko, v jiných (například oblast hlavy) je i malé množství velkým rizikem.

2.3. Test pevnosti střechy

Další nezanedbatelnou příčinou úmrtí nebo těžkých zranění při nehodě je převrácení vozidla na střechu. Nejlepší je těmto převrácením předcházet (například pomocí elektronických systémů kontroly stability), ale je důležité rovněž zajistit, aby v případě převrácení vozidla střecha vydržela tlak způsobený tíhou vozidla a nepraskla. K tomu je nutné, aby sloupky vozidla měly dostatečnou pevnost. Pokud je tato podmínka splněná, vozidlo je vybaveno bočními airbagy a cestující jsou připoutáni, je riziko vážných zranění značně sníženo. Právě pevnost střechy je v rámci testování vozidla rovněž zkoušena. [6]

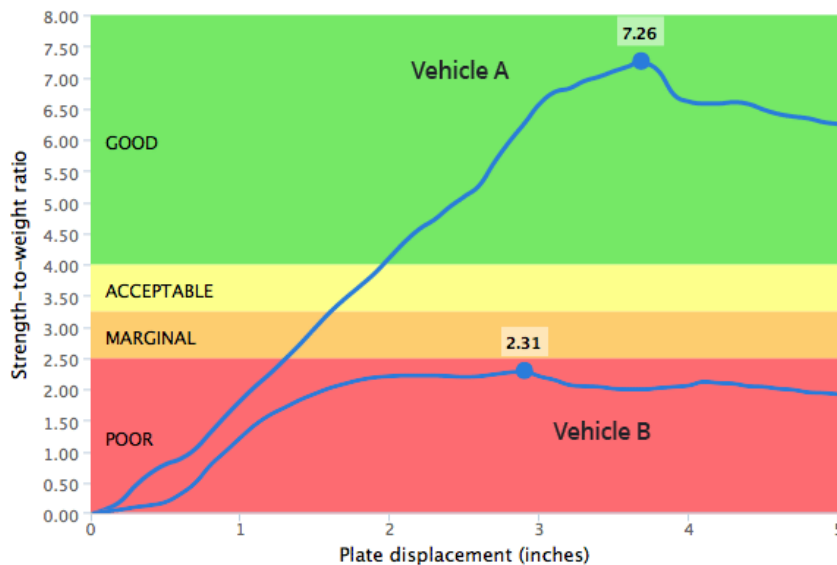
2.3.1 Provedení testu dle IIHS

Test probíhá takto: Na střechu vozidla je tlačena kovová deska v pomalé konstantní rychlosti a je měřena síla, která je potřebná k postupu. Poloha je patrná z obrázku 5.



Obrázek 5

Síla postupně roste až do určitého okamžiku, kdy začne klesat. A právě tento bod maxima je určující. Závislost se vynáší do grafu, kde na vodorovné ose je posun a na svislé hodnota síly dělená hmotností vozidla. Maximum tohoto koeficientu určuje, jak vozidlo uspělo – rozmezí pro dané výsledky je patrné z obrázku 6.



Obrázek 6

2.4. Další testy

IIHS provádí další testy, například test hlavových opěrek a sedaček, test systémů prevence srážky, test předních světel vozidla nebo test dětských zádržných systémů. Účelem této práce však není popsat všechny typy testů, a proto se těmto testům nebudu dále věnovat.

2.5. Figuríny užívané v testech

Jak již bylo zmíněno, v nárazových zkouškách je potřeba umístit do vozidla figurínu. Těch existuje celá řada různých typů, které se liší proporcemi i místy, kam lze umístit senzory. Není náplní této práce vyjmenovat a detailně popsat kompletní nabídku těchto figurín, tudíž se budu hlouběji věnovat pouze figurínám, používaným v testech IIHS.

2.5.1 Hybrid III

Tento typ figurín je používán při zkouškách čelního nárazu. IIHS při těchto testech používá typ **50M**, což znamená 50 – percentilový muž (figurína, která svými proporcemi odpovídá dospělému muži, který je vyšší než 50 % dospělých mužů; je zobrazena na obrázku 7) a kterému se budu dále podrobněji věnovat. Dále existují figuríny Hybrid III 95M nebo 5F, které však IIHS k těmto testům obecně nepoužívá. Jejich hlavní rozdíl spočívá v tělesných proporcích. [8]

Lebka figuríny je z jednoho kusu z hliníku, který je pokryt vinylovou „kůží“, která je odnímatelná. Konstrukce krku je z gumy a hliníku, uvnitř je lano. Konstrukce má za snahu co nejvěrněji napodobit fyziognomii člověka včetně tuhosti krčních obratlů. [8]

Co se týká horní části trupu, žebra jsou vyrobena z pevnostní oceli potažená polymerem, který napodobuje povrch skutečných žeber. Žebra jsou ukotvena k páteři a spojena v místě hrudní kosti, podobně jako je to u skutečného člověka. Dále je důležitá klíční kost, která je hliníková. Tato kost zajišťuje přenos části sil z bezpečnostního pásu. [8]

Spodní část trupu obsahuje také část páteře, která je zahnutá a vyrobená z gumy, čímž zajišťuje pohyblivost a možnost realistického usazení do sedačky. Je připojena k pánvi. Pánev má vinylovou kůži s uretanovou pěnou, pod těmito vrstvami je hliníkový základ. Co se týká stehenní a lýtkové kosti a kotníku, je možné je osadit senzory za účelem zjištění povahy a rozsahu zranění nohou. [8]



Obrázek 7

2.5.2 SID-IIs

Tento typ figuríny používá IIHS při testech bočního nárazu. Byla vyvinutá v roce 1994, fyzickými proporcemi odpovídá 5 – percentilové ženě nebo průměrnému 12–13 let starému dítěti. Je zobrazena na obrázku 8. [9]

Hlava a krk figuríny jsou řešeny podobně, jako u figuríny Hybrid III 5F. Její konstrukce je uzpůsobena k tomu, aby co nejděleji simulovala chování skutečného těla při nárazu. [9]

Hrudník je vyroben z oceli Vascomax[®] potažené polymerem. Torzo je asymetrické (ruka je pouze na jedné straně), ale je možné jej otočit o 180°, tudíž lze použít stejnou figurínu na náraz zprava i zleva. Do páteře a žeber lze zabudovat senzory na snímání velikostí působících sil. Senzory se umisťují také do ramene a ruky. [9]

Spodní část páteře je řešená obdobně, jako u figurín Hybrid III. Spodní část těla umožňuje provádět testy opakovaně. Konstrukce nohou je založena na figuríně Hybrid III 5F. [9]



Obrázek 8

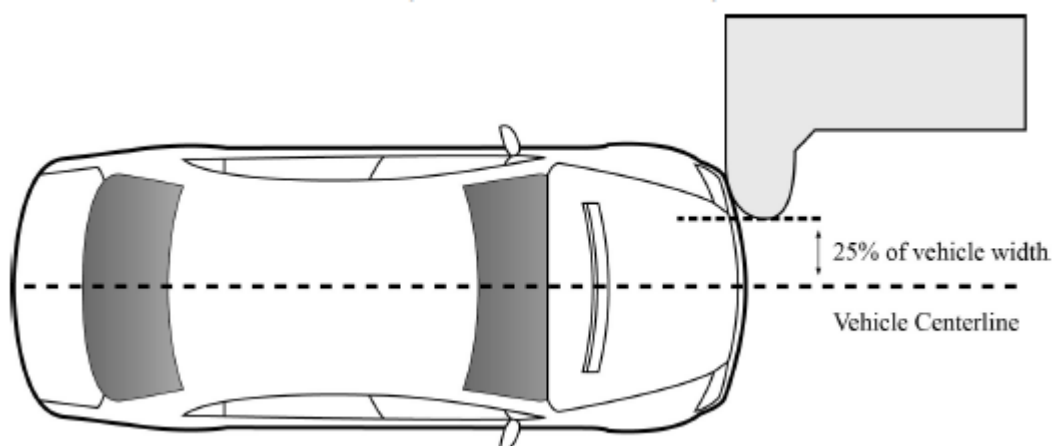
3. SPECIFIKACE TESTŮ

Každý crash test musí být proveden přesně podle specifikací, což zajistí jeho průkaznost a umožní srovnávání výsledků mezi jednotlivými vozidly. Toto se týká samozřejmě také testů s malým a mírným přesahem, kterým se nyní budu detailně věnovat. Nejprve popíšu náraz s malým přesahem na straně řidiče, rozdíl pro náraz na straně spolujezdce zmíním nakonec.

3.1. Podmínky testu s malým přesahem na straně řidiče

3.1.1 Náraz

Test s malým přesahem se provádí v rychlosti $(40 \pm 0,6)$ mph neboli $(64,4 \pm 1)$ km/h s přesahem (25 ± 1) %. K určení přesahu je potřeba změřit šířku vozidla, která je definována jako maximální šířka měřená mezi nejširšími místy vozidla, mimo vnějších zrcátek, blatníků a přesahujících světel. Konfigurace testu je zobrazená na obrázku 9.



Obrázek 9

Vozidlo je zrychlováno průměrným zrychlením 0,3 g až do okamžiku dosažení testové rychlosti. Zhruba 25 cm před překážkou je vozidlo uvolněno. Jednu sekundu po uvolnění jsou aktivovány zadní brzdy vozidla. [20]

3.1.2 Bariéra

Neděformovatelná bariéra je tvořena svislým ocelovým plátem, jeho okraj má rádius. Rozměry jsou patrné z obrázku 10.

Figure 2
Flat 150 Barrier, Top and Isometric Views

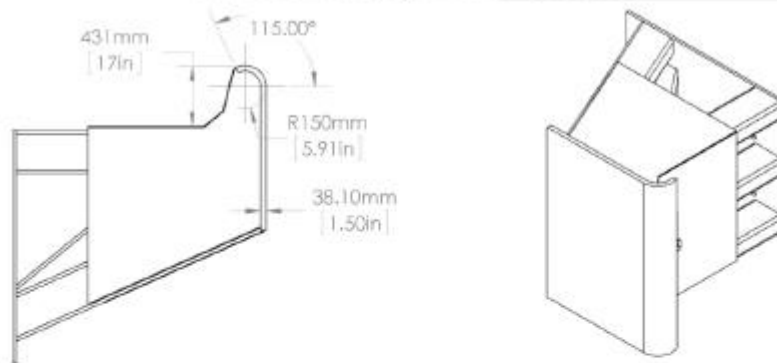


Figure 3
Flat 150 Barrier, Side and Front Views



Obrázek 10

Bariéra má za sebou volný prostor, což umožňuje vozidlu pokračovat v pohybu i po nárazu. [20]

3.1.3 Příprava vozidla

U každého vozidla je nejprve provedena inspekce, která případně odhalí předchozí opravy. Dále je ověřena provozuschopnost vozidla a zkontrolovány chybějící části nebo úniky kapalin. V případě potřeby je vozidlo opraveno nebo vyměněno.

Z vozidla jsou vysáty všechny kapaliny z motoru a převodovky (oleje). Je odebráno také palivo, které je nahrazeno nehořlavou kapalinou o objemu 90 až 95 procent nádrže. Krátce je spuštěn motor, aby byla kapalina nasáta do palivového systému. Z baterie je vysát elektrolyt, také je odstraněno mazivo z levé přední nápravy.

U elektromobilů se test provádí s kapacitou baterie ($12,5 \pm 2,5$) procenta nebo minimálním dojezdem 25 mil. Hybridní automobily mají baterii vybitou. K bateriím je také připojen termočlánek, který odhalí případné přehřátí baterie.

Do vozidla jsou rovněž umístěny kamery. Umisťují se na A-sloupek u pravých předních dveří, na pravé zadní dveře a dvě na střechu v zadní části. Dále jsou do vozidla umístěna světla ke kamerám. Celková hmotnost těchto zařízení je 25,5 kg.

Přední část vozidla je připevněna k pohonnému systému pomocí řetězů. Ty jsou k vozidlu připevněny buď pomocí háků navařených k rámu vozidla nebo bloku motoru, nebo pomocí pásků omotaných kolem vhodných částí vozidla, ne však k odpružení. Zadní část vozidla je připevněna k pohonnému systému pomocí nylonového pásku. Celkově tento přípravek váží 10,0 kg.

Do zavazadlového prostoru je nainstalován hliníkový rám, kam je umístěno vybavení potřebné pro test. Dno zavazadlového prostoru je odebráno, což umožní přístup k podlaze. Podle potřeby může být odebráno rezervní kolo, třetí řada sedaček nebo další příslušenství. Poté je instalováno následující vybavení:

- Nouzový brzdový systém – při aktivaci aplikuje natlakovaný dusík na brzdovou kapalinu na zadní kola. Zbývající brzdová kapalina je odebrána. Tento systém je připojen k brzdovému systému pomocí pružných hadic. Celé toto zařízení váží 10,6 kg.
- Dvanáctivoltová baterie a sledovací systém – dodává elektrickou energii pro vozidlo, nouzový brzdový systém, systém získávání dat a bezdrátové spojení s přijímačem mimo vozidlo, kam se data odesílají. Systém váží 32,5 kg, navíc se vně vozidla montuje vysílač, vážící 1,5 kg.
- Elektrický zdroj pro kamery a světla – dodává energii pro vysokorychlostní kamery a LED osvětlení. Váží 26,0 kg.

Celková hmotnost vozidla je o 125 až 175 kg vyšší, než je pohotovostní hmotnost vozidla.

Pokud je potřeba hmotnost zvýšit, aby byla splněna tato podmínka, jsou do vozidla umístěny ocelové pláty. Pokud je potřeba ji snížit, jsou z vozidla odebrány předměty, které nejsou součástí pevné struktury vozidla.

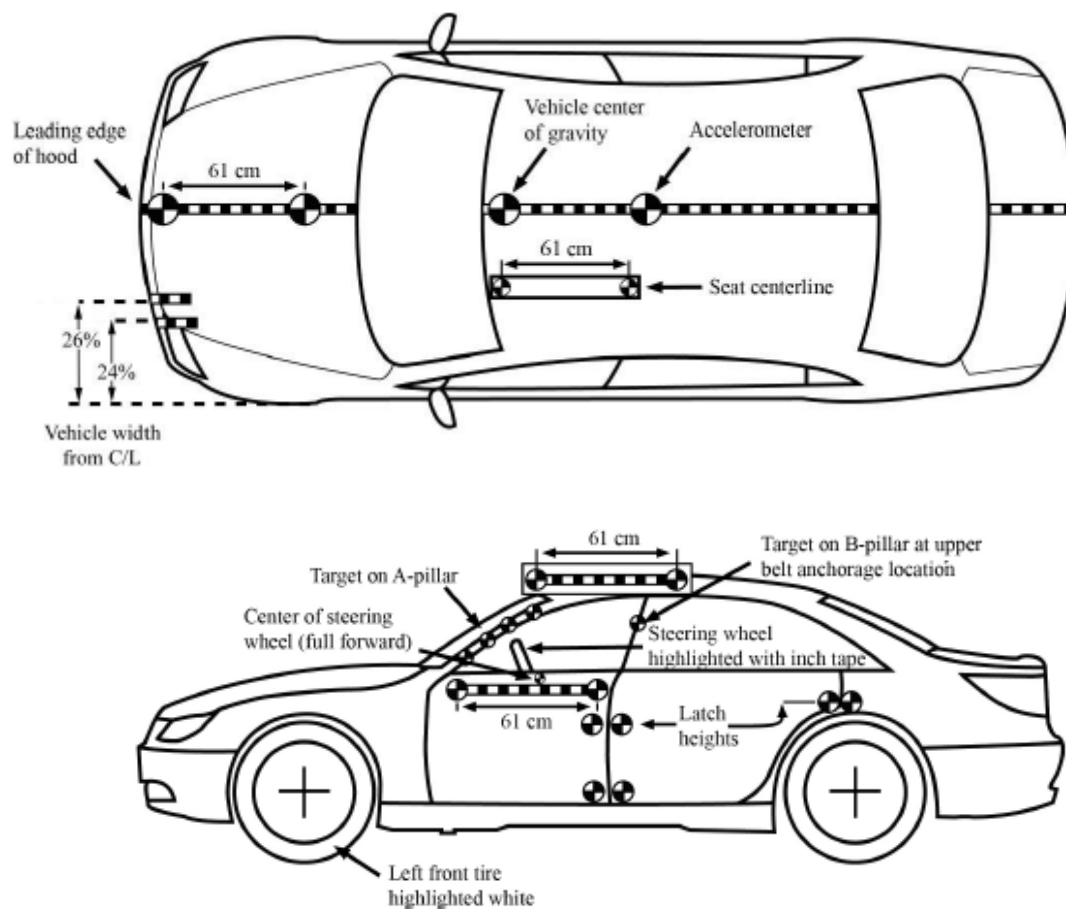
Do zadní části pro pasažéry je navařen ocelový plát, kam je umístěn akcelerometr. Dno je i zde odebráno, aby bylo možné plát svařit se strukturou vozidla.

Pojistky pro světla vozidla jsou odebrány, aby se snížila spotřeba elektrické energie během testu.

Na kapotu motoru je namontován plastový blok se silným LED osvětlením pomocí kovových šroubů. Další LED osvětlení je umístěno do vozidla, aby osvětlovalo zorné pole kamer. Na přední části vozidla jsou spínače, které naráží do překážky jako první a aktivují osvětlení a systém pro sběr dat.

Na vnější povrch vozidla je umístěna lepicí páska žlutočerné barvy. Páska označuje středovou čáru vozidla. Další pásky označují místa 24 % a 26 % šířky vozidla, což vyznačuje toleranci pro místo nárazu. Dále jsou na vozidlo nalepeny nálepky označující významné body

vozidla. Jedná se o kapotu, těžiště vozidla, umístění akcelerometru, volantu a řidiče. Na obrázku 11 je zobrazené umístění na vozidle.



Obrázek 11

Z předních sedaček jsou odmontovány hlavové opěrky a jsou deaktivovány airbagy na straně spolujezdce. Všechny dveře jsou zavřené, ale odemčené, s výjimkou vozidel s automatickým uzamknutím při jízdě – zde jsou ponechány zamčené. Všechna okna jsou otevřená, zapalování je zapnuté a je vyřazený rychlostní stupeň (stupeň N u automatické převodovky). [20]

3.1.4 Příprava figurín

Jak již bylo zmíněno ve druhé kapitole, je používána figurína typu Hybrid III 50M. Ta je umístěna do sedadla řidiče. Chodidlo je modifikováno tak, aby v něm byly umístěny dva akcelerometry, modifikován je i kotník. Dále je modifikována páteř, do které je umístěn systém pro získávání dat. Modifikace jsou prováděny tak, aby se co nejméně změnila hmotnost a momenty setrvačnosti figuríny.

Použité figuríny nesmí mít za sebou více než pět crashtestů. V případě potřeby se před testem figuríny překalibrují. Po testu se všechna viditelná poškození opraví.

Figuríny jsou spolu s vozidlem před testem umístěny v oblasti s kontrolovanou teplotou, která je mezi 20 a 22 stupni Celsia s relativní vlhkostí vzduchu 10 až 70 procent, a to po dobu nejméně 16 hodin. Figurína je po tuto dobu připoutána bezpečnostním pásem. Hlava, kolena, holeně a dlaň levé ruky jsou natřeny barvami, které při doteku částí vozidla zanechají stopu. Na levou i pravou stranu hlavy jsou nalepeny značky, které označují polohu těžiště hlavy. [20]

3.1.5 Fotografie

Před zkouškou a po zkoušce je vozidlo vyfotografováno. V obou případech se jedná o dvě fotografie, které zobrazují levý bok a levou přední čtvrtinu vozidla. Dále je před nárazem fotografována pozice figuríny řidiče. Další fotografie je zaměřena na přesné zaznamenání pozice nohou figuríny. Po nárazu je kromě výše zmíněných fotografií zdokumentována také pozice figuríny.

Dále je při testu použito devět vysokorychlostních kamer, které pořizují fotografie ve frekvenci 500 snímků za sekundu. [20]

3.2. Měření a vyhodnocení

Kromě specifikací nárazu je potřeba definovat také způsoby měření veličin, které při testu hrají roli.

3.2.1 Hmotnost vozidla

Vozidlo je váženo pomocí váhy pod každým kolem vozidla. Vážení probíhá až po instalaci veškerého vybavení včetně figuríny řidiče. Z hmotností přední a zadní nápravy je určena poloha těžiště vozidla v podélném směru. [20]

3.2.2 Rychlost nárazu

Rychlost nárazu je určena pomocí zprůměrování údajů ze dvou kamer, které měří rychlost vozidla na úseku 1 až 1,5 metru před místem nárazu. Pohonný systém má rovněž systém pro měření rychlosti (také na optickém principu), který funguje jako záložní. Ten měří rychlost tažného přípravku před uvolněním vozidla, konkrétně ve vzdálenosti od 1 do 0,5 metru před místem uvolnění. [20]

3.2.3 Přesah

Po nárazu je nutné ověřit, jestli přesah odpovídá dovolené hodnotě. Toho je dosaženo pomocí plastové nástavby s černožlutou páskou, jejíž roh se musí vejít mezi dvě pásky na

vozidle, označující 24 a 26 procent přesahu; konfigurace je patrná na obrázku 12. [20]



Obrázek 12

3.2.4 Zrychlení

Lineární zrychlení oblasti pro pasažéry ve třech navzájem kolmých směrech (podélný, příčný a svislý) je měřeno pomocí akcelerometru a zaznamenáváno do systému pro získávání dat. Kladný směr je definován pro jednotlivé osy jako dopředu, doprava a dolů. [20]

3.2.5 Integrita palivového systému

V rámci testů je zjištěna také odolnost palivového systému proti únikům. Jednu minutu po nárazu je vysáta veškerá kapalina uniklá z palivového systému – je nasáta do savé hmoty, která je předtím a poté zvážena a rozdíl hmotností je roven hmotnosti nasáté kapaliny. Další kapalina je zajištěna pět minut po nasátí první. Zde se sběr provádí pomocí pánví, umístěných do míst, kde je viditelný únik kapaliny. Za dalších 25 minut je stejným způsobem, ale do nových pánví, získána třetí várka kapaliny. Tento systém nám umožní změřit hmotnost uniklé kapaliny, což umožní při znalosti hustoty kapaliny (790 g/l) zjistit její objem. [20]

3.2.6 Integrita elektrického systému

Vozidla s hybridním nebo plně elektrickým pohonem jsou podrobena dalšímu pozorování, které sleduje, jestli nedošlo k nebezpečnému narušení elektrického obvodu. Jedná se o měření úniku elektrolytu a narušení izolace, stejně jako měření teploty baterie. [20]

3.2.7 Měření vniknuté hmoty

Jedním z klíčových výstupů nárazové zkoušky je množství materiálu, který pronikl do vozidla. Toto měření je provedeno na 18 místech, která jsou definována pomocí souřadnicového systému. [20]

Souřadnicový systém

Je použitý pravotočivý pravoúhlý systém. Osy má podélnou (kladný směr je zepředu dozadu), příčnou (kladný směr je zleva doprava) a svislou (kladný směr je odzola nahoru).

Systém je definován na nenaloženém vozidle před srážkou, kde podlaha definuje rovinu X-Y a dva koncové body středové čáry střechy vozidla definují osu x. [20]

3.2.8 Pohyby figuríny

Pohyby figuríny jsou analyzovány na základě vysokorychlostního videa. Kontakt figuríny s částmi vozu je zaznamenán díky nátěru, který zanechává stopy při dotyku.

Hned po nárazu je provedena kontrola figuríny a je zaznamenáno veškeré poškození nebo nepřírozená pozice. Posléze je analyzováno video a z něj je možné určit časovou posloupnost událostí po nárazu. Kamery snímají s frekvencí 500 snímků za sekundu, což znamená, že okamžik jednotlivých událostí, například přesný okamžik nárazu, lze zjistit s přesností na 2 ms. Kromě tohoto okamžiku je důležitá aktivace airbagu, jeho naplnění, první kontakt figuríny s částmi vozidla a případně další události. [20]

Vybavení figuríny

Figuríny jsou vybaveny množstvím senzorů, které měří síly působící na jednotlivé části. Z těchto údajů lze zjistit pravděpodobnost a rozsah zranění, které by nastalo v důsledku nárazu. Sensory se pravidelně kalibrují, nejméně každých 12 měsíců.

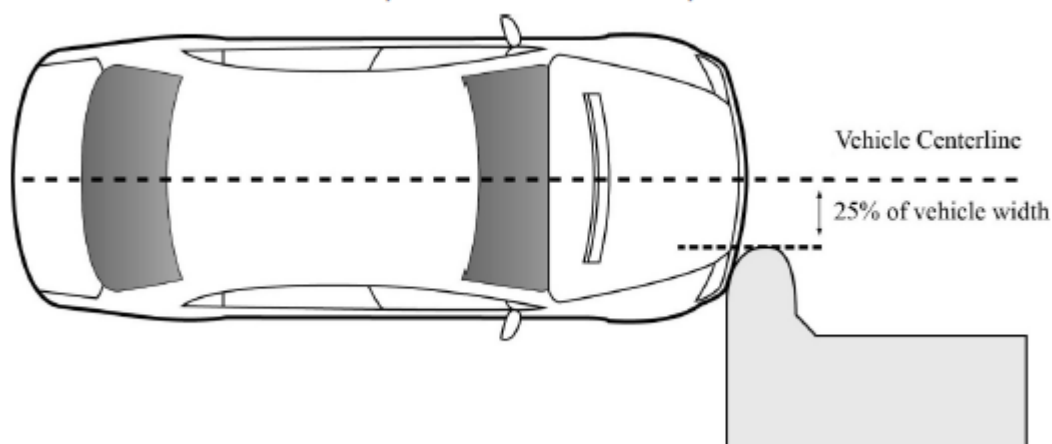
V hrudi figuríny je umístěn systém pro získávání dat DTS TDAS G5. Během nárazu jsou data ze senzorů ukládána do paměti tohoto systému se vzorkovací frekvencí 10 kHz. [20]

3.3. Podmínky testu na straně spolujezdce

Nárazová zkouška s malým přesahem na straně spolujezdce je principiálně podobná jako při nárazu na straně řidiče, ale existují zde určité rozdíly. Jedná se o následující odlišnosti: [20]

- Bariéra má shodné vlastnosti, ale je zrcadlově otočená podél středové čáry vozidla (osy x)
- Vozidlo naráží do překážky opět s přesahem $(25 \pm 1) \%$, ale tentokrát na pravé straně. Konfigurace je patrná z obrázku 13.

Figure E-1
Vehicle Overlap with Flat 150 Small Overlap Barrier



Obrázek 13

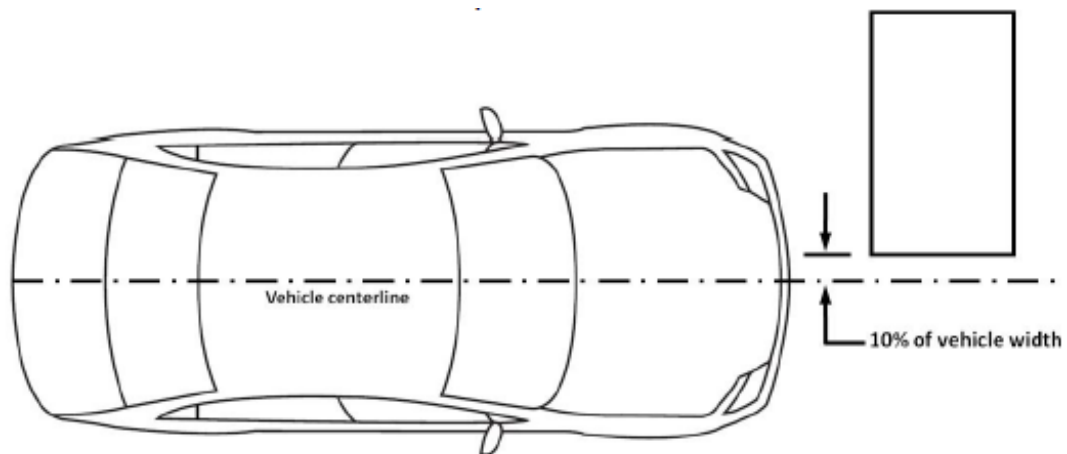
- Brzdy jsou aktivovány 0,5 sekundy po uvolnění z tažného systému.
- Kromě figuríny řidiče je ve vozidle umístěna také figurína spolujezdce, opět se jedná o figurínu typu Hybrid III.
- Hmotnost vozidla pro test je o 200–275 kg vyšší než pohotovostní hmotnost vozidla.

3.4. Porovnání s nárazem s mírným přesahem

Dalším testem, který se často provádí, je test s mírným přesahem. Tento test byl prováděn jako vůbec první. Ačkoliv má některé parametry shodné s testem s malým přesahem, jsou zde i rozdíly.

3.4.1 Podmínky nárazu

Oba testy se shodují v rychlosti ($40 \pm 0,6$) mph neboli ($64,4 \pm 1$) km/h, ale rozdílný je přesah – zde činí (40 ± 1) %. Vozidlo naráží na straně řidiče a je umístěno tak, že středová rovina vozidla je posunutá o 10 % šířky vozidla oproti okraji bariéry. Další parametry jako zrychlení, uvolnění z tažného systému a aktivace brzd jsou stejné. Obrázek 14 ilustruje, jak vypadá konfigurace nárazu. [21]



Obrázek 14

3.4.2 Bariéra

Podstatný rozdíl je v překážce. Zatímco u nárazu s malým přesahem je překážka celá nedeformovatelná, u nárazu s mírným přesahem je na překážce deformovatelná nástavba. Překážka se skládá z nedeformovatelné základny o rozměrech (184x366x542) cm a o hmotnosti 145 150 kg. Dále je na ní nedeformovatelná nástavba o rozměrech 91x183x125 cm. Na této nástavbě je nástavba další, tentokrát deformovatelná. Její tvar a rozměry jsou patrné z obrázku 15. [21]

Figure 2
Deformable Barrier Elements

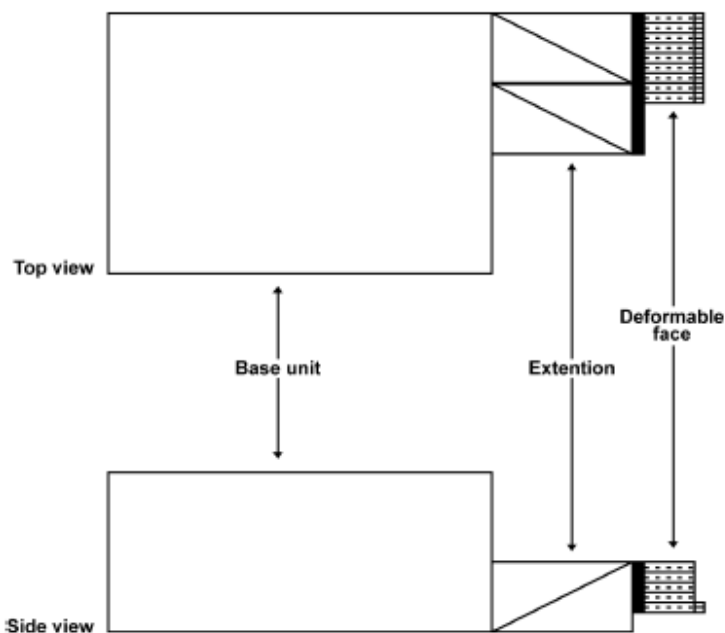
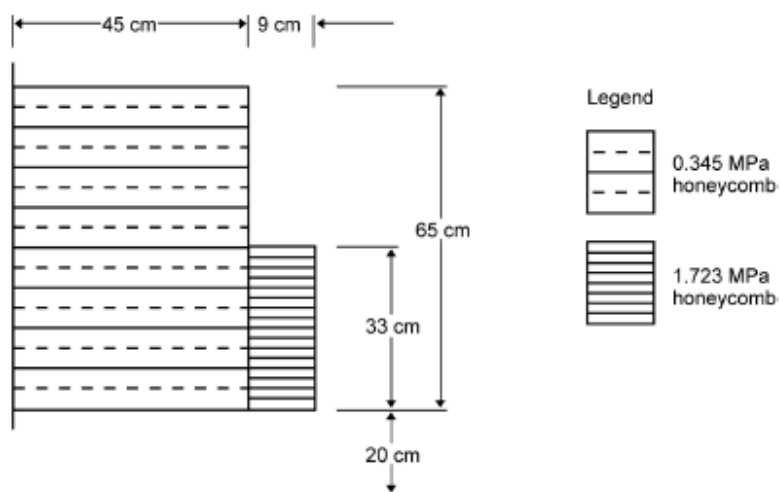


Figure 3
Deformable Barrier Face Profile and Dimensions

Single Stage with Bumper Element



Obrázek 15

3.4.3 Příprava vozidla

Vozidlo je připravováno v zásadě stejně, jako pro test nárazu s malým přesahem. I zde je použita jedna figurína řidiče typu Hybrid III 50th Male. Co se týká vnějšího označení vozidla, fototerče a pásy jsou nalepeny na stejná místa, kromě pásek označujících požadované místo nárazu hrany bariéry – ty jsou samozřejmě umístěny do míst 39 a 41 % šířky vozidla.

Dále je použité odlišné uspořádání a pozice vnějších kamer, aby byly získané záběry co nejefektivnější. Je zde také použité menší množství referenčních bodů ve vozidle. Jedná se o bod na volantu, dva body na spodní části přístrojové desky, bod na brzdovém pedálu, tři body

v místě opření pat tzv. toepan, jeden na opěrci pro levou nohu, až čtyři na úchytech sedačky, jeden na A sloupku a jeden na B sloupku. [21]

3.5. Shrnutí

Následující tabulka shrnuje základní parametry pro test s mírným a malým přesahem.

| Parametr | Test s malým přesahem | Test s mírným přesahem |
|--|------------------------------|-------------------------------|
| Rychlost [km/h] | 64,4 ± 1 | 64,4 ± 1 |
| Přesah [%] | 25 ± 1 | 40 ± 1 |
| Překážka | Neděformovatelná | Deformovatelná |
| Nárůst hmotnosti oproti pohotovostní [kg] | 125–175 | 100–175 |
| Figurína řidiče | Hybrid III 50M | Hybrid III 50M |
| Počet referenčních bodů ve vozidle | 16 | 14 |

4. VEDENÍ VOZIDLA

Pokud chceme provést nárazovou zkoušku, je potřeba vozidlu (nebo vozidlům) udělit rychlost, která je pro daný crash test specifická. Způsobů, jak lze tohoto docílit, je několik, přičemž každý má své výhody a nevýhody. Celkově se jedná o poměrně rozsáhlou problematiku, které se budu v této práci dále věnovat hlouběji.

V zásadě máme obecně dvě možnosti, jak vozidlo ovládat. Jednou z nich je tažení vozidla externím zařízením. V počátcích testování se používalo další vozidlo, které táhlo testované vozidlo pomocí lana. Tento způsob je samozřejmě dávno překonaný (například je prakticky nemožné takto testy automatizovat, navíc zajištění dodržení konfigurace testu je zde velmi obtížné), dnes má tažné zařízení většinou podobu kolejnice v podlaze, ve které se pohybuje těleso, které je připojeno k podvozku vozidla. Těsně před nárazem je pohon uvolněn. Tento systém vyžaduje speciální infrastrukturu, a tudíž počáteční investici, ale zajistí opakovatelnost testu, jelikož pohon není při testu poškozen. Je vhodný tam, kde jsou testy prováděny opakovaně, čímž se opodstatní počáteční náklady – tedy právě v testovacích laboratořích.

Další možností je ovládat přímo vozidlo, čehož lze docílit zařízením (robotem), umístěným ve vozidle a ovládajícím řízení vozidla. Velká nevýhoda tohoto řešení je, že zařízení může být při nárazu zničeno, což přináší další náklady pro každý crash test. Vyplatilo by se však v případě, že by se testy prováděly pouze v jednorázové malé sérii, obzvláště v místech, kde by instalace tažného zařízení byla problematická. Také se používá při nárazových testech svodidel, kde však výstupem není bezpečnost vozidla při nárazu, ale naopak pevnost svodidel.

Speciální zmínku si zaslouží autonomní vozidla. V případě alespoň druhého stupně autonomie by technicky nebyl problém, aby vozidlo narazilo do překážky samo, případně by bylo ovládáno dálkově. Zde bychom však opět při nárazu riskovali zničení elektronických zařízení potřebných pro autonomní řízení, a v případě, že bychom tato zařízení před testem z vozidla odstranili (pokud by toto bylo vůbec technicky možné), byla by situace stejná, jako u klasických, neautonomních vozidel.

4.1. Tažení vozidla

Jak jsem již zmínil, efektivní metodou vedení vozidla při nárazových testech je tažení pomocí tažného zařízení. Konceptů pracujících na tomto principu je více, jeden z nich používá IIHS.

4.1.1 Koncept IIHS

IIHS provádí nárazové zkoušky ve svém středisku **Vehicle Research Center** poblíž města Ruckersville ve Virginii. V tomto středisku jsou tři dráhy (IIHS je nazývá ranveje), které se

sbíhají uprostřed haly. Dvě z nich, které vedou proti sobě, jsou dlouhé 183 m a třetí, dlouhá 61 m, je na ně kolmá. Toto uspořádání umožňuje čelní i boční srážky vozidel s překážkami či navzájem. Delší dráhy umožní zrychlit vozidla do velikosti full-size pickup na 50 mph (80,5 km/h), zatímco kratší na 25 mph (40,2 km/h). [10]

Důležitou součástí je pohon mechanismu, který využívá tlakový akumulátor. Nejprve je spuštěno čerpadlo o výkonu 30 kW, které naplní dusíkem 18 tlakových nádob (akumulátor) o celkovém objemu 245 litrů na tlak 5000 psi (34,5 MPa). Poté je možné otevřít výstupní ventil, což umožní dusíku pomocí pístů vytlačit olej, který pohání motor, který tažením ocelového lana, které má průměr 5/8 palce (16 mm), zrychluje tažné zařízení s vozidlem. Je schopen vyvinout točivý moment 5000 až 6000 Nm. Aby bylo možné vozidlo zrychlit přesně na požadovanou rychlost, je potřeba jej zvážít, aby se přesně spočítala práce, kterou musí pohon vyvinout. Stejným způsobem je tažena také pohyblivá bariéra, používaná pro testování bočního nárazu. [10]

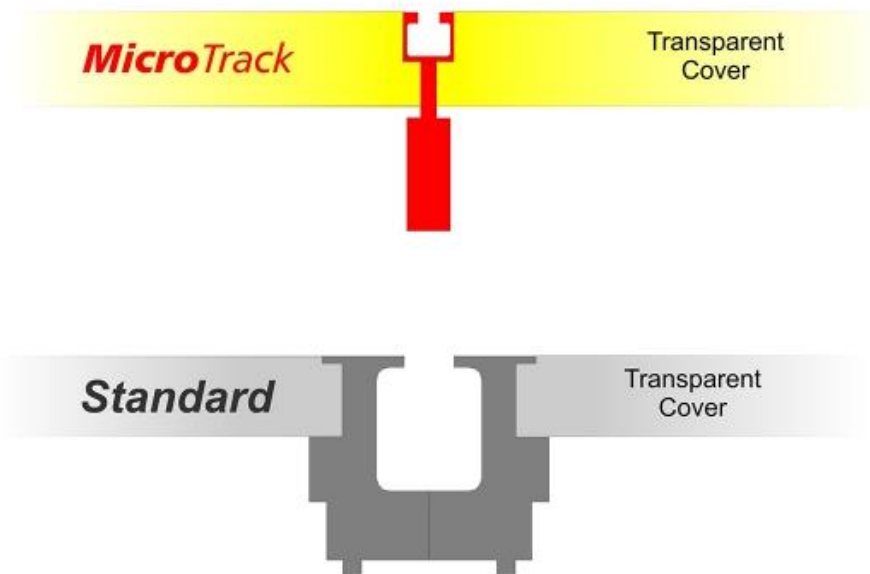
Tento systém vyžaduje, aby byl k podvozku vozidla nebo pohyblivé bariéry připevněn řetěz s hákem, za který je vozidlo posléze taženo. [11]

4.1.2 Messring

Messring je firma, která se zabývá mimo jiné výrobou a montáží zařízení, určeného k provádění nárazových zkoušek vozidel.

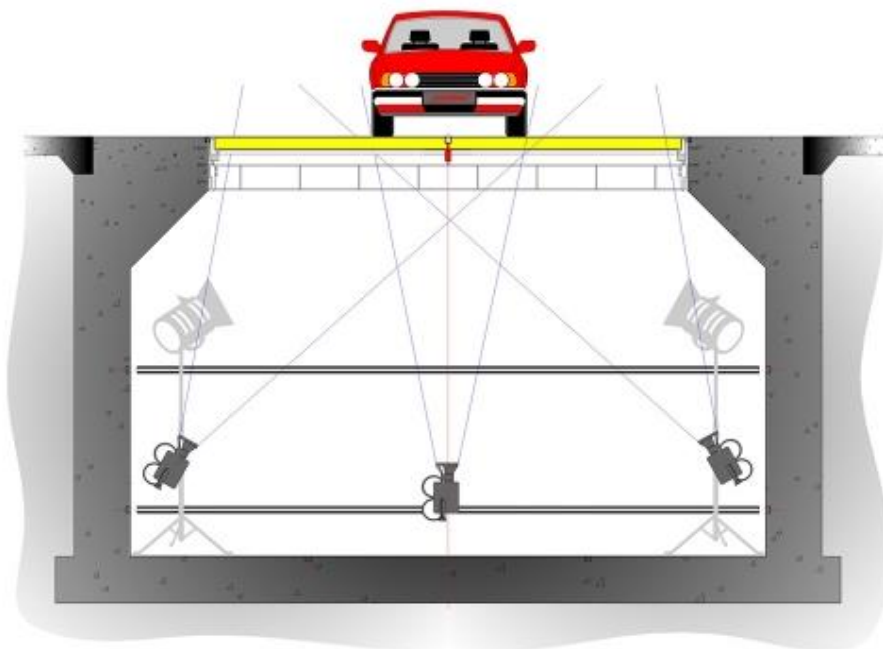
Pro vedení vozidla používá systém Micro Track, což je opět kolejnice, kterou je vedeno vozidlo. Od běžných systémů se liší především rozměry – mezera v kolejnici je široká 30 mm a celá kolejnice je široká 70 mm. Na obrázku 16 vidíme porovnání velikosti této kolejnice s běžnými, objemnějšími kolejnicemi. Výhoda malých rozměrů spočívá mimo jiné v tom, že když chceme vozidlo vidět (především kvůli videodokumentaci) zespoda, tak nám kolejnice neblokuje výhled – viz obrázek 17. Dále je možné kolejnici jednoduše přejíždět vozidly. Jak vypadá tato kolejnice ve skutečnosti nám ilustruje obrázek 18. [12]

Comparison: **MicroTrack** vs. Standard Rail



Obrázek 16

MicroTrack-Filming Pit



Obrázek 17



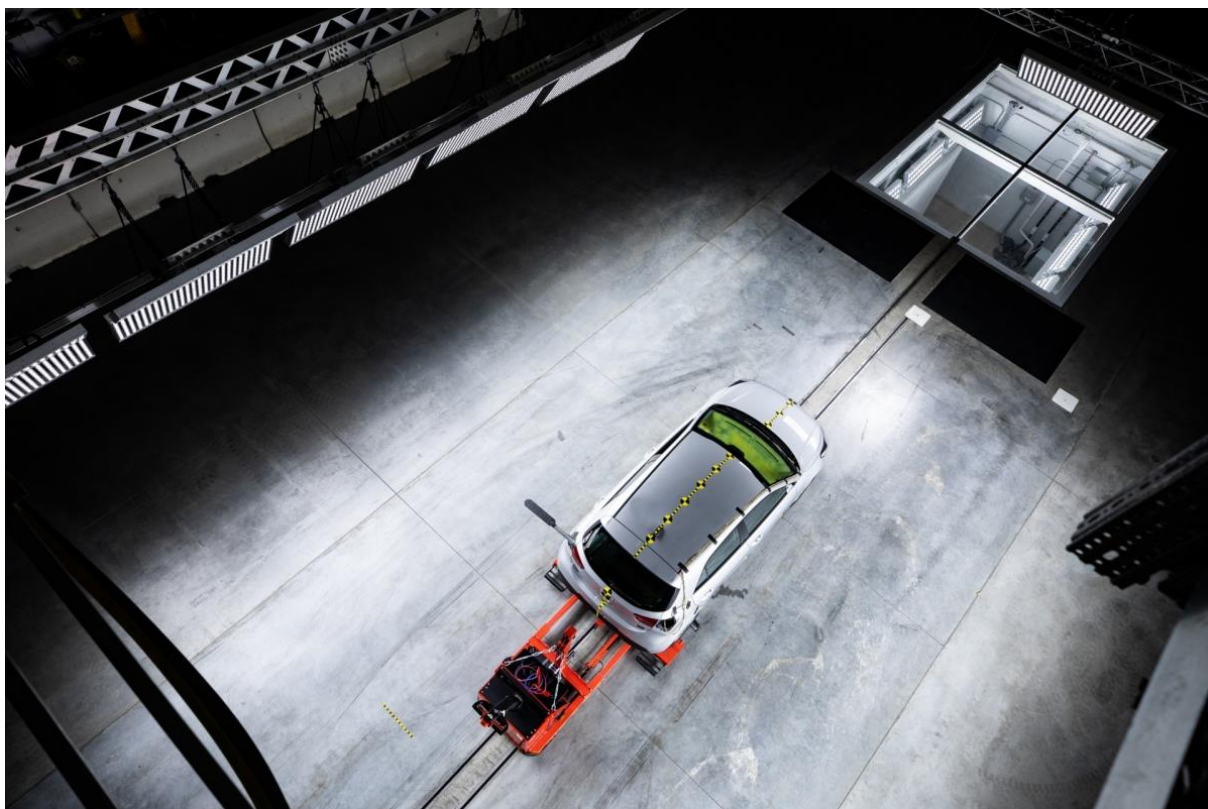
Obrázek 18

Messring se zabývá také výrobou pohonných systémů. Jednou z možností je elektrický pohon. Ten může vozidlo pohánět v obou směrech a Messring tyto pohony nabízí v různých výkonech podle potřeb zákazníka. Základem pohonného systému je elektromotor, který pohání hnací hřídel. Ta je připojena k navijáku s ocelovým lanem. Pohon je také vybaven hydraulickým brzdovým systémem. K pohonu je možné připojit také druhé lano, což umožňuje pohon dvou vozidel současně, čehož lze využít například pro test srážky dvou vozidel. [13]

Druhou možností je hydraulický pohon. I ten se dodává v různých specifikacích a může pracovat v obou směrech. Princip tohoto pohonu je stejný, jako u pohonu používaného IIHS – natlakují se nádoby a tento tlak se posléze použije pro pohon vozidla. Vozidlo je také zde taženo na ocelovém laně. [14]

4.1.3 Calspan

Calspan je americká společnost, která se zabývá mimo jiné také testováním vozidel včetně nárazových zkoušek. Její laboratoř pro tyto testy se nachází v Buffalu, NY. Vybavení pro tuto novou uzavřenou laboratoř (spuštěnou roku 2018) dodal Messring – kromě elektrického pohonného systému s výkonem 1600 HP schopném zrychlit vozidla až na 120 km/h se jedná o systém MicroTrack a skleněnou podlahu. Na rozdíl od tažného systému používaného IIHS, vozidlo není taženo na háku, ale naopak tlačeno pomocí speciálního tlačného zařízení. V hale jsou dvě nezávislá stanoviště, jedno pro testování čelních nárazů a druhé pro boční nárazy. Tyto testy mohou probíhat nezávisle na sobě i současně. Stanoviště pro čelní náraz je vidět na obrázku 19. Je možné zde provádět až 500 testů ročně, další mohou být prováděny na starší venkovní laboratoři. [15]



Obrázek 19

4.1.4 Exponent

Dalším provozovatelem nárazových testů je společnost Exponent. Crashtesty provádí ve středisku Test & Engineering Center ve Phoenixu v Arizoně. Středisko má krytou a venkovní část, crashtesty se provádí ve venkovní. [16]

Možnosti testování v tomto středisku jsou poměrně široké. Zahrnují mimo jiné vyhodnocování ochrany posádky vozidla při nárazu, test dětských zádržných systémů nebo zkoušky těsnosti palivového systému při bočním nebo zadním nárazu. Provádí se zde testy nárazů do různých druhů překážek včetně zdí, náspů, sloupů nebo stromů, stejně jako srážky různých druhů vozidel, mimo jiné i vzájemné střety motocyklů, osobních i nákladních vozidel. Střet vozidel je možné provést v libovolném úhlu a konfiguraci a s rychlostním poměrem od 1:1 do 11:1. Dále je možné provádět testy přetočení vozidla na střechu. Laboratoř je schválená pro testy dle NHTSA. [17]

Většina těchto testů je založená na konfiguraci připomínající skutečné nehody. K vedení vozidla je použit systém kolejnice dlouhé 1280 stop (390 m), povrch v místě nárazu je betonový. Je možné provádět testy v rychlosti až 100 mil za hodinu (160 km/h). V místě nárazu je také podpovrchová kamera, která snímá náraz zespoda. Je zde také umístěna pevná bariéra schopná pojmout energii 1,3 MJ. Je možné také umístit jiné překážky a objekty. [18]

4.2. Ovládání vozidla

Druhou možností, jak dopravit vozidlo na požadované místo nárazu, je řídit vozidlo přímo. Ačkoliv v nárazových zkouškách automobilů tento koncept z důvodů uvedených v předchozí kapitole není příliš rozšířen, lze jej používat. Tento způsob pohonu vozidla byl použit například v testech nárazu malého automobilu do různých druhů svodidel v Melbourne v Austrálii. Jednalo se primárně o testy svodidel, ale i k nim je samozřejmě potřeba vozidlo.

Použité vozidlo je zobrazeno na obrázku 20. Jedná se o představitele automobilového segmentu B. Je vybaveno airbagem u řidiče a napínačem pásů. Vozidlo je ovládáno dálkově pomocí rádiových signálů. Řízení je zajištěno pomocí pásu, který přes nastavbu ovládá volant. Pás je poháněn krokovým motorem. Technické řešení je zobrazeno na obrázku 21. Vozidlo dálkově řízené člověkem, který používá brýle virtuální reality, kam je přenášén obraz z kamery na přístrojové desce – viz obrázek 22. Vozidlo je dále vybaveno vysokorychlostními kamerami pro natáčení figurín. [19]



Obrázek 20



Obrázek 21



Obrázek 22

5. PROVEDENÍ SRÁŽKY DVOU VOZIDEL

Praktická část této práce zahrnuje analýzu možností a případně návrh způsobu provedení srážky dvou vozidel podle specifik malého přesahu (tj. přesah 25 %) mimo laboratoř. Zde je potřeba především zvolit způsob, jak budou vozidla vedena a poháněna. Základní požadavky na provedení jsou:

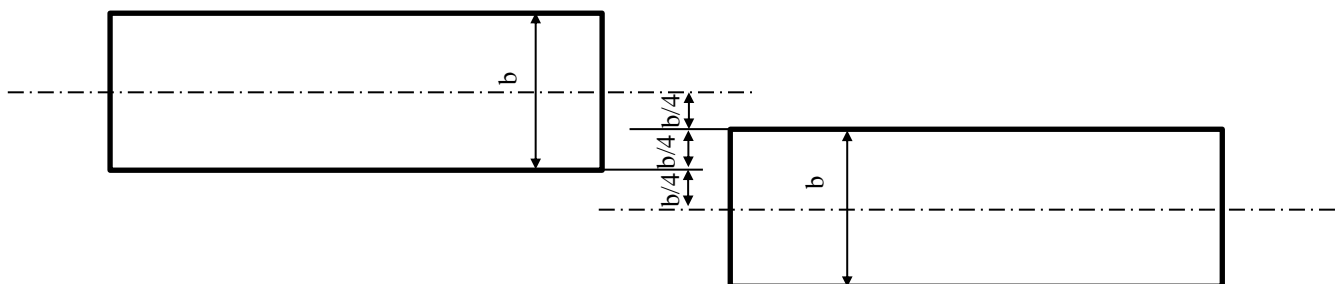
- Zajištění správného přesahu
- Zajištění odpovídající rychlosti nárazu
- Opakovatelnost (s minimálními náklady za každý test)
- Přenosné testovací zařízení (co nejsnazší montáž a demontáž)
- Proveditelnost v reálných podmínkách (existence odpovídajícího prostředí...)
- Věrohodnost (bez zásahů do konstrukce ovlivňujících výsledek testu)
- Bezpečné provedení (bez rizika větších škod na vybavení, než je nezbytné)

5.1. Vedení vozidla

Vycházíme z předpokladu, že chceme provést test jednorázově nebo v malé sérii (tedy zajímají nás především jednorázové pořizovací náklady vybavení), mimo laboratoř (tedy v tzv. polních podmínkách) a požadujeme možnou jednoduchou montáž a demontáž vybavení, stejně jako možnost jej převážet mezi testovacími lokalitami.

Nejpřesnějším způsobem je vedení vozidla v kolejnici. Tento způsob spolehlivě zajistí přesnost a stejné podmínky pro opakované testy. Vyžaduje sice počáteční investici pro nákup tažného zařízení, ta se ale po provedení několika testů vrátí.

Kolejnice by byly dvě vzájemně rovnoběžné, jedna pro každé z vozidel. Je potřeba určit jejich vzájemný posun, který závisí na rozměrech testovaných vozidel. Kdybychom například použili vozidlo Škoda Octavia, která má šířku bez zrcátek 1814 mm a v testu chceme náraz s přesahem 25 %, tak by vzdálenost kolejnic od sebe byla 1361 mm (jedná se o $\frac{3}{4}$ šířky vozidla). Čím širší by testovaná vozidla byla, tím větší rozestup mezi kolejnicemi bychom potřebovali. Uspořádání popisuje následující schéma na obrázku 23, kde b je šířka každého z vozidel.



Obrázek 23

Uvnitř kolejnice by bylo umístěno tažné ocelové lano, které je poháněno pohonným systémem. Na lano by byl pak připevněn tažný přípravek (dva řetězy s háky, které jsou uchyceny k přední části vozidla zespoda), který zajistí tažení vozidel.

5.2. Pohon vozidla

Kromě vedení vozidla je potřeba také jeho pohon. Jeho potřebný výkon je nutné spočítat.

5.2.1 Výpočet výkonu motoru

Když zvolíme zrychlení vozidla stejné jako u IIHS, tj. 0,3 g neboli 2,94 m/s², bude dráha potřebná pro rozjezd na rychlost 40 mil za hodinu (17,9 m/s nebo 64,4 km/h), která bude uražená za čas

$$t = \frac{v}{a} = \frac{17,9}{2,94} = 6,075 \text{ s}$$

vypočtená pomocí vzorce

$$s = \frac{1}{2}at^2 = 0,5 \cdot 2,94 \cdot 6,075 = 54,3 \text{ m}$$

Dráha musí být samozřejmě delší, abychom měli určitou rezervu a aby byl čas na další nutné procedury (uvolnění vozidla z tažného systému apod.) a také proto, že zrychlení bude na počátku narůstat pozvolna a také pozvolna klesat. Délka může být například 80 metrů.

K výpočtu vlastního výkonu je potřeba znát sílu, kterou je potřeba vyvinout. Odpor vozidla O je obecně roven součtu odporu valení O_f , ložisek O_{loz} , vzduchu O_{vz} , svahu O_a a zrychlení O_a .

Jelikož dráha bude na rovině, odpor svahu bude nulový.

Odpor valení pneumatik O_f vychází z měrného odporu valení f pneumatik. U automobilu s radiálními pneumatikami je tento odpor mezi 12 a 17 N/kN, pro naše účely vezmeme horní hodnotu 17 N/kN. Pohotovostní hmotnost vozidla závisí na tom, jak velká vozidla chceme testovat. Pokud zvolíme poměrně vysokou hodnotu 2500 kg, zahrneme i velkou část vozidel typu full size SUV. Poté tíha vozidla

$$G_v = m_v g = 2,5 \cdot 9,81 = 24,525 \text{ kN}$$

a tedy

$$O_f = G_v \cdot f = 24,525 \cdot 17 = 416,9 \text{ N}$$

Odpor ložisek O_{loz} vychází z měrného ložiskového odporu f_{loz} , který je většinou v rozmezí 0,001 až 0,003 N/kN. Opět zvolím horní hodnotu 0,003 N/kN. Poté platí

$$O_{loz} = G_v \cdot f_{loz} = 24,525 \cdot 0,003 = 0,07 \text{ N}$$

Tato hodnota je tak malá, že ji lze zanedbat.

Odpor vzduchu O_{vz} neboli aerodynamický odpor, není konstantní a závisí na rychlosti jízdy. Nejvyšší bude při maximální rychlosti, což je v našem případě 17,9 m/s. Potřebujeme také znát hustotu vzduchu, která činí při běžných atmosférických podmínkách 1,25 kg/m³. Dalším nutným údajem je čelní plocha vozidla. Přibližně platí, že čelní plocha vozidla je $A_x = (0,7 \div 0,8) \cdot b \cdot h$, kde b je šířka vozidla a h je výška vozidla. Pokud zvolíme vyšší z hodnot a použijeme rozměry opět vozidla full size SUV, zvolíme šířku $b = 2,2$ m a výšku $h = 1,8$ m, získáme hodnotu $A_x = 0,8 \cdot 2,2 \cdot 1,8 = 3,17 \text{ m}^2$. Dále potřebujeme znát koeficient odporu vzduchu c_x , která závisí na tvaru vozidla. Může být v nejlepším případě i pod 0,25, ale konzervativní volbou postihující i vozidla méně aerodynamických tvarů (jako SUV) hodnoty 0,4 získáme rezervu. Výsledný odpor při maximální rychlosti bude tedy

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_{vz} \cdot c_x \cdot A_x \cdot v^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 0,4 \cdot 3,17 \cdot 17,88^2 = 253,2 \text{ N}$$

Odpor ze zrychlení O_a je možné určit na základě zrychlení a a redukované hmotnosti vozidla m_{red} . K určení redukované hmotnosti vozidla potřebujeme pohotovostní hmotnost m a součinitel rotačních hmot δ . Ten je závislý na převodovém stupni, ale když budeme provádět zkoušku, vozidlo bude mít rychlostní stupeň vyřazený. Součinitel bude poté přibližně 1,03. [33] Pak platí

$$m_{red} = m \cdot \delta = 2575 \text{ kg}$$

$$O_a = m_{red} \cdot a = 2575 \cdot 2,943 = 7578 \text{ N}$$

Tento odpor bude tedy tvořit největší část celkového odporu.

Celkový odpor bude roven součtu jednotlivých odporů, tedy

$$O = O_f + O_{vz} + O_a = 416,9 + 253,2 + 7578 = 8248,1 \text{ N}$$

Takovou sílu bude potřeba vyvinout v okamžiku, kdy vozidlo bude zrychlovat na konečnou rychlost.

Potřebný výkon motoru bude roven

$$P = O \cdot v = 8248,1 \cdot 17,88 = 147476 \text{ W} = 147,48 \text{ kW}$$

Tuto hodnotu je ovšem potřeba navýšit, protože část výkonu motoru bude ztracena v laně (například v kolech, která lano povedou). V pohonu by byly potřeba alespoň čtyři kladková kola (pokud by při pohledu shora mělo tažné lano tvar obdélníku), a když připustíme účinnost jedné takové kladky $\eta_l = 0,98$ [35], účinnost čtyř kladek bude $\eta_c = 0,98^4 = 0,92$. Když tedy připustíme ideální případ s účinností tohoto přenosu výkonu jako $\eta = 0,92$, pak výkon motoru

$$P_{skut} = \frac{P}{\eta} = \frac{147,48}{0,95} = 160,3 \text{ kW}$$

Pro zvýšení životnosti motoru jej budeme vytěžovat na 90 %, pak

$$P_{mot} = \frac{P_{skut}}{0,9} = 178,1 \text{ kW}$$

z čehož pravděpodobně vyplývá volba katalogového motoru o výkonu **180 kW**.

5.3. Výběr pohonu

Když víme, jak výkonný pohon bude potřeba, můžeme se věnovat výběru technologie, která zajistí pohon vozidel při testu. Náš požadavek by se dal shrnout jako poměrně vysoký výkon, potřebný pouze po omezenou dobu.

5.3.1 Elektromotor

V profesionální sféře se v oblasti crash testů používá často elektromotor, konkrétně asynchronní. Jeho výhodou je konstrukční jednoduchost a poměrně malé prostorové nároky. Dokáže dodávat výkon po velmi dlouhou dobu, což v našem testu není potřeba. Je dobrou volbou do velkých testovacích laboratoří, ale pokud chceme test provádět v „polních podmínkách“, byl by problém s přivedením odpovídajícího elektrického proudu (například u třífázového motoru [30], který má výkon 160 kW (tudíž u výkonnějšího motoru bude

požadavek ještě vyšší), je 273A@400V), a proto by pohon sestávající pouze ze dvou elektromotorů o takto vysokém výkonu nebyl pro náš test vhodnou volbou.

5.3.2 Spalovací motor

Hlavní problém elektromotoru o vyšším výkonu by vyřešil stacionární spalovací motor. Palivo (většinou motorová nafta) by nebyl problém dodat a motory o odpovídajícím výkonu lze také sehnat bez komplikací. Bohužel v případě stacionárního spalovacího motoru narážíme na fakt, že se jedná o spalovací motor, který dokáže efektivně pracovat pouze v omezeném rozsahu otáček. 64 km/h je příliš vysoká rychlost na to, aby vozidlo celou dobu táhl motor napojený na převodovku s pevným převodovým stupněm, byla by potřeba převodovka vícestupňová. Dále bychom potřebovali spojku pro rozjezd a pro řazení. To by kladlo významné nároky na prostor a na logistiku – jenom motor s výkonem kolem 180 kW má přepravní hmotnost kolem 1 tuny [34], dále bychom potřebovali převodovku a spojku, což by byly další nároky.

Další možností by bylo spojení spalovacího motoru a elektromotoru, kdy spalovací motor by poháněl alternátor, který by napájel elektromotor. Tento dieselektrický pohon by ovšem vyžadoval vyšší výkon spalovacího motoru, než by tomu bylo v případě přímého pohonu spalovacím motorem, jelikož je třeba zohlednit účinnost alternátoru. Opět zde navíc řešíme obdobný problém jako u pohonu čistě spalovacím motorem, a sice hmotnostní a prostorové požadavky.

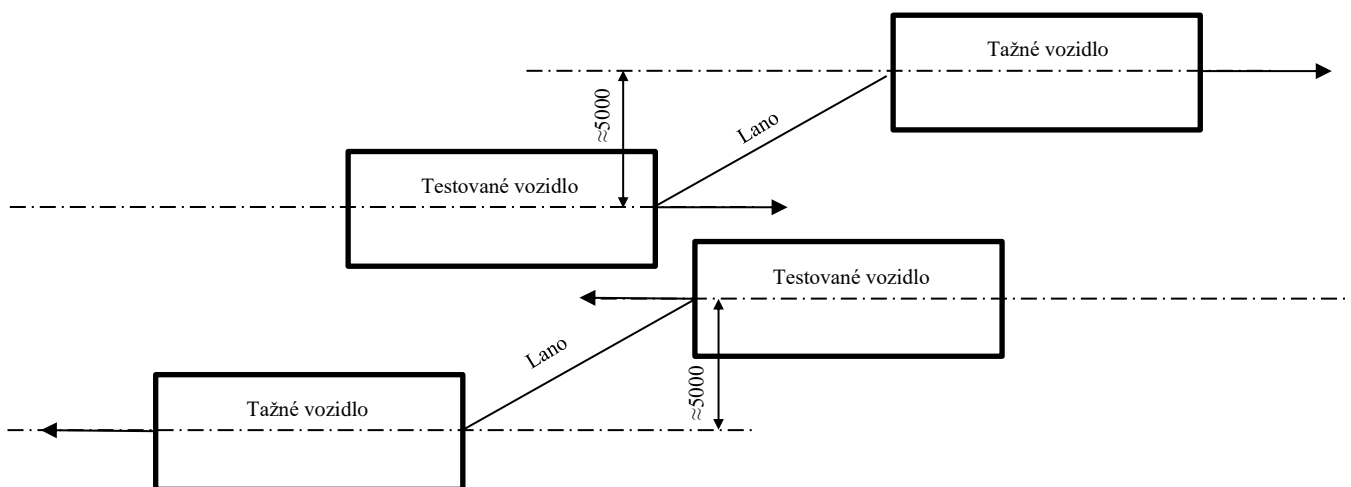
5.3.3 Hydraulický akumulátor

Další možností pohonu by bylo řešení, které se podobá pohonnému systému používanému v laboratoři IIHS. Jedná se o tlakové akumulátory. Zde bychom potřebovali pohon o poměrně malém výkonu (orientačně 30–40 kW), který by poháněl čerpadlo. Podle dostupnosti elektrické sítě by se jednalo o elektromotor nebo spalovací motor. Čerpadlo by pomocí hydraulické kapaliny stlačilo plyn (většinou dusík). Po uvolnění plynu by byla kapalina hnána do hydraulického motoru, který by poháněl lano s hákem s vozidlem. Nevýhodou tohoto řešení je to, že oproti předchozím variantám by zde bylo poněkud složitější dimenzování a výpočet akumulátorů. Systém by také kvůli akumulátorům musel být prostorově náročnější, než by tomu bylo v předchozích případech. Toto řešení je výhodné u laboratoří, kde se obvykle nachází samostatná místnost jako strojovna (často navíc pod povrchem pod vlastní laboratoří, což by v našem případě nebylo možné), nicméně v našem případě takový prostor nemáme k dispozici.

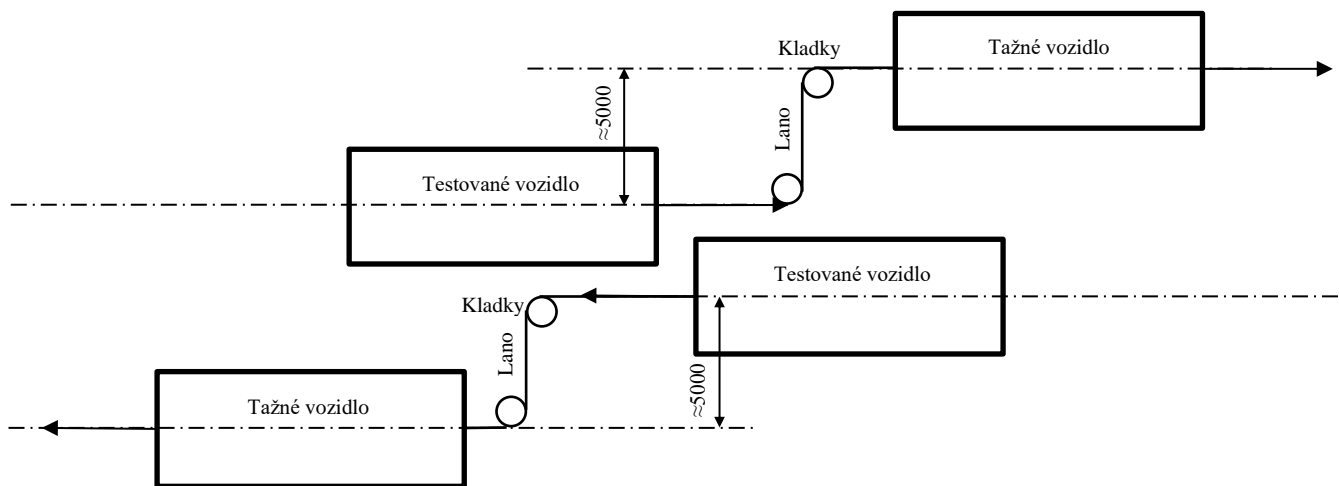
5.3.4 Tažení vozidlem

Společná nevýhoda předchozích řešení je fakt, že konstrukce systému pro tažení by byla komplikovaná kvůli tažnému lanu, které by muselo vést pod kolejnicí a poté zpět k pohonu a komplikovalo by tak konstrukci tažného systému. Alternativou k tomuto řešení by bylo použít

k pohonu nějaké jiné vozidlo. Jednalo by se pravděpodobně o vozidlo určené k přepravě většího nákladu, aby mělo dostatečný výkon pro rozjezd svůj i testovaného vozidla na požadovanou rychlost. Testované vozidlo by bylo taženo pomocí vlečného lana, které by před nárazem bylo uvolněno. Lano by muselo být dostatečně dlouhé, aby byla obě tažná vozidla v bezpečné vzdálenosti. Tažné vozidlo by samozřejmě nemohlo jet přímo před vozidlem, jelo by s odstupem přibližně 5 metrů od osy testovaného vozidla, tudíž by tažné lano bylo „šikmo“ a bylo by tedy nutné zachytit nějak boční sílu. Pokud bychom použili kolejnici k vedení vozidla, testované vozidlo bychom opatřili nástavbou na podvozku s kolem, které by zajišťovalo vedení vozidla v kolejnici (systém podobný vedení tramvaje s pneumatikami). Toto řešení je naznačeno ve schématu na obrázku 24. Další možností, která by tolik nenarušila konstrukci vozidla, by bylo vedení tažného lana do kolejnice (pomocí kladek) a použití řetězu pro připevnění vozidla k lanu. Zde by bylo pak možné jednoduché uvolnění vozidla pomocí mechanismu. V tomto případě by muselo ale být lano podstatně delší – o něco více než je délka kolejnice. Toto řešení je na obrázku 25. Pokud bychom vedení vozidla zajistili jinak (například dálkovým řízením), boční sílu by dokázaly zachytit pneumatiky.



Obrázek 24



Obrázek 25

5.3.4.1 Výběr tažného vozidla

Pro výběr vhodného vozidla je potřeba vyjít z kritérií zkoušky. Jelikož bude vozidlo muset být schopné s požadovanou akcelerací utáhnout svoji hmotnost i hmotnost testovaného vozidla, bude muset být dostatečně výkonné. Pro tento účel by bylo vhodné nějaké výkonnější osobní vozidlo (např. SUV). Abychom zjistili, jaký výkon musí mít vozidlo, je třeba provést další výpočet. Pro tento výpočet vyjdeme z předchozího výpočtu.

Zrychlení vozidla jsme zvolili jako u IIHS 0,3 g, teoretická dráha byla pak 54,3 metru. Dráha musí být samozřejmě delší, abychom měli určitou rezervu a aby byl čas na další nutné procedury (uvolnění vozidla z tažného systému apod.) a také proto, že zrychlení bude na počátku narůstat pozvolna a také pozvolna klesat. Délka může být například 80 metrů.

Základ výpočtu tvoří opět výpočet jízdních odporů O ze součtu odporu valení O_f , vzduchu O_{vz} , svahu O_a a zrychlení O_a . Jelikož dráha bude na rovině, odpor svahu bude nulový.

Odpor valení pneumatik O_f pro testované vozidlo jsme zvolili 17 N/kN, pro tažné vozidlo (v našem případě SUV) bude použita také tato hodnota. Pohotovostní hmotnost tažného vozidla bude 2500 kg, což je přibližná hmotnost tohoto typu vozidel. Poté tíha tahače

$$G_{vtah} = m_v g = 2,5 \cdot 9,81 = 24,525 \text{ kN}$$

a tedy

$$O_{ftah} = G_{vtah} \cdot f = 24,525 \cdot 17 = 417 \text{ N}$$

Celkový součet bude $O_f = 834 \text{ N}$.

Odpor vzduchu O_{vz} neboli aerodynamický odpor, není konstantní a závisí na rychlosti jízdy. Nejvyšší bude při maximální rychlosti, což je v našem případě 17,9 m/s. Potřebujeme znát hustotu vzduchu, která činí při běžných atmosférických podmínkách 1,25 kg/m³. Dalším

nutným údajem je čelní plocha vozidla. Přibližně platí, že čelní plocha vozidla je $A_x = (0,7 \div 0,8) \cdot b \cdot h$, kde b je šířka vozidla a h je výška vozidla. Pokud zvolíme vyšší z hodnot a použijeme opět rozměry velkého SUV, zvolíme šířku $b = 2,2$ m a výšku $h = 1,8$ m, získáme hodnotu $A_x = 0,8 \cdot 2,2 \cdot 1,8 = 3,168$ m². Dále potřebujeme znát koeficient odporu vzduchu c_x , který závisí na tvaru vozidla. Opět zvolíme 0,4. Výsledný odpor tažného vozidla při maximální rychlosti bude tedy

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_{vz} \cdot c_x \cdot A_x \cdot v^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 0,4 \cdot 3,168 \cdot 17,88^2 = 253$$
 N

tedy stejný jako u testovaného vozidla, jejich souprava bude mít tedy dvojnásobek, tj. 506 N. Jelikož vozidla jedou daleko od sebe, a navíc ne přímo za sebou, vliv tažného vozidla na aerodynamiku testovaného vozidla lze zanedbat.

Odpor ze zrychlení O_a je možné určit na základě zrychlení a a redukované hmotnosti vozidla m_{red} . K určení redukované hmotnosti vozidla potřebujeme pohotovostní hmotnost m a součinitel rotačních hmot δ . Ten je závislý na převodovém stupni, nejvyšší bude pro nízký převodový stupeň (tedy vysoká hodnota převodu), v případě osobních vozidel bývá tato hodnota nejvýše 1,5 [33]. Pak platí

$$m_{red} = m \cdot \delta = 3750$$
 kg

$$O_a = m_{red} \cdot a = 3750 \cdot 2,943 = 11036$$
 N

Celkový odpor ze zrychlení soupravy bude 19 284 N. Tento odpor bude tedy tvořit největší část celkového odporu.

Celkový odpor bude roven součtu jednotlivých odporů, tedy

$$O = O_f + O_{vz} + O_a = 834 + 506 + 19\,284 = 20625$$
 N

Takovou sílu bude potřeba vyvinout v okamžiku, kdy vozidlo bude zrychlovat na konečnou rychlost.

Potřebný výkon motoru bude roven

$$P = O \cdot v = 20625 \cdot 17,88 = 354\,159$$
 W = 368,8 kW

Spalovací motor dává maximální výkon pouze v úzkém rozsahu otáček, takže když řekneme, že v průběhu jízdy (s výjimkou rozjezdu, na který máme rezervu při výpočtu délky dráhy) budeme efektivně využívat 90 % této hodnoty, pak

$$P_{mot} = \frac{P_{skut}}{0,9} = 409,8 \text{ kW}$$

budeme tedy potřebovat vozidlo s výkonem alespoň **410 kW**. Takové vozidlo by bylo možné sehnat, ale cena by byla značně vysoká. V případě, že bychom měli k dispozici vozidlo s menším výkonem, bylo by jej možné použít za cenu prodloužení testovací dráhy. Každopádně u tohoto vozidla platí požadavek, že musí být schopné táhnout alespoň 2 500 kg.

5.4. Délka dráhy

Z definice vyplývá, že čím větší je akcelerace vozidla, tím kratší rozjezdovou dráhu potřebujeme, ale zaplatíme za to vyšším potřebným výkonem. IIHS používá akceleraci 0,3 g. Jelikož je ve vozidle různé měřící vybavení, vyšší akcelerace by nebyla žádoucí, jelikož by jej mohla negativně ovlivnit. Kdyby byla nižší, byly by vyšší prostorové nároky na jejich laboratoř. V našem případě, kdy chceme test provádět ve venkovním prostředí, si můžeme dovolit delší rozjezdovou dráhu.

Pokud bychom použili zrychlení 0,1 g, pro rozjezd bychom teoreticky potřebovali 163 metrů, takže reálně bychom vyhradili 200 metrů (v případě použití kolejnic bychom použili takovouto délku) pro každé z vozidel, měli bychom tedy požadavek na prostor 400 metrů délky (pokud bychom vozidla roztahovali jinými vozidly, pak by se tato vzdálenost navýšila o délku tažných lan, tento případ bude zahrnut v rezervě), s rezervou maximálně 500 metrů. Takový prostor by bylo možné sehnat například na nějakém málo využívaném letišti (namátkou například Milovice). V případě této akcelerace bychom potřebovali výkon externího pohonu **66 kW** (bez zahrnutí hmotnosti ocelového lana pro tažení); v případě tažení vozidlem **149 kW** (cca 200 HP). Obě tyto hodnoty jsou z hlediska dosažitelnosti v našich podmínkách značně přijatelnější, než v případě použití akcelerace 0,3 g. Např. vozidlo s potřebným výkonem a schopností táhnout alespoň 2500 kg by mohlo být ojeté BMW X5 3.0 2004 (121 000 Kč, 160 kW) nebo BMW X5 4.4i 2001 (128 000 Kč, 210 kW). U těchto vozidel je cena samozřejmě nízká díky vysokému nájezdu kilometrů, což v našem případě není problém.

5.4.1 Hmotnost lana a jeho vliv

Ve výpočtech požadavku na výkon jsem dosud nezohlednil hmotnost lana. Jelikož lano bude akcelarovat také, zvýší nám odpor ze zrychlení, a tedy i potřebný výkon.

V případě, že použijeme externí pohon (tj. nikoliv roztahování vozidlem), budeme potřebovat delší lano. To totiž musí kromě délky kolejnice (200 m) vést ještě stejnou vzdálenost nazpátek a samozřejmě ještě kus stranou, počítejme tedy s lanem délky 450 m. Lano by bylo ocelové a muselo by být dimenzováno tak, aby vydrželo sílu potřebnou pro tažení vozidla. Jelikož maximální síla při tahu je 3147 N (bez zahrnutí lana), použili bychom lano ČSN 02 4231 o průměru 6 mm, které unese 27,3 kN. Toto lano má jmenovitou hmotnost 0,142 kg/m, při délce 450 m by se jednalo o 63,9 kg. Tato hmotnost by navýšila požadovaný výkon o 1,1 kW, tedy zanedbatelně. [22]

V případě tažení vozidlem by bylo lano podstatně kratší, tudíž potřebné navýšení výkonu by bylo menší.

5.5. Směrové vedení

Kromě pohonu vozidla je potřeba zajistit jeho směrové vedení. Toho lze docílit několika způsoby.

5.5.1 Vedení v kolejnici

Tento způsob vedení by byl obzvláště vhodný v případě, že bychom k pohonu vozidla použili stacionární pohonný systém. Ten by poháněl lano, které by vedlo pod, nebo nad kolejnicí a bylo by připevněno k vozidlu pomocí řetězu. Je vhodný pro aplikace do laboratoří nebo zkušebních středisek, kde je nainstalován nastálo. Výhodou tohoto způsobu vedení je poměrně jednoduchá kontrola přesahu (pomocí vzájemné vzdálenosti kolejnic). V našem případě by použití tohoto systému přineslo určité komplikace, jelikož montáž a demontáž kolejnice by byla v polních podmínkách obtížnější – jednak je potřeba kolejnici pevně uchytit k zemi a dále je potřeba to udělat tak, aby pod ní bylo poháněné lano. Pokud bychom vozidla roztahovali tažnými vozidly, druhý požadavek by odpadl, ale kolejnice by poté musela přenášet ještě větší boční síly a tím by byly také větší nároky na uchycení.

5.5.2 Řízení vozidla

Ovládání rychlosti je zajištěné pomocí roztahovacích vozidel, ale je potřeba vyřešit směrové vedení. Pokud bychom přední kola nechali volná, vozidlo by samovolně zabočilo za tažným vozidlem a minulo by tak protijedoucí testované vozidlo. Proto je potřeba ovládat řízení vozidla, ve kterém bude při testu pravděpodobně nutné provádět menší korekce.

Princip systému by byl takový, že bude možné ovládat volant vozidla pomocí malého elektrického servomotoru na dálkové ovládání. Bude potřeba také nainstalovat nějaký senzor na vozidla, který bude kontrolovat naši odchylku od správné vzájemné polohy před srážkou. Ta

by byla ve formě dat vysílána k člověku ovládajícímu směrové řízení vozidel, který by mohl provádět rovnou korekci směru jízdy.

Tento systém by ale přinesl také komplikace. Jelikož provádíme crashtest s figurínou, musíme zajistit, aby instalované zařízení neovlivnilo výsledek testu. Proto by nebylo možné ovládat řízení servomotorem, který by byl uvnitř vozidla před volantem. Další problém by byl fakt, že k ovládní volantu bychom potřebovali krokový motor, který by byl schopen vyvinout moment cca 30 Nm. Takový motor by byl pravděpodobně příliš drahý na to, abychom si mohli dovolit jej „odepsat“ při každém nárazu (cenově by vyšel na několik desítek tisíc Kč). Navíc by kladl požadavky na napájení (motory bývají třífázové). Kdybychom přece jen chtěli tento koncept využít, bylo by možné ovládat vozidlo pomocí ovládní posilovače řízení, což by ovšem způsobilo další nároky na úpravu vozidla.

5.5.2.1 Senzor kontroly přesahu

Způsobů, jak kontrolovat přesah vozidel, je více. Jedním z nich by byla instalace laserových „fotobuněk“ na vozidla tak, že na jednom vozidle by byla vysílací část a na druhém přijímací. U jednoho z vozidel by se korigovalo řízení tak, aby laser z vysílací části ozařoval přijímací část. Tímto způsobem by bylo možné docílit dostatečně spolehlivě správného přesahu vozidel, ale nebyl by dodržen úhel srážky (podélné osy vozidel by v okamžiku srážky nebyly rovnoběžné). Abychom eliminovali tuto vadu, museli bychom mít dvě sady přijímače a vysílače, přičemž na každém z vozidel by byly dva kusy tohoto vybavení a pokud by systém měřil i vzdálenosti přijímače a vysílače, mohli bychom dodržet správný úhel.

Další způsob by byl založen na optickém principu. Na zemi by byla nakreslena nebo nalepena čára (dostatečně výraznou barvou) v místě, kudy požadujeme, aby probíhala místa, kde se setká vozidlo s krajem protijedoucího vozidla (místa 25 % přesahu na každém z vozidel). Tato čára by byla sledována pomocí kamery. Cílem by bylo, aby čára byla vprostřed obrazu na kameře. Obraz by byl přenášen k operátorovi, který by na základě výchylky čáry od prostředku korigoval řízení tak, aby vozidlo udržovalo stále správnou trasu. Bylo by také možné toto provádět automaticky pomocí softwaru.

5.6. Moje volba provedení

Vozidlo by bylo vedeno v kolejnici, která by byla připevněná k povrchu, stejně jako panely, po kterých by vozidlo jelo. V kolejnici by byl umístěn přípravek, na který by bylo napojeno tažné lano, které by pomocí kladek bylo taženo vozidlem. K přípravku by bylo testované vozidlo upnuto řetězem. Před místem nárazu by byl řetěz s testovaným vozidlem pomocí mechanické zarážky odpojen od přípravku.

5.7. Kontrola přesahu

Vozidlo bude označeno páskou v místě, kde se nachází 25 % šířky vozidla. Pomocí kamer bude zaznamenán okamžik nárazu a ze vzájemné polohy těchto pásek bude zjištěno, jaký byl přesah ve skutečnosti.

5.8. Možnost praktického provedení

V případě akcelerace vozidla 0,3 g, jako je tomu v IIHS, je velkým problémem požadovaný výkon. Pro stacionární pohon elektromotorem bychom potřebovali 170 kW, což je v podmínkách mimo laboratoř prakticky nedosažitelné, jelikož pro takový výkon by byla potřeba instalace dostatečně silných elektrických vodičů, které by byly schopné zajistit dostatečný elektrický proud pro takový motor. Pohon stacionárním spalovacím motorem by vyžadoval také velkou investici.

Pokud bychom použili akceleraci 0,1 g, požadavek na výkon by klesl na 66 kW, což by bylo už lépe realizovatelné. Problémem by ale byla délka kolejnic – ta by musela být dvakrát 200 metrů, což je velký požadavek nejen prostorový, ale také logistický. Když odhadneme ze zdroje [12] průřez kolejnice (za předpokladu použití systému Microtrack) jako 1900 mm^2 , tedy $1,9\text{E}-3 \text{ m}^2$, pak hmotnost (s předpokladem hustoty oceli 7850 kg/m^3) pro 400 m kolejnic bude přibližně 6 tun. K převozu by pak byly potřeba minimálně dvě nákladní vozidla „solo“ s nosností 3,5 tuny. Zde bývá délka ložné plochy kolem 6 m, tudíž kolejnice by byly rozdělené na 80 dílů po pěti metrech. Takto by se do nákladního automobilu vešly, ale poté by byla jejich montáž a demontáž časově náročná – pokud by se každý díl musel připevnit čtyřmi šrouby (což je minimum), bylo by to 320 šroubů. Pokud by byl každý šroub připevňován dvě minuty, dostali bychom se na 10 hodin a 40 minut (v případě více pracovníků by se doba mohla zkrátit). Dále by bylo potřeba započítat čas přípravy montáže. Navíc by při montáži došlo k poškození povrchu, jelikož by šrouby musely být zavrtány do asfaltu či betonu. Samotná příprava dráhy by tedy trvala minimálně jeden den. Dá se tedy říci, že narážíme na problém buď s výkonem, nebo s prostorem a logistikou, a vyřešení jednoho problému nám vytvoří druhý.

Co se týká tažení vozidla jiným vozidlem, zde bychom potřebovali pro akceleraci 0,3 g výkon 349 kW. Taková vozidla existují, ale jejich cena by byla velmi vysoká. Při akceleraci 0,1 g se dostaneme na přijatelnějších 149 kW, ale opět narážíme na velké prostorové požadavky. Dalším problémem tažení jiným vozidlem je problém se zajištěním přesné nárazové rychlosti, které je náročnější než u stacionárního pohonu.

Z výše uvedeného vyplývá, že provést náraz dvou vozidel dle specifik malého přesahu IIHS mimo laboratoř není jednoduše možné. Dále se tedy v této práci budu věnovat otázce, jestli by bylo možné jedno z vozidel nahradit překážkou, která by replikovala druhé vozidlo.

5.8.1 Rozdíly srážky dvou vozidel a vozidla s bariérou

Nárazové zkoušky, při kterých narazí vozidlo do bariéry, jsou navrženy tak, aby co nejvěrněji napodobovaly skutečný náraz dvou vozidel. K tomu, aby mohla být takováto zkouška navržena, je potřeba znát vztah mezi těmito dvěma situacemi.

Náraz dvou vozidel

Náraz dvou vozidel s přesahem mezi 40 % a 50 % (v případě přesahu přes 60 % dojde ke kolizi motorových bloků a chování je jiné), z nichž každé jede rychlostí 55 km/h, má následující průběh:

Na počátku nárazu se vozidla pohybují přímo a deformují se jejich deformační zóny. V pozdní části deformační fáze se vozidla otáčejí proti směru hodinových ručiček. Tato rotace pokračuje přibližně do okamžiku, kdy je úhel vozidla ke středové čáře nárazu cca 40°, vozidla se zároveň v závěru od sebe odrazí. Největší deformace vozidla je samozřejmě na levém okraji a s přibližováním k ose vozidla klesá. Nejvíce namáhán je levý A sloupek a také dveře řidiče. Motorový blok vozidla je zasažen v pozdní fázi nárazu, a to kolem protijedoucího vozidla. Poté je zbývající energie disipována pomocí deformace klece vozidla. V tomto testu je hlavním zdrojem vážnějších zranění vniknutí materiálu do klece vozidla, jelikož zrychlení figurín není samo o sobě tak velké. [24]

Náraz vozidla do bariéry

Bariéra je navržena tak, aby co nejvěrněji způsobovala deformaci vozidla. U kolmého nárazu s mírným přesahem (30 až 40 %) není blok motoru přímo zasažen bariérou. Vozidlo po nárazu rotuje proti směru HR a od bariéry se posléze odrazí. I v případě tohoto nárazu je zrychlení působící na figuríny příliš malé na to, aby přímo způsobilo zranění, naopak problémem je opět vniknutí materiál (na rozdíl od nárazu s přesahem více než 50 %, kde motorový blok přímo koliduje s bariérou, kdy je situace opačná). [24]

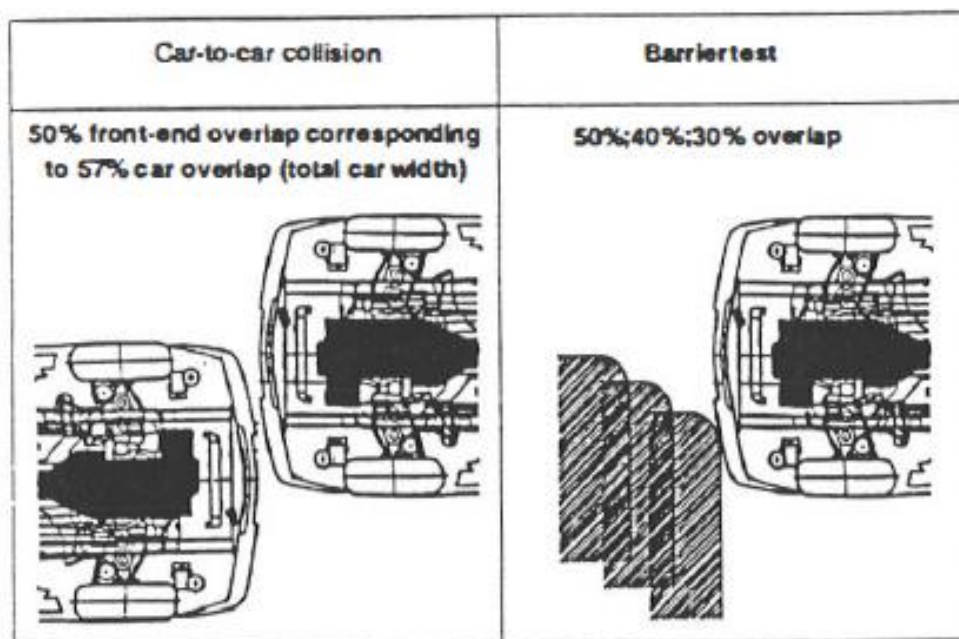
Obrázek 26 ilustruje konfigurace nárazů výše zmíněných.

| | Impact induced direction of car rotation | Loadings of structure and engine |
|---|--|----------------------------------|
| A | Car-to-car collision | |
| B | Impact against an offset barrier | |

Obrázek 26

Srovnání nárazu do bariéry a do vozidla

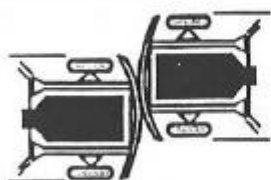




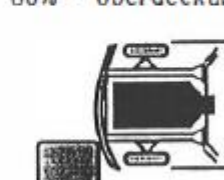
Je potřeba zdůraznit, že zatímco u nárazu dvou vozidel dochází ke kolizi motorových bloků cca od 60 % přesahu, u nárazu do bariéry dojde ke kolizi motoru a bariéry už při 50 %. Proto například náraz s 50 % přesahem by vedl k velmi odlišným hodnotám pro bariéru a protijedoucí vozidlo. Tyto hodnoty platí pro vozidla s podélným uložením motoru; v případě příčného uložení motoru budou hodnoty přesahů jiné (pravděpodobně ke kolizi bloků motoru dojde dříve, jelikož blok motoru pak zabírá větší procento šířky vozidla). Tento rozdíl je patrný z obrázku 27.



Obrázek 27

Z toho plyne, že pokud chceme replikovat náraz dvou vozidel jako náraz vozidla do bariéry, musí být přesah bariéry nižší. Důvodem je to, že tuhost vozidla a obzvláště jeho deformační zóny není rovnoměrně rozložena. [24]

Obrázek 28 poté popisuje, jaký přesah bariéry koresponduje s jakým přesahem vozidel.

| Fzg/Fzg Kollision | Barriere Aufprall |
|--|---|
| 60 70% Überdeckung  | 50% Überdeckung  |
| 40 60% Überdeckung  | 40% Überdeckung  |
| 30 -40% Überdeckung  | 30% - Überdeckung  |

Obrázek 28

5.9. Popis nárazu

K popisu vážnosti nárazu se používají mimo jiné veličiny, zavedené pro tento účel. Z hlediska vyhodnocení výsledku crash testu jsou stěžejní různá kritéria zranění, ale pro navržení zkoušky jsou potřebné i jiné veličiny. Mezi ně patří **delta-v** a takzvaná **energy equivalent speed** (v_{EES}) (dříve známá také jako barrier equivalent velocity (BEV)). Tyto dvě hodnoty se od sebe obvykle liší. Obecně platí, že zatímco zranění způsobená vniknutým materiálem do klece vozidla popisuje hodnota v_{EES} (vyšší znamená větší pravděpodobnost zranění), tak zranění způsobená nadměrnou akcelerací figurín způsobí vysoké delta-v. [25]

5.9.1 Definice veličin

Hodnota *delta-v* je definována jako změna rychlosti těžiště vozidla v pevném souřadném systému (například silnice) během kontaktu s překážkou (jiné vozidlo nebo bariéra). Z této definice mimo jiné vyplývá, že tato hodnota je obecně při srážce dvou vozidel pro každé z vozidel jiná.

Definice hodnoty v_{EES} je o něco složitější. Tato hodnota vychází z energie, která je dissipována vozidlem během kontaktu, a tedy deformační energie na vozidle. Základní tvar energetické rovnice srážky dvou vozidel je:

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_{k1}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_{k2}^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 + \frac{1}{2} \cdot J_1 \cdot \varepsilon_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \varepsilon_2^2 + W_{def1} + W_{def2}$$

Kde m_1, m_2 jsou hmotnosti vozidel, v_{k1}, v_{k2} jsou rychlosti těžišť vozidel před nárazem, v_1, v_2 jsou rychlosti těžišť vozidel po nárazu, J_1, J_2 jsou momenty setrvačnosti vozidel vůči svislé ose, $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ úhlové rychlosti rotace vozidel po nárazu a W_{def1}, W_{def2} hodnoty deformační práce při nárazu na vozidlech. Pokud předpokládáme náraz vozidla do nedeformovatelné stojící bariéry, po kterém nedojde k odrazu vozidla (tedy vozidlo vlivem nárazu zcela zastaví), hodnoty $v_{k2}, v_1, v_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2$ a W_{def2} jsou pak rovny nule, hodnotu v_{k1} označíme jako v_{EES} a vztah se zjednoduší na

$$W_{def} = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot EES^2$$

Z čehož vyplývá

$$EES = \sqrt{2 \cdot \frac{W_{def}}{m}}$$

Tato hodnota má rozměr rychlosti.

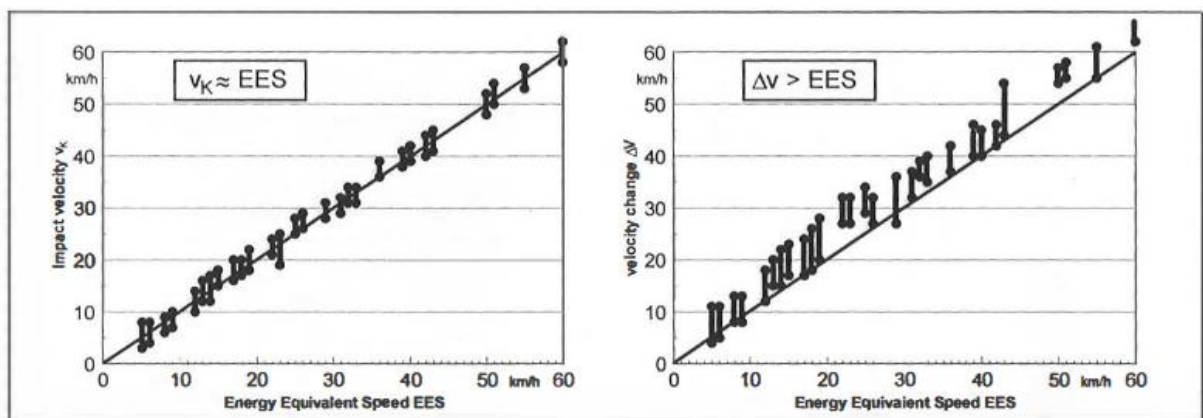
Kdybychom chtěli definovat v_{EES} slovně, jedná se o hypotetickou rychlost testovaného vozidla, kterou by muselo narazit do pevného nedeformovatelného objektu (za předpokladu úplného převedení kinetické energie vozidla na deformační, tzn. bez odrazu), aby došlo ke stejné deformaci, jako při skutečném nárazu. Z tohoto opět vyplývá, že se jedná rozměrově o rychlost (nikoliv energii), a že jde o poměrně abstraktní pojem, a pouze ve zvláštních konkrétních případech se jedná o skutečnou rychlost vozidla před kolizí. Hodnota v_{EES} je většinou odhadována z fotografií vozidla po nárazu (konkrétně deformace) a jejich porovnání s etalonem (výsledky experimentálních měření, u nichž je hodnota v_{EES} známá). [25]

5.9.2 Hodnoty veličin u kolizí s pevným objektem

Když chceme vyhodnotit v_{EES} a Δv u kolizí vozidla a bariéry, je důležité, jestli se vozidlo od překážky bočně odrazilo (částečně elastický náraz) nebo ne (plně plastický náraz).

Náraz bez bočního odražení

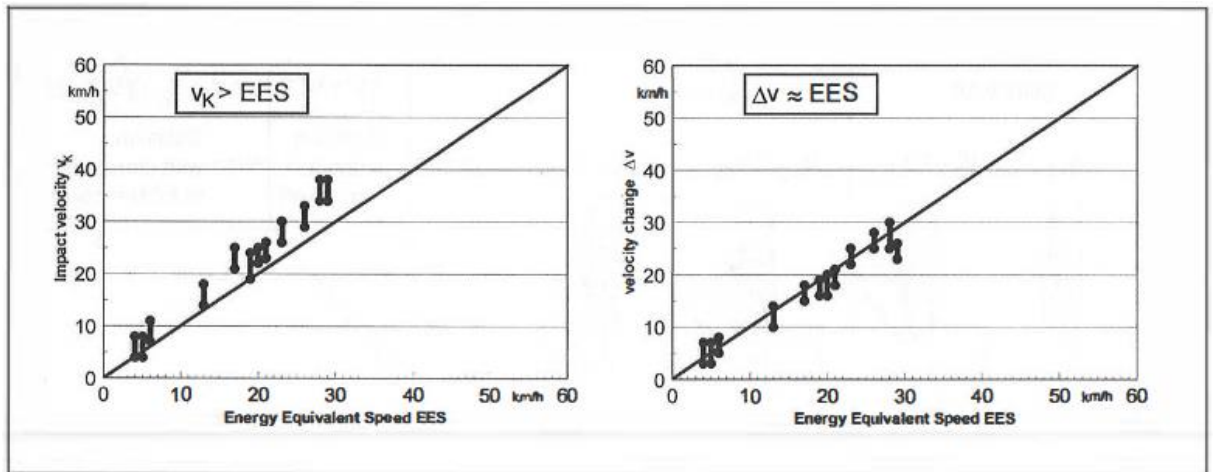
Situace, kdy se vozidlo neodrazí od překážky, je typická pro nárazy s plným přesahem (100 %, tedy náraz „do zdi“) do pevného objektu, a to i při poměrně vysokých rychlostech nárazu. Příkladem tohoto chování je crash test VW-Golf I, kdy narážel v rychlosti (29 ± 1) km/h do bariéry se 100 % přesahem [25]. Po nárazu byla vyhodnocena Δv jako (33 ± 2) km/h a v_{EES} (29 ± 1) km/h. v_{EES} je tedy rovna hodnotě v_k , zatímco Δv je vyšší. Důvodem tohoto je určitá elasticita v deformované struktuře, která způsobila mírný odraz na konci deformace. Kdyby byla struktura vozidla zcela plastická, všechny tři hodnoty by byly shodné. Testů bylo v podobné konfiguraci, ale s různou rychlostí nárazu provedeno více, jejich výsledky zobrazuje obrázek 29.



Obrázek 29

Náraz s bočním odražením

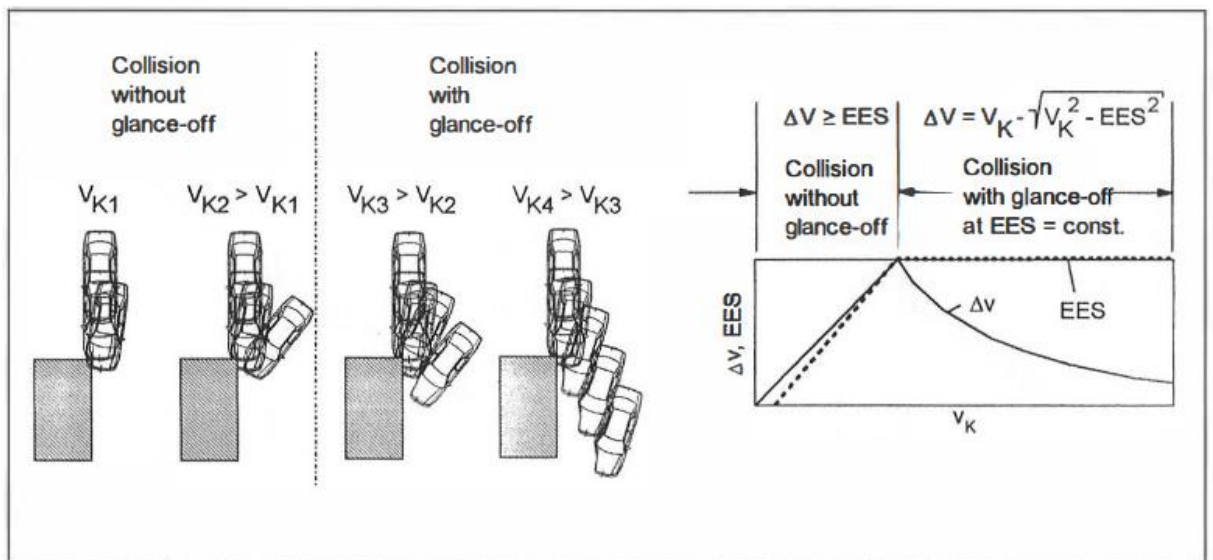
K nárazu s bočním odrazem dojde například tehdy, když vozidlo naráží do překážky šikmo (úhel mezi osou vozidla a stěnou překážky je 45° - 70°), a to už při poměrně malých rychlostech (kolem 5 km/h). S vozidlem VW Golf-I byly provedeny nárazové zkoušky s touto konfigurací a rychlostí (5–45) km/h. U jednoho z těchto testů byla rychlost $v_k = (23 \pm 1)$ km/h, $\Delta v = (16 \pm 1)$ km/h a $v_{EES} = (17 \pm 2)$ km/h. U všech 13 zkoušek byl poté výsledek takový, že $v_k > v_{EES}$ a $\Delta v \approx v_{EES}$, jak je patrné z obrázku 30. [25]



Obrázek 30

Náraz s přesahem ve vyšších rychlostech

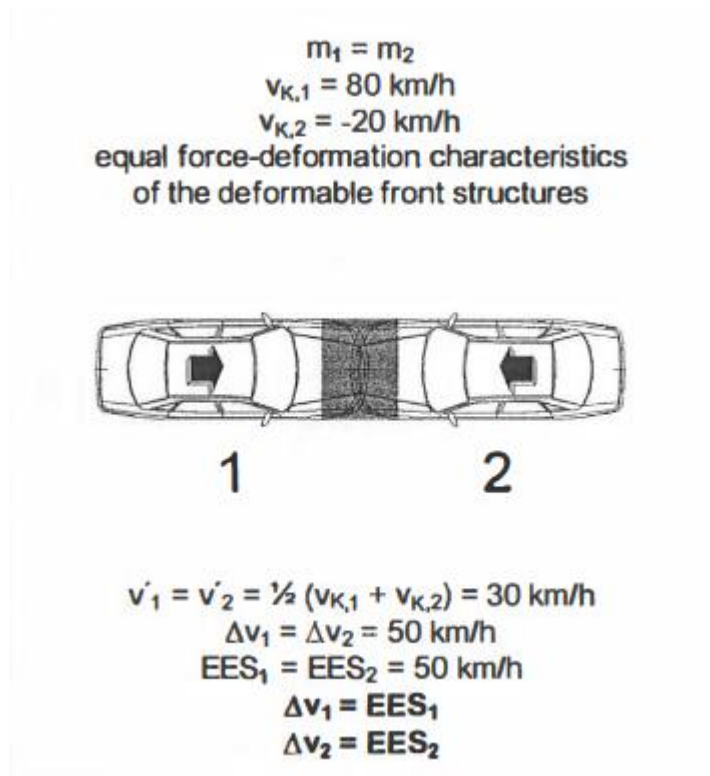
V kolizích s částečným přesahem je průběh kolize významně závislý na rychlosti nárazu. U mírného přesahu (40–50 %) a nižších rychlostí (do 56 km/h) nedochází k bočnímu odrazu vozidla a tedy $\Delta v > v_{EES}$ (částečně elastický náraz) nebo $\Delta v = v_{EES}$ (plně plastický náraz). Ve vyšších rychlostech nebo při menším přesahu začne docházet k bočnímu odrazu a od určité rychlosti je už poškození vozidla konstantní a roste pouze rychlost odrazu. Toto chování je popsáno v obrázku 31.



Obrázek 31

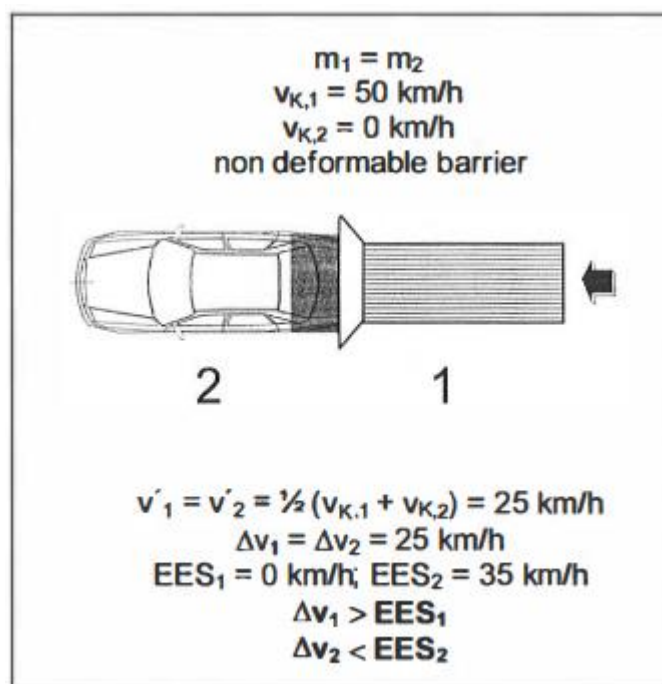
5.9.3 Kolize dvou vozidel nebo vozidla s pohyblivou bariérou

V případě plně plastického nárazu lze vztah Δv a v_{EES} vyjádřit pomocí principů zachování energie a hybnosti. Obrázek 32 ilustruje čelní náraz dvou vozidel se 100 % přesahem. Vozidla jsou shodná – mají stejnou hmotnost i tuhost deformační zóny. V takovém případě je u obou vozidel Δv rovna v_{EES} , a i vzájemně jsou tyto hodnoty stejné.



Obrázek 32

Podobným způsobem lze vyjádřit situaci při nárazu pohyblivé tuhé bariéry do statického vozidla (obrázek 33), přičemž hmotnost bariéry je rovna hmotnosti vozidla. I v tomto případě budou hodnoty delta-v stejné pro bariéru i vozidlo. Veškerá disipovaná energie je pohlcena automobilem, a proto v_{EES} pro bariéru je nulové, naopak v_{EES} pro vozidlo je větší než delta-v.



Obrázek 33

5.9.4 Shrnutí

Jak je patrné z příkladů uvedených výše, není obecně možné uvést přímý vztah mezi Δv a v_{EES} . Ten závisí na konfiguraci nárazu a deformačních charakteristikách vozidel a Δv může být větší, rovno i menší než v_{EES} . v_{EES} bývá určována srovnáním s etalonem nebo někdy také geometricky. Hodnota Δv může být zjištěna z analýzy nárazu, pokud známe v_{EES} a počáteční a koncové rychlosti (posuvné i rotační) vozidel. Je možné s pomocí počítačové analýzy určit v_{EES} s přesností na ± 2 km/h, na základě fotografií (etalon) pak s přesností nejlépe ± 5 km/h.

Závěrem lze zjednodušeně říci, že Δv je větší než v_{EES} , pokud v nárazu hraje roli tuhá část vozidla (klec), plný přesah, malá změna rychlosti a žádný boční odraz. Naopak v_{EES} je větší v případě, že je změna rychlosti velká, zatěžují se pouze deformovatelné struktury, přesah je menší a dojde k bočnímu odrazu. [25]

5.9.5 Případ srážky dvou vozidel s 25 % přesahem

Na základě předchozích poznatků z této práce lze odhadnout parametry nárazu dvou vozidel s malým přesahem. Jelikož se jedná o náraz s malou hodnotou přesahu (25 %) a vysokou vzájemnou rychlostí (každé z vozidel jede 64 km/h, vzájemná rychlost bude tedy 128 km/h), očekávám poměrně krátkou dobu kontaktu s intenzivní deformací bočních částí vozidel a následným odrazem šikmo dopředu pro každé z vozidel, tato budou pokračovat po nárazu nezanedbatelnou rychlostí. V případě použití dvou shodných vozidel by měla být hodnota v_{EES} a Δv pro každé z vozidel stejná. Vzhledem k výše popsané konfiguraci nárazu očekávám, že hodnota v_{EES} bude vyšší, než hodnota Δv .

5.9.6 Ekvivalentní srážka

Jak bylo zmíněno výše, u srážky je určující hodnota v_{EES} kvůli deformaci vozidla, a také hodnota akcelerace. V případě testu s 25 % přesahem bývá zranění osob deformací vozidla téměř vždy pravděpodobnější, než vlivem akcelerace (ten naopak dominuje u testů s většími přesahy, obzvláště nad 50 %), hraje tedy největší roli hodnota v_{EES} . Abychom replikovali srážku dvou vozidel na nárazu do bariéry, potřebovali bychom, aby hodnota v_{EES} pro testované vozidlo byla stejná, jako u skutečné srážky.

Pokud bychom použili statickou tuhou bariéru připevněnou k zemi, vozidlo by se po nárazu chovalo jinak než ve skutečnosti hlavně proto, že se velmi deformovatelný bok vozidla po hraně tuhé bariéry snadno „sklouzává“, což se u nárazu do jiného vozidla, které má boční část předku také deformovatelnou, neděje. Abychom dosáhli srovnatelných výsledků, měli bychom použít deformovatelnou bariéru o tuhosti, která se nebude příliš lišit od tuhosti přední části testovaného vozidla.

V ideálním případě bychom použili bariéru, která by byla stejně těžká jako testované vozidlo, měla stejnou tuhost a pohybovala se stejnou rychlostí. To by sice replikovalo dokonale náraz, ale nijak bychom si z realizačního hlediska nepomohli od původního problému – nároky na prostor, výkon a realizaci by neklesly.

Vzhledem k tomu, jaké problémy pramenily z pokusu o realizaci srážky dvou vozidel, lze usoudit, že pouhé navyšování hmotnosti na úkor rychlosti bariéry by tyto problémy nevyřešilo. Hlavní část jízdních odporů je totiž odpor ze zrychlení, tudíž navýšení hmotnosti a ekvivalentní snížení rychlosti bariéry (při zachování její hybnosti) by navýšilo sílu potřebnou k akceleraci, přičemž požadovaný výkon ke zrychlení na požadovanou rychlost by zůstal stejný (výkon závisí na síle a rychlosti). Požadovaný výkon by byl lehce rozdílný (aerodynamický odpor by klesl (závisí na druhé mocnině rychlosti), naopak odpor valení by stoupl (závisí na první mocnině hmotnosti), tudíž bylo by možné najít optimum pro nejnižší požadovaný výkon), ale vliv aerodynamické a valivé složky odporů je o řád nižší, než vliv odporu z akcelerace.

Další možností by byla vyšší tuhost, než je tuhost vozidla. Tady ale narážíme na to, že jsme sice schopni hodnotu v_{EES} zpětně určit z výsledků nárazu nebo spočítat pro zjednodušené případy (jako je čelní náraz se 100 % přesahem, kdy prakticky vozidlo po srážce zastaví, případně při srážce dvou vozidel vznikne slepenec), ale pro případy, kdy neznáme rychlost vozidel po nárazu a kdy nelze aplikovat tyto zjednodušující předpoklady, je tato metoda nepoužitelná. Proto by bylo takovouto náhradou velmi problematické navrhnout tak, aby výsledek byl ekvivalentní srážce dvou vozidel. Dále se v této práci budu věnovat analýze nárazů s 40 % a 25 % přesahem a modelu pohybu figuríny v nich.

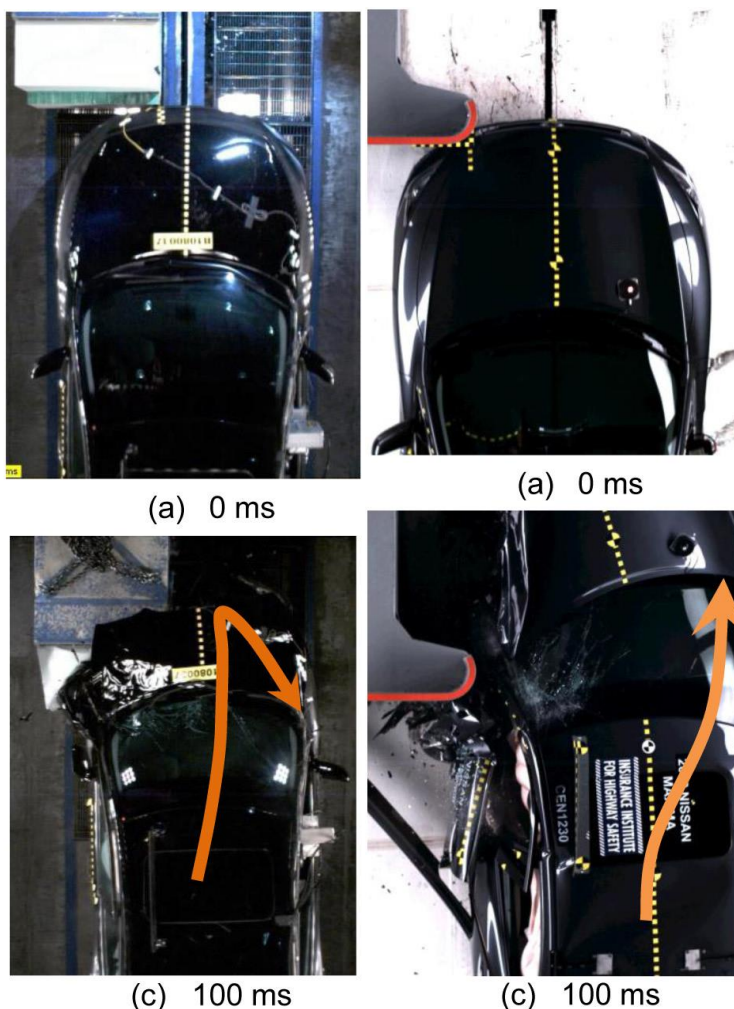
6. SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ TESTŮ

6.1. Test s malým a mírným přesahem podle IIHS

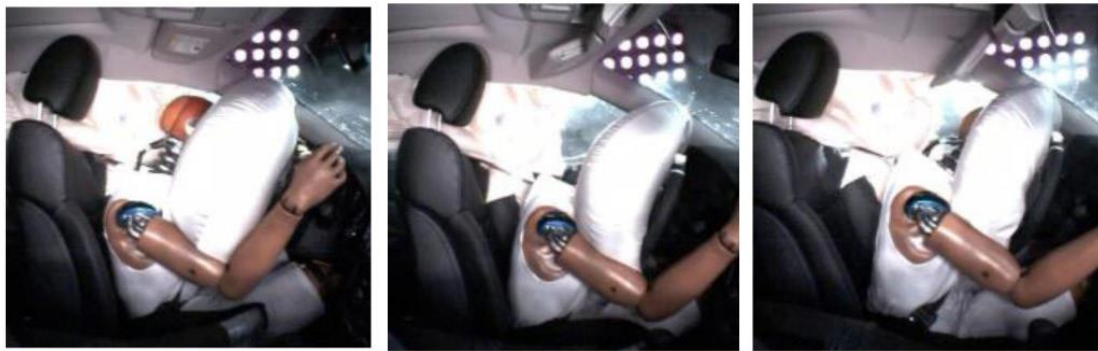
Jelikož test s mírným přesahem je prováděn do deformovatelné bariéry s přesahem 40 % a test s malým přesahem do pevné bariéry s přesahem 25 % (v obou případech jede vozidlo kolmo k bariéře), chování vozidla je v každém z nich jiné. Následující srovnání bylo provedeno s vozidlem typu mid-size sedan, konkrétně Nissan Maxima 2012. [23]

Podíváme se na pozici vozidla v okamžiku střetu a po 100 ms obrazově (obrázek 34). U testu se 40 % přesahem (vlevo) po 100 ms došlo k deformaci deformační zóny a vozidlo se „odráží“ a začne pohybovat šikmo vzad a vpravo (pryč od bariéry – viz šipka). U nárazu s 25 % přesahem (vpravo) se vozidlo pohybuje vpřed až do kolize spodní části A-sloupku s bariérou (cca v čase 100 ms), což způsobí odtažení vozidla vpravo kolem bariéry.

Obrázek 35 pak ilustruje pohyby figuríny při nárazu s 40 % (nahore) a 25 % (dole) přesahem.



Obrázek 34



(a) 100 ms

(b) 125 ms

(c) 150 ms



(a) 100 ms

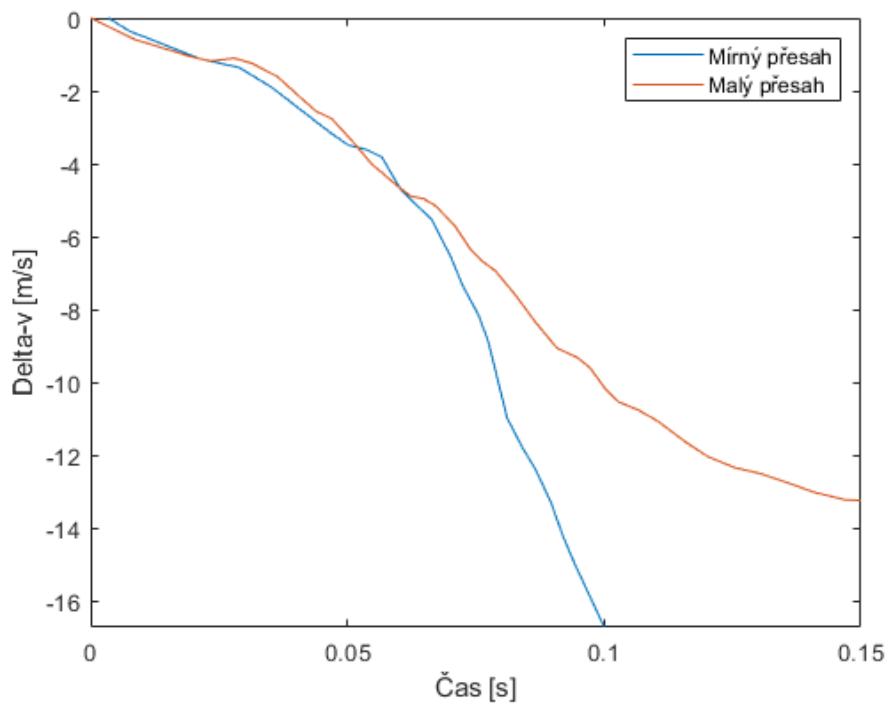
(b) 125 ms

(c) 150 ms

Obrázek 35

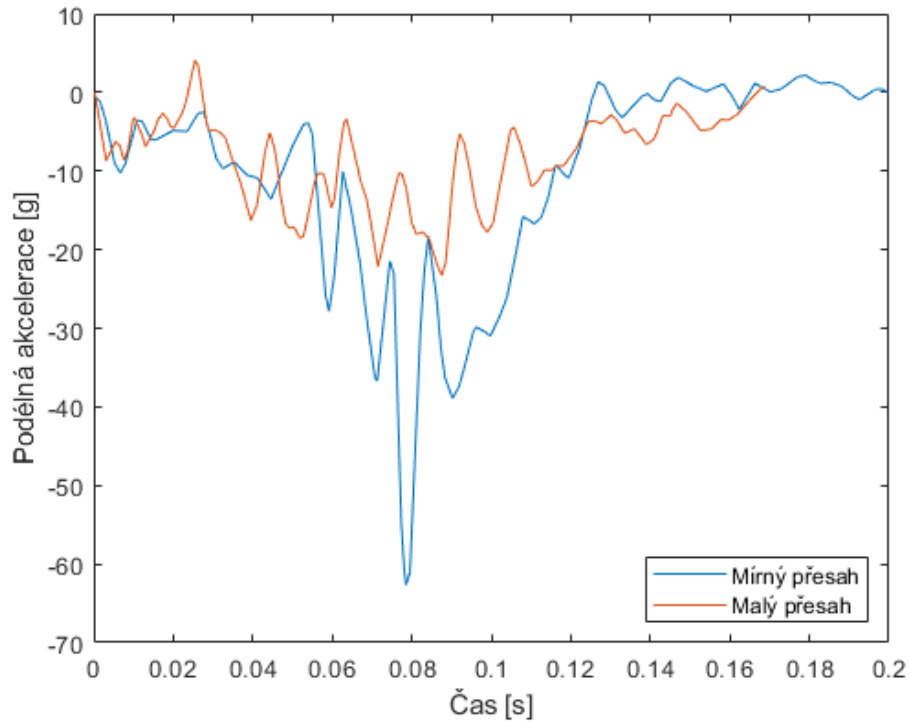
6.2. Vzájemné rozdíly testů IIHS

- Pokles delta-v je v testu se 40 % přesahem (vždy modrá) větší a stálý, naopak v testu s 25 % přesahem (vždy červená) se po prvotním poklesu postupně vyrovnává na hodnotě kolem -14 m/s. Kladná hodnota je vždy ve směru jízdy.

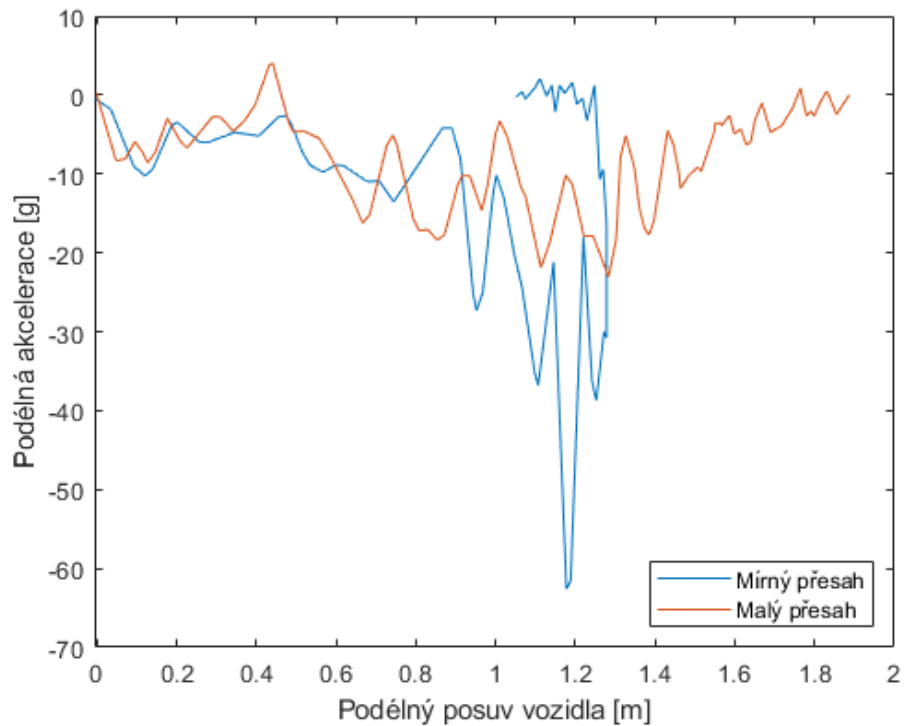


Obrázek 36

- V testu s mírným přesahem je větší maximum podélné akcelerace (62 g oproti 23 g). Stojí také za zmínku, že u testu s mírným přesahem dojde k pohybu směrem vzad. Na grafu podélné akcelerace podle posunu vozidla je počátek střetu vpravo.

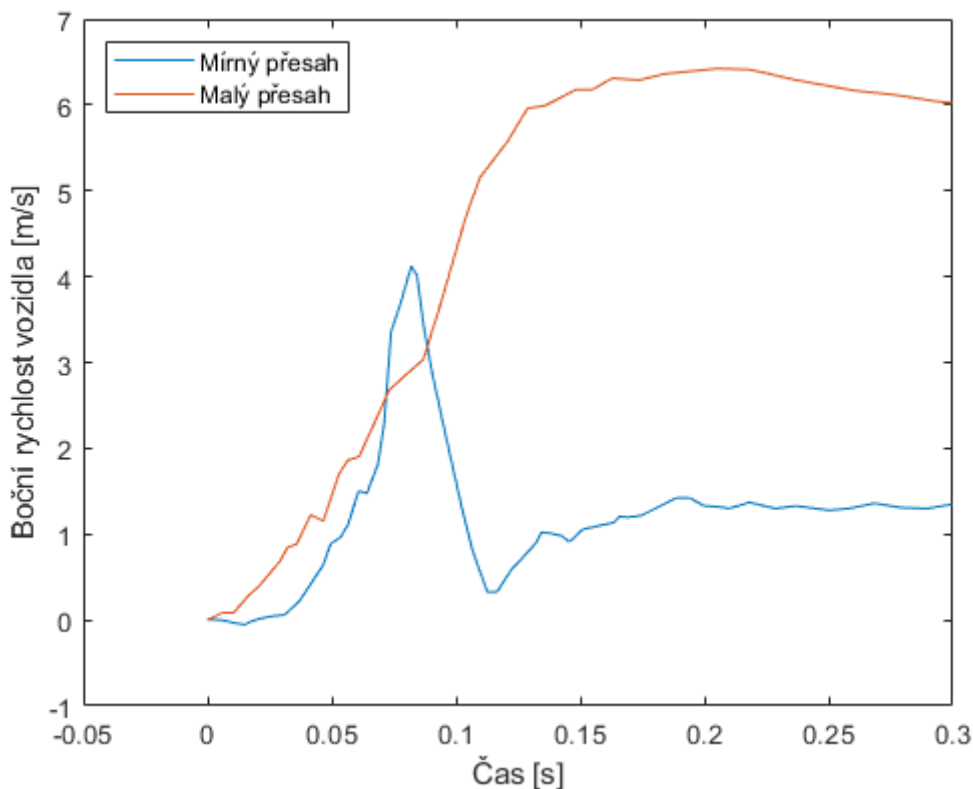


Obrázek 37



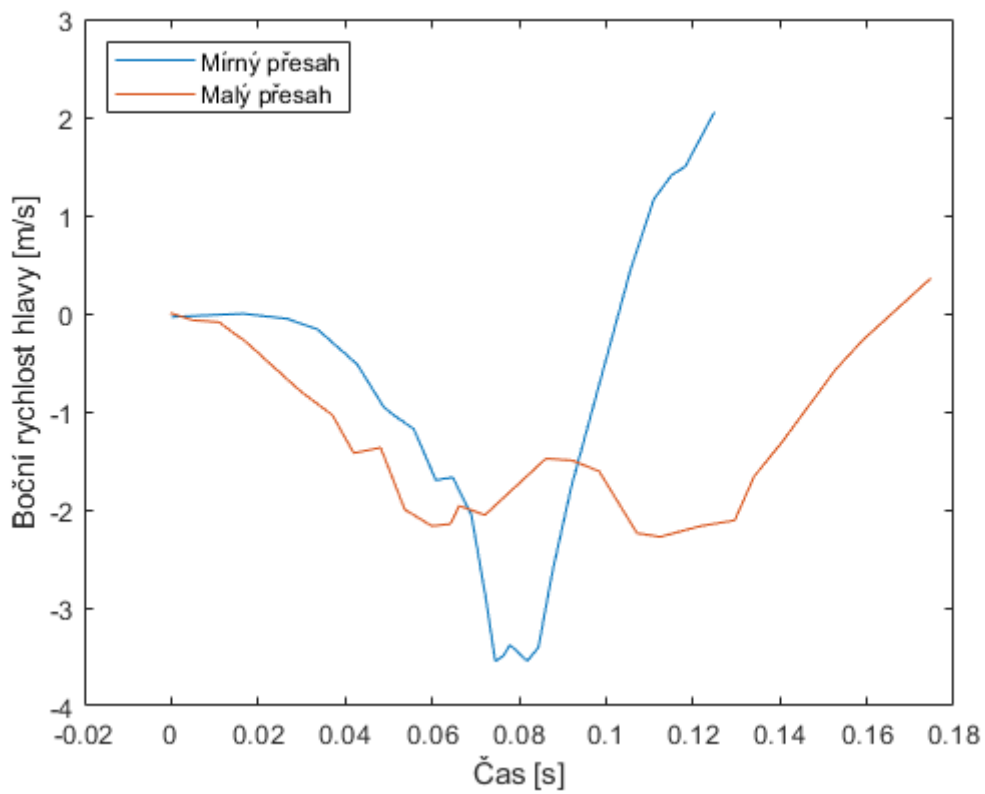
Obrázek 38

- U testu s 40 % přesahem má boční rychlost vozidla prudký nárůst na 4 m/s, poté ale klesne na 1,3 m/s; naopak u 25 % přesahu je nárůst pozvolný a ustálí se až na 6 m/s. Kladná hodnota je vždy z pohledu ve směru jízdy vpravo, tedy od překážky.

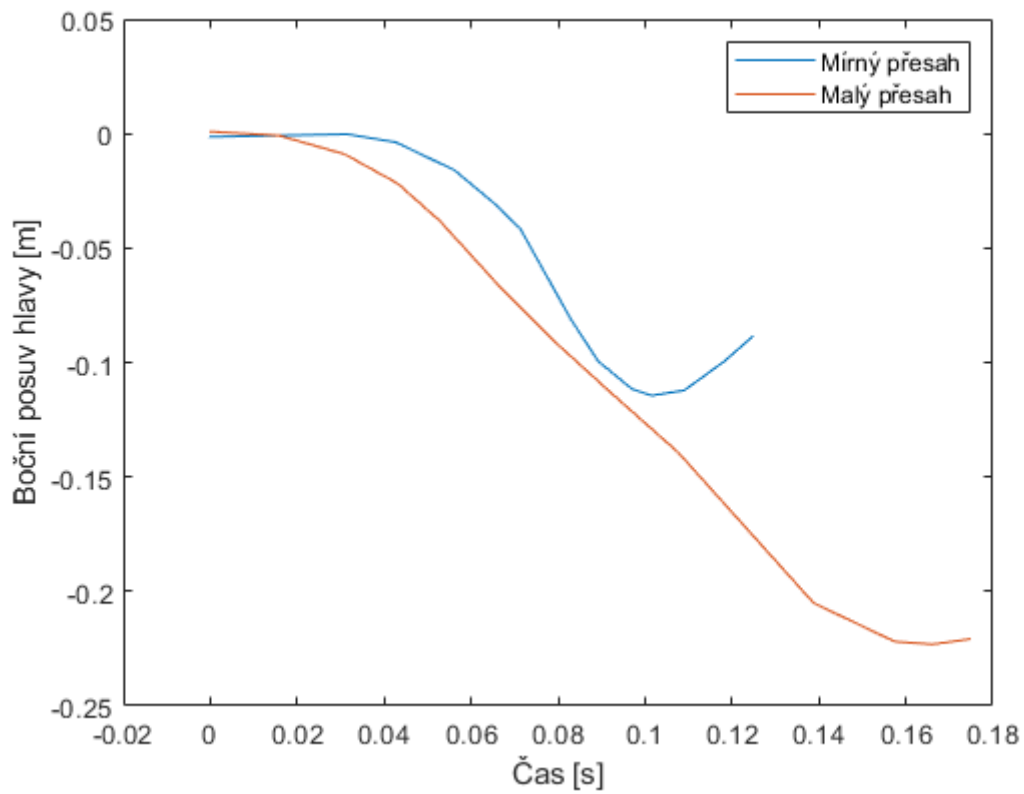


Obrázek 39

- Boční rychlost hlavy (měřená relativně vůči vozidlu) má u testu s 40 % přesahem prudší záporný nárůst (na hodnotu -4 m/s) a poté kladný (na 2 m/s), zatímco u 25 % přesahu jsou změny pozvolné a od času 0,05 s do 0,125 s se pohybuje jen s menšími výkyvy kolem -2 m/s. Co se týká bočního posuvu hlavy, ten je po celou dobu větší u testu s 25 % přesahem. V dostupných datech bohužel není zachycen závěrečný trend boční rychlosti a posuvu hlavy u testu s mírným přesahem.

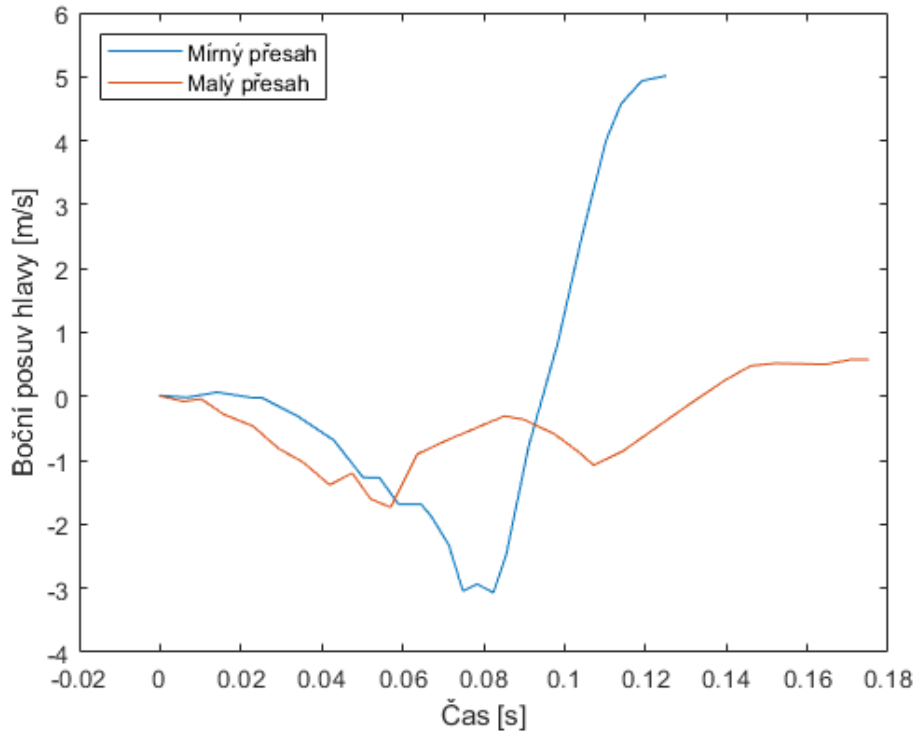


Obrázek 40

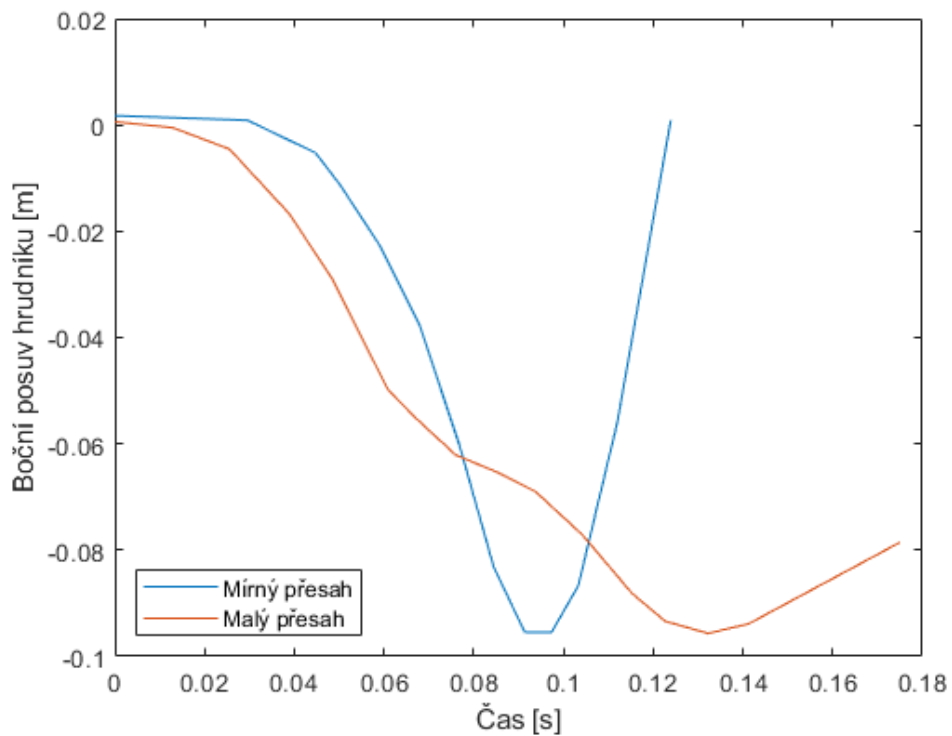


Obrázek 41

- Velmi podobný trend (pouze s nižšími absolutními hodnotami) lze sledovat také pro boční rychlost hrudníku (opět relativně vůči vozidlu). Zde ale je boční posuv hrudníku po určitou dobu vyšší u testu se 40 % přesahem.



Obrázek 42



Obrázek 43

6.3. Matematický vztah mezi nárazy

S dostupnými výsledky porovnání nárazových testů se 40 % a s 25 % přesahem je možné dále pracovat. Vzhledem k tomu, že známe průběhy bočního pohybu hlavy a hrudníku (relativně vůči vozidlu), stejně jako těžiště vozidla, můžeme se pokusit o následující: Když získáme vzájemný vztah mezi bočním pohybem hlavy a bočním pohybem vozidla u nárazu se 40 % přesahem, a tento vyjádříme matematicky, získáme nějaké převodní koeficienty. Když pak tyto převodní koeficienty aplikujeme na boční pohyb vozidla u nárazu s 25 % přesahem, dostali bychom boční pohyb hlavy u nárazu s 25 % přesahem, ovšem tehdy a jen tehdy, pokud by platilo, že pohyb figuríny je ovlivněn jen a pouze pohybem vozidla. Když to tedy provedu, zjistím, zdali je tomu tak, a pokud nebude, pokusím se zdůvodnit, proč.

Prvním krokem bude popsat křivky zmíněných průběhů, které jsou zobrazeny v předchozí části této práce, matematicky. Vzhledem k jejich průběhu jsem se rozhodl pro popis pomocí hladké křivky typu spline 3. stupně s intervalem 5 ms. To znamená, že každý z úseků (tedy 0–5 ms, 5–10 ms, 10–15 ms, ...) křivky je popsán pomocí čtyř koeficientů – kubického, kvadratického, lineárního a absolutního. Pro křivku průběhu boční rychlosti vozidla u nárazu se 40 % přesahem tyto nazveme v_{vm3} , v_{vm2} , v_{vm1} , v_{vm0} . Analogicky pojmenujeme koeficienty pro náraz s 25 % přesahem, kde index m nahradíme indexem s, pro průběhy pohybů hlavy index v nahradíme indexem h, pro pohyb hrudníku pak c.

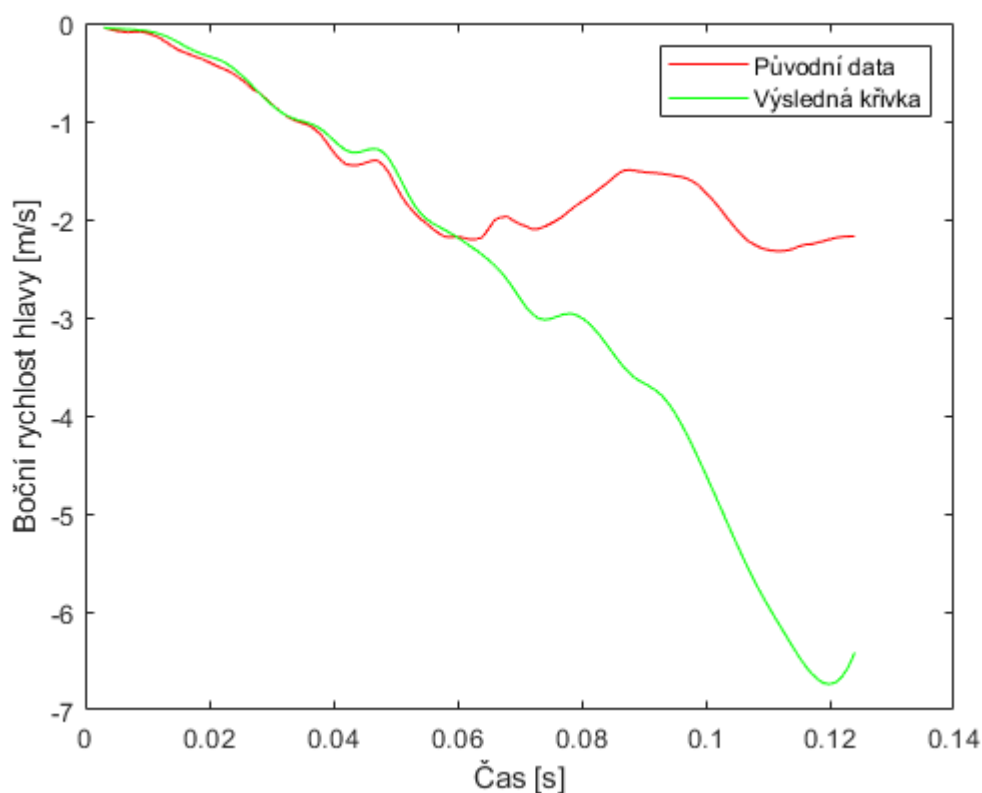
Jako první se budeme věnovat pohybům vozidla a hlavy u nárazu se 40 % přesahem. Průběh boční rychlosti vozidla je proložen křivkou spline (příloha 1, prokládání křivkou využívá vždy kromě funkcí dostupných v programu Matlab také funkci *polyfix*, získanou ze zdroje [29] a přiloženou v příloze 13) a hodnoty koeficientů spline v jednotlivých intervalech se zkopírují z Matlabu do souboru (příloha 2). To samé provedeme pro boční rychlost hlavy u nárazu se 40 % přesahem (proložení křivkou je pomocí souboru v příloze 3, data jsou pak zapsána opět do přílohy 2). Nejprve průběhy rychlosti vozidla a hlavy (v příloze 2) derivujeme, čímž získáme hodnoty zrychlení. Zde koeficient v... nahradíme příslušným koeficientem a. Budeme tedy mít koeficienty a_{vm2} , a_{vm1} , a_{vm0} a k nim příslušné koeficienty pro zrychlení hlavy a_{hm2} , a_{hm1} , a_{hm0} . Poté zavedeme koeficienty k_{m2} , k_{m1} a k_{m0} , definované jako

$$k_{mi} = \frac{a_{hmi}}{a_{vmi}}$$

Tyto koeficienty udávají převodní vztah mezi zrychlením vozidla a hlavy u nárazu se 40 % přesahem. Poté způsobem, analogickým k postupu výše, získáme koeficienty a_{vsi} pro boční zrychlení vozidla při nárazu s 25 % přesahem. Nyní aplikujeme převod ze vztahů mezi pohybem vozidla a hlavy u nárazu se 40 % přesahem a získáme koeficienty

$$a_{hsiteor} = a_{vsi} \cdot k_{mi}$$

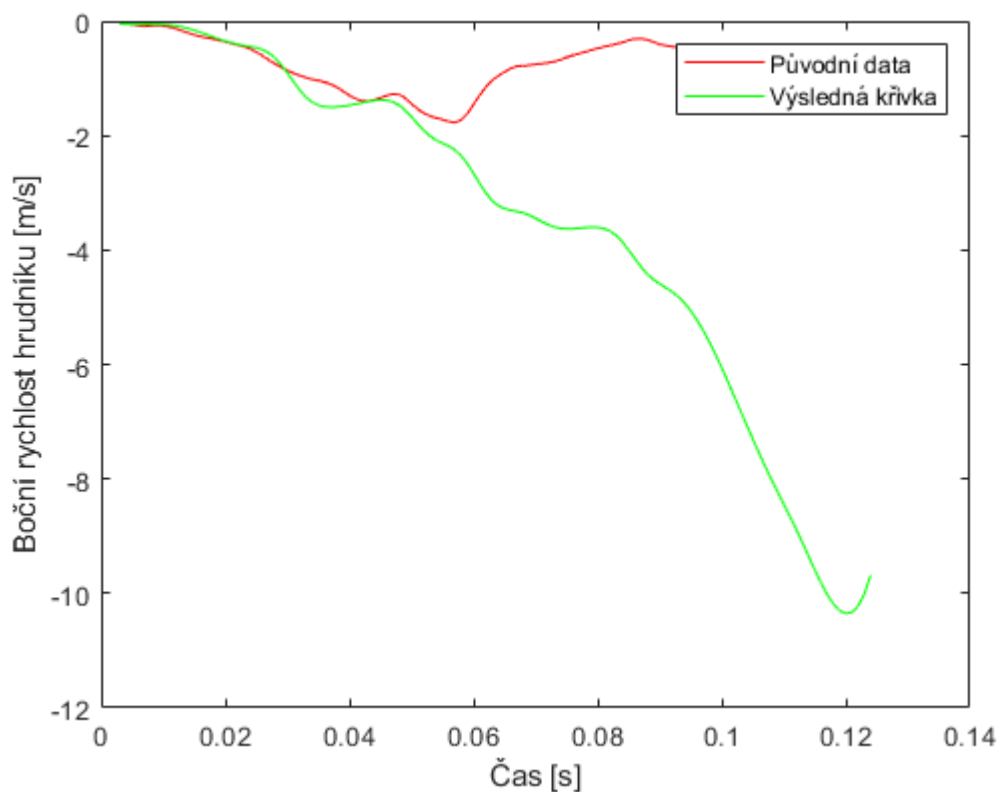
Tyto koeficienty vyjadřují průběh zrychlení hlavy při nárazu s 25 % přesahem, „odhadnutý“ z pohybu vozidla u nárazu s 25 % přesahem a znalosti vzájemného vztahu pohybů hlavy a vozidla u nárazu se 40 % přesahem. Když průběh zrychlení integrujeme, získáme průběh rychlosti. Zde nám kvůli integraci chybí absolutní člen, který lze snadno zjistit z okrajových podmínek – v počátečním čase 0 ms je hodnota rychlosti nulová a v krajních bodech intervalů bude křivka spojitá. Toto je zajištěno pomocí programu Matlab. V prostředí tohoto programu je kromě odhadnutého průběhu (zeleně) vykreslen také průběh skutečný (červeně). Toto zobrazení je realizováno v příloze 4.



Obrázek 44

Z porovnání těchto průběhů na obrázku 44 vyplývá, že do času cca 60 ms je průběh prakticky stejný, poté se výrazně odchýlí. Příčina toho bude rozdílná interakce figurín se zádržnými systémy vozidla, především airbagy. U nárazu s mírným přesahem je totiž boční pohyb figuríny vůči vozidlu méně výrazný, a proto dojde k pozdější interakci s bočními hlavovými airbagy, než je tomu u nárazu s malým přesahem. Proto model předpovídá mnohem méně výraznou reakci zádržných systémů, která se projeví v průběhu pohybu.

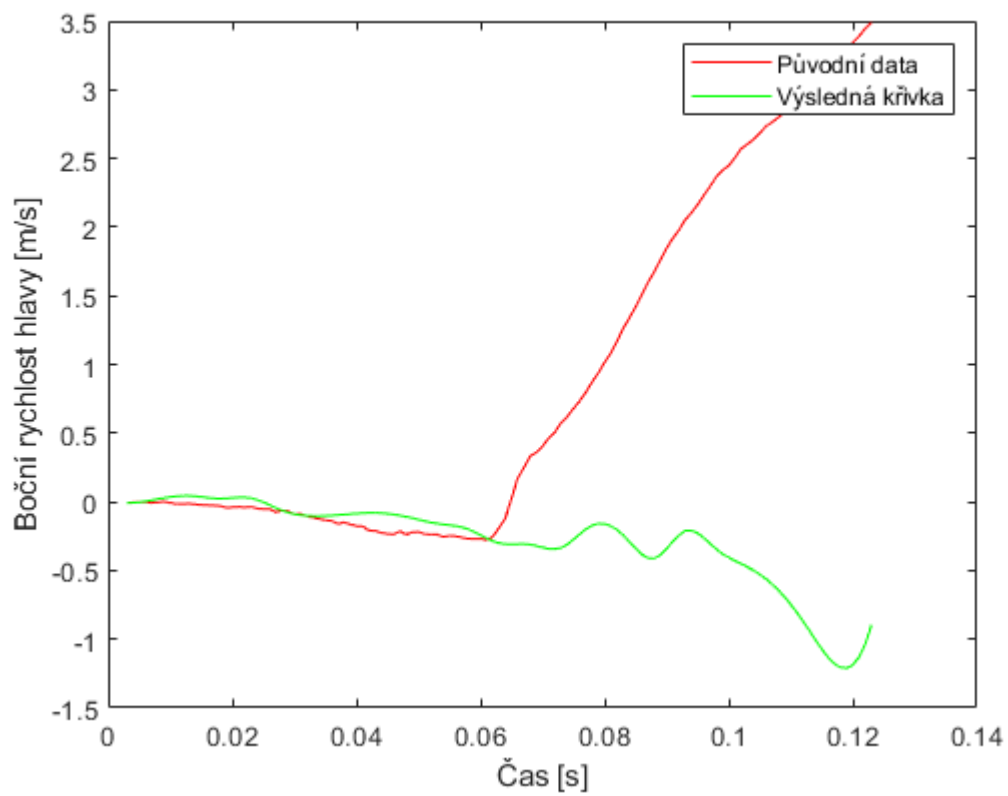
Dále bylo totéž provedeno s bočním pohybem hrudníku (proložení v příloze 5, převod v příloze 2, zobrazení v příloze 6).



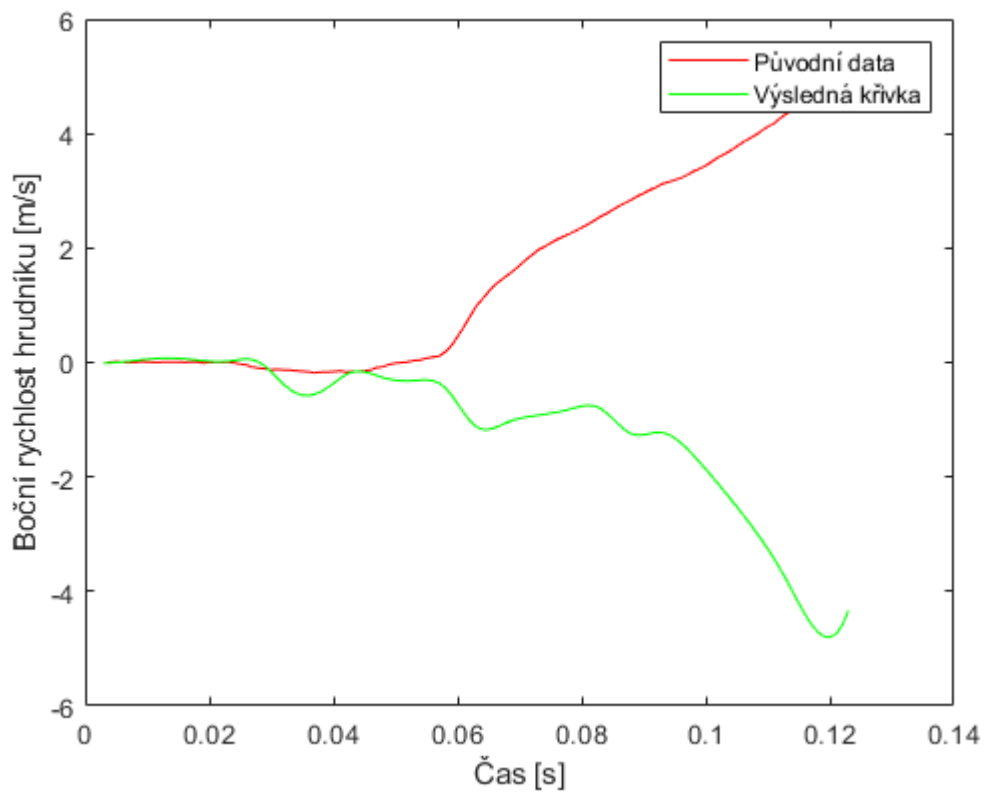
Obrázek 45

V případě pohybů hrudníku (obrázek 45) je výsledek velmi podobný, k oddělení dojde o něco dříve – zhruba v čase 50 ms. Z toho lze usoudit, že k interakci se zádržnými systémy vozidla dochází u hrudníku dříve než u hlavy.

Pro kontrolu lze ještě provést převod relativních rychlostí hlavy a hrudníku vůči vozidlu na hodnoty v absolutním souřadném systému, tj. vůči zemi neboli do stejného systému, ve kterém je definována rychlost vozidla. Po převodu budeme postupovat při vytváření modelu stejným způsobem, jako v případě relativních souřadnic. V případě hlavy je proložení realizováno v příloze 7, převod v příloze 8 a zobrazení v příloze 9, u hrudníku pak proložení v příloze 10, převod v příloze 8 a zobrazení v příloze 11. Výsledek tohoto postupu je zobrazen na následujících dvou grafech (obrázky 46 a 47).



Obrázek 46



Obrázek 47

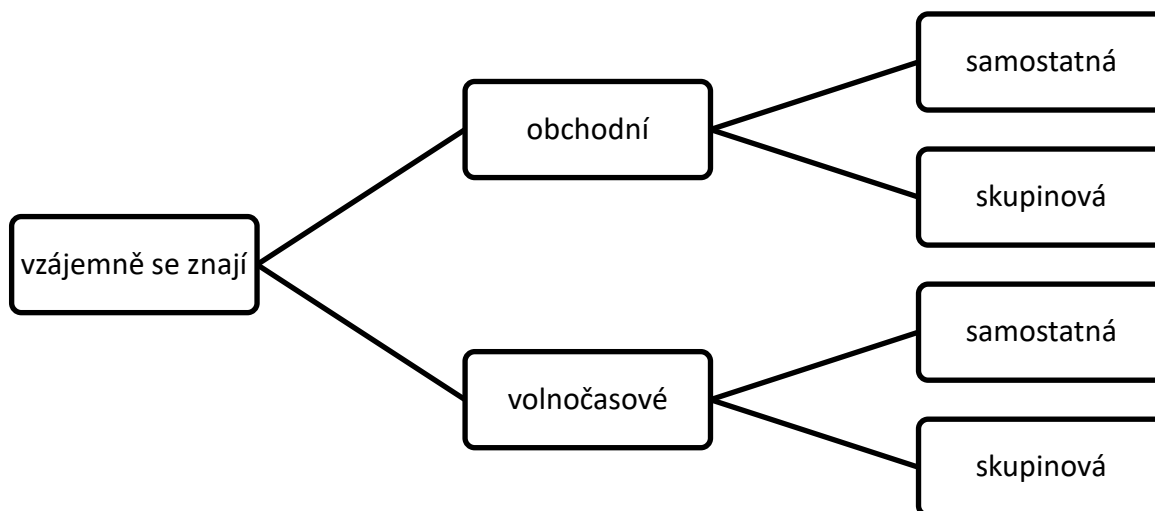
U obou pohybů lze udělat stejný závěr, tedy že průběh je opět téměř stejný do času 60 ms v případě hlavy, respektive 50 ms v případě hrudníku. Volba souřadného systému tedy nemá vliv na výsledek tohoto modelu.

Z výše uvedeného lze udělat závěr, že pohyb figuríny je dán nejen pohybem vozidla (který může být dán z dat srážky), ale také její interakcí se zádržnými systémy vozidla. Tuto interakci není možné jednoduchým způsobem predikovat (jedinou možností by bylo použít MKP model, což by svým rozsahem přesahovalo obsah této práce), a proto se v dalších částech práce budu věnovat modelu pohybu figuríny před interakcí se zádržnými systémy.

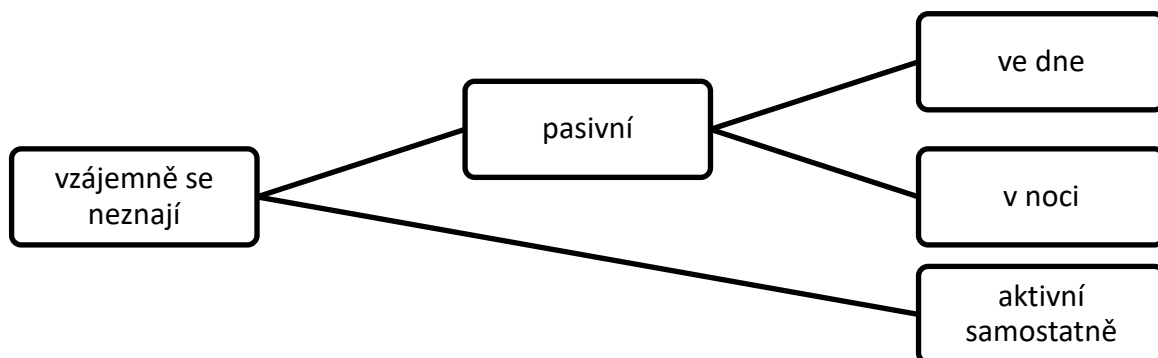
7. OUT-OF-POSITION KONFIGURACE V AUTONOMNÍCH VOZIDLECH

U autonomních vozidel 4. a 5. stupně autonomie pravděpodobně dojde k tomu, že pasažéři (především řidič) budou mít více možností, v jaké pozici budou ve vozidle sedět. Nejde jen o způsob sezení v sedadle, ale také o to, jestli je sedačka vůbec po směru jízdy. V současnosti jsou zádržné systémy navrhovány pro klasické uspořádání – tedy řidič v pozici při řízení vozidla a pasažéři v klasickém sedu, přičemž všichni sedí směrem dopředu, tedy po směru jízdy. V případě autonomních vozidel se však nabízí větší variabilita. Proto byl v rámci projektu OSCCAR na univerzitě RWTH Aachen University proveden empirický pokus, jehož cílem bylo zjistit, jakým způsobem lidé ve vozidle sedí. [26]

Daný počet testovaných osob (50) seděl postupně v zadní části vozidla Ford Transit na čtyřech sedadlech, z nichž dvě byla po směru jízdy a dvě proti nim, tedy proti směru jízdy. Mezi dvojicemi sedadel byl stůl. Cestující si sami nastavovali sedadlo a seděli tak, jak jim to bylo subjektivně co nejpohodlnější. Vozidlo se pohybovalo po předem určené trase, která byla dlouhá 50 km a zahrnovala cestu ve městě, mimo město a na dálnici. Účastníci byli rozděleni do 12 skupin, z nichž každá vykonávala nějakou určenou aktivitu. Aktivita jsou ilustrovány na následujícím diagramu. [26]












Obrázek 48



Obrázek 49

Cestující byli nahráváni na kamery, umístěné tak, aby pokrývaly celý prostor z několika různých úhlů, a poté byly z analýzy záznamu určeny nejčastější pozice. Ke klasifikaci sezení byla použita obrázek 50. Dále byly analyzovány pozice nohou.

| | | | | |
|--------------------------|---|---|---|--|
| Lateral Position |  |  |  | Tilting/turning to any side away from the centralized position, no specification of angles |
| | tilted left | centralized | tilted right | |
| Z-Rotation |  |  |  | |
| | turned left | centralized | turned right | |
| Sagittal Position |  |  |  | |
| | contact to backrest | slightly away | further away | |

Obrázek 50

Výsledky studie

Následující tabulka shrnuje nejčastější způsoby sezení ve všech aktivitách. [26]

| Část těla | Pozice | | | Procento celkového času |
|-----------------|------------------------------|-----------|---------------------|-------------------------|
| | Boční | Osa Z | Sagitální | |
| Spodní páteř | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 85,04% |
| Ramena | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 65,43% |
| | uprostřed | uprostřed | mírně vzdálená | 17,41% |
| Hlava | | | kontakt s opěradlem | 58,01% |
| | | | mírně vzdálená | 24,44% |
| | | | více vzdálená | 10,39% |
| Dolní končetiny | uprostřed | | | 52,49% |
| | zkřížené v kolenou | | | 21,90% |
| | dolní končetiny pod sedadlem | | | 13,93% |

Podrobněji se zabývají výsledky následující dvě tabulky, z nichž první se týká aktivit lidí, kteří se navzájem znají, druhá pak lidí, kteří se vzájemně neznají.

| Aktivita | Část těla | Pozice | | | Procento celkového času |
|--------------------|-----------------|------------------------------|-----------|---------------------|-------------------------|
| | | Boční | Osa Z | Sagitální | |
| Obchodní skupinová | Spodní páteř | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 86,26% |
| | Ramena | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 85,43% |
| | | uprostřed | uprostřed | více vzdálená | 11,77% |
| | Hlava | | | kontakt s opěradlem | 71,46% |
| | | | | mírně vzdálená | 16,64% |
| | | | | více vzdálená | 10,75% |
| | Dolní končetiny | zkřížené v kolenou | | | 43,84% |
| | | uprostřed | | | 25,81% |
| | | dolní končetiny pod sedadlem | | | 19,90% |

| | | | | | |
|------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------|---------------------|---------------------|
| Obchodní samostatná | Spodní páteř | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 72,50% |
| | Ramena | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 47,97% |
| | | uprostřed | uprostřed | mírně vzdálená | 26,14% |
| | Hlava | | | mírně vzdálená | 51,91% |
| | | | | kontakt s opěradlem | 27,61% |
| | | | | více vzdálená | 19,82% |
| | Dolní končetiny | uprostřed | | | 45,67% |
| | | zkřížené v kolenou | | | 35,46% |
| | | zkřížené v kotnících | | | 12,40% |
| | Volnočasová skupinová | Spodní páteř | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem |
| uprostřed | | | uprostřed | více vzdálená | 23,24% |
| Ramena | | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 27,35% |
| | | uprostřed | uprostřed | mírně vzdálená | 23,09% |
| | | náklon vlevo | uprostřed | kontakt s opěradlem | 14,30% |
| Hlava | | | | více vzdálená | 61,50% |
| | | | | mírně vzdálená | 26,70% |
| Dolní končetiny | | dolní končetiny pod sedadlem | | | 29,60% |
| | | uprostřed | | | 25,15% |
| | | Zkřížené v kotnících | | | 22,86% |
| Volnočasová samostatná | Spodní páteř | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 99,31% |
| | Ramena | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 77,65% |
| | Hlava | | | kontakt s opěradlem | 65,69% |
| | | | | mírně vzdálená | 32,43% |
| | Dolní končetiny | zkřížené v kolenou | | | 48,56% |
| | | uprostřed | | | 40,47% |

| Aktivita | Část těla | Pozice | | | Procento celkového času | |
|--------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------|--------|
| | | Boční | Osa Z | Sagitální | | |
| Aktivní samostatná | Spodní páteř | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 95,88% | |
| | Ramena | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 48,55% | |
| | | uprostřed | uprostřed | mírně vzdálená | 47,43% | |
| | Hlava | | | kontakt s opěradlem | 55,27% | |
| | | | | mírně vzdálená | 38,48% | |
| | Dolní končetiny | | uprostřed | | | 75,54% |
| | | dolní končetiny pod sedadlem | | | 18,43% | |
| Pasivní ve dne | Spodní páteř | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 85,83% | |
| | Ramena | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 71,66% | |
| | | uprostřed | uprostřed | mírně vzdálená | 14,16% | |
| | Hlava | | | kontakt s opěradlem | 89,75% | |
| | | | | mírně vzdálená | 9,87% | |
| | Dolní končetiny | | uprostřed | | | 50,44% |
| | | | dolní končetiny pod sedadlem | | | 26,69% |
| | | zkřížené v kolenou | | | 12,60% | |
| Pasivní v noci | Spodní páteř | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 100% | |
| | Ramena | uprostřed | uprostřed | kontakt s opěradlem | 87,81% | |
| | | uprostřed | natočená vpravo | kontakt s opěradlem | 11,38% | |
| | Hlava | | | kontakt s opěradlem | 80,99% | |
| | Dolní končetiny | | uprostřed | | | 77,88% |

Analyza výsledků

Nejčastější pozice byla taková, kdy pasažéři měli zadní část těla uprostřed sedadla. Totéž platí i pro pozici ramen. U nich byla druhá nejčastější pozice, kdy se ramena neopírala o opěradlo. Hlava se také většinu času opírala o sedadlo, často se však od něj vzdálila. Pohyby hlavy však byly časté a v případná hlubší analýza těchto by byla komplexní. Proto se

vyhodnocení věnuje pouze pohybu v předozadním (sagitálním) směru. Pozice nohou byla nejčastější klasická, s chodidly na zemi. Další časté byly nohy zkřížené v kolenou a pak také chodidla pod sedadlem.

Pozice při sezení se ale také lišily v závislosti na aktivitě. V případě obchodní schůzky byla pozice podobná té nejčastější, ale pohyby hlavou byly velmi časté, ta však přesto zůstávala v kontaktu s opěradlem. Rozdíl byl však u nohou, kde nejčastější pozicí byly nohy zkřížené v kolenou.

V případě simulace pracovní činnosti bez interakce mezi pasažéry byly pozice podobné, ale ramena a hlava se častěji vzdalovaly od opěradla. Také pozice nohou byla rovnoměrněji rozdělena mezi tři výše zmíněné scénáře.

V případě společné volnočasové aktivity byla větší rozmanitost mezi pozicemi, kdy zadní část těla byla buď v kontaktu s opěradlem, nebo vzdálená od něj, což platí i pro ramena. Pohyby hlavou byly opět časté, jelikož se účastníci věnovali deskové hře na stole. Nejčastější pozice nohou byla ta s chodidly pod sedadlem, pak klasická pozice s chodidly na zemi a poté nohy překřížené v kotnících.

U volnočasové aktivity, kterou vykonával každý sám, byla zadní část těla i ramena v kontaktu s opěradlem téměř vždy, stejně jako hlava, která se občas mírně vzdálila od opěradla. Nohy byly buď s chodidly na zemi nebo překřížené v kolenou.

U aktivity vykonávané mezi neznámými lidmi byla zadní část těla v kontaktu s opěradlem, ramena a hlava pak jen někdy. Pozice nohou byla nejčastěji s chodidly na zemi nebo pod sedadlem.

U pasivního sezení bez aktivity byla pozice nejpodobnější té klasické, tzn. v kontaktu s opěradlem. Ve dne docházelo k pohybům hlavy pro nahlížení z okna, v noci však ne.

Mimo jiné se ukázalo, že při cestování se známými lidmi je častá pozice nohou zkřížených v kolenou, ale mezi neznámými lidmi se tato příliš nevyskytuje. [26]

Aplikace v crash testech

Pokud chceme zaručit větší bezpečnost cestujících v autonomních vozidlech, bylo by rozumné testovat nárazy také s různými pozicemi figurín. Na základě studie zmíněné výše je možné definovat specifické pozice, které by měly být testovány. Toto se týká autonomních vozidel, kde by pasažéři seděli proti sobě, tedy část sedadel by byla po směru jízdy a část proti.

Zprv by bylo vhodné do nárazových zkoušek zahrnout také osoby sedící proti směru jízdy. Zde však vzhledem ke kinematice nárazu neočekávám významné problémy, jelikož síla působící na cestující směřuje do sedadla, tudíž zde při čelních nárazech nehrozí významné

nebezpečí kontaktu s jinými částmi vozidla. Nicméně pořád je potřeba vhodným způsobem zajistit bezpečnost vůči bočnímu pohybu.

Co se týká vlastních způsobů sezení, v případě spodní části páteře je sice zdaleka nejčastější pozice opření do opěradla (85 %), ale nelze zanedbat situaci, kdy jsou cestující v předklonu, tedy spodní část páteře vzdálená od opěradla. Tato pozice je z hlediska kinematiky při nárazu nebezpečnější, protože figurína je vzdálená od sedadla, a tudíž je větší riziko kolize s dalšími částmi vozidla. Nicméně s výjimkou společných volnočasových aktivit se nejedná o tolik rozšířený způsob sezení, takže jeho zahrnutí do testů by pravděpodobně nebylo nezbytně nutné, spíše by se mohlo jednat o jednorázovou studii zkoumající, o kolik nebezpečnější by byl tento způsob sezení oproti ostatním.

Pro pozici ramen je nejčastější klasická pozice (opřená o opěradlo, tedy běžně testovaná), nicméně zanedbatelná pozice je opět předklon. Zatímco spodní páteř je v kontaktu s opěradlem v 85 % případů, u ramen je to pouze 65,4 %, tudíž situace, kdy ramena nejsou v kontaktu s opěradlem, je častější než u spodní páteře. Na druhou stranu tato situace je méně nebezpečná, jelikož předklon je méně výrazný, proto i zde by spíše stačila jednorázová studie namísto pravidelného testování.

U hlavy je situace, kdy se neopírá o opěradlo, ještě častější. V případě některých aktivit (například volnočasová skupinová) se hlava dokonce téměř vůbec neopírá o opěradlo. Vzhledem k náchylnosti hlavy k vážným zraněním při nárazech by pravděpodobně bylo vhodné toto zohlednit při nárazových zkouškách.

Pro pozici nohou je kromě klasické sedící pozice časté zkřížení nohou v kolenou, především v situacích, kdy spolu cestují lidé, kteří se vzájemně znají. Je rozumné předpokládat, že takových případů je v praxi u osobních automobilů většina. Proto by bylo tuto pozici vhodné zahrnout do testování. Pravdou je, že v případě automobilů klasické konstrukce je tento posez v případě nárazu riskantní, protože vzdálenost vrchního kolene od pevných částí vozidla je pak většinou malá, ale u autonomních vozidel ve zmíněné konfiguraci by prostoru mělo být víc, a proto by riziko zranění nohou kontaktem s interiérovými prvky vozidla mohlo být nižší. Přesto by bylo vhodné toto zahrnout do testování. Co se týká sezení s nohama pod sedadlem, zde neočekávám významné zvýšení rizika, případná jednorázová studie na toto téma by tedy mohla být dostačující

Shrnutí

Na základě analýzy zmíněné studie bych pro nárazové testy autonomních vozidel s konfigurací cestujících sedících proti sobě zaměřil kromě klasického posezu, běžně používaného u testů klasických vozidel, navrhl následující pozici:

- Spodní část páteře uprostřed sedadla, opřená o opěradlo
- Ramena uprostřed, mírně vzdálená od opěradla
- Hlava uprostřed, více vzdálená od opěradla
- Nohy zkřížené v kolenou

Tato konfigurace zahrnuje několik potenciálně rizikových faktorů, které se u cestujících vyskytovaly. Nejedná se o nejčastější způsob sezení, ale spíše o „méně bezpečnou běžnou konfiguraci“. Pokud bychom chtěli do pravidelných testů zahrnout jednu pozici sezení (samozřejmě kromě klasické), byla by tato dle mého názoru nejefektivnější. V případě, že bychom požadovali větší bezpečnost (neboli horší scénář), bylo by možné spodní část páteře mít mírně vzdálenou od sedadla, ramena pak více vzdálená. Tento závěr lze aplikovat do modelu, kterému se budu věnovat v další části práce – konkrétně do modelu bude zahrnuta možnost zadání počáteční polohy hlavy a hrudníku.

8. MODEL POHYBU FIGURÍNY

V další části práce se budu věnovat tvorbě modelu pohybu figuríny před kontaktem se zádržnými systémy. Vstupními daty pro model jsou pohyb vozidla (konkrétně jeho podélné zrychlení a boční posuv) a údaje specifikující vozidlo (vzdálenosti částí těla od příslušných zádržných systémů (například vzdálenost hlavy od naplněného čelního airbagu apod.), maximální síla v bezpečnostním pásu). Dále je možné zadat parametry popisující konfiguraci out-of-position, které jsem se věnoval v předchozí kapitole, konkrétně se jedná o počáteční polohu hlavy a hrudníku (jejich vzdálenost od opěradla, případně opěrky hlavy). Výstupem je pak odhad pohybu libovolně natočené figuríny před interakcí s airbagy vozidla a počáteční čas této interakce.

Jak již bylo zmíněno, k nárazovým testům se používá figurína typu Hybrid III. Tato figurína se skládá z několika vzájemně spojených částí, což má za cíl co nejvěrnější napodobení kinematiky člověka. Jmenovitě se jedná o tyto části [28]:

- Hlava
- Krk
- „Upper torso“ neboli hrudník
- „Lower torso“ neboli pánev
- 2x „Upper Arms“ neboli paže
- 2x „Lower Arms“ neboli předloktí
- 2x Ruce
- 2x „Upper dolní končetiny“ neboli stehna
- 2x „Lower dolní končetiny“ neboli bérce
- 2x Nohy

Z hlediska rizika vážných zranění při nehodě je nejdůležitější kinematika hlavy, krku, hrudníku a pánve. Co se týká končetin, u nich samozřejmě může dojít také ke zranění, ale většinou se nejedná o vážná zranění a pokud ano, bývají způsobena spíše vniknutím materiálu do interiéru vozidla než kinematikou. Proto se v tomto modelu budu věnovat zmíněným částem figuríny. Model je vytvořen v programu MS Excel, v příloze 12.

8.1. Kinematika jednotlivých částí těla

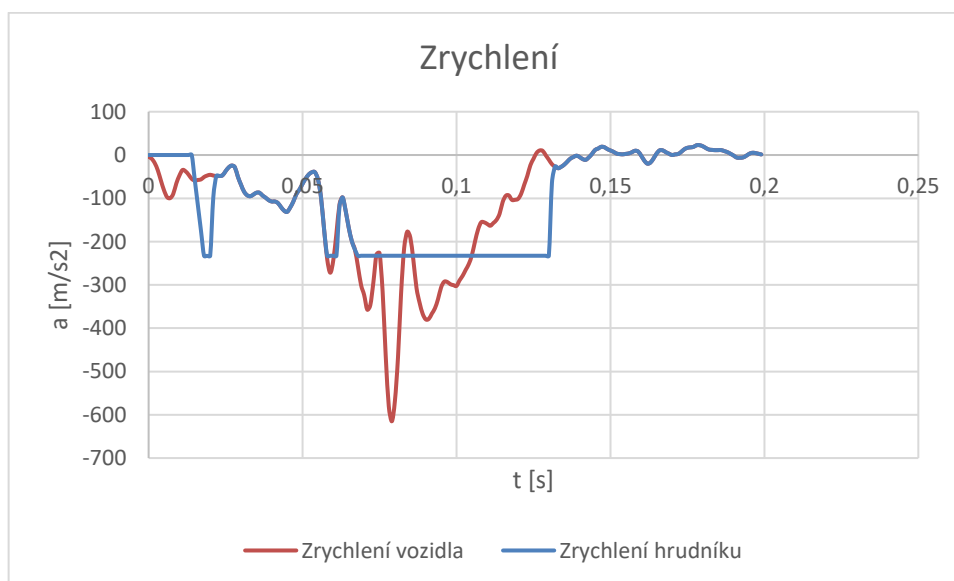
8.1.1 Pánev

V případě pánve u připoutaného pasažéra nedochází k výrazným pohybům. V podélném směru dojde v okamžiku kolize nejprve ke krátkou dobu trvajícím pohybu vpřed (na základě

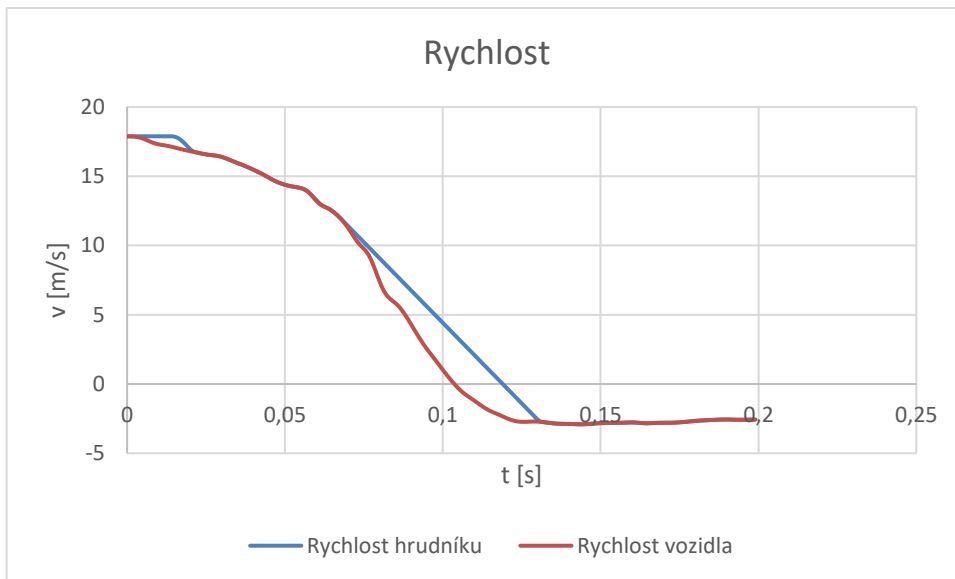
zákona zachování hybnosti – pánev pokračuje v pohybu stálou rychlostí vůči zemi). Tento pohyb trvá do okamžiku, než se zablokují bezpečnostní pásy, což u vozidla s napínačem bezpečnostních pásů trvá přibližně 15 ms. Poté již k pohybu pánve prakticky nedochází. V bočním směru je pánev poměrně pevně usazena do sedačky, a proto zde dochází pouze k minimálním posuvům.

8.1.2 Hrudník

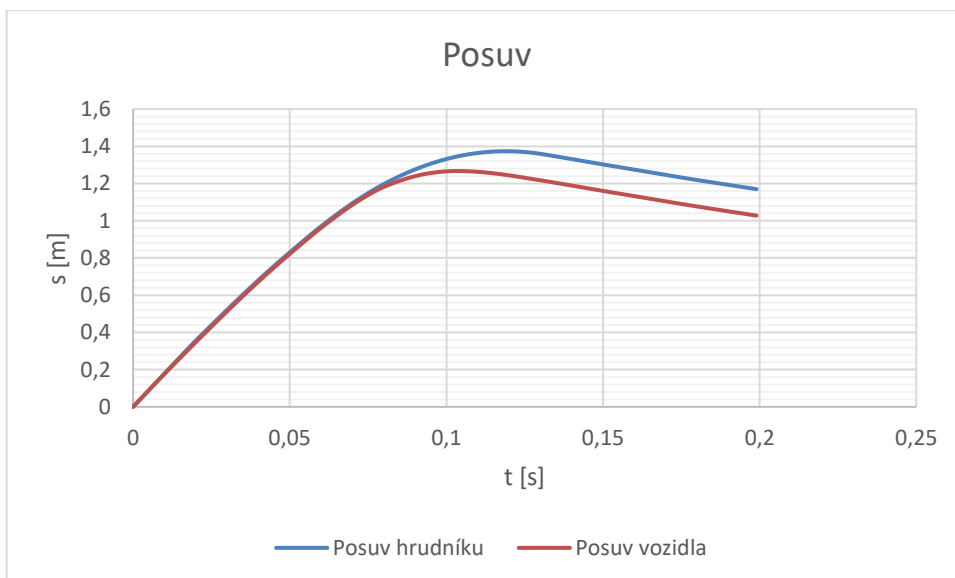
U pohybu hrudníku je situace o něco složitější. Co se týká pohybu v podélném směru, ten je ovlivněn pohybem vozidla (podle zákona zachování hybnosti) a také interakcí s bezpečnostním pásem. Během prvních cca 15 ms se hrudník pohybuje dopředu, pak dojde k zablokování bezpečnostních pásů. Poté bezpečnostní pás působí silou na hrudník tak, aby se hrudník vůči vozidlu nepohyboval. Je zde však ještě jeden faktor – omezovač síly v pásu. V případě, že by síla v pásu byla příliš velká, je tato síla omezena částečným uvolněním pohybu hrudníku. Pokud je síla, požadovaná pro zablokování pohybu hrudníku vůči vozidlu, opět menší než maximální síla daná omezovačem, pás je opět zablokován. Na základě těchto poznatků pracuje také vytvořený model – ze známého zrychlení vozidla v závislosti na čase a maximální síly v pásu dané omezovačem předpovídá podélný pohyb hrudníku, a to do okamžiku případné kolize s airbagem nebo pevné části vozidla. Hodnotu maximální síly v pásu pro toto vozidlo neznám (každý výrobce může použít jinou hodnotu); hodnoty se pohybují mezi 3500 N a 7000 N [31], pro tento model jsem zvolil hodnotu z tohoto intervalu 4000 N, nicméně model umožňuje nastavit libovolnou hodnotu. Průběh podélného pohybu hrudníku při nárazu se 40 % přesahem je v následujících grafech (obrázky 51 až 53) vyznačen modře, zatímco průběh vozidla červeně. Obě veličiny jsou měřeny v absolutních souřadnicích, tj. vůči zemi.



Obrázek 51

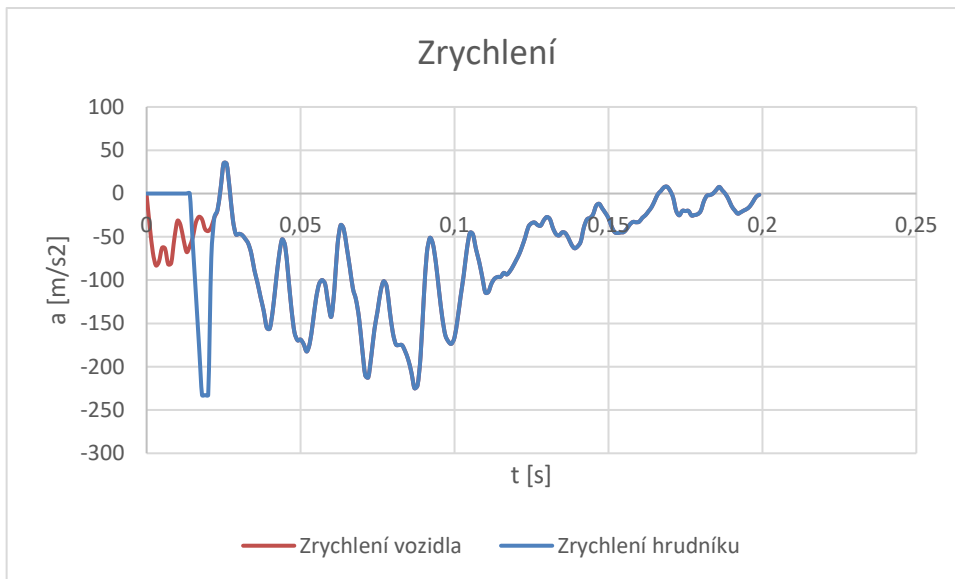


Obrázek 52

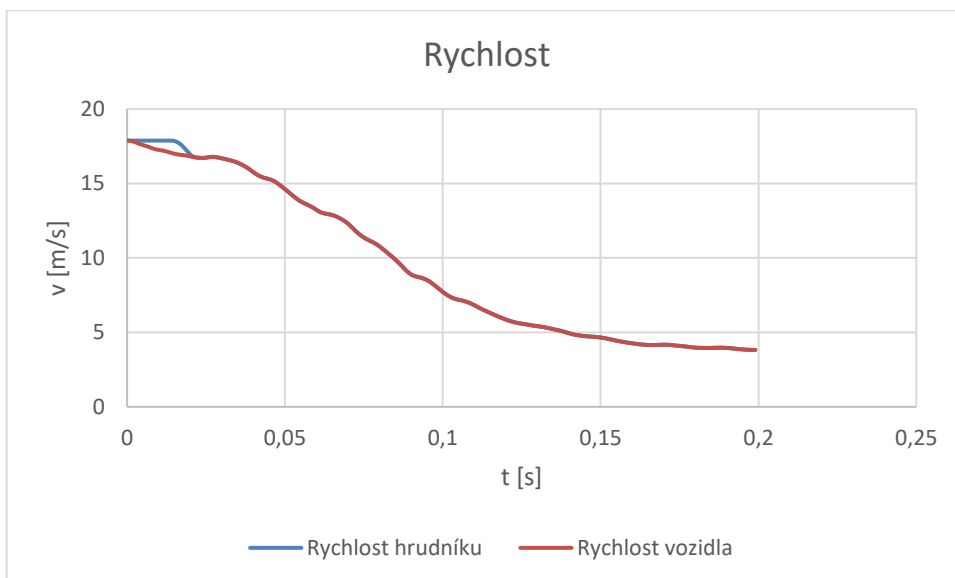


Obrázek 53

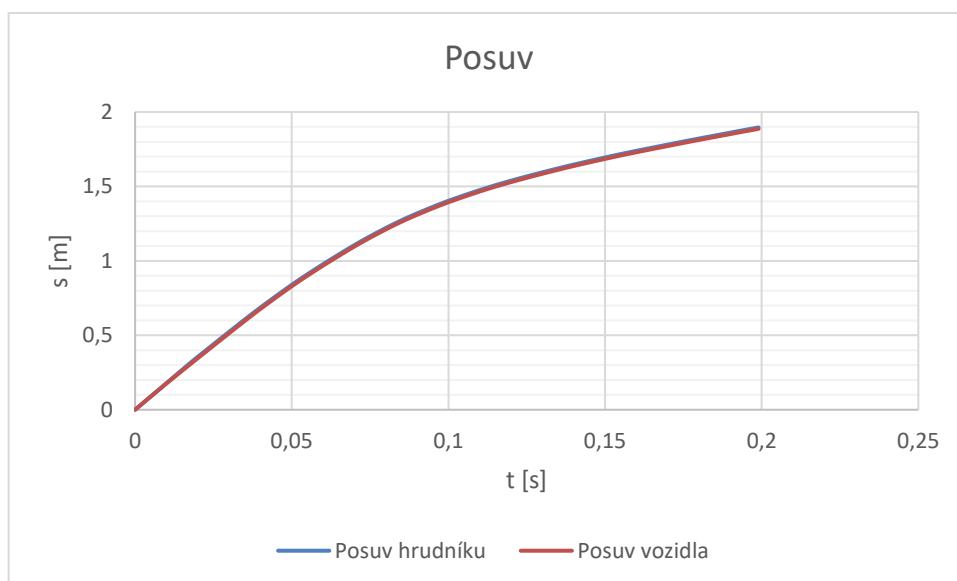
U nárazu s malým (25 %) přesahem je průběh těchto veličin zobrazen na obrázcích 54 až 56.



Obrázek 54



Obrázek 55



Obrázek 56

Z průběhů vyplývá, že u nárazu se 40 % přesahem je výraznější zpomalení vozidla vlivem nárazu, proto jsou síly působící na figurínu větší. Narazíme tedy na omezení síly v pásu, které způsobí relativní posun hrudníku vůči vozidlu o cca 20 cm. Naopak při nárazu s malým přesahem k posuvu prakticky nedojde, jelikož síly v pásu jsou menší než tato maximální hodnota a pás tak dokáže pohyb hrudníku zablokovat.

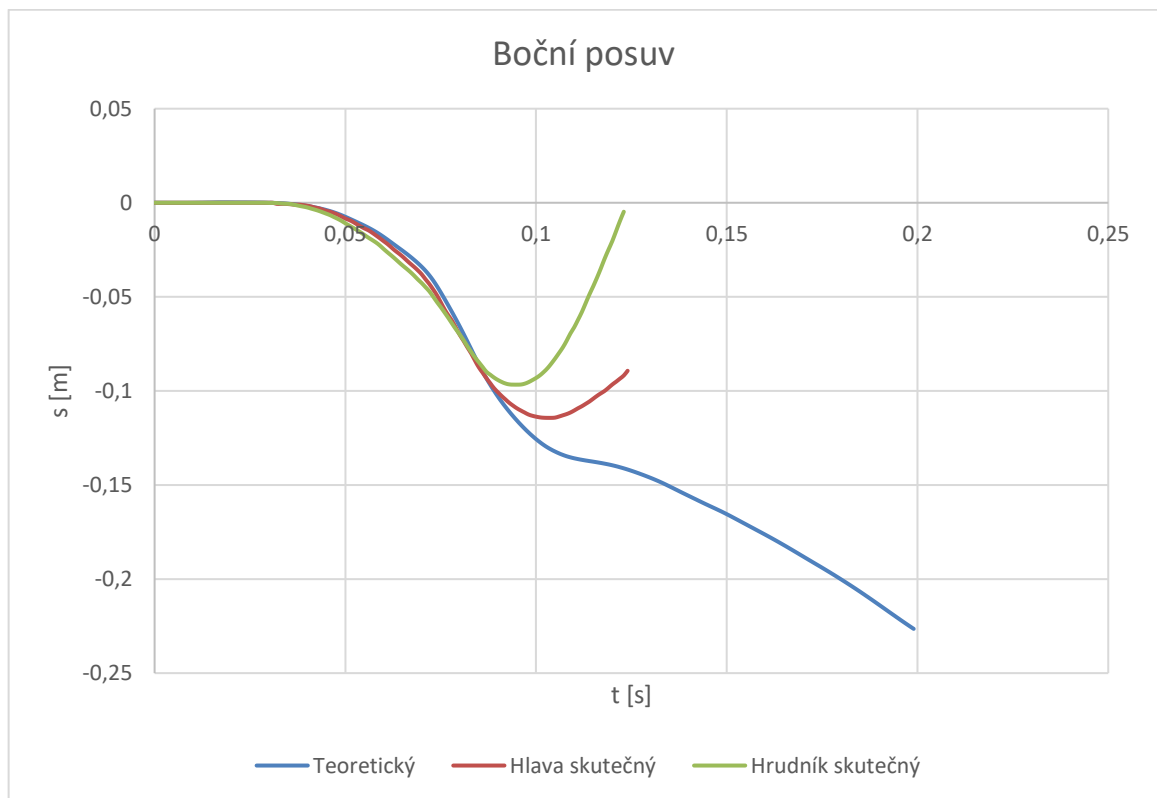
Boční pohyb hrudníku je ovlivněn kromě pohybu vozidla v podstatě pouze interakcí s bočním airbagem, případně (pokud jím vozidlo není vybaveno) s dveřmi vozidla. Model předpokládá nulový boční posun v absolutních souřadnicích (vůči zemi) až do okamžiku kolize s airbagem ve vozidle (relativní pohyb vůči vozidlu je doleva). Zde je tedy vstupem čas aktivace tohoto airbagu a jeho vzdálenost od počáteční polohy levého boku figuríny. Průběh této veličiny je zobrazen v grafech v další části práce společně s průběhem bočního posuvu hlavy. Z modelu vyplývá, že u 40 % přesahu dojde k nárazu hrudníku do bočního airbagu v čase 77 ms, u nárazu s 25 % přesahem pak v čase 63 ms.

8.1.3 Hlava

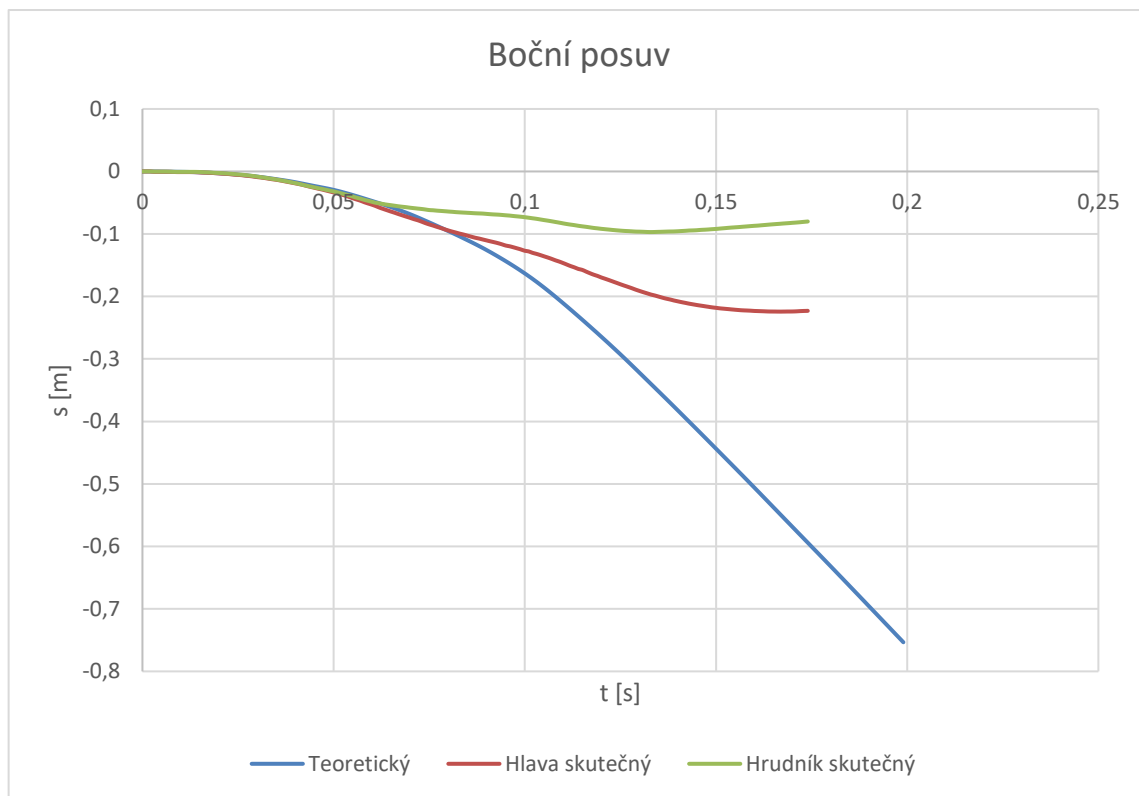
Pro pohyb hlavy lze opět aplikovat zákon zachování hybnosti, a to u příčného i u podélného pohybu. Pohyb hlavy je vždy zásadně ovlivněn příslušným airbagem (čelním pro podélný pohyb, bočním hlavovým pro boční pohyb, nicméně na boční pohyb hlavy má značný vliv také interakce s čelním airbagem). Po nárazu hlava pokračuje stejnou absolutní rychlostí (vůči zemi), a jelikož vozidlo kvůli nárazu zpomaluje, hlava se pohybuje dopředu. Vozidlo se dále pohybuje vpravo (kvůli přesahu při nárazu), a hlava se tedy vůči vozidlu pohybuje vlevo. To platí do okamžiku kolize hlavy s airbagem. Vstupními údaji pro tento model jsou vzdálenost

počáteční polohy hlavy od airbagů a pohyb vozidla. Z výsledků modelu vyplývá, že u nárazu se 40 % přesahem dojde ke kolizi hlavy s čelním airbagem v čase 71 ms, u nárazu s 25 % přesahem pak v čase 72 ms. Nejpozději v tento čas je tedy nutné naplnit airbasy vozidla, aby byla zajištěna jejich správná funkce.

Na následujících grafech je zobrazen průběh bočního posuvu hlavy a hrudníku, a to jak podle tohoto modelu (modře), který z definice předpokládá stejný posuv pro hlavu i hrudník, a pak skutečný průběh známý z dat testu (zeleně hrudník a červeně hlava). Na prvním z grafů je průběh pro náraz se 40 % přesahem, na druhém pak s 25 % přesahem.



Obrázek 57



Obrázek 58

Z průběhů vyplývá, že k interakci hrudníku s airbagem dochází v obou případech dříve než k interakci hlavy s airbagem. Tomu odpovídá to, že vzdálenost boční části horního trupu (v tomto případě levého boku) od naplněného airbagu bude cca 6 cm, zatímco vzdálenost hlavy od bočního hlavového airbagu bude 10 cm. Ke kolizi hlavy s bočním hlavovým airbagem by u nárazu se 40 % přesahem došlo v čase 89 ms, u nárazu s 25 % přesahem pak v čase 81 ms.

Dále dochází k vzájemné interakci mezi hlavou a hrudníkem, které jsou spojeny krkem. Se znalostí tuhosti krku při flexi a nahýbání v bočním směru a rozměrů figuríny je možné zakomponovat tuto interakci do modelu. Zatímco rozměry figuríny lze získat z technických výkresů, hodnoty tuhosti lze získat ze zdroje, kdy byla testována tuhost krku ve zmíněných směrech. [27] Výpočty byly provedené v imperiálních jednotkách, proto bylo potřeba tyto převést do metrické soustavy. Poté byl převeden posuv těžiště hlavy a hrudníku na natočení krku (na základě geometrických vlastností figuríny [28]), pak byla spočítána síla působící vlivem tuhosti krku, z ní bylo určeno zrychlení, následně rychlost, a nakonec posuv; tento byl odečten od posuvu způsobeného vlivem zákona zachování hybnosti (viz výše). Nicméně na základě výpočtu bylo zjištěno, že tuhost má minimální vliv na průběh (jedná se o desetiny stupně, přičemž náklon hlavy jsou desítky stupňů), proto je možné ji zanedbat.

8.1.4 Konfigurace out of position

Model zahrnuje také kinematiku figuríny v tzv. out of position konfiguraci. Je možné zvolit počáteční polohu hlavy a hrudníku a výsledný čas nárazu daných částí těla do airbagů bude touto volbou ovlivněn. V případě, že například hlava je v počáteční pozici více vpředu, je potom její vzdálenost od airbagu kratší, a proto ke kontaktu dojde dříve. Pokud ovšem by hlava byla příliš vpředu, mohlo by dojít ke kolizi s volantem dříve, než se airbag stihne aktivovat. S tímto případem model také počítá.

V případě, že by figurína byla v počáteční pozici natočená, byla by efektivní tuhost krku vůči pohybu jiná (daná částečně tuhostí pro flexi a částečně pro boční ohýbání). Ovšem vzhledem k tomu, že tuhost krku má v kinematice hlavy zanedbatelný vliv (viz výše), nemělo by natočení mít významný vliv na výsledek.

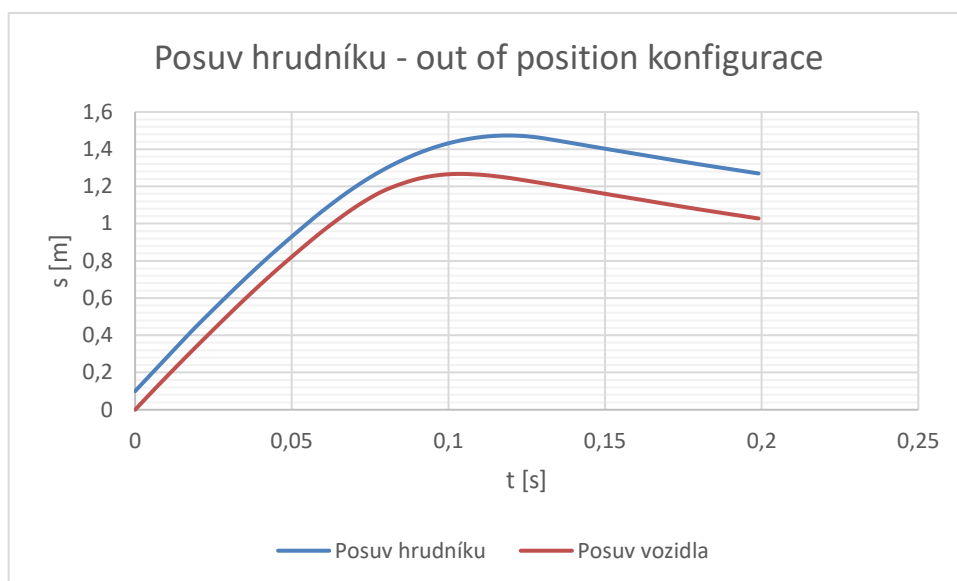
8.1.5 Výpočet zranění hlavy

Model dále zahrnuje výpočet související se zraněním hlavy. Jedná se o použití kritéria HIC. Vstupním údajem je požadovaná hodnota tohoto kritéria. Poté je s předpokladem konstantního zpomalení hlavy vlivem airbagu a s použitím časového intervalu 36 ms (tato hodnota je obecně nejvyšší používaná) vypočítána doba, po kterou musí airbag na hlavu působit, aby došlo k jejímu zabrzdění. Díky tomuto prvku v modelu tedy známe nejen okamžik počátku interakce hlavy s airbagem (ten je získán už v předchozích fázích výpočtu modelu), ale také okamžik, kdy je relativní rychlost hlavy vůči vozidlu nulová (okamžik zabrzdění hlavy).

Například v případě, že bychom určili požadovanou hodnotu $HIC = 1000$, poté by k zastavení hlavy došlo u nárazu s přesahem 40 % v čase 98 ms (tedy po 27 ms zpomalování airbagem) a hlava by za tu dobu urazila 10 cm.

8.1.6 Výsledek vybrané konfigurace out-of-position

Mějme počáteční polohu hlavy a hrudníku v podélném směru nenulovou (jak jsem zmiňoval v kapitole 7, častý způsob sezení byl s neopřenu hlavou a hrudníkem) u nárazu se 40 % přesahem. Určíme si počáteční vzdálenost hlavy od opěrky 15 cm a hrudníku od opěradla 10 cm. V takovém případě by čas nárazu hlavy do airbagu byl už 68 ms, airbag by poté (opět za předpokladu $HIC = 1000$ a konstantní hodnoty zpomalení airbagem) hlavu zastavil v čase 92 ms. Hlava by za tu dobu urazila 5,4 cm, jelikož by do airbagu narážela v nižší rychlosti než u standardní pozice sezení. Pohyb hrudníku by se také změnil, jelikož jeho posuv by byl od začátku vyšší – viz následující graf.



Obrázek 59

| Veličina | Původní náraz | Konfigurace out of position |
|--|---------------|-----------------------------|
| Čas nárazu hlavy do čelního airbagu [ms] | 71 | 68 |
| Čas zastavení hlavy airbagem [ms] | 98 | 92 |
| Vzdálenost, na které je hlava bržděna [cm] | 10 | 5,4 |

9. ZÁVĚR

Nárazové zkoušky s mírným přesahem a s malým přesahem podle IIHS se v konfiguraci liší především dvěma zásadními rozdíly – velikostí přesahu vozidla a bariéry (40 % u mírného oproti 25 % u malého přesahu) a vlastnostmi bariéry (kromě rozdílných rozměrů také tím, že u nárazu se 40 % přesahem je bariéra deformovatelná a u nárazu s 25 % přesahem tuhá). Naopak mezi těmito dvěma testy lze nalézt mnoho podobností – je shodná rychlost nárazu (64,4 km/h), použité figuríny (Hybrid III 50M na místě řidiče u obou testů) a také způsob přípravy vozidla a realizace urychlení vozidla na požadovanou rychlost jsou shodné. Rozdílné jsou však pochopitelně výsledky srážky – u nárazu se 40 % přesahem je výraznější zpomalení (a tedy i působící síly) v podélném směru, srážka klade tedy větší nároky na zádržné systémy působící v tomto směru (bezpečnostní pásy a hlavový čelní airbag). Vozidlo vykonává samozřejmě také boční pohyb, ale ten není tak výrazný a pro uspokojivý výsledek není většinou potřeba boční hlavový airbag. Vozidlo má také často tendenci se odrazit směrem dozadu (tedy proti směru pohybu před srážkou). Zdeformovaná je většinou větší oblast vozidla než u nárazu s malým přesahem. Naopak u nárazu s 25 % přesahem je ve srovnání s nárazem se 40 % přesahem výrazný také boční pohyb. Pro úspěšné absolvování tohoto testu je nutné, aby bylo vozidlo vybaveno bočními hlavovými airbagy. Vozidlo se po překážce většinou „sklouzne“ a pokračuje směrem „šikmo dopředu vpravo“, neboli ve směru pohybu před srážkou, ale zároveň směrem od překážky. Deformace je na menší oblasti, ale intenzivnější. Obecně vzato klade tato zkouška větší nároky na konstrukci vozidla.

K realizaci nárazové zkoušky dvou vozidel podle parametrů malého přesahu podle IIHS mimo laboratoř by bylo potřeba zajistit především pohon a směrové vedení těchto vozidel. Pro zajištění správného přesahu a vypovídající hodnoty zkoušky by bylo potřeba použít k vedení kolejnice, kde by přesah byl dán jejich vzájemnou vzdáleností. Pro pohon by byl nejvhodnější elektromotor o dostatečném výkonu. Problémem však je, že mimo laboratorní podmínky narážíme na limitaci prostorovou (v případě elektromotoru o přijatelném výkonu by byly potřeba dlouhé rozjezdové dráhy, a tedy stovky metrů kolejnic) nebo technickou (v případě přijatelné délky rozjezdové dráhy potřebujeme elektromotor s výkonem, který by vyžadoval příliš velký příkon). Proto taková zkouška za těchto podmínek není realizovatelná.

Pokud bychom chtěli tuto srážku replikovat pomocí nárazu vozidla do bariéry, potřebovali bychom deformovatelnou bariéru s nekonstantní tuhostí (tak jako je tomu u předku vozidla), přičemž srážka by musela dodržet stejnou hodnotu v_{EES} , jako ekvivalentní srážka dvou vozidel. Tato hodnota však pro tuto konfiguraci srážky nelze přesně spočítat (lze spočítat pouze

pro zjednodušené případy, jako například srážka se 100 % přesahem, kde vznikne slepenec). Je možné ji určit z analýzy vozidla po srážce, tyto hodnoty však nemáme k dispozici, protože taková srážka nebyla provedena. Proto ani tímto způsobem nelze zkoušku provést.

Co se týká analýzy bočního pohybu hlavy a hrudníku u nárazů s mírným a malým přesahem, provedené na základě zkoušek vozidla Nissan Maxima 2012, z převodních modelů mezi pohybem vozidla a figuríny vyplývá, že u nárazu s 25 % přesahem je interakce zádržných systémů s figurínou v bočním směru výraznější, než je tomu u nárazu se 40 % přesahem. To odpovídá tomu, co by se dalo předpokládat vzhledem ke geometrii těchto dvou testů.

Dále jsem se věnoval tvorbě modelu pohybu figuríny před interakcí s airbagy vozidla. Pohyb pánve je málo výrazný a dochází k němu v podstatě jen před zablokováním bezpečnostních pásů. Pohyb hrudníku je výraznější, ten je ovlivněn v podélném směru bezpečnostními pásy velmi výrazně, v bočním směru pak hlavně interakcí s bočnicemi sedadla nebo bočním airbagem. Relativní pohyb hlavy vůči vozidlu je dán zpomalením vozidla po nárazu, kdy hlava pokračuje v původním pohybu až do nárazu do airbagů. Ty pak zajistí její zabrzdění.

Model vytvořený pro tyto pohyby ze vstupních údajů (kinematiky vozidla po nárazu a geometrických údajů popisujících prostor kolem řidiče) umožňuje odhad pohybu figuríny (její hlavy a hrudníku, tedy nejdůležitějších částí těla z hlediska rizika vážných zranění) po nárazu, a to do okamžiku její interakce s airbagy, a také odhad času, kdy k této interakci dojde. Model také zahrnuje vliv tzv. out-of-position konfigurace, tedy nestandardní poloha figuríny – poté je také výsledný odhad pohybu odlišný. Dále je možné zadat požadovanou hodnotu HIC, výstupem je pak rovněž (s předpokladem konstantní hodnoty zrychlení hlavy pomocí airbagu) doba, jakou musí zádržné systémy působit na hlavu, aby byla zastavena dostatečně plynule. Omezením modelu jsou omezená dostupná data pro jeho tvorbu – vychází z nárazových zkoušek jednoho vozidla, proto nemusí být dostatečně přesný pro vozidla nebo testy velmi odlišné konfigurace.

V další práci na tomto modelu by bylo možné vyvinout přesnější model interakce hrudníku a bezpečnostního pásu, nebo model rozšířit o mechanický model interakce hlavy a airbagu (například soustava s pružinou a tlumičem), což by umožnilo získat průběh pohybu hlavy i po nárazu do airbagu, a také by bylo možné zpřesnit výpočet HIC – získali bychom přesnější průběh zrychlení hlavy.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Holden Barina 2006 Poor Safety Slows Sales* [online]. [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.caradvice.com.au/250/holden-barina-2006-poor-safety-slows-sales/>
- [2] *About the Institutes* [online]. [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.iihs.org/iihs/about-us>
- [3] *Milestones* [online]. [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.iihs.org/iihs/about-us/milestones>
- [4] *Frontal Crash Tests* [online]. [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.iihs.org/iihs/ratings/ratings-info/frontal-crash-tests>
- [5] *Side Crash Test* [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.iihs.org/iihs/ratings/ratings-info/side-test>
- [6] *Roof strength test* [online]. [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.iihs.org/iihs/ratings/ratings-info/roof-strength-test>
- [7] *New rollover ratings* [online]. [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.iihs.org/iihs/news/desktopnews/new-rollover-ratings-3-midsize-suvs-are-rated-acceptable-and-1-is-marginal>
- [8] *Hybrid III 50th Male* [online]. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/frontal-impact/hiii-50m>
- [9] *SID-IIs 5th Female Side Impact* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/side-impact/sid-iis>
- [10] *Vehicle Research Center* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.iihs.org/iihs/about-us/vrc>
- [11] *IIHS Crash Test: Learn the Science Behind Crash Testing* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.latintimes.com/iihs-crash-test-learn-science-behind-crash-testing-video-21652>
- [12] *Micro Track System* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.messring.de/en/products/passive-safety/micro-track-system/>
- [13] *Electric Propulsion System* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.messring.de/en/products/passive-safety/electric-propulsion-system/>
- [14] *Hydraulic Propulsion System* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.messring.de/en/products/passive-safety/hydraulic-propulsion-system/>
- [15] *Premier MESSRING Equipment at American Vehicle Crash Test Center* [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.messring.de/en/solutions/premier-messring-equipment-at-american-vehicle-crash-test-center/>
- [16] *Test & Engineering Center* [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.exponent.com/services/practices/engineering/vehicle-engineering/capabilities/test--engineering-center/?serviceId=df4d569f-e7f2-4cb9-801e-0166aea3788b&loadAllByPageSize=true&knowledgePageSize=3&knowledgePageNum=0&newseventPageSize=3&newseventPageNum=0>
- [17] *Crash Testing* [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.exponent.com/services/practices/engineering/vehicle-engineering/capabilities/crash-testing/?serviceId=89a2c639-220a-4c0a-a68c-4c84cc5fcc28&loadAllByPageSize=true&knowledgePageSize=3&knowledgePageNum=0&newseventPageSize=3&newseventPageNum=0>
- [18] *Vehicle Crash Rail* [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.exponent.com/services/practices/engineering/vehicle-engineering/capabilities/crash-testing/vehicle-crash-rail/?serviceId=df375cdf-ff04-41e3-8808->

- 08238ba82354&loadAllByPageSize=true&knowledgePageSize=3&knowledgePageNum=0&newseventPageSize=3&newseventPageNum=0
- [19] *Roadside Crash Barrier Testing* [online]. [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/267038254_Roadside_Crash_Barrier_Testing
- [20] *Small Overlap Crash Test Protocol* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.iihs.org/iihs/ratings/technical-information/technical-protocols>
- [21] *Moderate Overlap Crash Test Protocol* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.iihs.org/iihs/ratings/technical-information/technical-protocols>
- [22] *Šestipramenná ocelová lana* [online]. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <http://www.vingu.cz/katalog/ocelova-lana/ocelova-lana-metraz/sestipramenna-ocelova-lana-standardni>
- [23] *A Comparison of the NHTSA Research Offset Oblique and Small Overlap Impact Tests and the IIHS Moderate and Small Overlap Tests*. 2014.
- [24] *What Is a Realistic Frontal Offset Test Procedure* [online]. [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc1992/pdf_files/1992_7.pdf
- [25] *IMPLICATIONS OF VELOCITY CHANGE DELTA-V AND ENERGY EQUIVALENT SPEED EES FOR INJURY MECHANISM ASSESSMENT IN VARIOUS COLLISION CONFIGURATIONS* [online]. [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc1998/pdf_files/1998_5.pdf
- [26] *Sitting Postures and Activities in Autonomous Vehicles – New Requirements towards Occupant Safety* [online]. [cit. 2020-12-24]. Dostupné z: doi:10.1177/1071181319631327
- [27] *Hybrid II and Hybrid III Dummy Neck Properties for Computer Modelling*. 1992, 17-49.
- [28] *Hybrid III 50th Male* [online]. [cit. 2020-12-24]. Dostupné z: <https://humanetics.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/frontal-impact/hybrid-iii-50th-male/hybrid-iii-50th-male>
- [29] *Polyfix(x,y,n,xfix,yfix,xder,dydx)* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/54207-polyfix-x-y-n-xfix-yfix-xder-dydx>
- [30] *Sitting Postures and Activities in Autonomous Vehicles – New Requierments towards Occupant Safety* [online]. [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1071181319631327>
- [31] *Effects of Seat Belt Load Limiters on Driver Fatalities in Frontal Crashes of Passenger Cars* [online]. [cit. 2020-12-24]. Dostupné z: <https://trid.trb.org/view/843410>
- [32] *Adult Occupant Protection* [online]. [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/>
- [33] SVOBODA, J.: *Teorie dopravních prostředků*, 3. vyd. Praha: VYDAVATELSTVÍ ČVUT, Praha. 1997 ISBN 80-01-01613-7
- [34] *KATALOG MOTORŮ CATERPILLAR* [online]. [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://zeppelin.cz/cs/downloads/katalog-motoru-caterpillar.pdf>
- [35] *Kladkostroje* [online]. [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: http://www.342.vsb.cz/hra42/jer_klad.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Náraz s mírným přesahem [4]
- Obr. 2: Náraz s malým přesahem na straně řidiče [4]
- Obr. 3: Náraz s malým přesahem na straně spolujezdce [4]
- Obr. 4: Překážka pro boční náraz – NHTSA vs IIHS [5]
- Obr. 5: Provedení testu pevnosti střechy [7]
- Obr. 6: Závislost koeficientu síla/hmotnost na posuvu [6]
- Obr. 7: Figurína Hybrid III 50M [8]
- Obr. 8: Figurína SID-IIIs [9]
- Obr. 9: Konfigurace nárazu [20]
- Obr. 10: Bariéra [20]
- Obr. 11: Vnější označení vozidla [20]
- Obr. 12: Kontrola přesahu [20]
- Obr. 13: Konfigurace nárazu na straně spolujezdce [20]
- Obr. 14: Test s mírným přesahem [21]
- Obr. 15: Bariéra pro test s malým přesahem [21]
- Obr. 16: Micro Track Filming Pit [12]
- Obr. 17: Micro Track vs klasická kolejnice [12]
- Obr. 18: Micro Track v praxi [12]
- Obr. 19: Laboratoř Calspanu v Buffalu, NY [15]
- Obr. 20: Vozidlo pro testy svodidel [19]
- Obr. 21: Systém řízení vozidla [19]
- Obr. 22: Dálkový řidič vozidla [19]
- Obr. 23: Schéma zkoušky – přesah
- Obr. 24: Schéma zkoušky – tažení vozidlem přímo
- Obr. 25: Schéma zkoušky – tažení vozidlem přes kladku
- Obr. 26: Konfigurace nárazů [24]
- Obr. 27: Porovnání nárazu dvou vozidel a vozidla s bariérou [24]
- Obr. 28: Přesah bariéry odpovídající přesahu vozidla [24]
- Obr. 29: Crash test se 100 % přesahem [25]
- Obr. 30: Crash test pod úhlem [25]
- Obr. 31: Crash test s přesahem [25]
- Obr. 32: EES při čelním nárazu dvou vozidel se 100 % přesahem [25]

- Obr. 33: EES při nárazu vozidla do tuhé bariéry [25]
- Obr. 34: Kinematika vozidla při nárazech s malým a mírným přesahem [23]
- Obr. 35: Kinematika figuríny při nárazech s malým a mírným přesahem [23]
- Obr. 36: Průběh delta-v v čase [23]
- Obr. 37: Průběh podélné akcelerace vozidla v čase [23]
- Obr. 38: Průběh podélné akcelerace podle posuvu [23]
- Obr. 39: Průběh boční rychlosti vozidla v čase [23]
- Obr. 40: Průběh boční rychlosti hlavy v čase [23]
- Obr. 41: Průběh bočního posuvu hlavy v čase [23]
- Obr. 42: Průběh boční rychlosti hrudníku v čase [23]
- Obr. 43: Průběh bočního posuvu hrudníku v čase [23]
- Obr. 44: Průběh boční rychlosti hlavy u nárazu s malým přesahem – relativní souřadnice
- Obr. 45: Průběh boční rychlosti hrudníku u nárazu s malým přesahem – relativní souřadnice
- Obr. 46: Průběh boční rychlosti hlavy u nárazu s malým přesahem – absolutní souřadnice
- Obr. 47: Průběh boční rychlosti hrudníku u nárazu s malým přesahem – absolutní souřadnice
- Obr. 48: Diagram činností – vzájemně známí [26]
- Obr. 49: Diagram činností – vzájemně neznámí [26]
- Obr. 50: Způsoby sezení v testu [26]
- Obr. 51: Zrychlení hrudníku a vozidla u 40 % přesahu
- Obr. 52: Rychlost hrudníku a vozidla u 40 % přesahu
- Obr. 53: Posuv hrudníku a vozidla u 40 % přesahu
- Obr. 54: Zrychlení hrudníku a vozidla u 25 % přesahu
- Obr. 55: Rychlost hrudníku a vozidla u 25 % přesahu
- Obr. 56: Posuv hrudníku a vozidla u 25 % přesahu
- Obr. 57: Boční posuv hlavy a hrudníku u 40 % přesahu
- Obr. 58: Boční posuv hlavy a hrudníku u 25 % přesahu
- Obr. 59: Podélný posuv hrudníku u nárazu out of position

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Proložení průběhu boční rychlosti vozidla u nárazu s mírným přesahem křivkou (ProlozeniVozidloMirny_1.m)
- Příloha 2: Převodní soubor pro relativní souřadnice (PrevodKoeficienty_2.xlsx)
- Příloha 3: Proložení průběhu boční rychlosti hlavy u nárazu s mírným přesahem křivkou (ProlozeniHlavaMirny_3.m)
- Příloha 4: Vykreslení průběhů boční rychlosti hlavy u nárazu s malým přesahem (VykresleniHlavaMaly_4.m)
- Příloha 5: Proložení průběhu boční rychlosti hrudníku u nárazu s malým přesahem křivkou (ProlozeniHrudnikMirny_5.m)
- Příloha 6: Vykreslení průběhů boční rychlosti hrudníku u nárazu s malým přesahem křivkou (VykresleniHrudnikMaly_6.m)
- Příloha 7: Proložení průběhu boční rychlosti hlavy u nárazu s mírným přesahem křivkou – absolutní souřadnice (ProlozeniHlavaMirnyAbs_7.m)
- Příloha 8: Převodní dokument pro absolutní souřadnice (PrevodKoeficientyAbs_8.xlsx)
- Příloha 9: Vykreslení průběhů boční rychlosti hlavy u nárazu s malým přesahem křivkou – absolutní souřadnice (VykresleniHlavaMalyAbs_9.m)
- Příloha 10: Proložení průběhu boční rychlosti hrudníku u nárazu s mírným přesahem křivkou – absolutní souřadnice (ProlozeniHrudnikMirnyAbs_10.m)
- Příloha 11: Vykreslení průběhu boční rychlosti hrudníku u nárazu s malým přesahem křivkou – absolutní souřadnice (VykresleniHrudnikMaly_11.m)
- Příloha 12: Model pohybu figuríny (ModelPohybu_12.xlsx)
- Příloha 13: Funkce polyfix (polyfix.m)