

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## ZJEDNODUŠENÝ PARAMETRICKÝ MODEL BOČNÍ STRUKTURY

SIMPLIFIED PARAMETRIC MODEL OF VEHICLE SIDE STRUCTURE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ SMILEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PAVEL RAMÍK

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Tomáš Smilek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Zjednodušený parametrický model boční struktury**

v anglickém jazyce:

### **Vehicle Body Side Structure Simplified Parametric Model**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte metodiku substituce struktury bočního nárazu vozidla na elementární, parametricky nastavitelný výpočtový model.

Cíle diplomové práce:

1. Proved'te dostupnou rešerši současného stavu v oblasti bariérových zkoušek vozidel se zaměřením na boční náraz vozidla a možnosti jejich modelování v počítačových simulacích.
2. Navrhněte metodiku substituce boční struktury vozidla zjednodušeným modelem pro účely simulace bočního nárazu.
3. Proved'te výpočtovou validaci navrženého zjednodušeného modelu srovnáním s výsledky komplexního modelu používaného pro boční náraz.
4. Na základě získaných výsledků naznačte možnosti optimalizace vybraných parametrů za účelem minimalizace zatížení zkušební figuríny.
5. Zhodnoťte získané výsledky a vyslovte se k vlastnostem navržené zjednodušené struktury pro boční náraz a možnostem dalšího postupu při sestavování uvažovaných simulačních výpočtů.

Seznam odborné literatury:

- [1] JANÍČEK, P., ONDRÁČEK, E., VRBKA, J. Pružnost a pevnost I, VUT Brno 1992.
- [2] PAM-CRASH 2G 2007 Documentation. ESI-Group, Paris, France, 2007.
- [3] Euro NCAP Online Documentation [online], 2009, poslední revize 10.11.2009. Dostupné z: <http://www.euroncap.com>.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Ramík

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Zjednodušený parametrický model boční struktury

DP, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2010, str. 117, obr. 130, přílohy 0

Problematika diplomové práce je určena nárazovými zkouškami Euro NCAP, jmenovitě bočním nárazem, při kterém dochází ke střetu boku vozidla s bariérou. Cílem je vytvořit zjednodušený parametrický model boční struktury tak, aby průběhy zatížení figuríny ve vozidle odpovídaly situaci ve velkém FEM modelu.

## **Klíčová slova**

Euro NCAP, boční náraz, figurína EuroSID2, zjednodušený parametrický model

## **Annotation**

Simplified parametric model of vehicle side structure

MT, Institute of Automotive Engineering, 2010, p. 117, fig. 130, appendices 0

This study's motivation is based on Euro NCAP tests, especially side impact test, which consist of barrier impacting into vehicle side. Goal is to make simplified parametric model of vehicle side structure. The behavior of loads on dummy must be as identical as possible with big FEM model.

## **Key words**

Euro NCAP, side test, EuroSID2 dummy, simplified parametric model



## **Bibliografická citace:**

SMILEK, T. *Zjednodušený parametrický model boční struktury*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 117 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Ramík



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Zjednodušený parametrický model boční struktury“ vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího a konzultanta diplomové práce a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 28. května 2010

.....  
(podpis autora)



## **Poděkování**

Děkuji tímto panu Ing. Pavlu Ramíkovi za vedení mé diplomové práce, dále velice děkuji panu Ing. Tomáši Ribkovi a jeho dalším spolupracovníkům z výpočtového oddělení technického vývoje firmy ŠKODA AUTO a.s., kteří mě při vypracování práce velmi podpořili cennými radami a připomínkami, které byly klíčové pro zdárné dokončení práce.

V Brně dne 28. května 2010

.....  
(podpis autora)





## Obsah

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Úvod .....                                            | 15 |
| 1 Bezpečnost v silničním provozu .....                | 16 |
| 1.1 Aktivní bezpečnost .....                          | 16 |
| 1.2 Pasivní bezpečnost .....                          | 17 |
| 1.3 Boční náraz .....                                 | 17 |
| 1.4 Současný stav bezpečnosti při bočním nárazu ..... | 18 |
| 1.4.1 Boční struktura .....                           | 19 |
| 1.4.2 Boční Airbag .....                              | 20 |
| 1.4.3 Hlavový airbag .....                            | 21 |
| 1.4.4 Předepínací bezpečnostní pásy .....             | 21 |
| 1.4.5 Chytrá sedačka .....                            | 22 |
| 2 Spotřebitelský test Euro NCAP .....                 | 22 |
| 2.1 Jednotlivé části testu Euro NCAP .....            | 24 |
| 2.1.1 Čelní náraz .....                               | 24 |
| 2.1.2 Boční náraz .....                               | 25 |
| 2.1.3 Boční náraz na kůl .....                        | 26 |
| 2.1.4 Ochrana dětí .....                              | 28 |
| 2.1.5 Ochrana chodců .....                            | 28 |
| 2.1.6 Whiplash .....                                  | 29 |
| 2.1.7 ESC (Electronic stability control) .....        | 29 |
| 2.1.8 SBR (seat belts reminders) .....                | 30 |
| 2.1.9 Omezovače rychlosti .....                       | 30 |
| 2.2 Test bočního nárazu Euro NCAP .....               | 31 |
| 2.2.1 Příprava vozidla k testu .....                  | 31 |
| 2.2.2 Příprava a certifikace figuríny .....           | 32 |
| 2.2.3 Rozmístění kamer při testu .....                | 33 |
| 2.2.4 Umístění a pozice figuríny .....                | 34 |
| 2.2.5 Měření pozice figuríny .....                    | 35 |
| 2.2.6 Bariéra a vozík .....                           | 36 |
| 2.2.7 Parametry testu .....                           | 36 |
| 2.2.8 Měřená biomechanická kritéria .....             | 37 |
| 3 Úvodní informace o problematice .....               | 39 |



|       |                                                                      |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1   | Počítačové MKP simulace v oblasti nárazových zkoušek .....           | 40 |
| 3.2   | SK461 – nová Škoda Superb .....                                      | 42 |
| 4     | Cíle a motivace .....                                                | 44 |
| 5     | Metodika řešení.....                                                 | 45 |
| 6     | Návrh zjednodušeného modelu .....                                    | 46 |
| 6.1   | Popis velkého výpočtového modelu simulace .....                      | 46 |
| 6.2   | Charakteristika chování figuríny při bočním nárazu.....              | 47 |
| 6.3   | Návrh modelu pomocí zjednodušení boční struktury .....               | 51 |
| 6.4   | Návrh modelu pomocí nahrazení boční struktury.....                   | 54 |
| 6.5   | Návrh modelu pomocí samotné figuríny.....                            | 58 |
| 7     | Tvorba zjednodušeného modelu.....                                    | 58 |
| 7.1   | Základní komponenty modelu.....                                      | 58 |
| 7.1.1 | Model figuríny .....                                                 | 60 |
| 7.1.2 | Impaktory (desky).....                                               | 60 |
| 7.1.3 | Pružný element SPRING.....                                           | 61 |
| 7.2   | Vývojová varianta SK461_DIP_01.....                                  | 62 |
| 7.2.1 | Import figuríny.....                                                 | 62 |
| 7.2.2 | Tvorba impaktorů (desek) .....                                       | 63 |
| 7.2.3 | Nastavení kontaktů a vstupních podmínek .....                        | 64 |
| 7.2.4 | Zhodnocení varianty .....                                            | 66 |
| 7.3   | Vývojové varianty SK461_DIP_02 až SK461_DIP_21 .....                 | 66 |
| 7.3.1 | Náhrada airbagu .....                                                | 66 |
| 7.3.2 | Náhrada obložení.....                                                | 70 |
| 7.3.3 | Nastavení průběhu posuvu vnějším deskám .....                        | 75 |
| 7.4   | Výchozí model pro porovnávání SK461_SSS_041 .....                    | 76 |
| 7.5   | Vývojová varianta SK461_DIP_22.....                                  | 81 |
| 7.5.1 | Srovnání s kompletním modelem.....                                   | 81 |
| 7.5.2 | Zhodnocení varianty .....                                            | 87 |
| 7.6   | Vývojová varianta SK461_DIP_23.....                                  | 87 |
| 7.6.1 | Určení relativních průběhů posuvů ve zvolených bodech struktury..... | 88 |
| 7.6.2 | Srovnání s kompletním modelem.....                                   | 90 |
| 7.6.3 | Zhodnocení varianty .....                                            | 95 |
| 7.7   | Vývojové varianty SK461_DIP_23 až SK_DIP_31 .....                    | 95 |



|       |                                                           |     |
|-------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 7.7.1 | Srovnání varianty SK461_DIP_31 s kompletním modelem ..... | 96  |
| 7.7.2 | Zhodnocení variant .....                                  | 103 |
| 7.8   | Konečná vývojová varianta SK461_DIP_33 .....              | 103 |
| 7.8.1 | Srovnání varianty SK461_DIP_33 s kompletním modelem ..... | 103 |
| 7.8.2 | Zhodnocení varianty .....                                 | 112 |
| 8     | Závěr .....                                               | 113 |
|       | Seznam použité literatury .....                           | 114 |
|       | Seznam použitých zkratk a symbolů .....                   | 116 |
|       | Seznam použitých veličin .....                            | 117 |



## Úvod

V dnešní moderní době, plné technologických vymožeností, si již život bez automobilu nedokážeme představit. Vnímáme ho jako samozřejmost, i když v celé lidské historii existuje jen nepatrnou chvíli. Patří k současnému životnímu stylu. Není divu, že ekonomika spousty zemí je z velké části závislá na automobilovém průmyslu. Do něj patří nejen automobilky samotné, ale i velká spousta dodavatelských firem. Obecným zájmem tedy je, aby se jim vedlo dobře a prodávaly stále více automobilů. To se, vyjma období krize a specifických problémů jednotlivých výrobců, dařilo.

I přes nepříznivé ekonomické období minulého roku počet registrovaných automobilů všech kategorií nepatrně vzrostl, přesně o 38 178 na počet 7 081 145, podle údajů centrálního registru vozidel. Osobní automobily jsou zastoupeny hodnotou 4 435 052. To nám, ve srovnání s počtem obyvatel v české republice, dává přibližně jeden osobní vůz na dva obyvatele. Tento údaj potvrzuje myšlenku dvou vozů v rodině, která je tvořena průměrnou hodnotou čtyř členů. Na naší zemi je to velké množství automobilů, které se za poslední desítky let rapidně zvýšilo, čehož jsme denně svědky v přeplávaných ulicích našich měst.

Cenou za zvýšení životního standartu je ovšem mnoho nevýhod automobilismu. Hned za znečištění životního prostředí, bych podle mého názoru zařadil větší nehodovost, kde dochází k přímému ohrožení lidského života. Vývoj musí na tyto nevýhody reagovat. V případě životního prostředí jsou to přísné emisní limity, které musí vozy splňovat nebo nutnost recyklace vyřazených vozů. Co se bezpečnosti při nehodách týče, zde hrají roli homologační zkoušky, které musí vůz splnit, než je nasazen do provozu. Ty ovšem nejsou dostatečně přísné. V dnešní době je pro potenciálního kupce daleko důležitější spotřebitelský test bezpečnosti Euro NCAP. Tato organizace (european new car assessment programme) svým vznikem v roce 1997 vytvořila tlak na výrobce automobilů, aby neustále zlepšovali bezpečnost vozidel v případě nehody.

Pro automobilky je v oblasti technického vývoje výhodnější crash-testy simulovat na počítačích v MKP programech, než zkoušet v nárazových testech přímo fyzické modely vozů. Simulace jsou levnější, rychlejší a mají dostatečnou přesnost. Ty jsou však stále podpořeny kontrolou ze strany skutečných experimentů.

Cílem mé práce je danou simulaci bočního střetu vozidla s bariérou dále zjednodušit, tak aby byla zachována dynamika, kinematika a průběhy zatížení zkušební figuríny. Tento zjednodušený model boční struktury by měl sloužit k rychlým simulacím, pomocí kterých se zjistí optimální zatížení figuríny, tak aby v momentu vyhodnocení figuríny byly její deformace a průběhy co nejmenší.



# 1 Bezpečnost v silničním provozu

Podle údajů organizace Euro NCAP zemře ročně při nehodách na evropských silnicích na 42 000 lidí. Spousta dalších je těžce nebo lehce zraněna. Tyto čísla se postupem času začala promítat i do rozhodování zákazníka při koupi nového vozu, kdy se bezpečnost stává jednou z hlavních priorit. Na to samozřejmě výrobci automobilů reagují a ve vývoji ochranu účastníků silničního provozu neustále zvyšují. Bezpečnost vozidel můžeme rozdělit na aktivní a pasivní.

## 1.1 Aktivní bezpečnost

Do ní zahrnujeme veškerá opatření, která se aktivně podílí na zabránění vzniku nehod, popřípadě nebezpečných situací.

Můžeme ji rozdělit do těchto oblastí:

- Jízdní bezpečnost (vlastnosti zmenšující jízdní nedostatky)
  - výkon, akcelerace
  - brzdné vlastnosti
  - směrová stabilita řízení
  - odpružení
  - aerodynamická stabilita
- Kondiční bezpečnost (opatření zajišťující jízdní pohodlí)
  - mikroklima (větrání, vytápění, klimatizace)
  - vnitřní hluk (hladina hluku)
  - sezení (seřizovací rozsah, vztah k polohám ovladačů, tvar sedadla,...)
  - stimulace psychické pohody (estetika interiéru, pozitivní smyslové vjemy)
- Pozorovací bezpečnost („vidět a být viděn“)
  - výhled z vozidla
  - osvětlení vozovky
  - pasivní viditelnost (barva karoserie, osvětlení vozidla, ...)
- Ovládací bezpečnost (spolehlivost a jistota obsluhy)
  - umístění ovladačů (dosažitelnost, opatření proti záměně, charakter pohybu)
  - ovládací síly (řízení, brzdění)
  - zajištění dveří (děti)



## 1.2 Pasivní bezpečnost

Pasivní bezpečnost zahrnuje opatření, které snižují následky už vzniklých nehod tak, aby když už ke srážce dojde, byla zranění účastníků co nejmenší.

Rozdělujeme do následujících skupin:

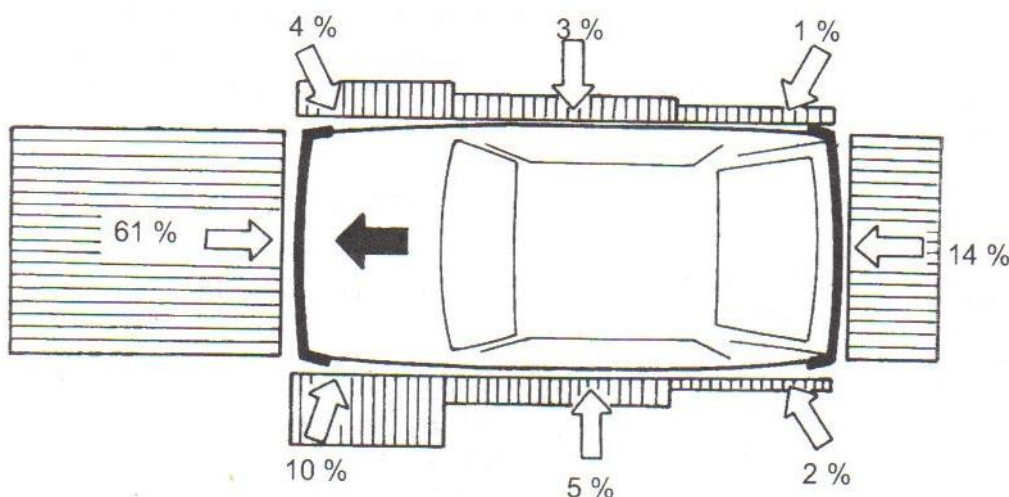
- Vnější bezpečnost (obrysy vozidla tak, aby byla minimalizována zranění)
  - zaoblení vnějších hran
  - nárazníky
  - deformační vlastnosti přídě
  - zamezení podjetí osobního vozu pod nákladní
  - absorbéry nárazové energie
  - raménka stěračů
  - kryty kol
  - mřížky, vstupní otvory pro vzduch
  - ochranné systémy při srážce s chodcem
- Vnitřní bezpečnost (opatření pro zabránění nebo zmenšení zranění posádky)
  - deformovatelná před a zad
  - ochrana proti dalšímu nárazu (zadržovací systémy, hlavové opěrky, zamezení vniknutí hřídele volantu do vnitřního prostoru, vnitřní vybavení)
  - zachování prostoru pro přežití (odolnost při čelním a bočním nárazu, ...)
  - ochrana proti vymrštění osob (zámký a závěsy dveří, zádržné systémy, ...)
  - ochrana proti požáru

## 1.3 Boční náraz

Popisuje střet dvou vozidel, kdy jedno narazí do strany druhého (obr. 1). Nejčastějším důvodem výskytu této srážky je nedání přednosti v jízdě na křižovatkách. Výhodou oproti čelnímu nárazu je menší rychlost střetu. Nevýhoda je však relativně tenká boční strana nabouraného vozidla oproti vozu, který vstupuje do srážky čelně. Možnosti úprav boční struktury jsou tedy značně omezeny v porovnání s přední částí vozidla. Přesto, že je boční srážka méně častá (obr. 2), riziko zranění je u ní daleko větší.



Obr. 1: Boční srážka dvou vozidel [1]



Obr. 2: Procentuální zastoupení typů srážek podle místa nárazu [2]

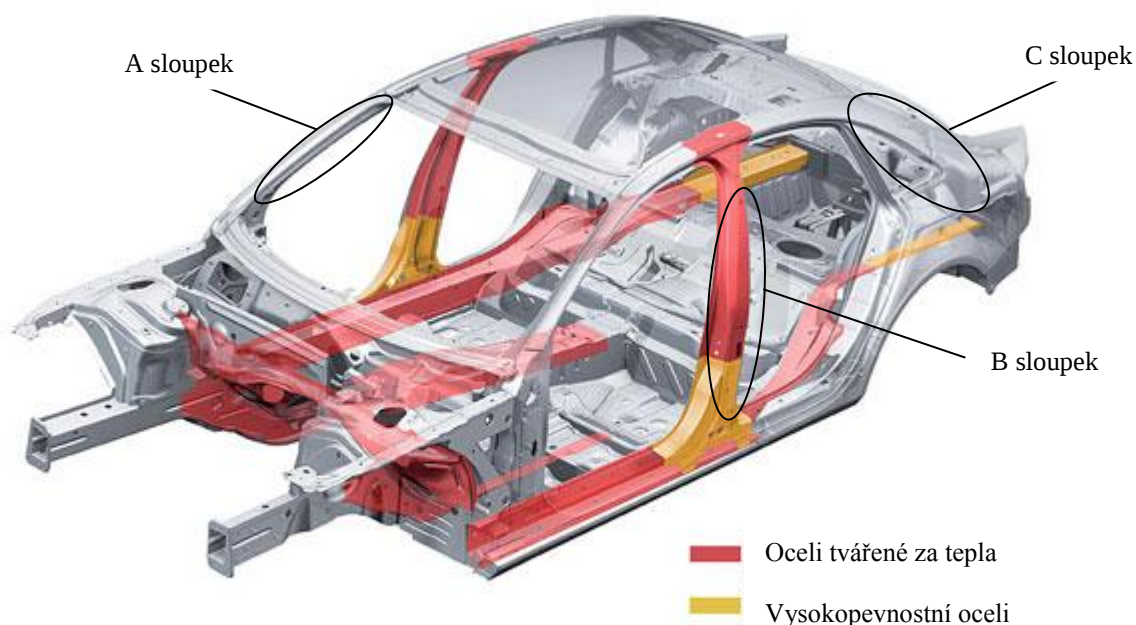
#### 1.4 Současný stav bezpečnosti při bočním nárazu

Ke zlepšení šanci posádky na přežití dnes přispívá řada konstrukčních opatření. Ty mají za účel co nejvíce minimalizovat rozsah zranění v případě nehody. Základem ochrany cestujících ve vozidle je vhodně navržená boční struktura se systémem crashových výztuh. Standardem ve výbavě vozu jsou dnes již předepínací bezpečnostní pásy, stejně jako ve většině případů boční airbasy. Stále více se také již rozšiřují hlavové airbasy, které jsou důležité pro ochranu hlavy. Zajímavá je pak myšlenka tzv. „chytrých sedaček“, které dokážou předčasně identifikovat hrozící srážku a zareagovat na ni posunutím řidiče směrem od dveří.

### 1.4.1 Boční struktura

Jde o základní bezpečnostní prvek ochrany při bočním nárazu. Je žádoucí, aby byla nejen dostatečně tuhá, ale schopna se i správně deformovat a pohltit co nejvíce energie z nárazu. Samotnou strukturu lze rozdělit na tyto části (obr. 3):

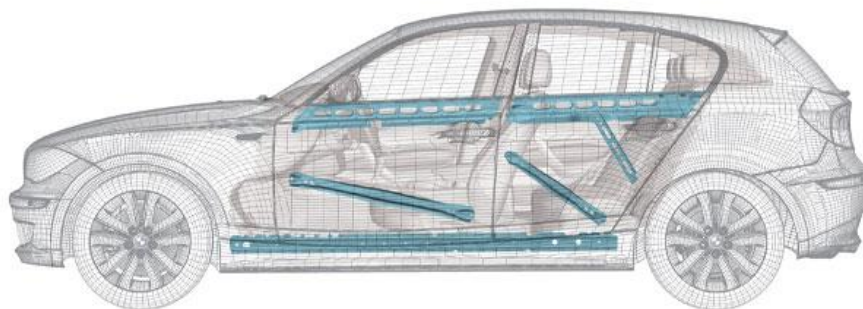
- A sloupek (nutná dostatečná pevnost, nesmí se zlomit)
- B sloupek (dostatečně pevný, nesmí se zlomit a měl by absorbovat energii)
- C sloupek (stejně jako A sloupek)
- střecha (nesmí se zlomit, avšak musí umožnit postupnou deformaci)
- práh s podlahou (žádoucí postupná deformace a co největší absorpce energie)
- přední a zadní dveře (nesmí výrazně pronikat do prostoru pro posádku, výztuhy)



Obr. 3: Ukázka použití typů ocelí na vozidle Audi A4 [3]

Velký vliv na chování karoserie při nárazu mají samozřejmě použité materiály, které jsou neustále zdokonalovány. Obr. 3 ukazuje příklad použití různých druhů oceli pro jednotlivé díly u vozu Audi A4.

Mezi další části konstrukce, které se z velké části podílí na zmenšení následků bočního nárazu, patří crashové výztuhy. Ty jsou důležitým bezpečnostním prvkem uvnitř dveří, které jsou jinak tvořeny z relativně tenkých plechů. V samotných dveřích není vzhledem ke stísněnému místu (vlivem nutnosti prostoru pro okno, mechanismus stahování, reproduktor, kabeláž,...) možnost jiného zpevnění. Příklad konstrukce a možnosti uložení crashových výztuh je uveden na obr. 4.



Obr. 4: Ukázka použití crashových výztuh na vozidle BMW řady 1 [4]

#### 1.4.2 Boční Airbag

Poprvé byl nabízen jako volitelná výbava ve vozidle volvo 850 v roce 1995. Od té doby se stal téměř u všech výrobců již standardem. Jde o stejný princip jako u čelního airbagu, jen je zaměřen na boční náraz. Umisťuje se do B sloupku nebo boční části sedačky. Při srážce se nafoukne mezi vnitřní stranu boční struktury a pasažéra. Má za úkol odsunout jeho tělo dál od pronikající deformované karoserie, čímž zpozdí srážku a zmírní její následky.



Obr. 5: Boční airbag ve vozidle porsche [5]

### 1.4.3 Hlavový airbag

Firma BMW jej poprvé uvedla ve své nabídce v roce 1998. Funkcí je stejný jako čelní airbag, je však umístěn v horní hraně střešy a rozbaluje se směrem dolů. Výrazně snižuje zranění v oblasti hlavy, která tak není přímo v kontaktu s částmi interiéru a hlavně oknem.



Obr. 6: Příklad funkce hlavových airbagů [6]

### 1.4.4 Předepínací bezpečnostní pásy

Každý automobil je dnes povinně vybaven bezpečnostními pásy. Ty se při nehodě dokážou předepnout a zafixovat tak cestujícího v sedadle, což zamezí vzniku možného zranění vlivem volného pohybu těla. Novinkou je dnes možnost použití nafukovacích bezpečnostních pásů (obr. 7). Jejich výhodou je větší plocha, přes kterou působí na tělo a tím se sníží zranění hrudníku.



Obr. 7: Ukázka prototypu nafukovacích bezpečnostních pásů [7]

### 1.4.5 Chytrá sedačka

Novinkou a možným budoucím rozvojem bezpečnosti při bočním nárazu jsou i tzv. „chytré sedačky“. Tyto sedačky dokážou předpovědět hrozící střet a zareagovat na to posunutím sedadla směrem od boční struktury. Přední výrobce airbagů, společnost Autoliv, chce do dveří umístit radar (3), který detekuje možnost srážky zlomek vteřiny předem a posune tak sedačku směrem ke středu kabiny (2) a zároveň nafoukne airbag (1).



Obr. 8: Funkce „chytré sedačky“ [8]

## 2 Spotřebitelský test Euro NCAP

V současné době jde o nejznámější organizaci zabývající se bezpečností silničního provozu. Již v od roku 1970 se EEVC (European Experimental Vehicles Committee) zabývala testováním bezpečností vozidel a v devadesátých letech výzkumem stanovila podmínky pro testy čelního a bočního nárazu. V roce 1994 žádala EEVC evropskou komisi o zahrnutí jejich požadavků ohledně bezpečnosti automobilů do legislativy, to však bylo silně odmítnuto výrobci automobilů. Ministerstvo dopravy Velké Británie tedy přišlo s návrhem na založení NCAP (new cars assesment programme), které by převzalo metodiku zkoušení EEVC. Tato organizace se dále rozšířila do Evropy. V prosinci 1996 byl oficiálně založen Euro NCAP a testy prvních vozidel vyšly v roce 1997.

Nově aktualizované hodnocení vozidla je tvořeno jednou souhrnnou známkou (jedna až pět hvězdiček), která se skládá z dílčích částí (hodnocení ochrany dospělé posádky, dětské posádky, chodců a výskytu bezpečnostních prvků). Jedno celkové hodnocení bylo zavedeno, aby výrobci nepreferovali určitou oblast před druhou, například ochranu posádky před ochranou chodců. Výsledky z jednotlivých částí se spojí do jedné známky, ochrana posádky tvoří 50%, ochrana dětí 20%, ochrana chodců 20% a výskyt bezpečnostních prvků 10%. Toto vážené kritérium platí až do roku 2012. Podle počtu bodů z maxima možných se udělí počet hvězdiček (viz. Tab. 2). Jednotlivé oblasti musí však splňovat minimální hodnoty pro danou známku, pokud to tak není, známka se sníží.



| Year                             | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|----------------------------------|------|------|------|------|
| Box 1: Adult Occupant Protection | 50%  | 50%  | 50%  | 50%  |
| Box 2: Child Occupant Protection | 20%  | 20%  | 20%  | 20%  |
| Box 3: Pedestrian Protection     | 20%  | 20%  | 20%  | 20%  |
| Box 4: Safety Assist             | 10%  | 10%  | 10%  | 10%  |

Tab. 1: Vážené kritérium souhrnné známky [9]

| Year                       | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|----------------------------|------|------|------|------|
| For five stars, at least:  | 70%  | 75%  | 75%  | 80%  |
| For four stars, at least:  | 55%  | 60%  | 60%  | 70%  |
| For three stars, at least: | 45%  | 50%  | 50%  | 60%  |
| For two stars, at least:   | 35%  | 35%  | 35%  | 55%  |
| For one star, at least:    | 20%  | 25%  | 25%  | 45%  |

Tab. 2: Přepočet procenta z maxima možných bodů na počet hvězdiček [9]

| 2010-2011 | Box 1:<br>Adult Occupant | Box 2:<br>Child Occupant | Box 3:<br>Pedestrian | Box 4:<br>Safety Assist |
|-----------|--------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|
| 5 stars   | 80%                      | 75%                      | 40%                  | 60%                     |
| 4 stars   | 65%                      | 60%                      | 25%                  | 40%                     |
| 3 stars   | 35%                      | 30%                      | 15%                  | 25%                     |
| 2 stars   | 30%                      | 25%                      | 10%                  | 15%                     |
| 1 star    | 20%                      | 15%                      | 5%                   | 5%                      |

Tab. 3: Limity jednotlivých oblastí pro udělení souhrnné známky [9]

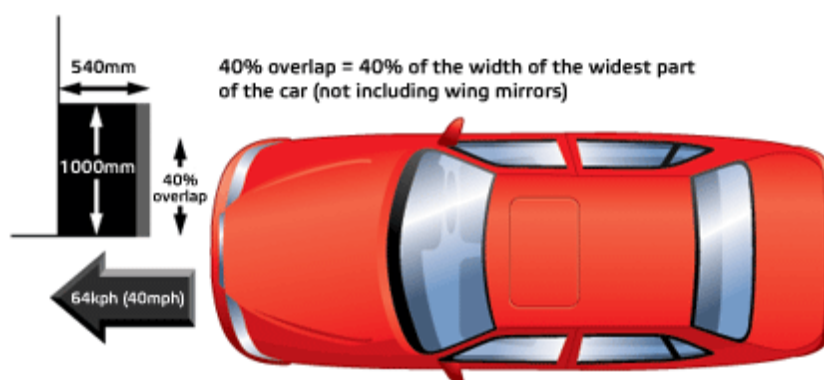
Vážené kritérium vyjadřuje důležitost jednotlivých oblastí. Toto rozložení se může měnit s tím, jak se budou měnit požadavky na jednotlivé odvětví. Do roku 2012 však zůstává podle Tab.1. Po sestavení souhrnné známky (např. vůz by měl dostat pět hvězdiček) se ještě jednotlivé oblasti zkontrolují, zda splňují jednotlivé limity pro danou známku (viz. Tab.3). Pro pět hvězdiček je tedy minimum 80% maxima možných bodů z ochrany posádky a tak dále. Pokud jedna z částí nevyhovuje, je celková známka snížena.

Výsledky jednotlivých oblastí se vyhodnocují z nárazových zkoušek. Provádí se zkouška čelního nárazu, bočního nárazu, bočního nárazu na kůl a srážky s chodcem. Nově se ještě zavedla zkouška s názvem „whiplash“, která zkoumá zatížení krčních obratlů při nárazu zezadu a zkouší se samostatně na sedačkách řidiče a spolujezdce.

## 2.1 Jednotlivé části testu Euro NCAP

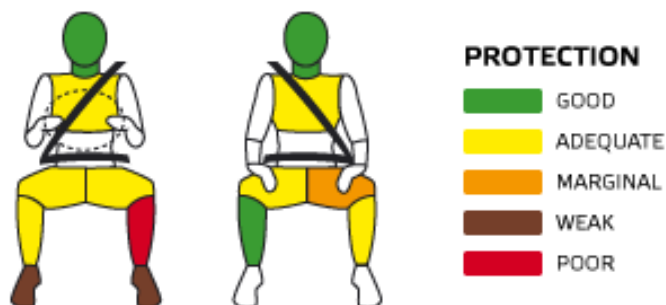
### 2.1.1 Čelní náraz

Čelní náraz se odehrává v rychlosti 64 km/h se 40% přesahem, jak je naznačeno na obrázku 9. Automobil naráží do nepohyblivého bloku, na kterém je upevněna deformovatelná bariéra z hliníkových pláství, která nahrazuje deformaci druhého vozu. Tento náraz má reprezentovat nejčastější druh střetu, který vede k vážným zraněním. Simuluje čelní srážku jednoho vozu s druhým o stejné hmotnosti. Většina čelních střetů zahrnuje jen část přídě vozu, toto je vyjádřeno 40% přesahem. Rychlost při testu odpovídá čelní srážce dvou automobilů, kdy každý se pohybuje rychlostí 55 km/h. Rozdíl v rychlostech je dán energií absorbovanou v deformaci bariéry.



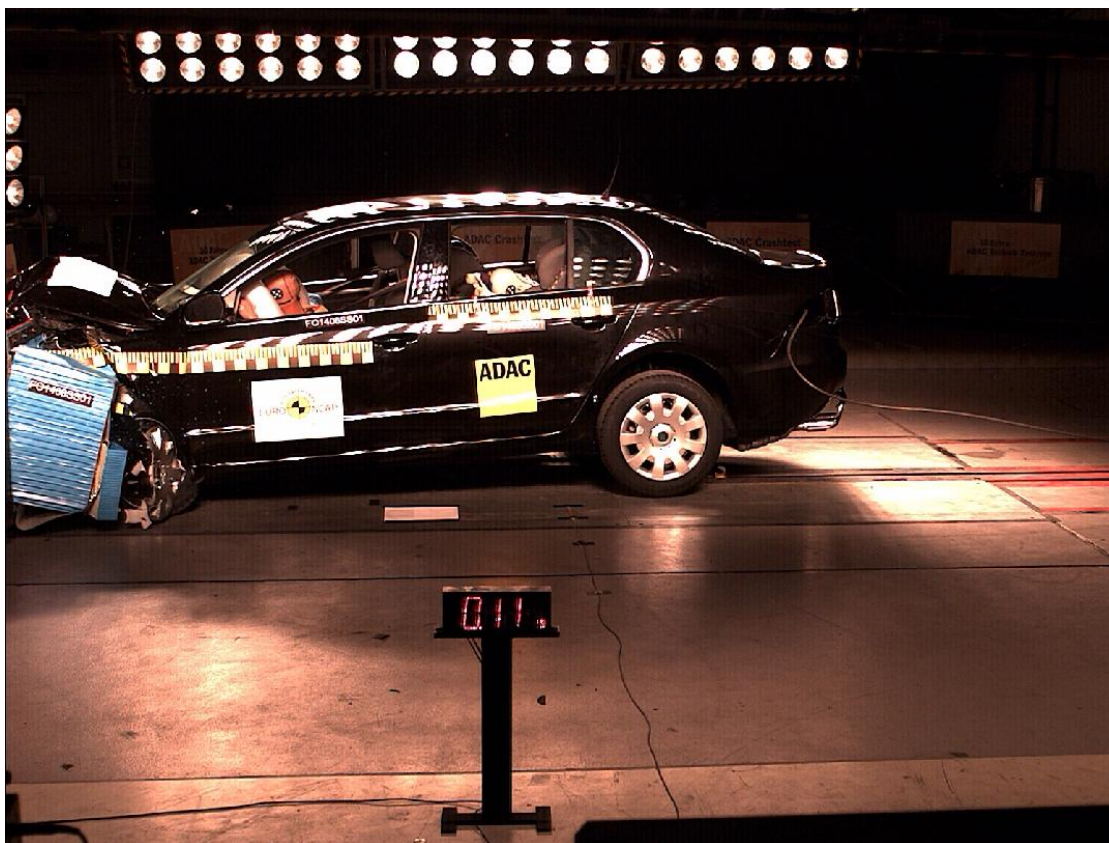
Obr. 9: Schéma čelního nárazu [9]

Údaje o hodnotách zatížení se odečtou z figuríny a stanoví se bezpečnost pro jednotlivé oblasti (viz. obr. 10). Barevně je zde vyjádřeno, jak jednotlivé oblasti splňují biometrická kritéria, kdy zelená znamená 95% šanci, že nedojde ke zranění. Tato šance se s dalšími barvami snižuje.



Obr. 10: Příklad vyhodnocení zatížení figuríny [9]

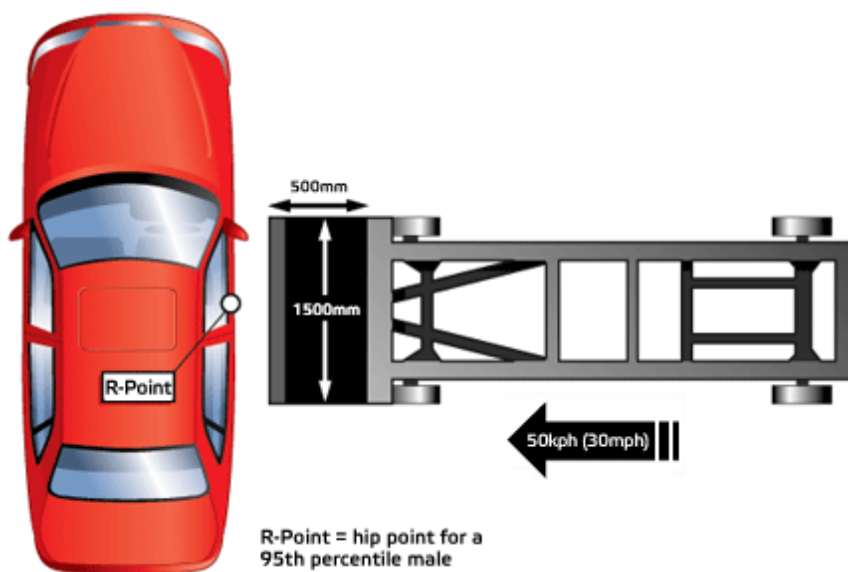
Mezi nejčastější příčiny zranění posádky patří kontakt mezi osobou a částmi interiéru, které při nárazu vnikají do prostoru posádky. Cílem je zabránit této deformaci interiéru a zachovat nezbytný prostor pro přežití. Při testech čelního nárazu se ukazuje pozitivní vliv spousty konstrukčních řešení na možnost přežití nehody. Jsou to například deformovatelné tyče řízení, omezovače síly v předepínacích bezpečnostních pásů, zmenšení deformace v oblasti chodidel a zásada, že oblast kolen nesmí obsahovat žádné ostré a pevné části.



Obr. 11: Zkouška čelního nárazu vozidla Škoda Superb [9]

### 2.1.2 Boční náraz

Boční náraz je druhým nejdůležitějším testem Euro NCAP, který se provádí. Simuluje boční srážku dvou vozidel, kdy jedno je nahrazeno deformovatelnou bariérou a naráží do vozu rychlostí 50 km/h. Vyhodnocení zranění se provádí z figuríny určené pro boční náraz.



Obr. 12: Schéma bočního nárazu [9]

Je těžké hodnotit rozsah bezpečnosti kvůli velkým deformacím, avšak způsob, jak se struktura deformuje je důležitý. Díky Euro NCAPu se situace při bočním nárazu zlepšila, hlavně zavedením bočního airbagu jako standardu u většiny vozů. Velkou mírou se na bezpečnosti podílí také hlavový airbag, snižuje síly působící na hlavu a zabraňuje nechtěnému kontaktu s částmi interiéru.

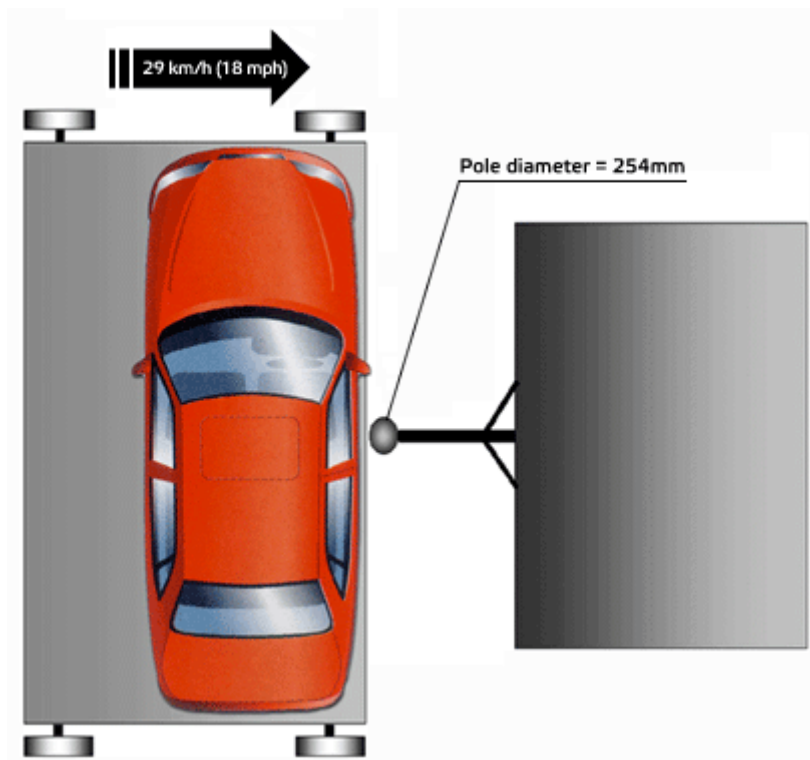


Obr. 13: Zkouška bočního nárazu vozidla Škoda Superb [9]

### 2.1.3 Boční náraz na kůl

Jde o druh testu, při kterém se simuluje boční náraz vozu o úzkou překážku, většinou strom nebo sloup. To má za následek poměrně velkou deformaci boční struktury. Důležitým bezpečnostním prvkem při tomto typu srážky jsou hlavové airbasy, které zabraňují průchodu hlavy oknem a částečně snižují zatížení horní části torza. Bez použití hlavového airbagu naráží hlava do sloupu takovou silou, že je téměř nemožné přežít. Kritérium zranění hlavy (Head injury criterion – HIC) v tomto případě mívá hodnotu i 5000, což je 5x více než je maximální limit pro přežití. Na druhou stranu při vybavení vozu hlavovými airbasy tato hodnota klesne na 100 – 300, což výrazně zlepšuje šance na přežití.

Vozidlo je při testu umístěno na pojízdné podložce, která mu udělí rychlost 29km/h. Vůz poté naráží do nedeformovatelné bariéry o průměru 254 mm. Umístění bariéry a podmínky testu jsou přesně dané protokoly Euro NCAPu.



Obr. 14: Schéma bočního nárazu na kůl [9]



Obr. 15: Zkouška bočního nárazu na kůl vozidla Škoda Superb [9]

## 2.1.4 Ochrana dětí

Díky Euro NCAPu se podstatně rozšířilo používání připojovací metody ISOFIX u dětských autosedaček, což podstatně zvýšilo bezpečnost dětí při nehodách.

Ochrana dětí se vyhodnocuje z výsledků zatížení, které se zjistí z dětských figurín (reprezentující jeden a půl roční a tříleté dítě) při čelním a bočním nárazu. Dále z kvality instrukcí pro použití systému ochrany dětí a dalších doplňkových částí.



Obr. 16: Umístění figurín dětí při čelním testu vozu Škoda Superb [9]

## 2.1.5 Ochrana chodců

Pro stanovení ochrany chodců se provádí více testů, které vyjadřují srážku dětského a dospělého chodce s vozidlem v rychlosti 40 km/h. Jelikož by bylo obtížné stanovit bezpečnost jednotlivých oblastí střetu (nárazník, kapota,...) při použití kompletní figuríny, je příď vozu rozdělena na určité části, které se testují impaktory. Ty reprezentují části lidského těla v té určité oblasti nárazu. Každé místo je poté vyhodnoceno zvlášť a barevně ohodnoceno podle rizika výskytu vážného zranění.



Obr. 17: Schéma testů bezpečnosti chodců [9]

Ke zlepšení ochrany chodců přispívá několik možných konstrukčních prvků. Mezi ně patří deformovatelné nárazníky, které se při kontaktu s nohou chodce lehce zdeformují. Je také žádoucí, aby nárazník zasáhl nohu pod kolenem, což sníží možnost jeho vážného zranění. V oblasti kapoty je třeba, aby byly odstraněny všechny nedůležité tvrdé části, čímž se vytvoří nutný prostor pro její deformaci.

### 2.1.6 Whiplash

Jde o druh zranění, který je způsoben náhlým pohybem páteře a vede k dlouho trvajícím a bolestným zraněním. Nejčastěji se whiplash vyskytuje při zadním nárazu v malých rychlostech. Zranění se těžce diagnostikuje, obtížně léčí a je relativně finančně náročné. Častý výskyt těchto zranění a jejich cena (fyzické trauma a cena léčby) motivovala Euro NCAP k zavedení testu, který by nutil výrobce automobilů zlepšovat sedadla ve vozidlech tak, aby k zranění tohoto typu nedocházelo. To se nejlépe děje pomocí geometrie sedadla a opěrky hlavy.



Obr. 18: Whiplash test [9]

Pro posouzení bezpečnosti páteře se provádí tzv. whiplash test, při kterém se testuje samotné sedadlo ve vozidle. Výsledné hodnocení se sestává jak ze známky z geometrie (vzdálenosti hlavy od opěrky a dalších částí, možnost nastavení opěrky hlavy,...), tak ze známky udělené na základě dynamických testů. Sedadlo je umístěno na kolejnicích a na figurínu působí třemi úrovněmi zatížení. Výsledek z tohoto testu je zahrnut ve známce z ochrany dospělé posádky.

### 2.1.7 ESC (Electronic stability control)

Jde o jeden z nejdůležitějších bezpečnostních prvků kromě ABS, které je dnes již standardem. V současné době nemá Euro NCAP zdroje na to, aby mohl testovat funkčnost jednotlivých typů ESC. Tyto testy nicméně nutně provádí výrobci, aby zajistili jejich funkčnost za všech možných podmínek (rychlost, počasí,...). Euro NCAP tedy hodnotí výskyt tohoto systému ve vozidle. Udělují se zde maximálně tři body v případě, že je ESC

standardem nebo je volitelné pro celou modelovou řadu a předpokládá se, že jím bude vybaveno více jak 85% vozů. Toto procento bude dále v nadcházejících letech narůstat.

### 2.1.8 SBR (seat belts reminders)

Jde o systém výstrahy při nezapnutí bezpečnostních pásů. Statistický průzkum dokazuje, že bezpečnostní pásy výrazně snižují výskyt smrtelných zranění při nehodách. Je proto snaha nabádat cestující ve vozidle, aby pásy používaly. K tomu slouží varovná kontrolka doplněná o akustickou signalizaci.



Obr. 19: SBR zadních sedadel [10]

Inspektoři Euro NCAPu hodnotí jak výskyt těchto varovných zařízení, tak i jejich funkčnost (jak dlouho trvá varovný signál, zda je jasně vidět ze všech poloh sedadla,...). Po té se ohodnotí maximálně jedním bodem za pásy řidičova sedadla, spolujezdcova a zadní sedadla. Dohromady je zde tedy možno získat 3 body.

### 2.1.9 Omezovače rychlosti

Nepřiměřená rychlost se z velké části podílí na vzniku nehod. Maximální rychlostní limity by měly být správně voleny tak, aby zaručovaly plynulý chod dopravy a zároveň maximální možnou bezpečnost. V současné době jsou Euro NCAPem odměňovány systémy, které rozpoznají maximální dovolenou rychlost v určitých místech, a řidič si ji může sám omezit. V budoucnu by měly být vozy vybaveny systémem, který sám maximální možnou rychlost omezí na základě povolené hodnoty.



Obr. 20: omezovač rychlosti vozu Citroen C5 [11]



## 2.2 Test bočního nárazu Euro NCAP

Jelikož se tato práce zabývá výhradně situací při bočním nárazu, je vhodné zde uvést detailní podmínky, za kterých se test provádí. Tato metodika je přesně stanovena protokolem Euro NCAP (Side Barrier Impact Test Protocol, verze 5.0), platným od února roku 2010.

### 2.2.1 Příprava vozidla k testu

#### - Prázdná hmotnost vozidla:

Jako první se stanovuje prázdná hmotnost vozidla, ta je definována jako hmotnost vozu, který má z 90% plnou palivovou nádrž a všechny ostatní provozní kapaliny na maximum. Kapacita palivové nádrže je stanovena výrobcem. Z vozu se nejdříve vypustí co nejvíce paliva, poté se nastartuje motor a nechá se běžet, dokud mu nedojde palivo. Když je nádrž prázdná, doplní se palivem, vodou nebo jinou ekvivalentní látkou tak, aby byla z 90% plná. Zkontrolují se hladiny všech provozních kapalin, a pokud nejsou, doplní na maximální hodnotu. Zkontroluje se, zda je ve vozidle odpovídající rezerva a základní vybavení (nářadí, hever, ...). Nic jiného ve voze být nesmí. Zajistí se, aby byly všechny pneumatiky správně nahuštěny. Změří se zatížení pod přední a zadní nápravou a takto určí se celková prázdná hmotnost. Dále se ještě zaznamená jízdní výška vozidla na všech čtyřech kolech.

#### - Výchozí hmotnost vozidla:

Jako další je třeba určit výchozí hmotnost. Přední sedadla se nastaví do prostřední polohy, pokud to není proveditelné, zastaví se sedadlo na nejbližší záračce směrem vzad. Do vozu se umístí na řidičovo místo testovací figurína ES-2 (80kg). Do zavazadlového prostoru se naloží závaží tak, aby výsledná hmotnost byla o 100 kg větší než prázdná hmotnost vozu. Tyto závaží je třeba rovnoměrně rozprostřít po zavazadlovém prostoru. Pro ukládání závaží smí být použit jen zavazadlový prostor, nesmí se umisťovat například na zadní sedadla. Na ty se usadí figuríny reprezentující rok a půl a tříleté dítě (11kg a 15kg) v odpovídajících autosedačkách. Závěrem se tato hmotnost zaznamená jako výchozí hmotnost vozu a změří se jízdní výška od země po blatník v rovině středu kola.

#### - R-bod:

Pro měření rozměrů vozidla a umístění značek je třeba relativní výchozí bod. Používá se tzv. bod R, který je určen výrobcem vzhledem k některé ze součástí vozidla. Jeho poloha se vyznačí na boční straně vozu jeho X-ová souřadnice s tolerancí 1mm. Nakreslí se vertikální čára tímto vyznačeným bodem a jasně se označí písmenem R. Vyznačí se několik bodů, které mají stejnou X-ovou souřadnici jako bod R a ty se pak spojí páskou, která je výrazná vzhledem k barvě karoserie vozu. Na pásce se vyznačí, která její strana má X-ovou souřadnici bodu R.

#### - Příprava vozidla k testu:

Při přípravě vozidla k testu je třeba dbát opatrnosti, tak aby nedošlo k sepnutí zapalování při odpojení baterii nebo airbagu. To by vedlo k rožnutí kontrolky airbagu a jeho nutném resetu.



Odstraní se koberce, nářadí, zvedák a rezerva ze zavazadlového prostoru. Rezerva se smí odstranit, jen pokud to neovlivní deformační chování vozidla při testu. Zkontroluje se zapojení baterie a funkčnost airbagů. Dále se do vozidla nainstalují potřebné měřicí zařízení a kabely. Do vozu se umístí měřicí figuríny: řidičova, jeden a půl ročního dítěte a tříletého dítěte. Následně se měří hmotnost vozu, ta musí být v toleranci 1% od výchozí hmotnosti vozidla určené dříve. Je podmínkou, aby zatížení pod jednotlivými koly do 5% nebo 20 kg od výchozího stavu. Pokud tomu tak není, přidává se závaží nebo odebírají části vozu nepodstatné pro crashové chování. V krajním případě je možné upravit i objem palivové nádrže tak aby bylo zatížení pod jednotlivými nápravami v toleranci.

## 2.2.2 Příprava a certifikace figuríny

Pro boční náraz se používá typ figuríny ES-2 na místě řidiče, která je certifikována podle dokumentu TRANS-WP29-GRSP-2002-11e. Jako dětské figuríny se používají A TNO P3 a A TNO P1½, které jsou umístěny v příslušném dětském zádržném systému. Figurína řidiče se znovu certifikuje každé tři zkoušky. Figuríny dětí se certifikují každých 6 zkoušek (například 3 testy čelního nárazu a 3 testy bočního nárazu). Jestliže zatížení na některé části překročí maximální dovolenou hranici (například HIC 1000), poté musí být část znovu certifikována. Veškeré části figuríny, které se při testu poškodí, se musí nahradit součástmi certifikovanými. Figuríny musí mít před testem teplotu 18°C až 26°C, to se zajistí tak, že jsou vystaveny teplotě z tohoto rozsahu po dobu 5 hodin.

Jednotlivé části figurín se barevně označují, aby šlo vidět, která část těla je v kontaktu s kterou částí interiéru vozidla. Tato barva se nanáší tak, aby bylo zaručeno, že při provedení testu bude ještě mokrá.

- Rozmístění měřících snímačů na figuríně:

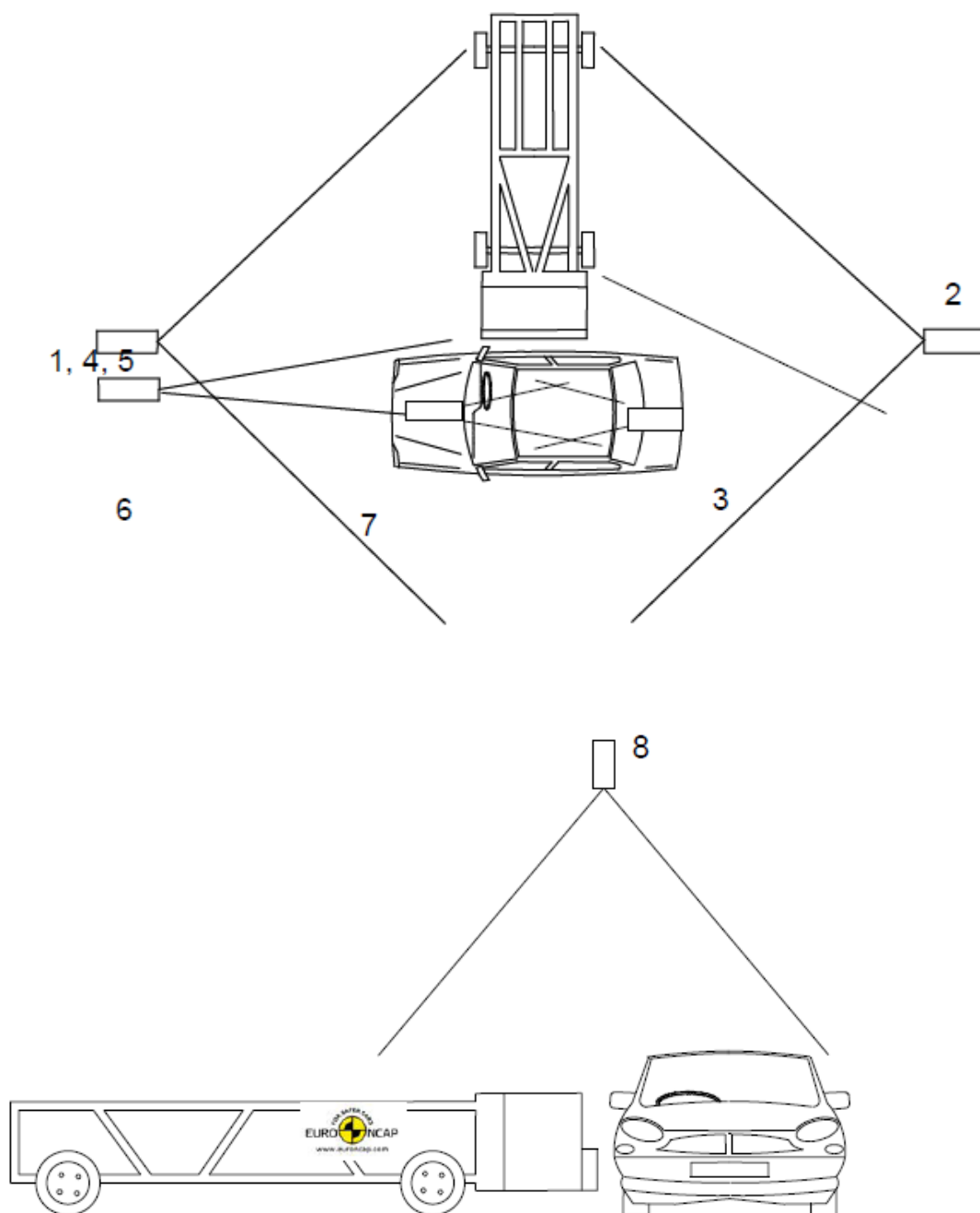
| Umístění                               | Měřený parametr          | Minimální amplituda | Počet měřících kanálů |
|----------------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| Hlava                                  | zrychlení, $A_x A_y A_z$ | 250 g               | 3                     |
| Rameno                                 | síla, $F_x F_y F_z$      | 8 kN                | 3                     |
| Hrudník T1                             | zrychlení, $A_x A_y A_z$ | 200 g               | 3                     |
| Hrudník T12                            | zrychlení, $A_y$         | 200 g               | 1                     |
| Žebra – horní<br>prostřední<br>dolní   | zrychlení, $A_y$         | 700 g               | 3                     |
|                                        | deformace, $D_{rib}$     | 90 mm               | 3                     |
| Břicho – přední<br>prostřední<br>zadní | síla, $F_y$              | 5 kN                | 3                     |
| Zádová deska                           | síla, $F_x F_y$          | 5 kN                | 4                     |
|                                        | moment, $M_y M_z$        | 200 NM              |                       |
| T12                                    | síla, $F_x F_y$          | 5 kN                | 4                     |
|                                        | moment, $M_x M_y$        | 300 NM              |                       |
| Pánev                                  | zrychlení, $A_x A_y A_z$ | 150 g               | 3                     |
| Pubic symphysis                        | síla, $F_y$              | 20 kN               | 1                     |
| Stehno (L a P)                         | síla, $F_x F_y F_z$      | 22 kN               | 6                     |
|                                        | moment, $M_x M_y M_z$    | 350 NM              | 6                     |

Tab. 4: Umístění snímačů na figuríně ES - 2 [9]

Figurína ES – 2 je vybavena měřicími snímači podle tab. 4. Ty musí být schopny změřit minimální amplitudu, například sílu 8 kN v rameni. Další snímače jsou umístěny ve figurínách dětí, kde měří zrychlení působící ve všech směrech na hlavu a hrudník, celkově to je tedy 12 měřících kanálů. Jako poslední se sbírají údaje zrychlení ve směru osy y, a to B sloupku a vozíku bariéry. Celkově se tedy používá 57 měřících kanálů.

### 2.2.3 Rozmístění kamer při testu

Kamery, které snímají obraz s vysokým počtem snímků za sekundu, se rozmísťují podle obr. 21.



Obr. 21: Rozmístění vysokorychlostních kamer při testu [9]

#### 2.2.4 Umístění a pozice figuríny

##### - Určení H bodu řidičova sedadla:

Ke změření H bodu sedadla řidiče se používá speciální zařízení určené normou SAE J826. Tento bod je důležitý pro správné nepolohování figuríny ve vozidle. Jestliže je sedadlo úplně nové a nikdy nepoužité, je nutné, aby se na něj usadila osoba vážící cca 75 kg po dobu jedné minuty a to minimálně dvakrát.



Obr. 22: Zařízení pro určení H bodu SAE J826 [9]

Nejdříve se nastaví opěradlo sedadla tak, aby bylo co nejblíže poloze doporučené výrobcem. Pokud doporučené údaje chybí, nastaví se pod úhlem 25° dozadu od svislého směru. Poté se postupným přidáváním závaží a manipulací s měřícím zařízením tak, aby správně sedělo, zjistí poloha H bodu, která se zaznamená. Je třeba brát na vědomí, že poloha H bodu figuríny je o 21 mm posunuta dopředu oproti H bodu, který se zjistil na měřícím zařízení. Tento H bod z měřícího zařízení se taky označuje Hm.

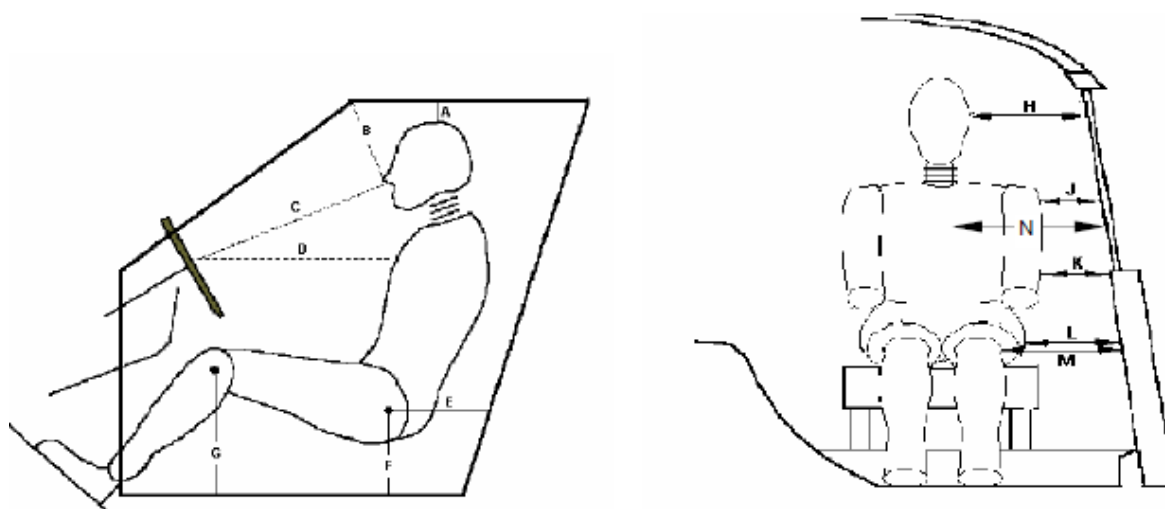
##### - Usazení figuríny do vozidla:

Figurína se usadí na sedadlo a postupně se s ní manévruje tak, aby bod Hm, který je na ní vyznačen, byl umístěn v okruhu 10 mm od H bodu zaznačeného z měření. Po usazení se nastaví chodidla a nohy. Levé chodidlo leží na podlaze a pravé chodidlo se umístí na

nesešlápnutý pedál plynu. Vzdálenost mezi koleny se nastaví na  $150 \pm 10$  mm. Zkontroluje se usazení figuríny, zejména poloha H bodu. Pokud je vše v pořádku, nastaví se ruce figuríny. Pomocí zarážek, kterými je kloub rukou vybaven, se nastaví pod úhlem  $40^\circ$  vzhledem k torsu. Na závěr se umístí bezpečnostní pás.

### 2.2.5 Měření pozice figuríny

Před testem se provedou ještě následující měření vzdáleností figuríny od interiéru vozidla. Měření se provádí po ukončení usazení a napozicování figuríny.



Obr. 23: Náčrt prováděných měření [9]

| Měření |                                               |
|--------|-----------------------------------------------|
| A      | hlava / střecha                               |
| B      | nos / spoj čelního skla se střechem           |
| C      | nos / střed volantu                           |
| D      | hrudník / střed volantu (horizontální vzdál.) |
| E      | kyčelní kloub / otvor dveří (horizontální)    |
| F      | kyčelní kloub / otvor dveří (vertikální)      |
| G      | koleno / podlaha (vertikální vzdálenost)      |
| H      | hlava / boční okno (nebo obložení)            |
| J      | rameno / boční okno (nebo obložení)           |
| K      | loket / dveře                                 |
| L      | pánev / dveře                                 |
| M      | koleno / dveře                                |
| N      | popruh pásu / dveře (horizontální)            |

Tab. 5: Prováděná měření po usazení figuríny [9]

### 2.2.6 Bariéra a vozík

Na zkušebním vozíku je umístěna deformovatelná bariéra, která je dána předpisy. Vozík má rozvor  $3000 \pm 10$  mm a rozchod kol  $1500 \pm 10$  mm. Všechny pneumatiky musí být stejně nahuštěny. Vozík může obsahovat systém nouzového zastavení, to však záleží na jednotlivých laboratořích. Bariéra je na vozíku umístěna  $300 \pm 5$  mm od země. Vertikálním středem se naznačí čára, která se poté použije na zarovnání s R bodem vozidla. Před testem je třeba vozík zvážít, jeho hmotnost musí  $950 \pm 20$  kg. Dále se musí určit těžiště vozíku, které musí být maximálně  $1000 \pm 10$  mm od přední nápravy.



Obr. 24: Vozík s bariérou pro test bočního nárazu [12]

### 2.2.7 Parametry testu

Zařízení zaznamenávající průběh se spustí v moment prvního kontaktu bariéry s vozidlem ( $t=0$  ms) a dále zaznamenává údaje s frekvencí 20 kHz (je možno použít i frekvenci 10 kHz). Před testem je nutné se ujistit, zda je zapojena baterie a klíčky jsou v zapalování v poloze on. Nesmí svítit varovná kontrolka airbagu, která by signalizovala jeho poruchu, mohlo by se stát, že by při testu nedošlo k jeho rozvinutí.

Rychlost vozíku se musí měřit co nejbližší místu dopadu bariéry. Cílová rychlost je stanovena na  $50 \pm 1$  km/h.



Při testu musí být vozík vybaven systémem brzdění, aby nedošlo k sekundárním srážkám s vozem. Tento systém je buď automatický, nebo ho spouští obsluha, ne však dříve než je ukončen první náraz.

Na obrázku číslo 24 je vidět svislá páska na deformovatelné části bariéry, ta slouží k jejímu zarovnání s R bodem vozidla. Tak se zajistí předem daná poloha při testu. Důležité je, aby svislý střed bariéry byl v toleranci  $\pm 25$  mm od svislé linie R bodu, vyznačeného na voze. Ke kontrole zarovnání se může použít i záznam z kamery vozíku.

Po testu se kontroluje, zda nedošlo při srážce k otevření některých z dveří. Pokud ne, zkoumá se síla potřebná k jejich otevření. Měří se nejdříve na straně, kde nedošlo ke střetu. Hodnota síly potřebné k otevření dveří by měla být do 500N, pokud se zjistí síla větší, údaj se zaznamená do protokolu o zkoušce.

### 2.2.8 Měřená biomechanická kritéria

#### Oblast Hlavy:

Zde se stanovují tři údaje o popisující zranění figuríny. Zjišťuje se maximální hodnota zrychlení, HIC kritérium a 3ms navýšení. Rozhodující je však hodnota HIC kritéria, která by měla být do 650, pak je oblast ohodnocena zelenou barvou. V rozmezí 650 až 1000 se přiřazuje barva oranžová, nad 1000 pak červená.

$$A_R = \sqrt{A_X^2 + A_Y^2 + A_Z^2} \quad (1)$$

$$HIC = (t_2 - t_1) \left[ \frac{\int_{t_1}^{t_2} A_R \cdot dt}{(t_2 - t_1)} \right]^{2.5} \quad (2)$$

Pomocí vzorce (1) se určí průběh celkového zrychlení hlavy při srážce. Zde se zaznamenává jeho maximální hodnota. Hodnota HIC kritéria se stanovuje podle vzorce (2), kde  $A_R$  je vyjádřeno v násobcích g. Stanovuje se maximální hodnota pro jakýkoliv časový interval  $t_2$  až  $t_1$ . Dále se zjišťuje 3ms navýšení. Po stanovení maximální hodnoty zrychlení se určuje to, jak rychle byla dosažena. Sleduje se stoupání hodnoty zrychlení během 3 ms před dosažením maximální hodnoty. Zde je limit 72 g pro nejlepší výsledek, horní hranice je potom 88 g (zrychlení je v násobcích g).

#### Oblast žeber:

Pro popis úrovně zranění žeber jsou stanovená dvě kritéria. Jde o limit maximálního stlačení žeber a viskózní kritérium. Výpočet viskózního kritéria je podle vzorce (3).

$$\text{Viskózní kritérium} = V \cdot C \quad (3)$$

Proměnná  $C(t)$  vyjadřuje stlačení žebra v závislosti na jeho výchylce a to podle (4). Za  $V$  se dosazuje rychlost, s jakou k tomuto prohnutí žeber došlo a to podle (5). Za  $\delta t$  se dosazuje časový interval mezi dvěma po sobě jdoucími údaji z měření.

$$C_{(t)} = \frac{D_{(t)}}{0.140} \quad (4)$$

$$V_{(t)} = \frac{8 * [D_{(t+1)} - D_{(t-1)}] - [D_{(t+2)} - D_{(t-2)}]}{12 \delta t} \quad (5)$$

Výpočtem jednotlivých viskózních kritérií získáme jeho časový průběh a poté se určí maximální hodnota. Nejlepšího výsledku se dosáhne, je-li maximální stlačení žeber do 22 mm a viskózní kritérium pod 0,32. Horní limit je potom 40 mm a 1 pro viskózní kritérium.

#### Oblast břicha:

Měří se maximální hodnota velikosti síly z průběhu, který změřil snímač umístěný v oblasti břišní dutiny. Nejlepší výsledek se dosáhne, když je síla pod 1 kN. Maximální přípustný limit je 2.5 kN.

#### Oblast pánve:

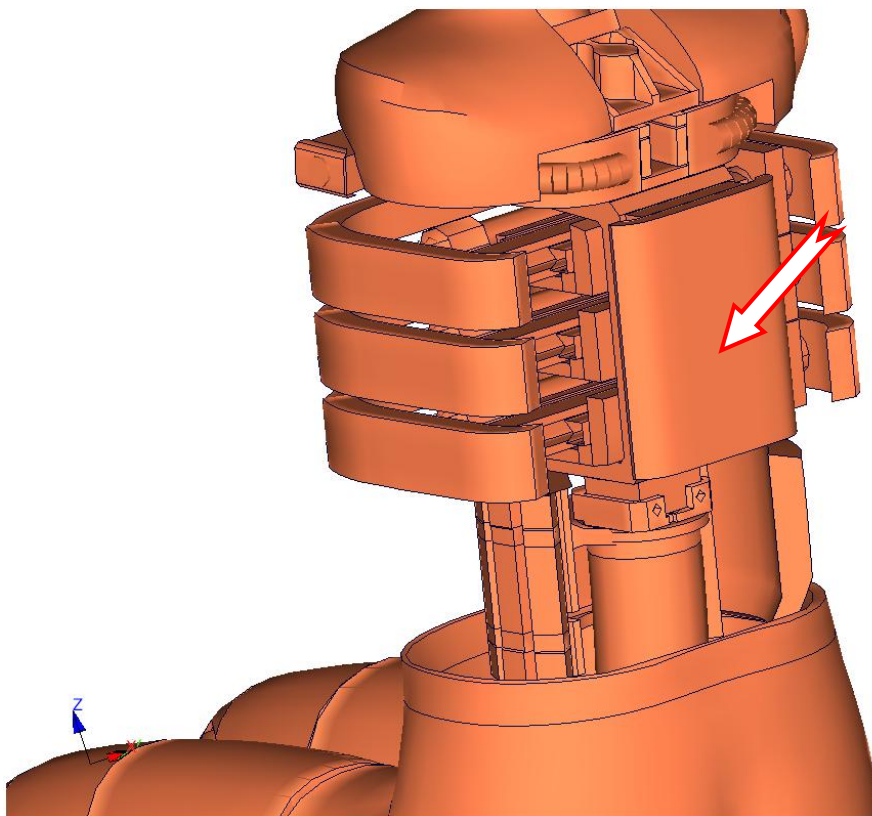
V oblasti pánve se zjišťuje amplituda síly, podobně jako v případě břicha. Hranice jsou 3 kN pro plný počet bodů. Když je větší jak 6 kN, je bodový zisk nulový.

#### Zádová deska:

Jedna nejmenovaná japonská automobilka přišla na to, že když do boční struktury vloží nosný prvek, který působí na zadní část zad, nedojde k výrazné deformaci žeber. Tato součást v testech figurínu působením na záda odtlačila a výsledky sledovaných biomechanických kritérií vycházely v limitech. V reálném případě by však došlo k vážným zraněním páteře člověka. Proto začal Euro NCAP umístit do figuríny zádovou desku a sleduje na ní maximální sílu v ose  $y$  ( $F_y$ ). Nejlepší výsledek se dosáhne  $F_y < 1$  kN, nejhorší potom když je  $F_y > 4$  kN.



Obr. 25: Rám sedačky zachycen zádovou deskou [13]



Obr. 26: Pohled na umístění zádové desky

Kritérium T12 (oblast páteře):

Měří se síla v ose y ( $F_y$ ) a moment kolem osy x ( $M_x$ ). Pro bodové ohodnocení se vezme horší varianta z těchto dvou. Uvažují se jen zatížení, která se přenáší přes páteř a mohla by odlehčit hrudník během zatěžování. Nejlepší výsledek je pro  $F_y < 1.5 \text{ kN}$  nebo  $M_x < 150 \text{ Nm}$ . Vrchní limity jsou pak  $F_y > 2 \text{ kN}$  a  $M_x > 200 \text{ Nm}$ .

### 3 Úvodní informace o problematice

Při vypracování diplomové práce jsem využíval programy pro simulaci nárazových zkoušek, a to zejména:

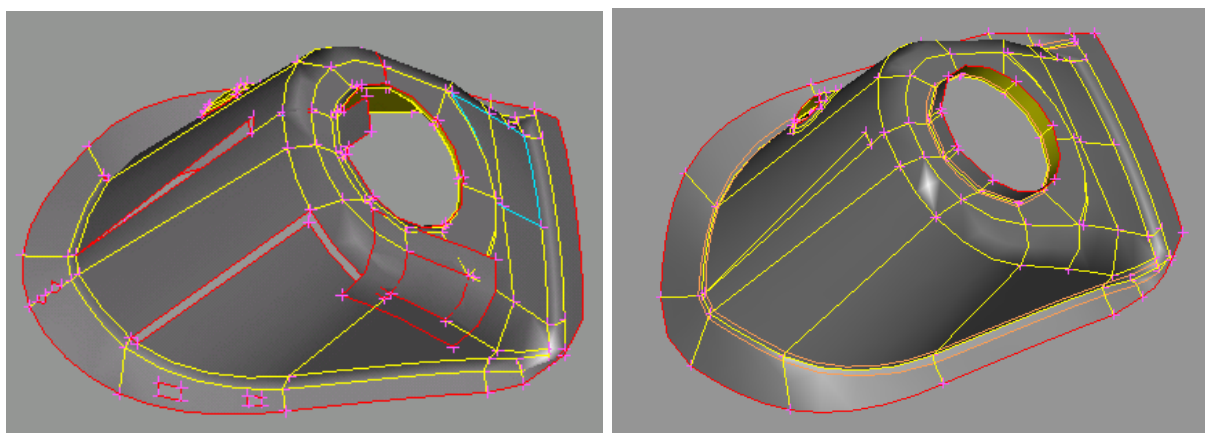
- |                       |                                                                |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------|
| - Ansa verze 13       | - pre-procesor, síťování modelu, nastavení okrajových podmínek |
| - Pamcrash verze 2005 | - samotný výpočetní program                                    |
| - Animator 4          | - post-procesor, vyhodnocení, grafické zobrazení výsledků      |
| - Pamview             | - vyhodnocení získaných křivek zatížení figuríny               |

Dále jsem využíval pro tvorbu zjednodušeného modelu jako vzor průběhy zatížení, získané z výpočtu bočního nárazu vozu SK461 – Superb druhé generace.

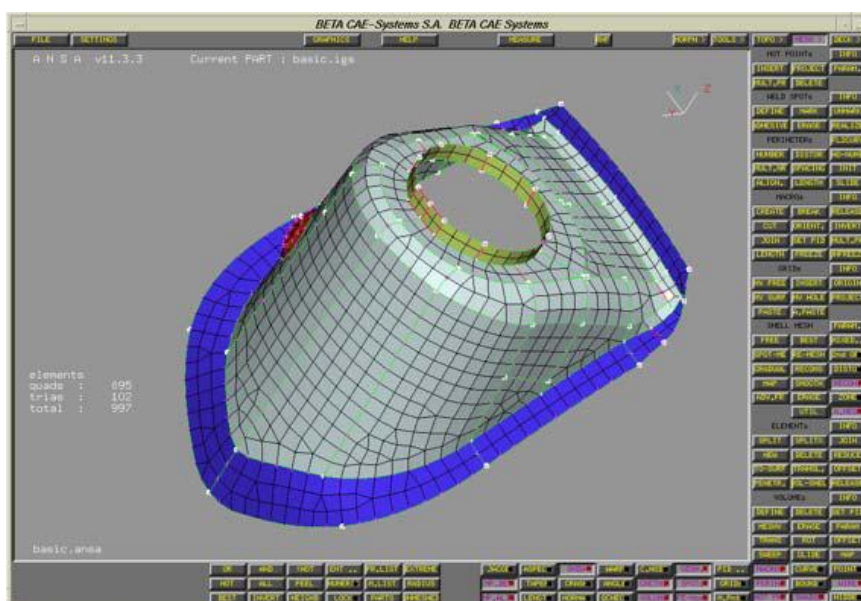
### 3.1 Počítačové MKP simulace v oblasti nárazových zkoušek

Simulace nárazových zkoušek ve vyspělých výpočtových programech jsou v dnešní době nedílnou součástí vývojového procesu. Tímto způsobem se značně snižují finanční náklady při konstrukci nového vozu. Odpadá nutnost stavět velké množství fyzických prototypů, což je velmi drahé. Vytvořit kompletní výpočetní model je daleko levnější a přesnost, jaká je dosahovaná při simulacích, je dostatečně vysoká.

Základem při tvorbě FEM (finite element method – metoda konečných prvků) modelu je preprocesing, čili přípravné práce před samotným výpočtem. Jde o převedení CAD dat (výstupní data z programů Catia a Pro/Engineer) do preprocesoru (Ansa). Zde se poté provedou všechny nutné kroky k sestavení výpočtového modelu, jde zejména o tvorbu sítě, nastavení vlastností materiálů, určení kontaktů a vstupních podmínek.



Obr. 27: Vlevo načtení hrubé geometrie, vpravo upravená geometrie pro tvorbu sítě [14]



Obr. 28: Ukázka vytvořené sítě součásti [14]

Velký zřetel je brán na samotnou tvorbu výpočtové sítě, která z velké části ovlivňuje samotný výpočet. Jde hlavně o nastavení velikosti elementů. Zpravidla se postupuje podle předem vytvořených postupů a návodů, zjištěných ze zkušeností a každá firma si je chrání. Závěrečným krokem je export modelu v podobě textového souboru. Jeho tvar závisí na následně použitém typu solveru.

Po exportu následuje spuštění výpočtu. Používají se explicitní metody, které jsou nepodmíněně svou konvergencí. To znamená, že údaje se do následujícího kroku předávají, ať už úloha konverguje nebo ne. Důležitou podmínkou je minimální časový krok (time-step), který musí být dodržen. Pokud by tomu tak nebylo, vzdaloval by se výsledek od správné hodnoty. Během výpočtu se využívá matematických operací, pomocí nichž se sestavují soustavy rovnic. Ty poté program řeší. Výstupem jsou soubory \*.DSY a \*.THP, které popisují vypočtený děj.



Obr. 29: Srovnání simulace s experimentem [8]

Tyto soubory se dále zpracovávají v postprocesoru (Animator, Meta, Pamview, ...). Zde se již zkoumá samotné chování částí vozu při deformaci, určují se hodnoty napětí, zrychlení a zatížení figuríny. Výsledky se analyzují a případně se doporučí vhodné úpravy a změny.

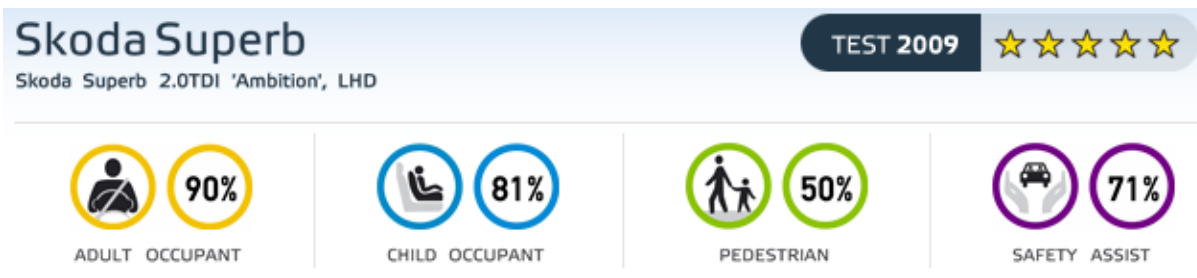
Přesto, že jsou simulace nárazových zkoušek v dnešní době již velmi přesné a pořád se zdokonalují, nejsou a pravděpodobně ani nikdy nebudou na 100% shodné. Problematické je vystihnout naprosto přesně všechny fyzikální a mechanické děje, stejně jako materiálové vlastnosti. Proto se simulace vždy v určité míře doplňují fyzikálními experimenty.

### 3.2 SK461 – nová Škoda Superb



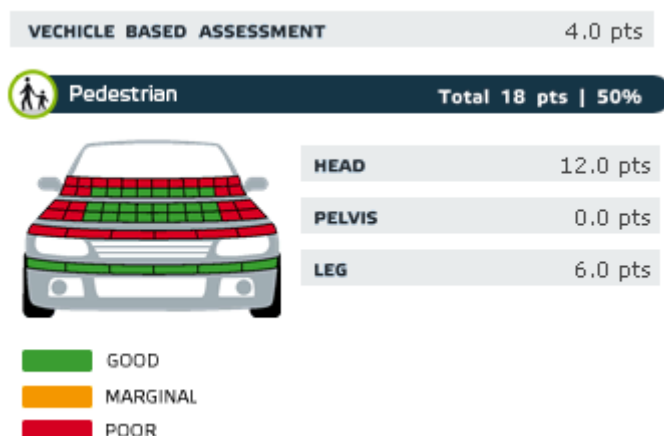
Obr. 30: Nová Škoda Superb [15]

Nová Škoda Superb je vozidlem vyráběným firmou Škoda Auto a.s. Tento nedávno vydaný model byl vyvíjen pomocí nejmodernějších nástrojů. Byla simulována celá řada nárazových zkoušek. Podle údajů organizace Euro NCAP to také vedlo k plnému zisku pěti hvězdiček ve spotřebitelském testu, a to i při stanovení podle nové metodiky. Tento výborný výsledek dokazuje skvělou práci při vývoji pomocí simulačních metod.



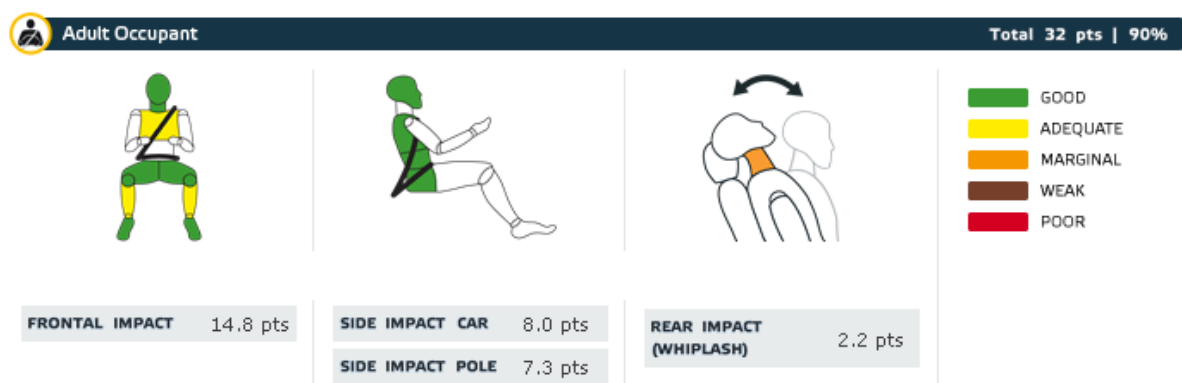
Obr. 31: Výsledky testu Euro NCAP podle nového systému hodnocení [9]

Snad jedinou oblastí, kde škoda ztratila je ochrana chodců. Zisk 50% je podle dán nedostatečnou ochranou při dopadu dospělé hlavy, jak lze spatřit na obr. 31.



Obr. 32: Výsledek testu ochrany chodců [9]

Kritizována byla ještě oblast přední hrany kapoty, za kterou byl udělen nulový počet bodů. Na druhou stranu komisaři Euro NCAPu chválili zachování stability prostoru pro posádku a také poskytnutí stejné úrovně ochrany při různých nastaveních místa řidiče. Na toto nemá vliv ani různá velikost řidiče.



Obr. 33: Výsledek testu ochrany posádky [9]

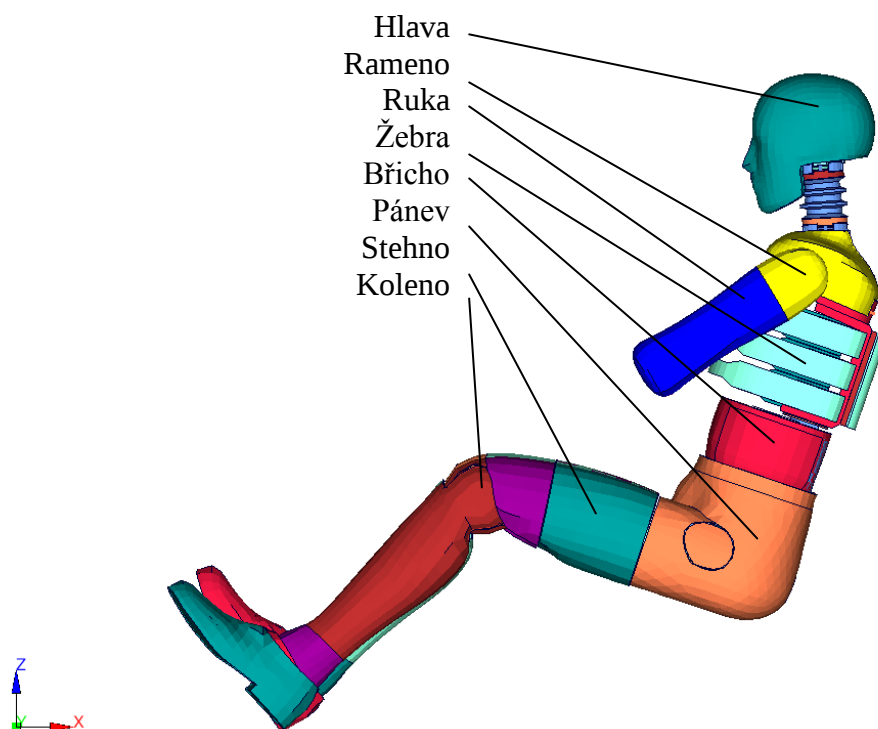
Zisk 90% při testech ochrany posádky je výborný. Samotný boční náraz získal plný počet osmi bodů. Při novém testu krční páteře bylo dosaženo průměrných výsledků a ochrana byla ohodnocena jako dostatečná.

Posuzováním ochrany dětí se z dynamických údajů zjistila výborná úroveň bezpečí. Nicméně podle komisařů není informace o stavu spolujezdcova airbagu příliš jasná. Chybí také dostatečné informace o nebezpečí použití dětské autosedačky otočené zády ke směru jízdy bez předchozí deaktivace airbagu.

Získání plného počtu bodů v hodnocení asistenčních systému vozu zamezila jen nepřítomnost zařízení pro omezení rychlosti. Stabilizační systém je dodáván standardně a signalizací nezapnutých bezpečnostních pásů jsou vybavena obě přední sedadla.

## 4 Cíle a motivace

Při práci na simulacích bočního nárazu pro účely ověření deformačního chování vozidla pro test Euro NCAP se zjistilo, že se mohou vyskytnout případy, kdy různými změnami nedochází ke zlepšení zatížení figuríny. Řešení těchto problémů je poté velmi náročné. Jistým východiskem je prozkoumat samotné chování figuríny při nárazových zkouškách, zejména vliv silových působení na zatížení v určitých místech. Jednotlivé oblasti, kde působí zatížení, se totiž navzájem ovlivňují. Například větším silovým působením v místech ramene dojde k odlehčení žeber a podobně. Zjištění do jakých míst figuríny a jakou silou (popřípadě její průběh) je vhodné působit, by pomohlo při konstrukci boční struktury. Pokud se podíváme na figurínu v bokorysu, můžeme ji rozdělit na několik základních oblastí jak je vidět na obr. 34.



Obr. 34: Rozdělení figuríny na jednotlivé oblasti

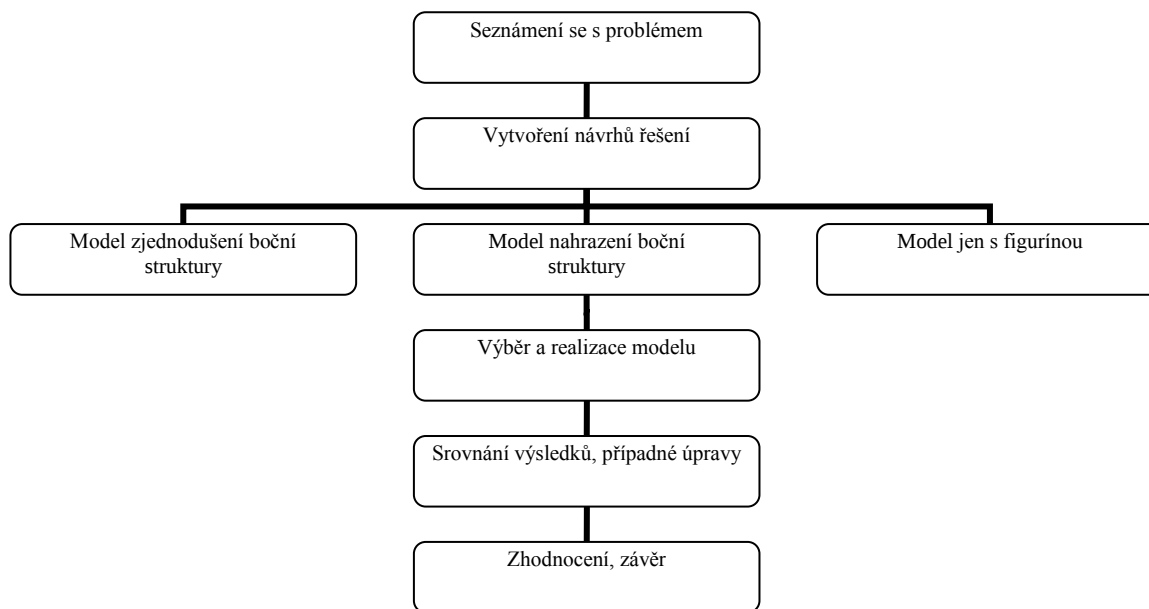
V každé z těchto oblastí můžeme působit určitou silou. Pokud bych plochu bokorysu rozdělil na malé plochy a v nich působil impaktorem na figurínu, ukázalo by se, že některé plochy mají větší vliv na zatížení jedné určité oblasti (břicho, žebra,...) než ostatní. Výsledné silové působení na figurínu ovlivňuje také vliv posuvu začátku působení těchto sil, tím je myšlena například situace kdy je zatížena nejdříve pánev a až poté břicho, nebo síly začnou působit na rameno a následně v oblasti žeber.

Toto vedlo k myšlence sestavení jednoduchého parametrického modelu, pomocí kterého by se mohl zkoumat vliv jednotlivých oblastí na zatížení figuríny. Cílem je výpočtový model vykazující co možná nejvíce podobné dynamické a kinematické chování jako v případě kompletního výpočtového modelu. V případě nalezení tohoto stavu je poté možné pomocí parametrů měnit zatížení v jednotlivých částech figuríny a sledovat změnu výsledných biomechanických hodnot. Pokud se podaří nalézt lepší stav, je žádoucí navrhnout možná zlepšující opatření, která se převedou v podobě změn do kompletního výpočtového modelu.



## 5 Metodika řešení

Před sestavováním samotného modelu bylo nutné se zamyslet nad způsobem řešení a navrhnout více variant, z kterých by bylo možno si následně vybrat. V práci uvádím tři návrhy způsobu řešení problematiky, ze kterých jsem si jednu zvolil a prakticky ji zrealizoval.



Obr. 35: Schéma postupu při řešení

Po volbě modelu, který jsem uznal jako nejvhodnější k vytvoření, jsem jej postupně začal realizovat. Postupoval jsem po částech, které jsem průběžně porovnával s kompletním výpočtovým modelem, abych věděl, jak blízko skutečnosti se pohybují mé výsledky. První modely nevykazovali velkou přesnost a tak jsem postupoval virtuálně v jednotlivých evolucích, kdy jsem postupně měnil parametry a části modelu. Následně jsem sledoval vliv těchto změn na odchylku od kompletního modelu.

Cílem bylo dosáhnout co možná největší přesnosti ve výsledných zatíženích na figuríně, a to nejen co se maximálních hodnot týče, ale i jejich průběhů. Závěrem tvorby modelu jsem zhodnotil výsledky a vyjádřil se k vhodnosti použití tohoto typu modelu, popřípadě navrhnul možné změny a jiné doporučení.

Jako poslední jsem navrhnul možné kritéria optimalizace, kterými by se řídil její konec. V případě nalezení dostatečně přesného zjednodušeného modelu, který se může používat pro změny parametrů a následného sledování vlivu změn na zatížení figuríny, je třeba stanovit limit, při kterém se tato optimalizace bude považovat za dostatečnou. Zpravidla by se mělo jednat o moment, kdy jsou již změny v zatížení figuríny takové, že se je vyplatí převést na úpravy boční struktury automobilu.

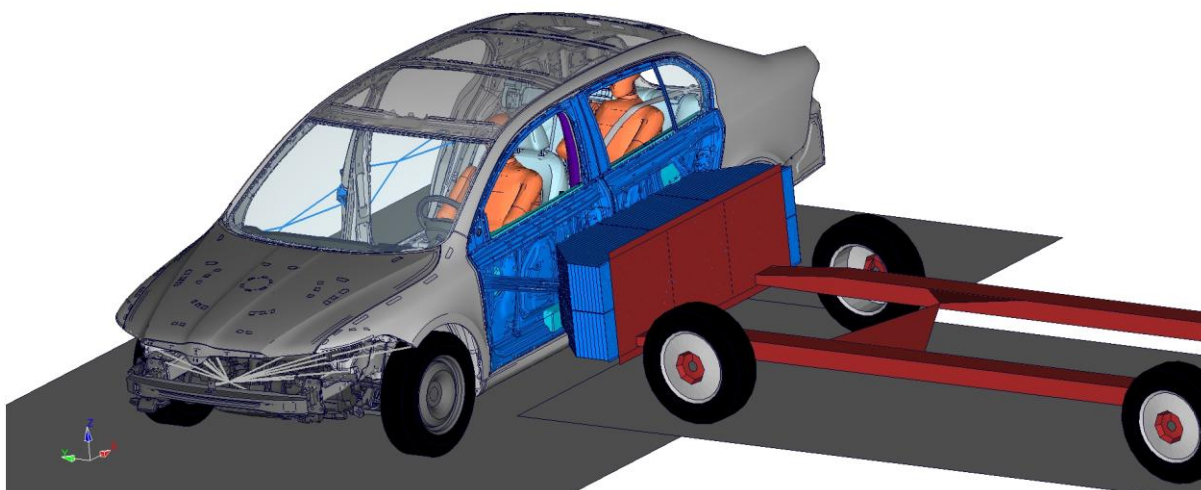
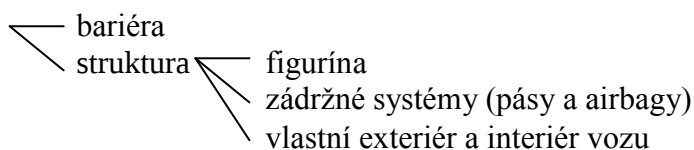
V závěru práce shrnuji všechny dosažené výsledky a zjištění, případně navrhuji další možné kroky při práci na tvorbě zjednodušeného parametrického modelu.

## 6 Návrh zjednodušeného modelu

Před tvorbou zjednodušeného modelu bylo nutné důkladně prozkoumat chování figuríny při bočním nárazu velkého výpočtového modelu, na kterém se úloha simuluje. Seznámit se s kinematikou, dynamikou a silovým působením na figurínu v průběhu celé srážky. Ve výsledku by měl zjednodušený model vykazovat stejnou charakteristiku chování jako velký výpočtový model.

### 6.1 Popis velkého výpočtového modelu simulace

Velký výpočtový model bych rozdělil na následující části, a to:



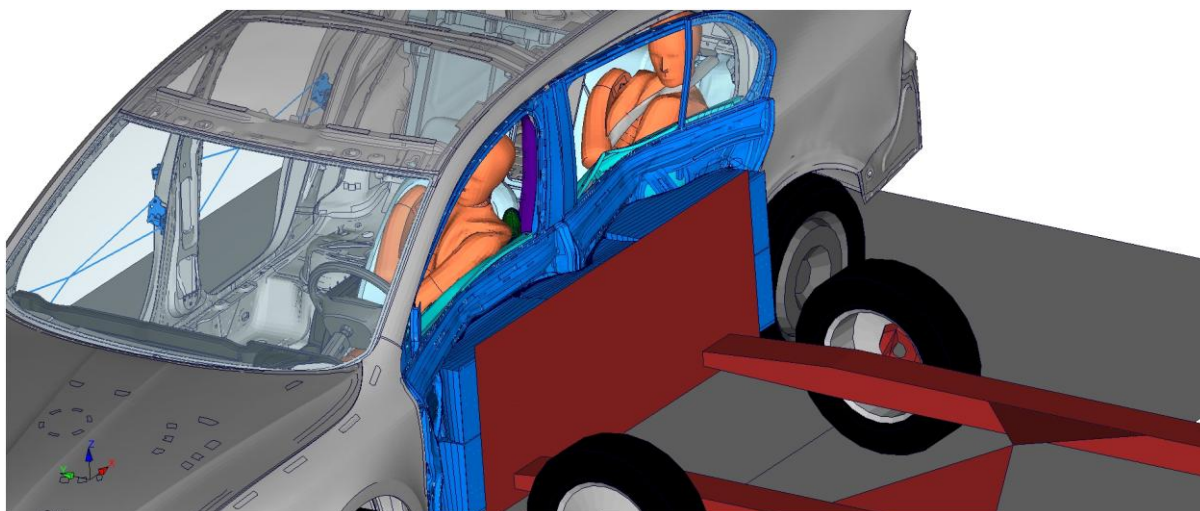
Obr. 36: Ukázka kompletního výpočtového modelu v čase 0 ms

V čase 0 ms, tedy na počátku simulace je bariéra ustavena na co nejmenší vzdálenost od boku vozu, tím se eliminuje ztráta času při výpočtu. Ta by vznikla zbytečným pohybem bariéry „naprázdno“, přičemž by nedocházelo k žádným deformacím.

Bariéře je udělena počáteční rychlost 50 km/h a její hmotnost je  $950 \pm 50$  kg. Její konstrukce je v modelu značně zjednodušena, to však na reálnost výpočtu nemá žádný vliv, rozhodující je deformovatelná přední část bariéry (na obr. 33 znázorněna modře). Nosná část (znázorněna červeně) je v modelu vyjádřena jako dokonale tuhá pomocí nedeformovatelného prvku RBE (rigid body).

Model figuríny vytváří firma na to specializovaná. Pro její použití v modelu je nutné zakoupit licenci. Ta je sice nákladná, avšak vyplatí se vzhledem k tomu, že tvořit vlastní

model by bylo velmi obtížné a časově náročné. Převzatou figurínu je třeba ve voze usadit a napolohovat.



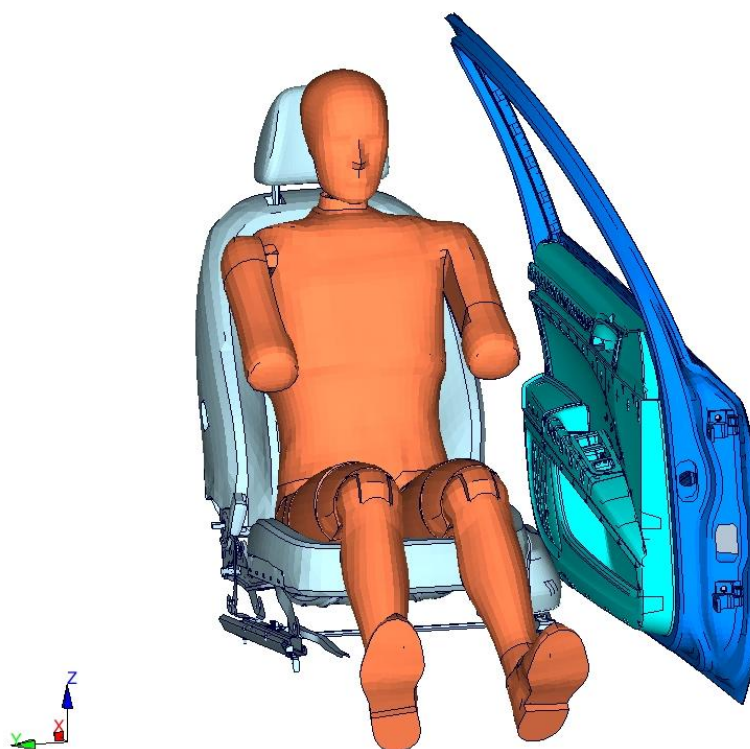
Obr. 37: Detail srážky kompletního výpočtového modelu v čase 70 ms

## 6.2 Charakteristika chování figuríny při bočním nárazu

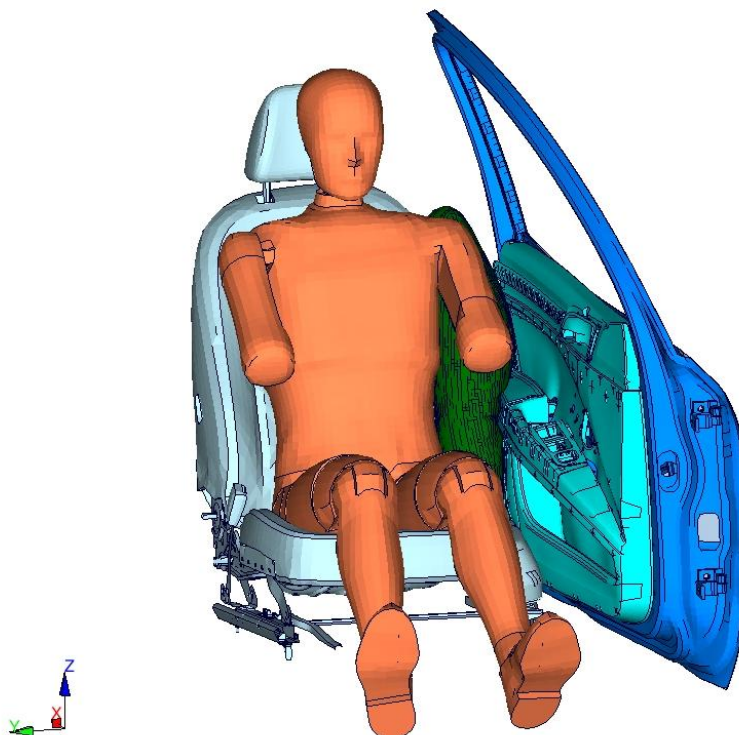
Průběh nárazu můžeme vidět na obrázcích níže. V časovém rozmezí od 30-té do 50-té ms bývá zatížení na figurínu největší. Pro lepší přehled jsem zobrazil jen okolí figuríny při srážce. Zde lze vypořadovat pohyb figuríny kdy je nejdříve odtlačena airbagem a poté do ní naráží zdeformovaná struktura. Do celkového výsledku chování figuríny se promítá spousta vlivů:

- konkrétní místo, ve kterém působí zatížení (hlava, rameno, žebra, pánev,...)
- velikost zatížení v tomto místě
- časový průběh zatížení (velikost zrychlení na hlavu, viskózní kritérium žeber,...)
- plocha místa, na které zatížení působí
- relativní časový posun zatížení v různých místech figuríny vůči sobě

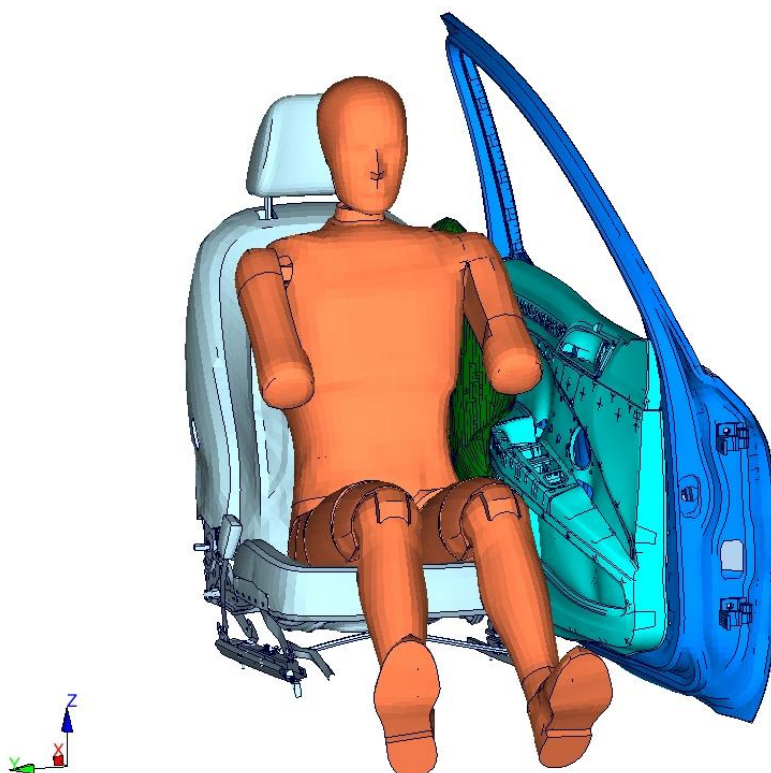
V první fázi nárazu dochází k deformaci „nejměkčích“ částí struktury (vnější plech). Jak deformace postupuje, zapojí se celá struktura. Chvilí po inicializaci srážky se začne nafukovat airbag (cca v 8. ms, dojde k zapálení inflátoru - patrony) a tlak uvnitř vaku stoupá. Zhruba od 17. ms se začne navyšovat zádržná síla airbagu (síla, kterou airbag odtlačuje figurínu od struktury) a svého maxima dosáhne někdy kolem 27. ms. Na obr. 36 vidíme již nafouknutý airbag, který začíná odtlačovat figurínu od postupující boční struktury. V airbagu jsou konstruovány tzv. venty (otvory), pomocí kterých plyn uniká ven. Kdyby v něm nebyly, mělo by neblahý vliv na figurínu, jelikož by v něm tlak neustále stoupal až by došlo k explozi. Tyto otvory jsou důkladně optimalizovány, díky tomu se udrží konstantní maximální zádržná síla až do cca 40 ms, kdy začne pozvolna klesat. Od 52. ms již nemá airbag na zatížení figuríny v podstatě žádný vliv. Tento výpočtový model nebyl vybaven hlavovým airbagem.



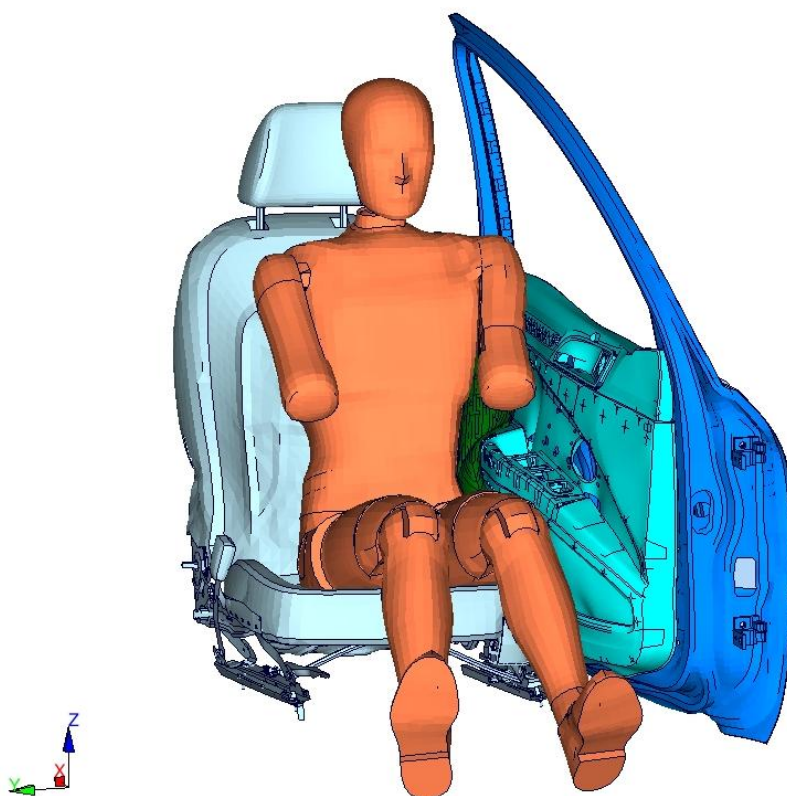
Obr. 38: Stav při nárazu na počátku v čase 0 ms



Obr. 39: Stav v čase 20 ms, tlak v airbagu stoupá, roste zádržná síla



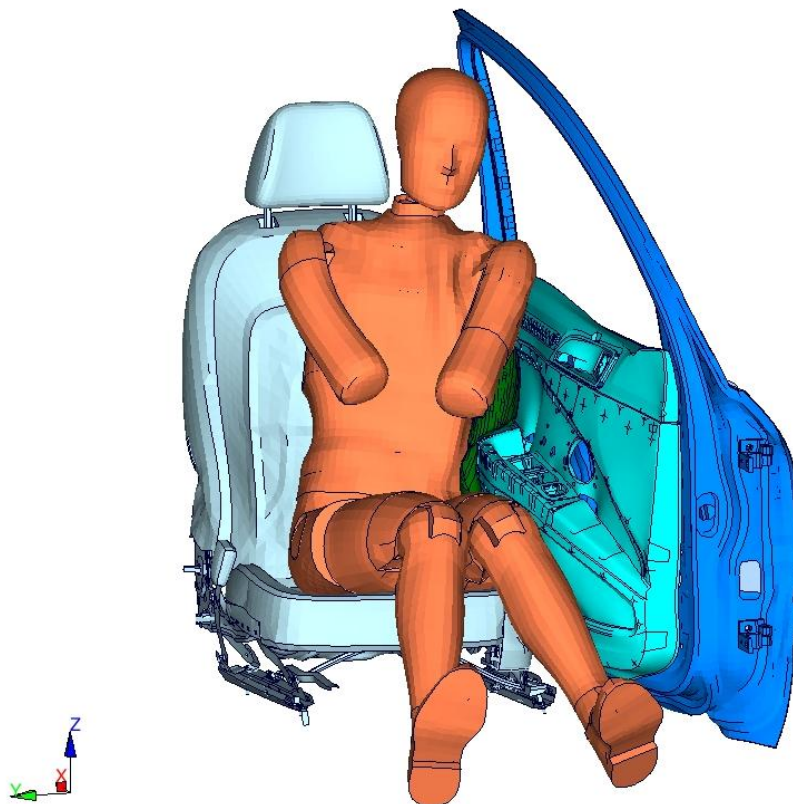
Obr. 40: Stav v čase 30 ms, maximální zadržná síla airbagu



Obr. 41: Stav v čase 40 ms, začíná klesat zadržná síla airbagu



Obr. 42: Stav v čase 50 ms, nulový tlak v airbagu



Obr. 43: Stav v čase 60 ms, úplný kontakt figuríny se strukturou

Přibližně od 40. ms se figurína dostává postupně do kontaktu s boční strukturou. Působí na ni deformovatelné obložení.

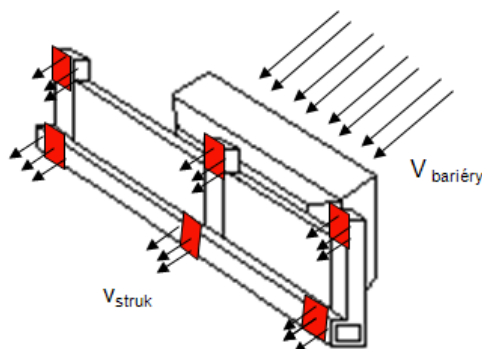
K ukončení výpočtové simulace dochází zpravidla po celkovém proběhnutí prvního nárazu, to je přibližně 80 ms od počátku simulace. V tomto okamžiku je již většině projektů nalezeno maximum pro všechna sledovaná biomechanická kritéria. Delší ukončovací čas se používá jen v případech, kdy by náraz trval delší dobu nebo bylo z nějakého důvodu nutné sledovat srážku déle. Například pokud se porovnávají intruze (deformace) modelu s experimentem. V čase 80 ms je totiž ještě struktura „napružená“, čili po odlehčení má tendenci se vrátet do původního tvaru. Intruze v tomto čase by tedy neodpovídali naměřeným při experimentu.

Pro porovnání se modely počítají do 150. ms. Po tomto čase se již nemění hodnota zbytkového napětí a je ustálena na konstantní hodnotě. Nedochází tak ani ke změně v průběhu plastické deformace, čili struktura není již „napružená“ a lze porovnat hodnoty intruzí modelu a experimentu.

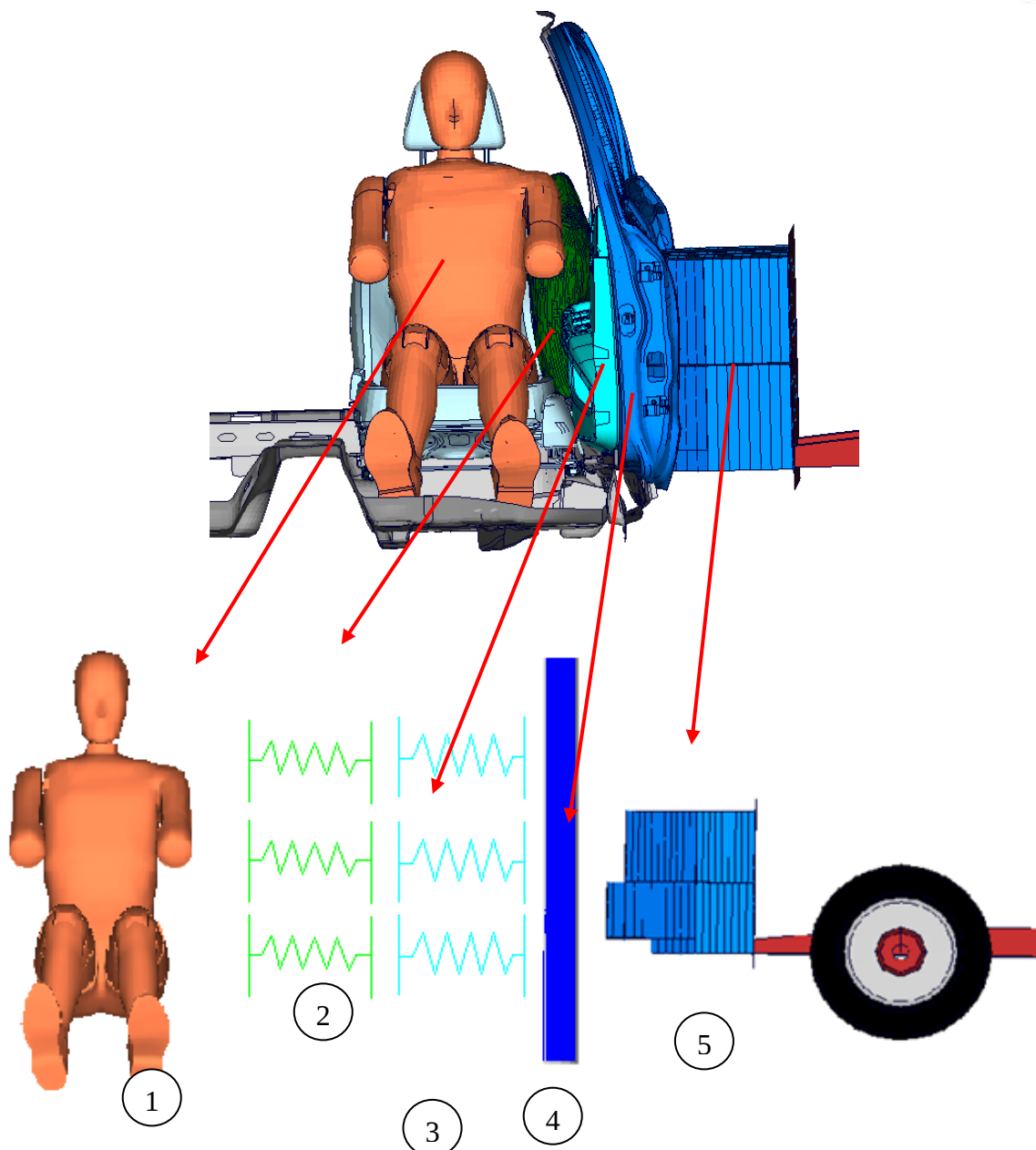
Hlavním prvkem pro zmírnění zranění figuríny jsou bezesporu airbagy (boční + hlavový) a pak také crashové výztuhy v boční struktuře. Další možnosti jsou úpravy obložení a dalších částí boční struktury. Tyto změny jsou však omezeny (designem, proveditelností, materiálem, ...). Proto je třeba neustále hledat vhodné optimální řešení.

### 6.3 Návrh modelu pomocí zjednodušení boční struktury

Tento model počítá s výřezem struktury automobilu, konkrétně jeho boku. Poté se struktura co nejvíce zjednoduší, až z ní zůstane jen základní geometrie. Při výpočtu zůstane figurína na svém místě, stejně jako bariéra se zadanými počátečními podmínkami. Rozdíl oproti velkému modelu je v tom, že mezi figurínu a bariéru se umístí zjednodušená boční struktura. Ta původně měla být uchycena pomocí vazeb v určitých místech (viz obr. 44), a v těchto vazbách by se poté nadefinovaly odporové síly (síly které kladou odpor bariéře) tak, aby pohyb celé stěny boční struktury byl totožný se simulací ve velkém modelu. Dalším zkoumáním tohoto postupu se ale ukázalo, že je nemožné tyto síly zjistit a určit jejich průběh. Funkční alternativou je do těchto určených míst nezadávat síly, ale průběhy rychlostí, které se zjistí ze stejných míst na velkém modelu. Výsledný pohyb pak vypadá tak, že na figurínu letí zjednodušená boční struktura a bariéra. Z výsledného rozdílu rychlostí, kdy struktura letí pomaleji v závislosti na zadaných rychlostech, potom vyplývá její deformace.



Obr. 44: Schematický náčrt boční struktury a míst pro zadání rychlostí



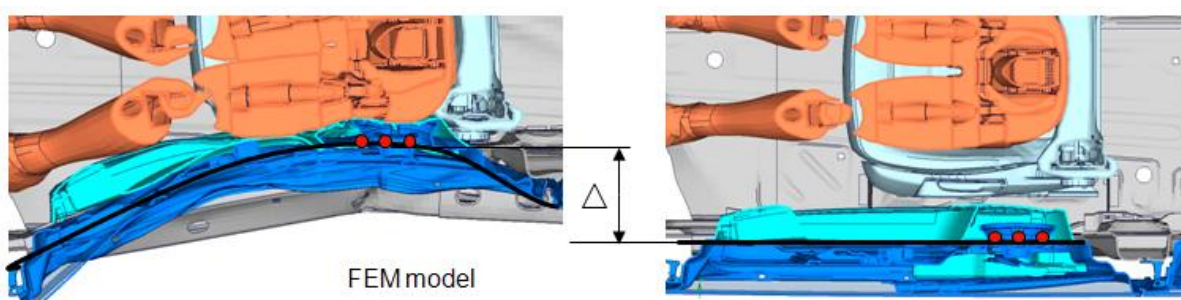
Obr. 45: Schéma zjednodušení kompletního výpočtového modelu

- 1- figurína (převezme se beze změny z kompletního modelu)
- 2 - desky s pružinami (náhrada tuhosti airbagu)
- 3 - desky s pružinami (náhrada tuhosti obložení)
- 4 - geometricky zjednodušená boční struktura
- 5 - bariéra (převezme se beze změny z kompletního modelu)

Deformace této zjednodušené struktury poté dále působí na předem umístěné impaktory tvaru prostých čtvercových desek, které jsou spojeny pružnými elementy. Ty mají průběh tuhosti odpovídající nahrazovanému místu. Desky vyvolají interakci na figuríně, což vede ke vzniku jejího zatížení, které by ve výsledku mělo mít stejný průběh jako ve velkém modelu.

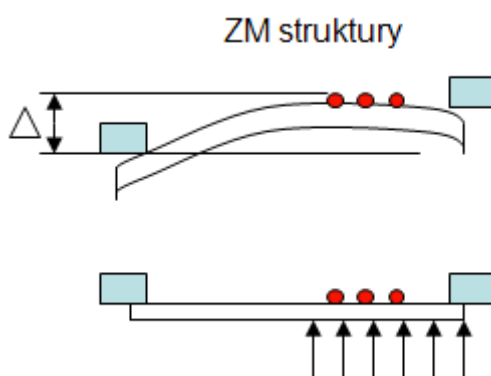
Nejvíce problematická je samotná tvorba zjednodušené struktury. Co se týče hlavních rozměrů, jsou dvě možnosti. Buď pro každý projekt tvořit strukturu novou, nebo vytvořit jeden obecný model na základě ergonomických zásad pro rozměry předních dveří. První způsob je časově náročný, avšak předpokládá se daleko větší přesnost. U druhého způsobu by bylo nutné zvolit jakýsi kompromis vzhledem k značným rozdílům v rozměrech předních dveří mezi vozy nižší třídy a té vyšší.

Při zjednodušování boční struktury je třeba také stanovit určité maximální přípustné odchylky v charakteru deformace od kompletního výpočtového modelu a to z důvodů zachování dostatečné přesnosti. Tento limit je obtížné přesně stanovit, vzhledem k tomu že návrh je v tuto chvíli čistě teoretický, každopádně by měl mít podobu například: Maximální odchylka deformace v řezu struktury od kompletního modelu 10% (viz obr. 46).



Obr. 46: Příklad určení deformace v řezu pro předem stanovená místa

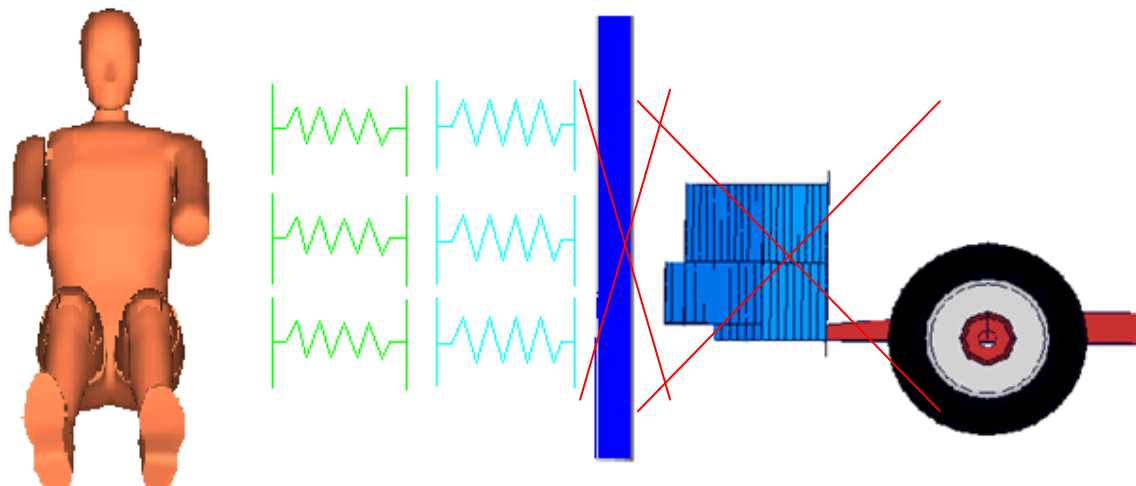
Po vytvoření zjednodušené struktury se předpokládá podobná deformace (viz obr. 47.). Vzájemným porovnáváním posuvů předem daných významných bodů v řezech obou modelů se zjistí jejich vzájemná odchylka, která by podle dříve navrženého kritéria měla být do 10%.



Obr. 47: Schéma předpokládané podobné deformace zjednodušené struktury

Parametry, které lze měnit při práci s modelem jsou geometrie struktury (v určitém rozsahu) a materiálové charakteristiky boční struktury. Nevětší problém tohoto modelu je tvorba samotné zjednodušené struktury, kdy ji bude náročné nastavit na stejný způsob deformace jako u boční strany velkého modelu. Pokud by se však podařilo získat alespoň přibližný charakter chování zjednodušené struktury, bylo by tento model možno realizovat. Výhodou by byla relativně snadná interpretace provedených změn do velkého modelu. To by bylo zajištěno geometrickou podobností obou struktur.

## 6.4 Návrh modelu pomocí nahrazení boční struktury

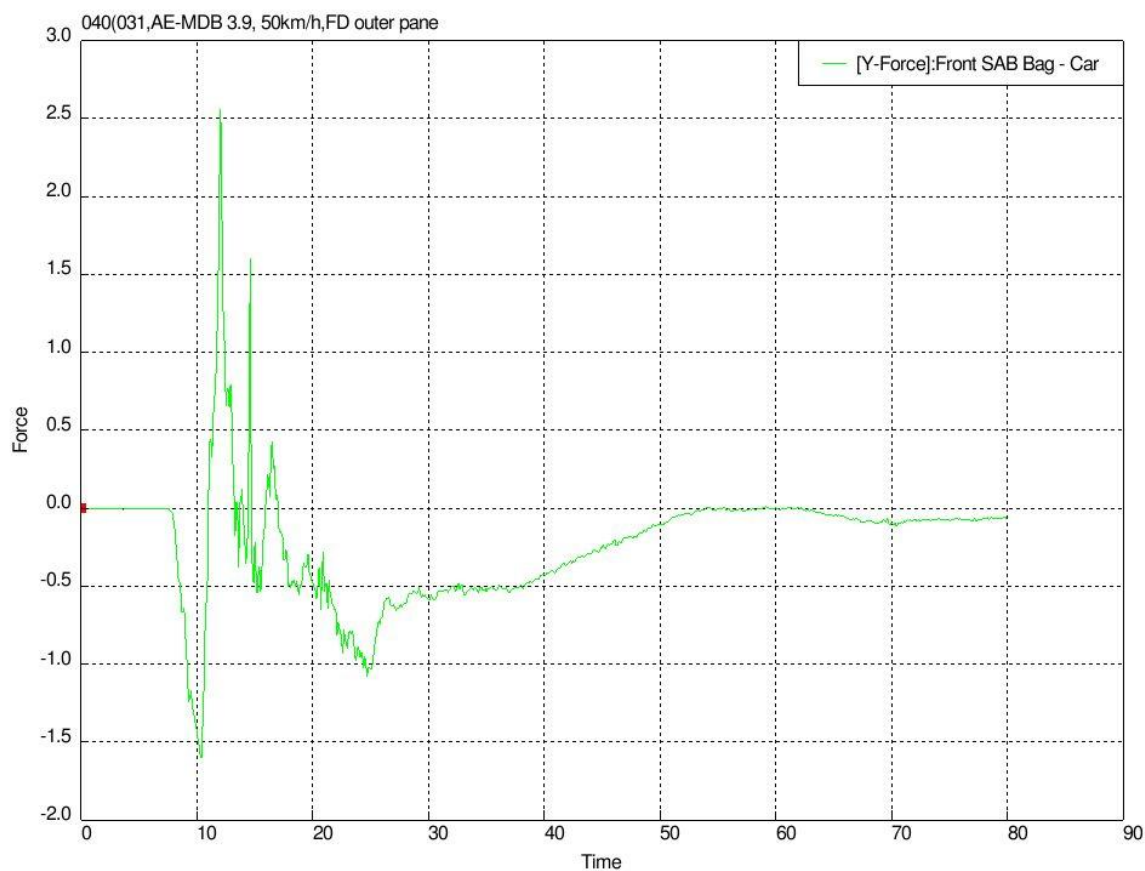


Obr. 48: Schéma nahrazení boční struktury jen deskami s pružnými elementy

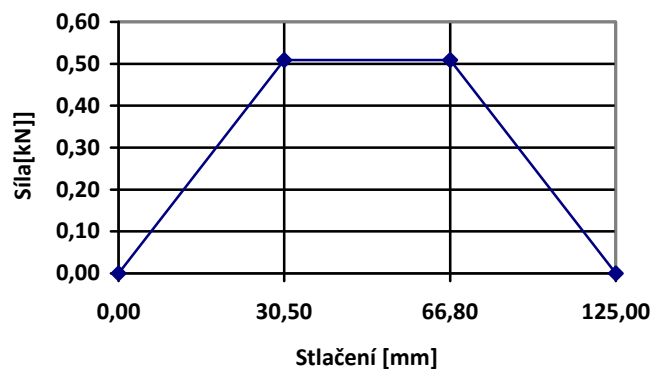
U tohoto návrhu řešení se z velkého modelu převezme pouze figurína. Automobil a bariéra se nahradí systémem jednoduchých elementů, pomocí kterých se na figuríně vyvolá zatížení. Jako dopadové impaktory jsem zvolil desky, které budou spojeny pružnými elementy. Tuhosti jednotlivých elementů pružin budou vyjadřovat tuhosti v oblastech, které se nahrazují (airbag a obložení v určených místech). Jako vstupní iniciátor nárazu se budou zadávat průběhy posuvu v čase, které se odečtou z velkého modelu. Po kompletním sestavení modelu očekávám podobnou charakteristiku chování figuríny jako při simulaci ve velkém modelu. Co potřebuji získat?

- průběhy tuhostí airbagu – Airbag je typu uniform pressure (je v něm konstantní tlak v uzavřeném objemu, tzn. na každé místo airbagu v daný okamžik působí stejný tlak). Průběhy tuhostí zjistím tak, že si vypíšu průběh kontaktní síly mezi airbagem a okolím (viz. obr. 49), čímž získám sílu závislou na čase. Dále si odečtu průběhy jednotlivých stlačení airbagu v ose y (směr do vozu napříč). Tímto získám závislost deformace na čase. Spojením těchto dvou získaných funkcí vytvořím funkci deformace (stlačení) na čase, kterou mohu zadat na element pružiny, který nahrazuje airbag.

Před samotným spojením těchto dvou průběhů je třeba si ještě průběh síly z obr. 49 zjednodušit a linearizovat. Například tak, že do 17. ms považuji hodnotu síly za nulovou. Ta poté začne lineárně stoupat na hodnotu 0,509 kN v 27. ms. Poté je konstantní až do 40. ms odkdy začne opět lineárně klesat až do 50. ms, odtud dále je již opět nulová. Je třeba upozornit, že průběh na obrázku jde do záporných čísel, jde však jen o znaménkovou konvenci a samotné určení průběhu tuhosti to nemá vliv, důležité jsou hodnoty. Výsledný tvar je uveden na obr. 50.

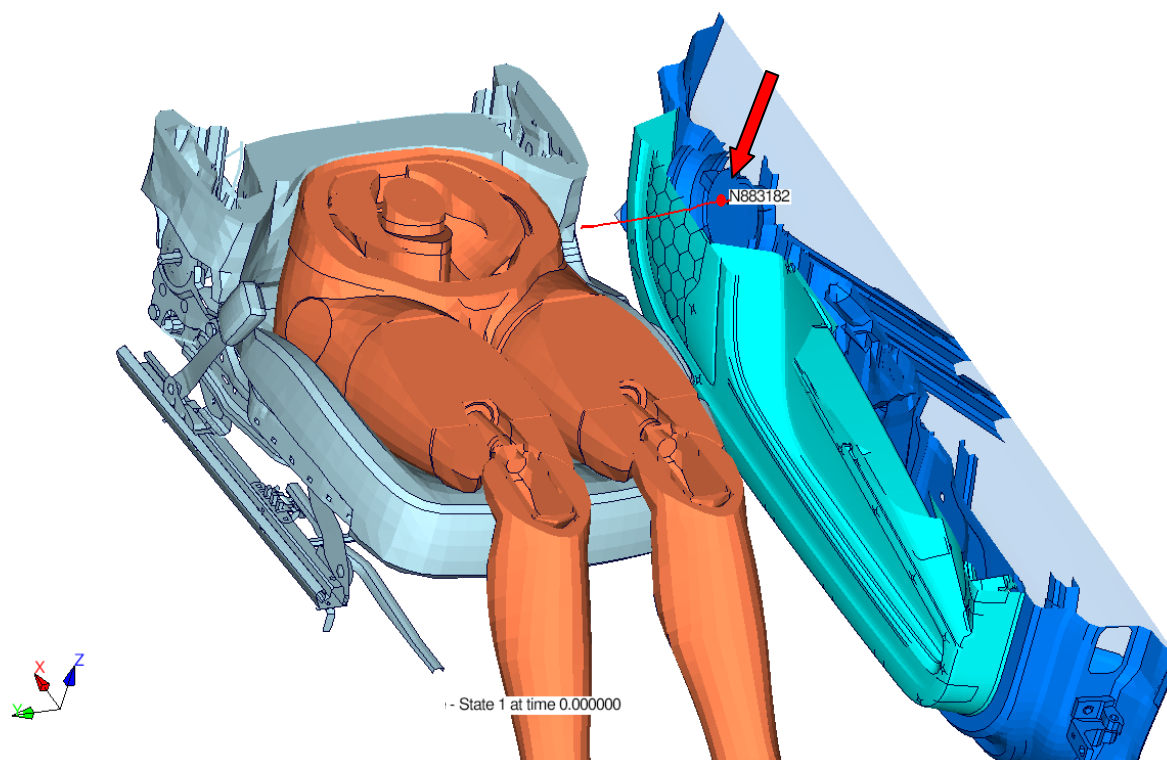


Obr. 49: Průběh síly v kontaktu mezi airbagem a okolím (síla je v kN, čas v ms)

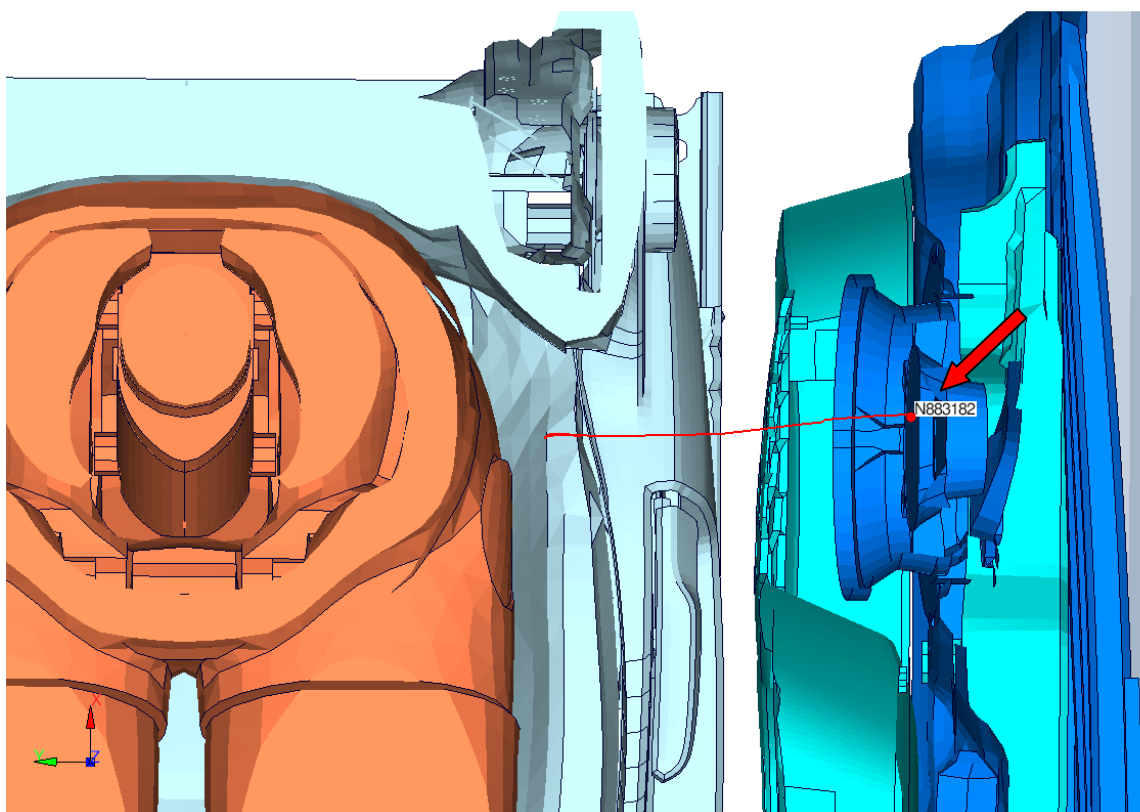


Obr. 50: Příklad zjištěného průběhu tuhosti v určitém místě

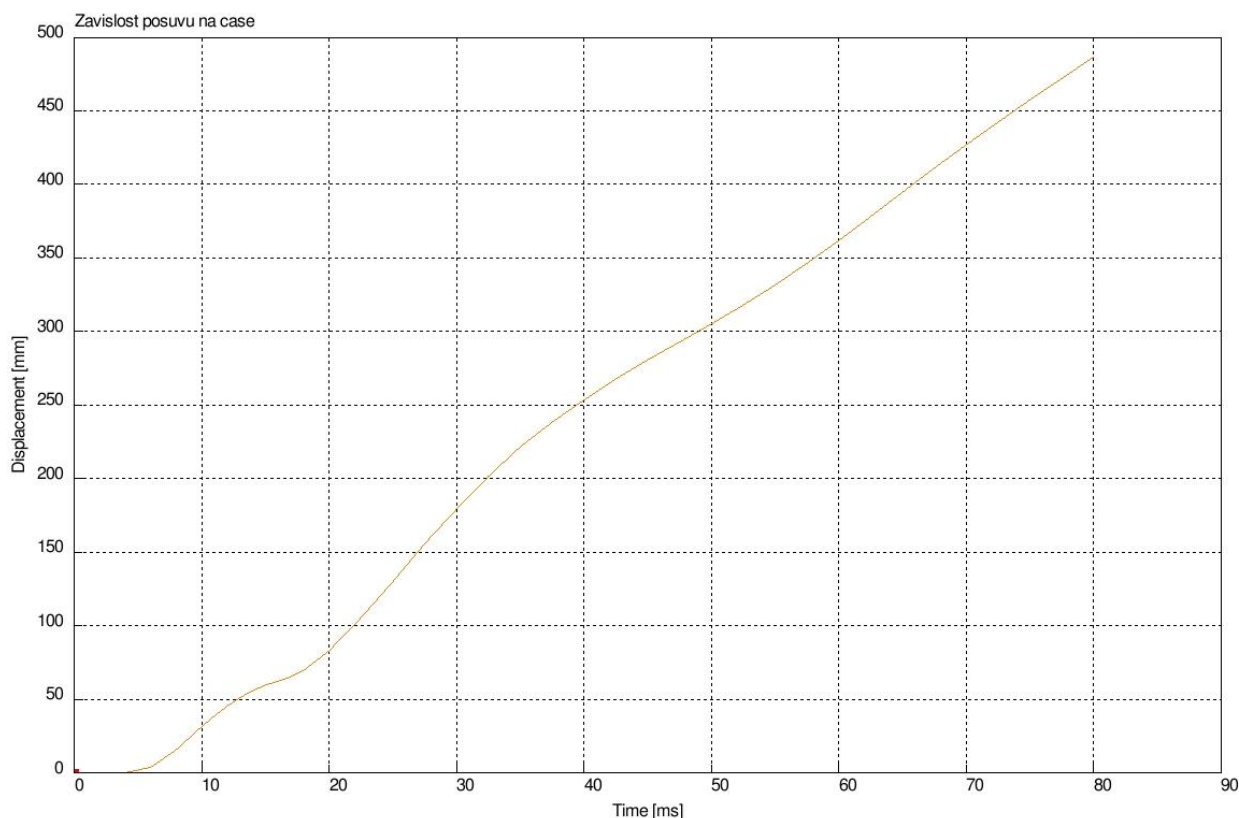
- průběhy posuvů působících na obložení – ty se odečtou z velkého modelu pomocí řezů v předem daných oblastech (viz. obr. 51), v kterých průběh posuvu potřebuji získat (tam kde umísťuji desky). V programu animator a4 jsem si odměřil průběh posuvu vybraného bodu v čase. Ty pak budu zadávat inicializačním deskám.



Obr. 51: Příklad určení bodu pro odečet průběhu posuvu v ose - y a jeho trajektorie

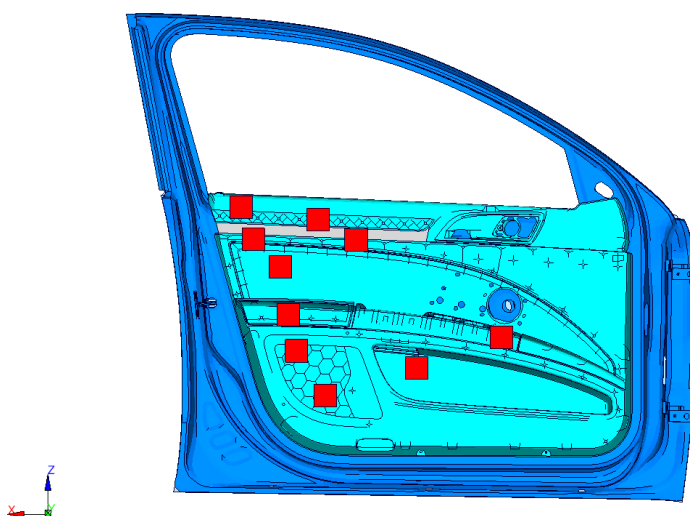


Obr. 52: Příklad určení bodu pro odečet průběhu posuvu v ose - y a jeho trajektorie



Obr. 53: Příklad průběhu posuvu v ose - y

- průběhy tuhostí obložení dveří – jelikož obložení dveří má jinou tuhost v různých oblastech, je nutné k nim přistupovat jednotlivě. Toho se docílí tak, že se vytvoří zvlášť experimentální simulace zatížení dveří. V té se do předem určených míst umístí impaktory, pomocí kterých se bude stlačovat obložení. Z kontaktní síly a dráhy, kterou impaktory urazí, jsem schopen sestavit funkce průběhu tuhosti v jednotlivých místech. Tyto funkce se v případě velké složitosti mohou dále zjednodušit (linearizovat). Jako poslední krok se exportují do materiálových vlastností daných elementů.



Obr. 54: Příklad modelu dveří s dopadovými deskami pro určení lokální tuhosti



Výhodou tohoto modelu je snazší realizace a větší šance na jeho aktuální sestavení. Nevýhodou však vidím v obtížné interpretaci výsledků, jelikož zde odpadá přímá vazba na geometrii struktury. Parametry, pomocí kterých se bude ladit zatížení figuríny, jsou průběhy jednotlivých tuhostí. Jejich úpravou by se mělo docílit snížení zatížení na figuríně. V případě získání uspokojivého výsledku bude však problematické převedení jeho podstaty do velkého modelu.

## 6.5 Návrh modelu pomocí samotné figuríny

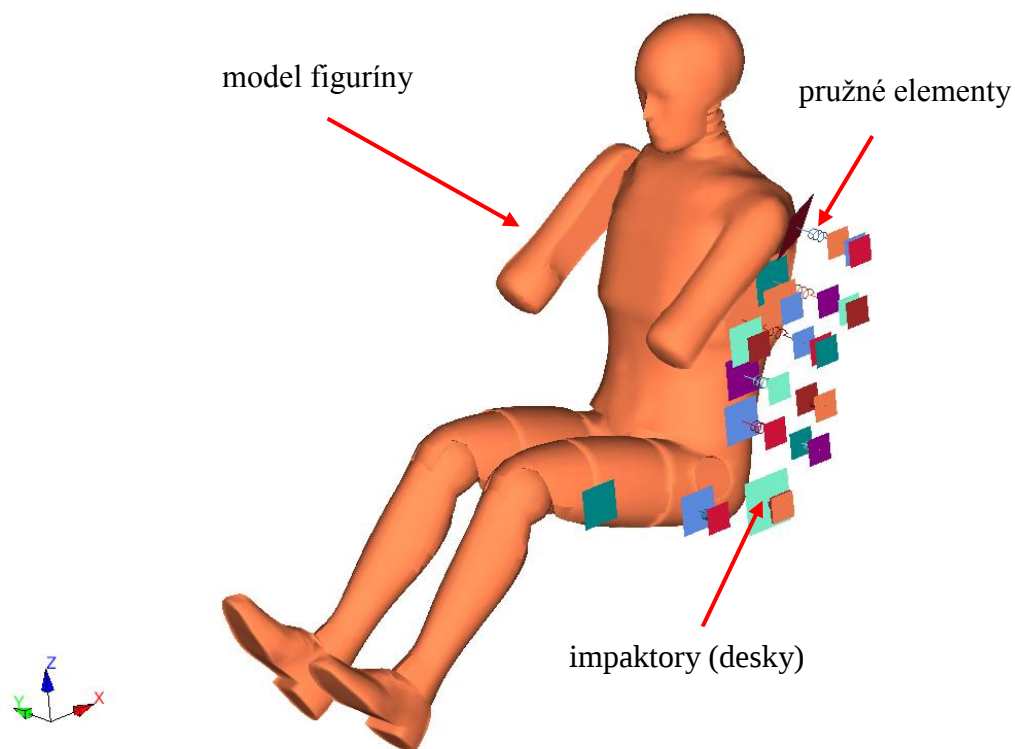
Tento model počítá jen s figurínou. Model automobilu i bariéry se vypustí. Její boční profil se rozdělí na dopadová místa, do kterých se budou nastřelovat impaktory. Ty mohou mít rozdílné tvary a mohou se lišit i zadávané vstupní podmínky (rychlost, zrychlení, jejich průběhy). Sleduje se vliv zatížení různých míst vzhledem k jednomu předem stanovenému. Například se určí jako vztažná oblast zatížení břicha a poté se jednotlivě do všech dopadových míst nechají působit impaktory. Předpokládám, že různé dopadové místa předem zvolenou vztažnou oblast rozdílně ovlivní. Následně by se všechny získané informace vyhodnotily. V případě této koncepce jde spíše o zkoumání chování figuríny, posouzení reakce a různé silové impulzy. Jde o naprosto obecný model, který by neměl žádný vztah k určitému projektu. Získané poznatky se potom mohou objevit v úpravách konstrukce aktuálního velkého modelu.

## 7 Tvorba zjednodušeného modelu

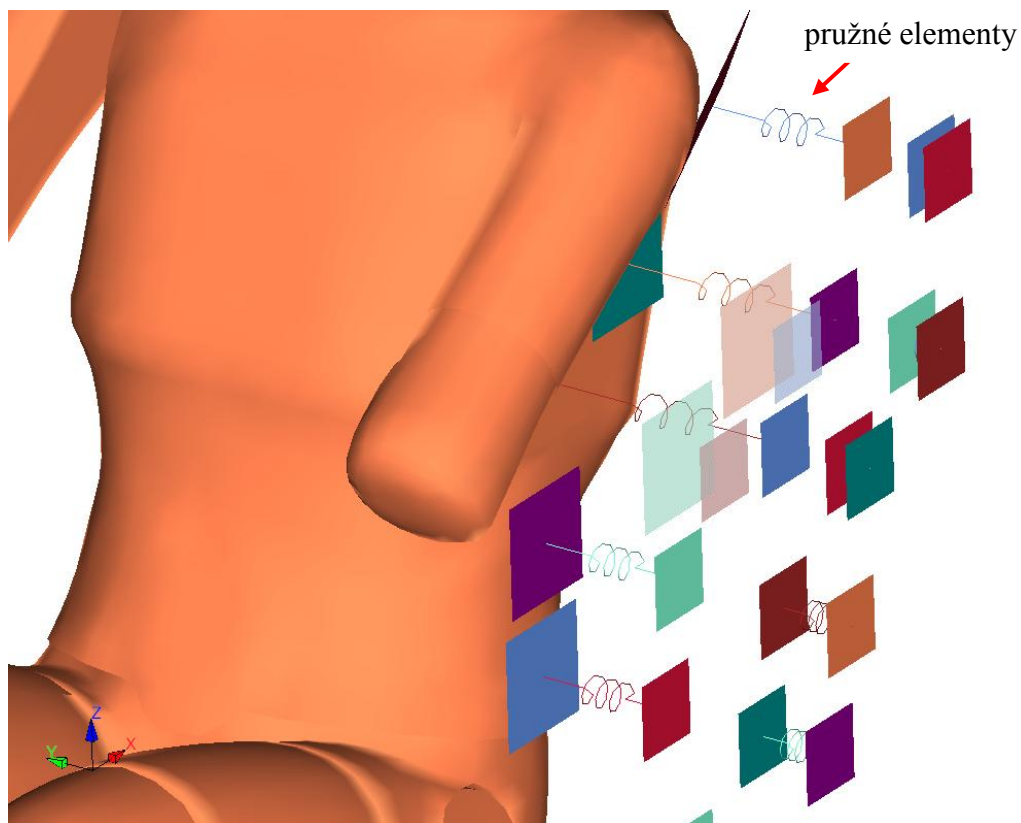
Pro samotné vypracování jsem si vybral z výše navržených modelů druhou variantu (návrh modelu nahrazením struktury - kap. 6.4). Jevila se mi jako optimální kompromis mezi obtížností realizace a schopností převést zjištěné poznatky na úpravy velkého modelu. Očekával jsem relativně dobré vystihnutí podstaty chování figuríny pod zatížením. Jelikož jsem z větší části postupoval virtuálně (zhodnotil jsem chování modelu, navrhnul změny, spočítal model a opět vyhodnotil výsledky), zavedl jsem si jednoduché značení verzí modelu, tak abych měl přehled o změnách a samotném vývoji. Některá varianta vykazuje lepší chování, jiné zase vedly do slepé uličky. Značení má formát SK461\_DIP\_XX, kde za XX se dosazuje číslo verze. Nebudu v mé práci podrobně rozebírat všechny varianty. U některých uvedu jen stručnou charakteristiku, zejména u těch, které nevedly k posunu směrem k cíli.

### 7.1 Základní komponenty modelu

Před samotným uvedením postupu tvorby zjednodušeného modelu je nutné uvést popis jednotlivých částí, z kterých se bude skládat. Základem je již vytvořený model figuríny, který se používá pro simulace bočního nárazu (EuroSID2), ten se doplní o již zmíněné impaktory (desky) a pružné elementy.



Obr. 55: Obrázek tří základních částí modelu



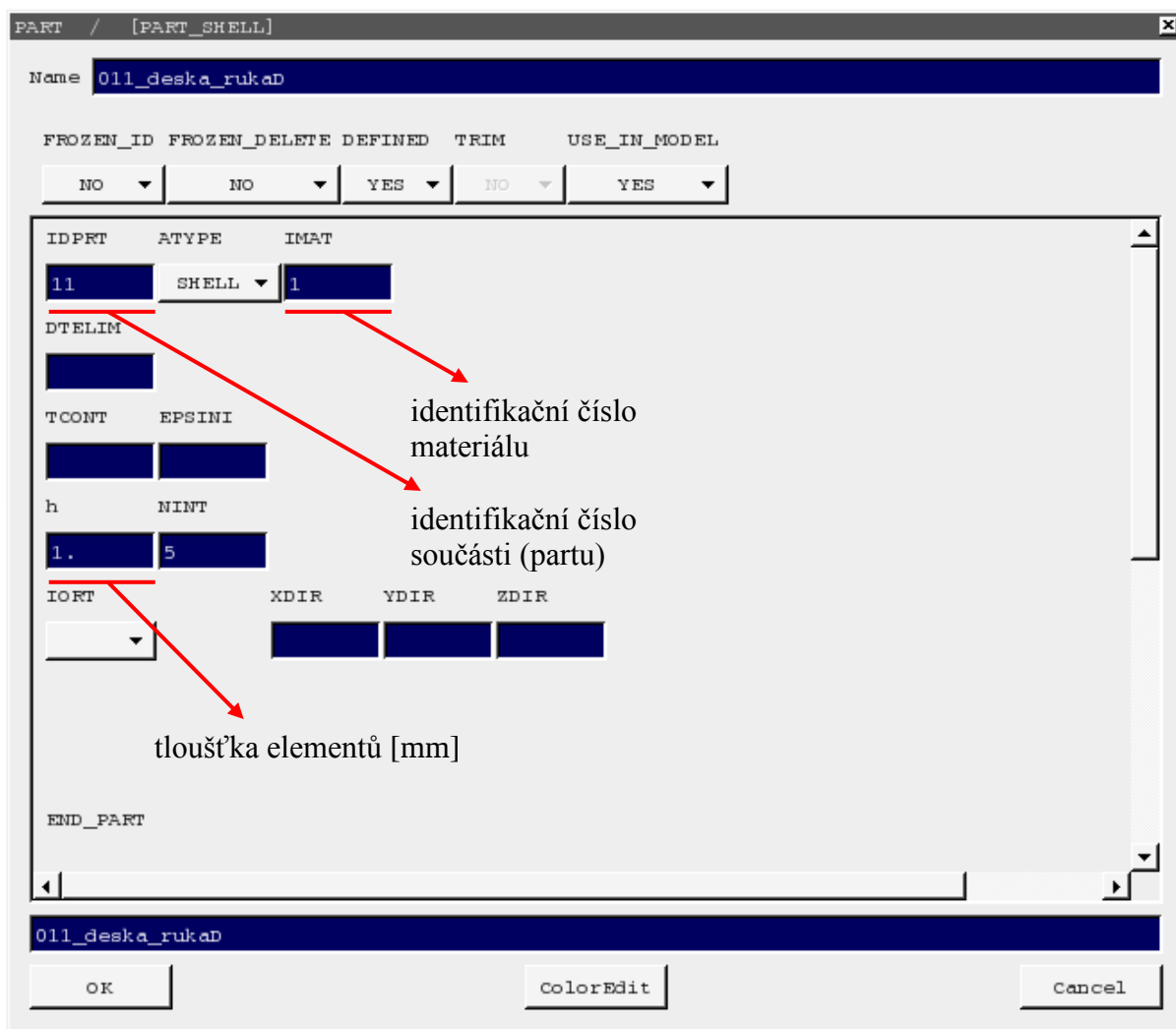
Obr. 56: Detail tří základních částí modelu

### 7.1.1 Model figuríny

Model figuríny byl převzat z velkého výpočtového modelu. Je přímo napoložován a umístěn v prostoru tak, jako v případě kompletního modelu vozu. Jedná se o realistickou simulační náhradu skutečné zkušební figuríny. Jsou v něm umístěny snímače, pomocí kterých se poté vyhodnotí zatížení v různých oblastech (hlava, hrudník, pánev,...) Měří se síly, rychlosti, zrychlení, momenty a posuvy.

### 7.1.2 Impaktory (desky)

Mají tvar jednoduchých čtvercových desek o délce strany 50 mm. Jsou meshovány (síťovány) elementy SHELL 101 a definovány specifickým materiálem, který se zadává v materiálové kartě. Cílem je mít co nejmenší hustotu, a tím i minimální hmotnost desek tak, aby se co nejvíce snížil vliv setrvačných sil na samotný výpočet. Deformační okrajové podmínky jsou již totiž spřaženy s velkým modelem. Hmotnost samotného obložení a airbagu zanedbávám, jelikož jsou vzhledem k hmotnosti celého vozu nepatrné. Možným zpřesněním bylo zjistit hmotnost obložení, tu zredukovat vzhledem k velikosti desek a zadat ji těm, které obložení nahrazují.



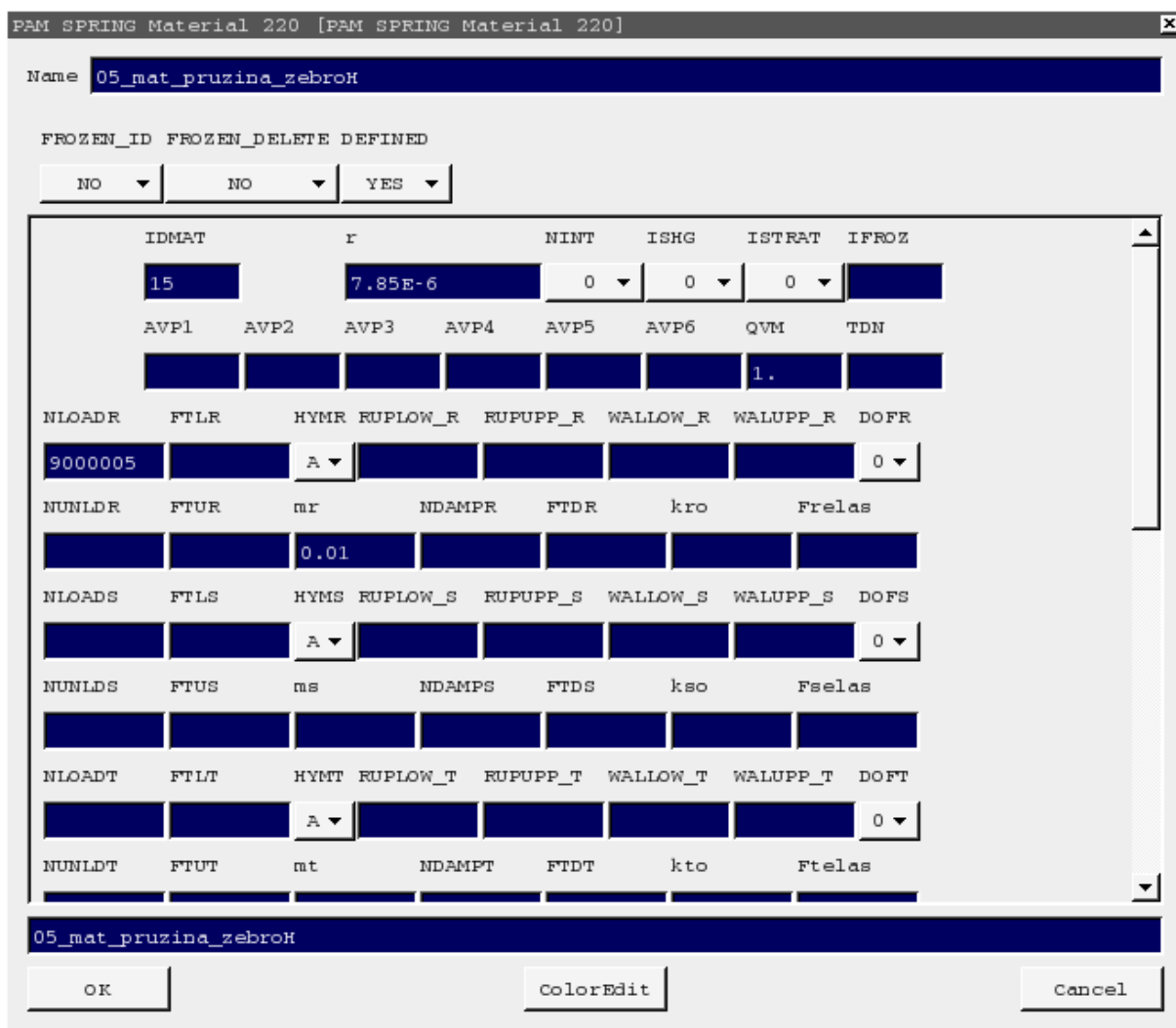
Dialog box for defining SHELL element properties. The fields and their values are:

| Field         | Value           |
|---------------|-----------------|
| Name          | 011_deska_rukaD |
| FROZEN_ID     | NO              |
| FROZEN_DELETE | NO              |
| DEFINED       | YES             |
| TRIM          | NO              |
| USE_IN_MODEL  | YES             |
| IDPRT         | 11              |
| ATYPE         | SHELL           |
| IMAT          | 1               |
| DTLIM         |                 |
| TCONT         |                 |
| EPSINI        |                 |
| h             | 1.              |
| NINT          | 5               |
| IORT          |                 |
| XDIR          |                 |
| YDIR          |                 |
| ZDIR          |                 |
| END_PART      |                 |

Obr. 57: Ukázka karty vlastností SHELL elementů

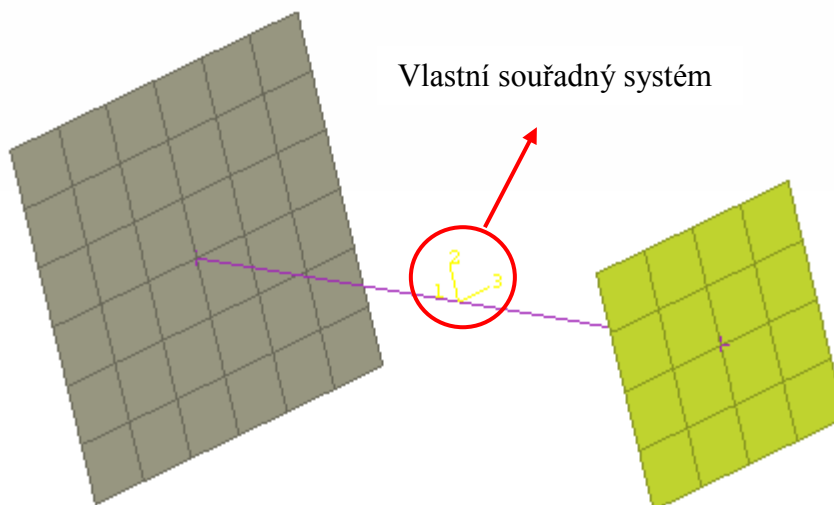
### 7.1.3 Pružný element SPRING

V programu Ansa jej nalezneme v menu DECK => ELEMENT ENT. Po aktivaci funkce SPRING se definuje mezi dva vybrané nody, poté na otázku, zda se má element orientovat podle nodů N1 a N2 odpovíme ano. Vytvoří se nám výchozí prvek, který je třeba dále nastavit, hlavně jeho materiál. Ten se definuje pomocí materiálové karty (obr. 58). Na ní je třeba zadat hustotu, hmotnost a průběh tuhosti v určitém směru.



Obr. 58: Ukázka karty vlastností SPRING BEAM elementů

Hlavními údaji, které je nutné vyplnit, jsou hustota ( $r$ ), hmotnost v ose ( $mr$ ), číslo materiálu (IDMAT) a průběh tuhosti pružného elementu ve směru osy (NLOADR). Většinu údajů lze definovat pro všechny tři osy. Ty jsou zde reprezentovány označením ( $r$ ,  $s$ ,  $t$ ) a jejich směr vždy odpovídá vlastnímu souřadnému systému konkrétního elementu (obr. 59). Pokud se podíváme na obr. 59, jsou lokální osy označeny čísly 1, 2 a 3. Můžou mít různé směry, které jsou dány při tvorbě elementu. Vždy však směr 1 odpovídá ose  $r$  a tak dále.



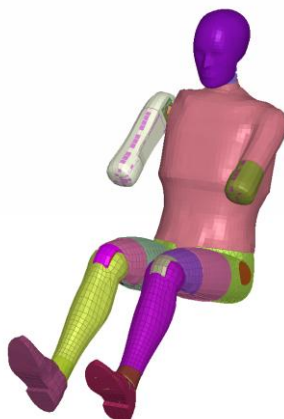
Obr. 59: Desky spojené pružným elementem SPRING BEAM

## 7.2 Vývojová varianta SK461\_DIP\_01

V prvním kroku jsem si importoval napolohovaný model figuríny do prázdné pracovní plochy. Ten jsem převzal z kompletního výpočtového modelu. Poté bylo nutné vytvořit první impaktory desek. Nastavil jsem kontakty a impaktorům přiřadil funkci posuvu v čase. Spustil jsem výpočet, abych ověřil funkčnost tohoto velmi elementárního modelu. V této fázi jsem hlavně doladřoval spuštění výpočtu, tak aby proběhl bez problémů až do konce.

### 7.2.1 Import figuríny

Po spuštění programu Ansa se v menu FILE vybere odkaz IMPUT a v rozbalovacím menu se dále zvolí program, z kterého chceme soubor importovat, zvolíme PAM-CRASH. Otevře se nám nabídka, v které určíme cestu k importovanému souboru, ten vybereme a volbu potvrdíme. Situace by měla vypadat podle obr. 60, kde vidíme kompletní výpočtový model figuríny určený pro boční náraz.

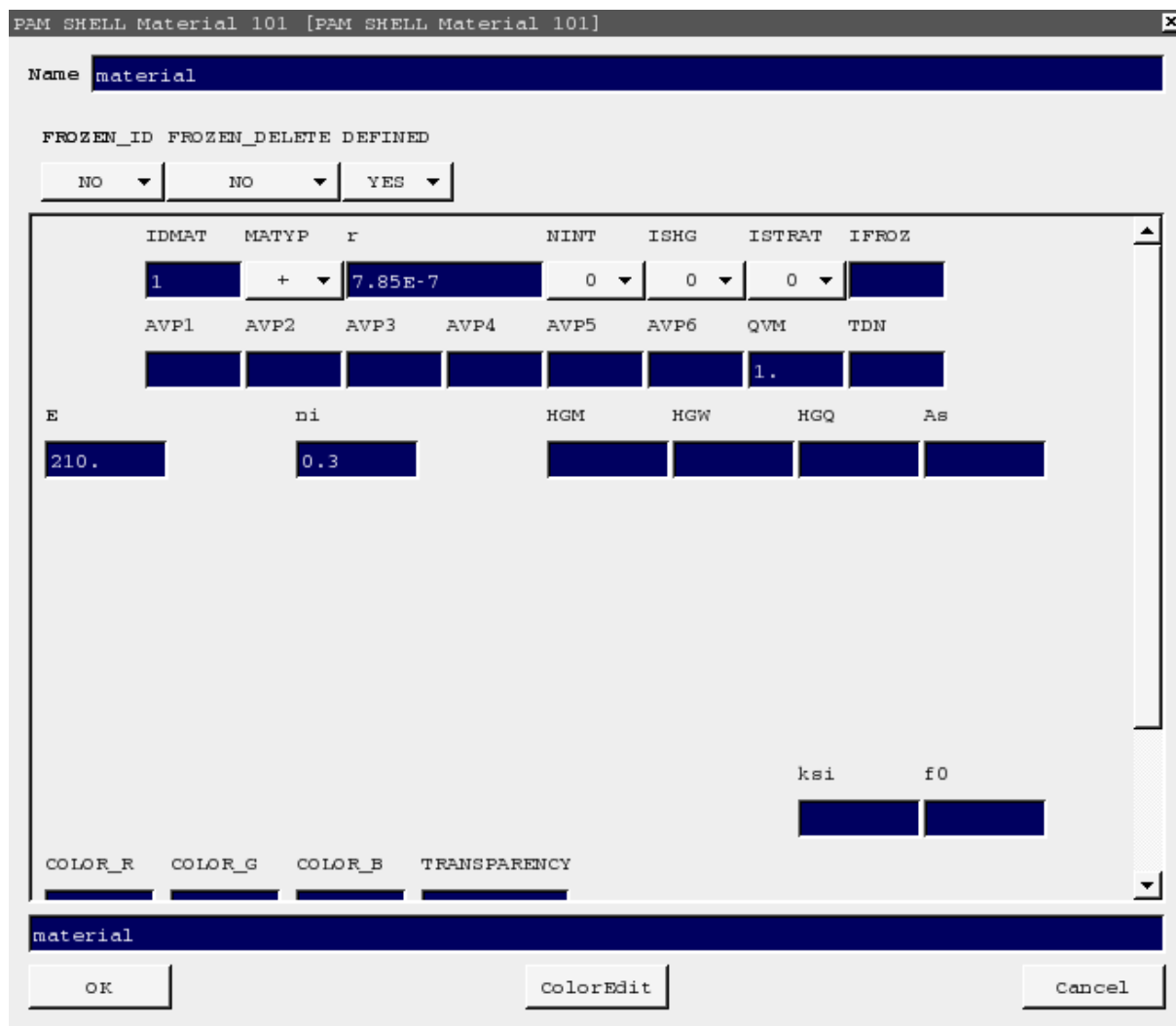


Obr. 60: Importovaná figurína

## 7.2.2 Tvorba impaktorů (desek)

Dále jsem pokračoval tvorbou impaktorů. Ty jsou tvořeny jednoduchými čtvercovými plochami. Nejdříve jsem určil rohové body v prostoru, v kterých se budou nacházet. Pomocí funkce TOPO>POINTS>NEW jsem zadáním souřadnic vytvořil potřebné body. Následně pomocí TOPO>SURFs>FIT se mezi body zadal povrch, na kterém se přes funkci TOPO>FACES>NEW vytvořila plocha. Tu jsem vysít'oval pomocí MESH>MESH GEN.>MAP vhodným počtem elementů. Důležité je, aby délka jejich hran byla mezi 6 až 15 mm. Zvolil jsem si délku hran 50 mm a tu jsem rozdělil na 4 díly, odtud vyplývá délka strany jednoho elementu 12,5 mm. Tuto výchozí desku jsem už dále jen kopíroval podle potřeby, a to pomocí funkce GEOMETRY>TRANS.>COPY.

Po vytvoření desek a jejich vysít'ování je ještě nutné jim přiřadit a správně nastavit materiálové vlastnosti. Jak lze spatřit na obr. 61, jde zejména o číslo materiálu (IDMAT), hustotu ( $\rho$ ), modul pružnosti ( $E$ ) a poissonovo číslo ( $\nu$ ). Nastavení materiálu tohoto materiálu je pro všechny impaktory stejné.



PAM SHELL Material 101 [PAM SHELL Material 101]

Name: material

FROZEN\_ID: NO FROZEN\_DELETE: NO DEFINED: YES

| IDMAT | MATYP | $\rho$  | NINT | ISHG | ISTRAT | IFROZ |
|-------|-------|---------|------|------|--------|-------|
| 1     | +     | 7.85E-7 | 0    | 0    | 0      |       |

| AVP1 | AVP2 | AVP3 | AVP4 | AVP5 | AVP6 | QVM | TDN |
|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
|      |      |      |      |      |      | 1.  |     |

E: 210. nu: 0.3 HGM: HGW: HGQ: As:

ksi: f0:

COLOR\_R: COLOR\_G: COLOR\_B: TRANSPARENCY:

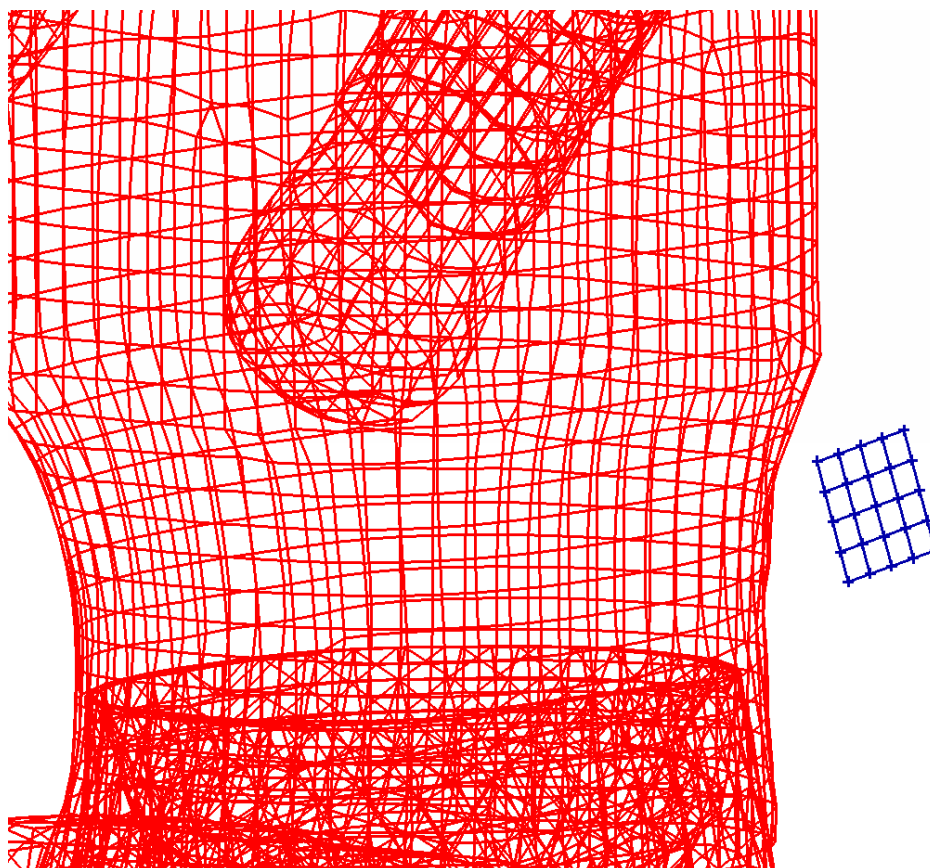
material

OK ColorEdit Cancel

Obr. 61: Karta nastavení materiálu pro SHELL element

### 7.2.3 Nastavení kontaktů a vstupních podmínek

V první variantě modelu jsem počítal jen s deskami, které byly urychlovány zadáním posuvu v závislosti na čase. Pomocí nastavení kontaktů došlo k interakci s figurínou a jejímu zatížení. Kontakty jsem tvořil přes funkci DECKS>CONSTRAINTS>CNTAC kde se v nabídnutém menu klikne pravým tlačítkem myši a z rozbalovací nabídky se vybere typ kontaktu a to seg/seg, který vyjadřuje kontakt pomocí segmentů.



Obr. 62: Části kontaktu, modrá master, červená slave

Při tvorbě kontaktu je třeba správně nastavit kartu vlastností kontaktu. Zejména interakci kterých částí má zajišťovat. Čísla těchto částí (property) se nastavují v kolonkách NSS a NMS (NSS – number slave set, NMS – number master set), zpravidla se za NMS označuje ta část, která iniciuje kontakt neboli srážku. Mezi další důležité informace patří kontaktní tloušťka (hcont), což je vzdálenost dvou FEM entit, při které začne nabíhat nenulová kontaktní síla. Mezi poslední důležité pole k vyplnění patří nastavení součinitele tření (FRICT) a nastavení typu kontaktu (NTYPE). V kartě je možné vyplnit ještě další doplňující vlastnosti. Ukázku vyplněné karty lze vidět na obr. 63. Tvorbě kontaktů je třeba věnovat zvýšenou pozornost, jelikož špatným nastavením dochází k chybám (deska proletí figurínou). Na ty se mnohdy přijde až po proběhnutí výpočtu a celý čas strávený počítáním je tak promarněn. Obecně jsem se u celé práce na modelu snažil kontrolovat údaje a nastavené abych právě takto nepočítal zbytečně naprázdno.



CNTAC / [CNTAC]

Name: 07X\_bricho\_fig/bag

FROZEN\_ID: NO FROZEN\_DELETE: NO

|         |        |        |       |        |        |         |        |       |
|---------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|--------|-------|
| IDCTC   | NSS    | NMS    | NTYPE |        |        |         |        |       |
| 10      | 113    | 115    | 33    |        |        |         |        |       |
| T1SL    | T2SL   | sensor | ISENS | hcont  | NACC   | NUMBRT  | THKEXT | IEDGE |
| 0       | 0      | +      |       | 0.9    | 0      | 0       | 0      | 0     |
| IPCP    | SLFACM | FSVNL  | IKFOR | PENKIN |        |         |        |       |
|         | 0.1    | 0      | 0     | 0      |        |         |        |       |
| FRICT   | IDFRIC | XDMPI  |       |        |        |         |        |       |
| 0.2     |        | 0.1    |       |        |        |         |        |       |
| IREMOV  | IEROD  | ILEAK  | IAC32 | IOMIT  | IFREED | DTHKPLK |        |       |
| 0       |        | 0      | 0     |        |        |         |        |       |
| SEPSTR  |        | SEPTHK |       |        |        |         |        |       |
|         |        |        |       |        |        |         |        |       |
| Comment |        |        |       |        |        |         |        |       |
|         |        |        |       |        |        |         |        |       |

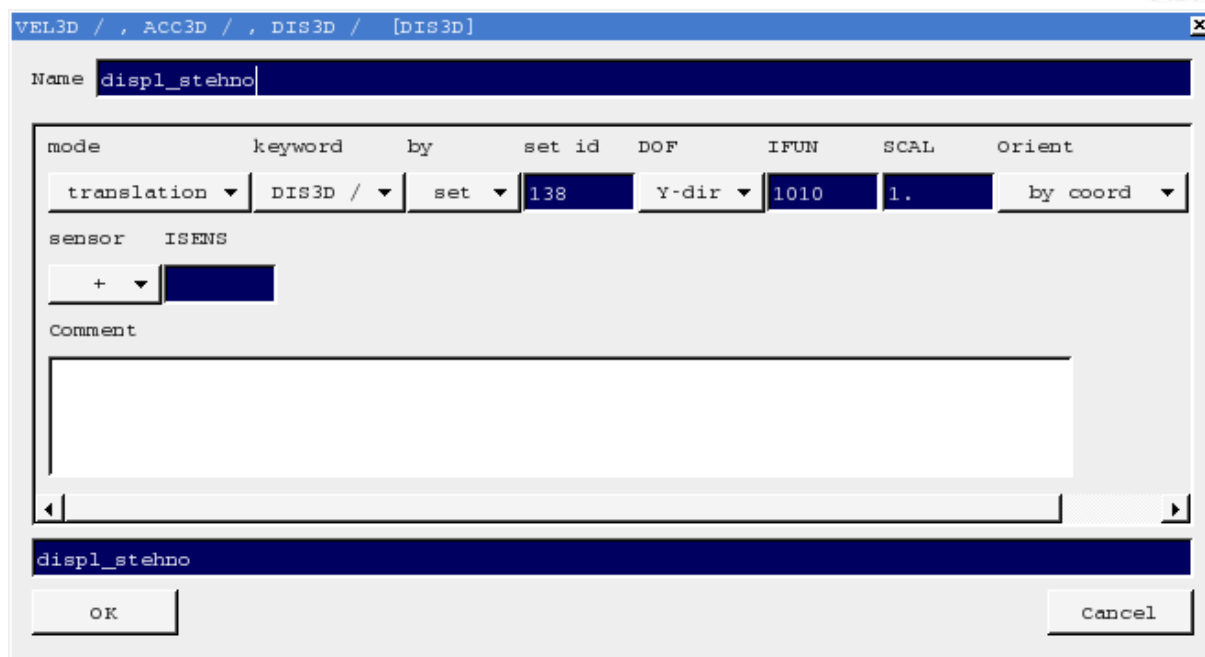
07X\_bricho\_fig/bag

OK Cancel

Obr. 63: Karta nastavení kontaktu

Pro nastavení počátečních podmínek jsem zvolil zadání průběhu posuvu v ose y, a to v závislosti na čase. V menu DECKS>NODAL ENT>T3DBC jsem vybral volbu set, čili zadání posuvu na celou skupinu elementů. Po volbě setu je třeba ještě nastavit kartu posuvu. V nabídce mode se vybere => translation (translační pohyb), pod nabídkou keyword je třeba zvolit DIS3D (vyjadřuje závislost posuvu na čase). Kolonka by označuje zadávání na set, ten je vybrán pomocí okna set id. Důležité je určit směr pohybu, a to nastavením DOF do polohy Y-dir. Jako poslední zbývá určit průběh posuvu. Ten se zadává pomocí funkce v kolonce IFUN. Zde je nutné zadat číslo funkce, jejíž průběh chceme pohybu přiřadit. Ukázka karty s možnostmi nastavení pohybu je na obr. 64.

Závěrem je ještě nutné před samotným spuštěním výpočtu nastavit control kartu. Ta určuje mimo jiné v jakém intervalu se mají údaje zapisovat do souborů \*.THP a \*.DSY. Výstup do souboru \*.THP jsem nastavil na 0.5 ms a do \*.DSY na interval 2 ms. Posledním důležitým údajem je konečný čas výpočtu, v tomto případě 80 ms.



Obr. 64: Karta nastavení pohybu přiřazeného deskám

#### 7.2.4 Zhodnocení varianty

Když jsem ukončil veškeré přípravné práce a podařilo se mi odladit výpočet tak, aby proběhl bez problémů až do konce, zhodnotil jsem chování figuríny v animačním programu animator a4. Je nutné podotknout, že jsem ji ještě neporovnával s kompletním výpočtovým modelem. Jelikož jsem postupoval po krocích a v každém jsem do modelu přidával další části, první řada variant tohoto porovnání nebyla schopna. Z hlavní části mi sloužila pro kontrolu funkčnosti modelu a samotného výpočtu. Zamezil jsem tak situaci, kdy bych vytvořil najednou celý model, spočítal jej a zjistil, že mám špatné výsledky nebo chybný výpočet. Odhalit v tu chvíli problém by bylo náročnější a složitější.

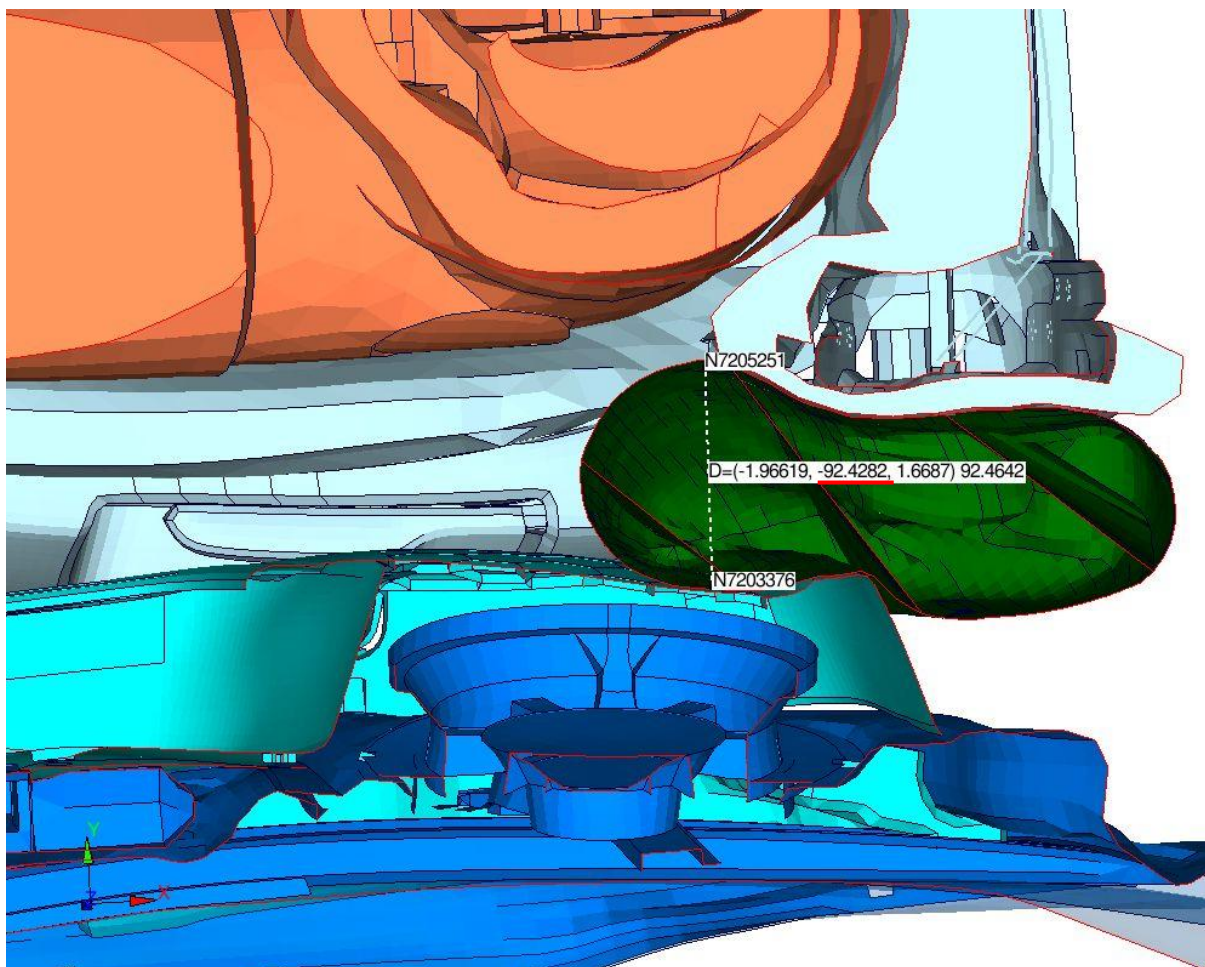
### 7.3 Vývojové varianty SK461\_DIP\_02 až SK461\_DIP\_21

Jak již bylo zmíněno výše, tyto varianty patří do počáteční sestavovací fáze. V té jsem první jednoduchý funkční model postupně zesložitoval o další části. Přidával další soustavy desek nahrazující airbag a obložení. Jak model postupně nabýval na složitosti, tak se blížil moment, kdy jej již bude možné porovnat s velkým modelem.

#### 7.3.1 Náhrada airbagu

Při zjednodušení a náhradě airbagu deskami spojenými pružnými elementy je třeba určit dvě hlavní věci, polohu desek a průběh tuhosti airbagu v lokálním místě. Postup stanovení tuhosti airbagu jsem naznačil v kapitole 6.4. Počáteční polohu desek vzhledem k figuríně (jedná se hlavně o vzdálenosti v ose y) jsem odměřil v jednotlivých řezech struktury velkého modelu. Jelikož začne tlak v airbagu a jeho zádržná síla výrazněji stoupat až v 17. ms, hledám geometrickou vzdálenost v tomto čase. Na obr. 65 je příklad odměření výchozí hodnoty vzdálenosti desek pro nahrazení airbagu. Určující číslo je uprostřed, to vyjadřuje vzdálenost

v ose y. V tomto případě je to pro oblast spodní části břicha hodnota 92 mm. Údaje v osách x a z jsou nepodstatné a vznikají nepřesnou volbou uzlů pro měření. Je takřka nemožné provést volbu tak, aby změny v těchto osách byly nulové.



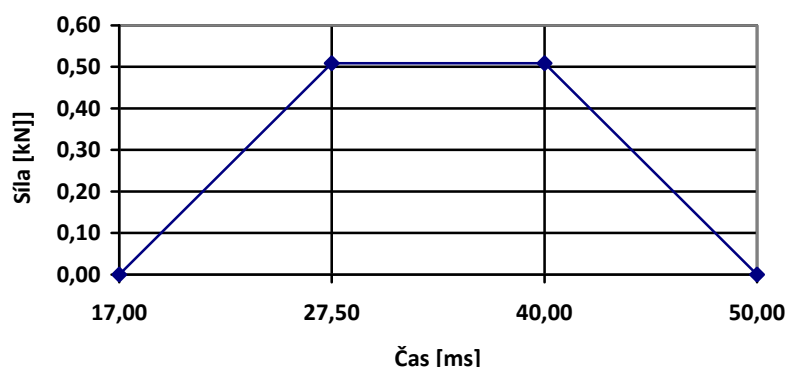
Obr. 65: Určení počáteční vzdálenosti desek zjednodušeného modelu v čase 17 ms

Desky v této oblasti budou tedy umístěny 92 mm od sebe s tím, že vnitřní část náhrady airbagu (vnitřní deska) bude v podstatě hned u figuríny (cca 2 mm od ní). Takto jsem vyřešil počáteční polohu desek. Zbývá zjistit průběh tuhosti airbagu.

Určení průběhu lokální tuhosti airbagu sestává ze dvou částí, dvou časově závislých funkcí, které se následně spojí přes společný parametr času. První funkcí je průběh odporové síly v závislosti na čase, kterou klade airbag. Tu lze zjistit z kontaktu mezi airbagem a okolím, její tvar je uveden na obr. 46. Jelikož je křivka značně složitá, je hodné si ji zjednodušit a linearizovat. Její výsledný tvar má pak podobu jako na obr. 66. Podotýkám, že průběh určuji od 17. ms, což je počátek nabíhání zádržné síly airbagu.

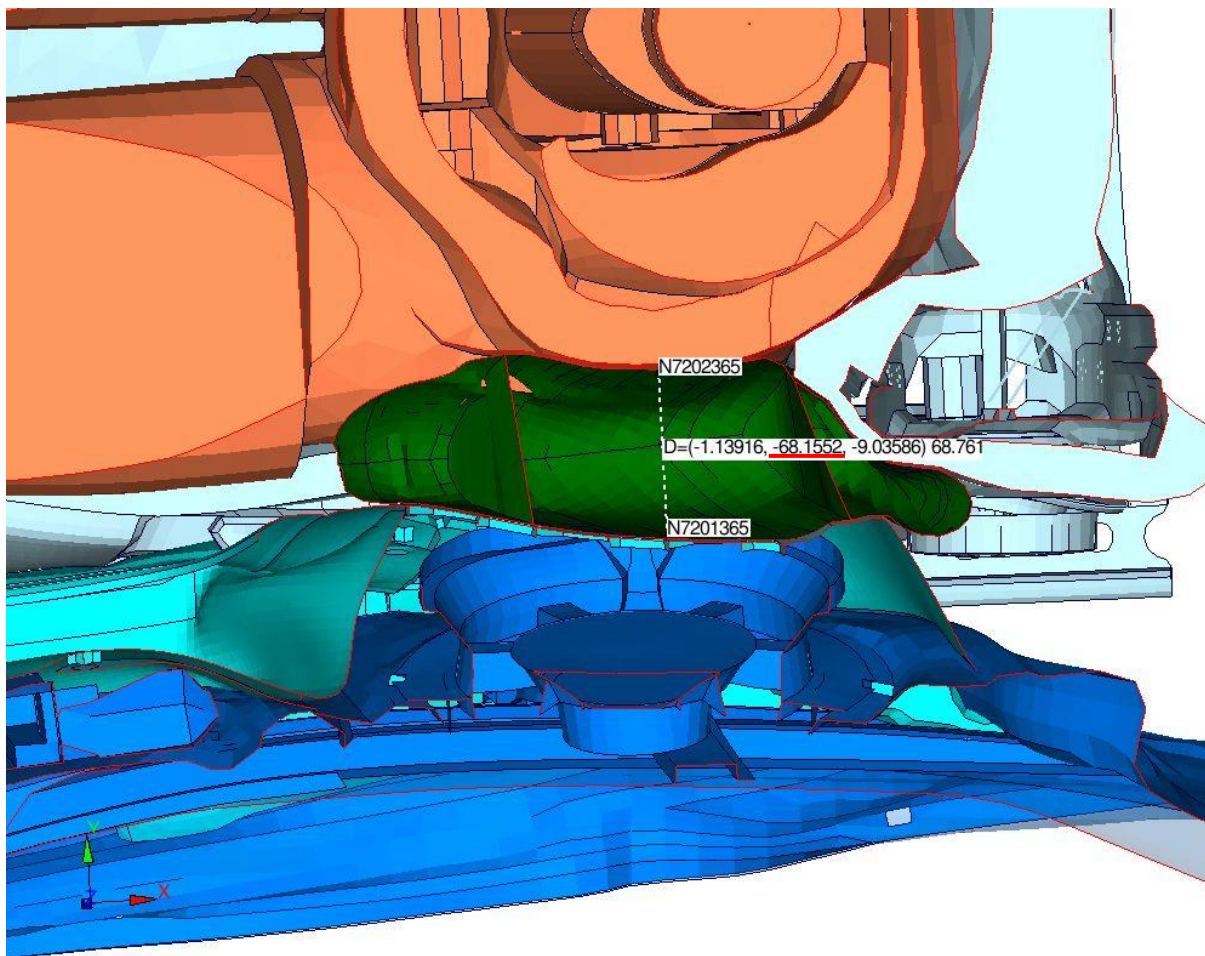
Druhým krokem je zjištění průběhu deformace airbagu v ose y. Tato závislost má tvar posuvu na čase. Pro jeho určení využiji opět odměřování v řezech velkého modelu. Podobně, jak jsem stanovil šířku airbagu na počátku v čase 17 ms, stanovím i šířky v dalších klíkových

časech (tj. 27,5 ms, 40 ms a 50 ms). Ty je však třeba převést na časový průběh dráhy, tzn. vyjádření jaké je stlačení airbagu v jednotlivých časech.



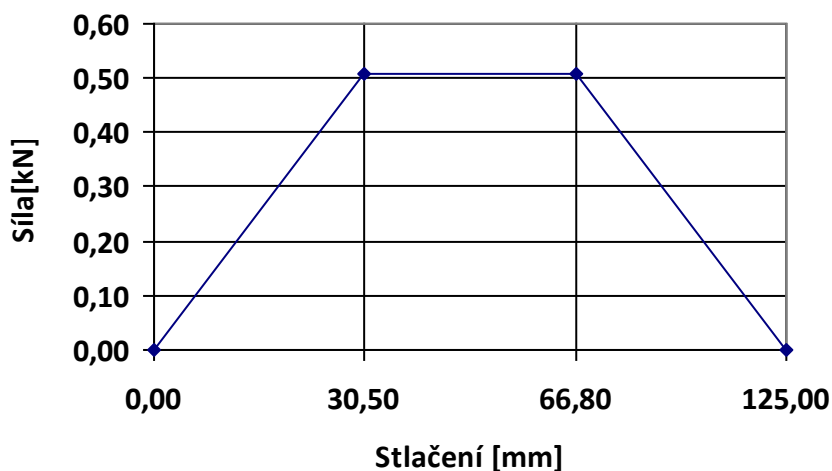
Obr. 66: Graf zjednodušeného linearizovaného průběhu síly v kontaktu airbagu

Když již znám hodnoty šířky airbagu v těchto okamžicích, odečtu je od výchozí hodnoty na počátku, v tomto případě od čísla 92 mm. Na obr. 67 vidíme změření vzdálenosti v čase 27,5 ms a ta je 68 mm. Po odečtení od 92 mm získáme stlačení airbagu do 27,5 ms a to dělá 30 mm. Stejně jsem postupoval i u dalších časů. Výsledkem je poté hledaný průběh.



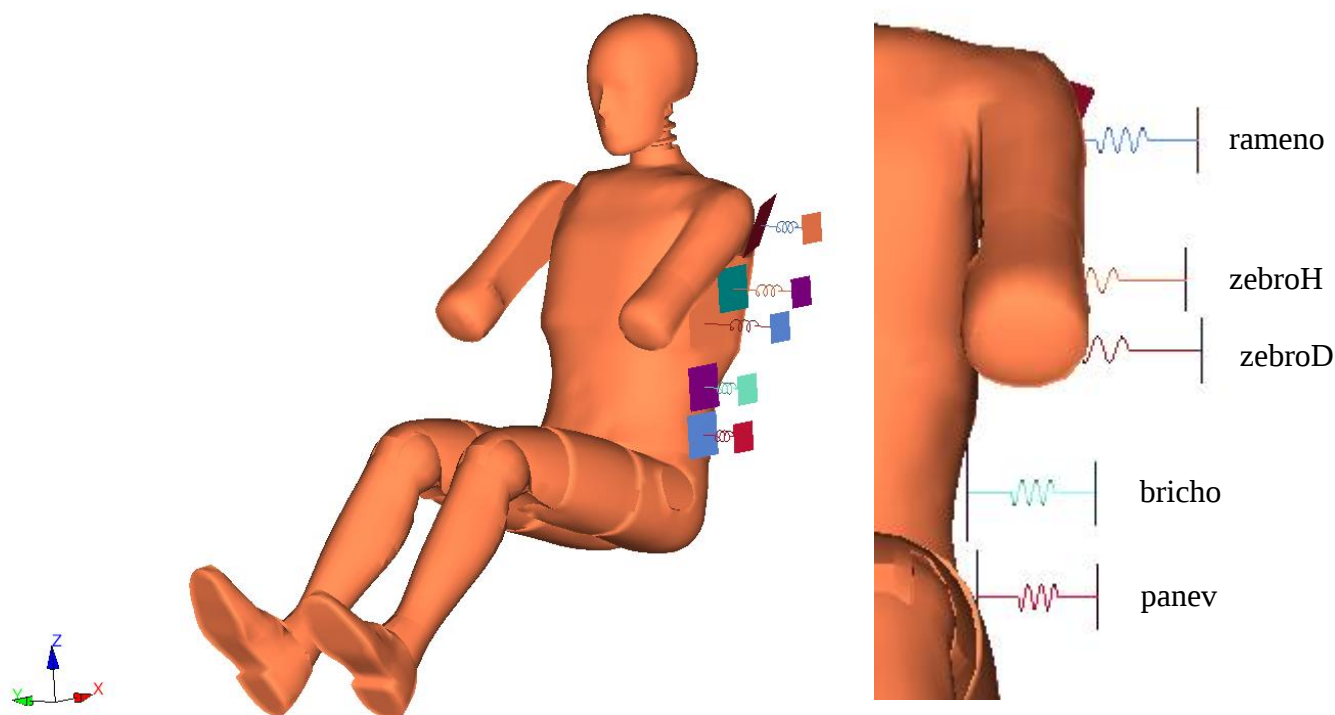
Obr. 67: Určení vzdálenosti desek zjednodušeného modelu v čase 27,5 ms

Když tyto dva průběhy spojíme pomocí stejného parametru jímž je čas, obdržíme konečný průběh tuhosti v závislosti na stlačení (viz. obr. 68).



Obr. 68: Výsledný průběh tuhosti v závislosti na stlačení náhrady airbagu

Výše uvedeným postupem jsem určil průběh tuhosti airbagu pro všech pět náhrad. Ty jsem umístil do míst, kde dochází ke kontaktu figuríny s airbagem. Jejich umístění je zřetelné na obr. 69. V detailu v levé části obrázku lze vidět jejich počáteční vzdálenost, reprezentující šířku airbagu v 17. ms.

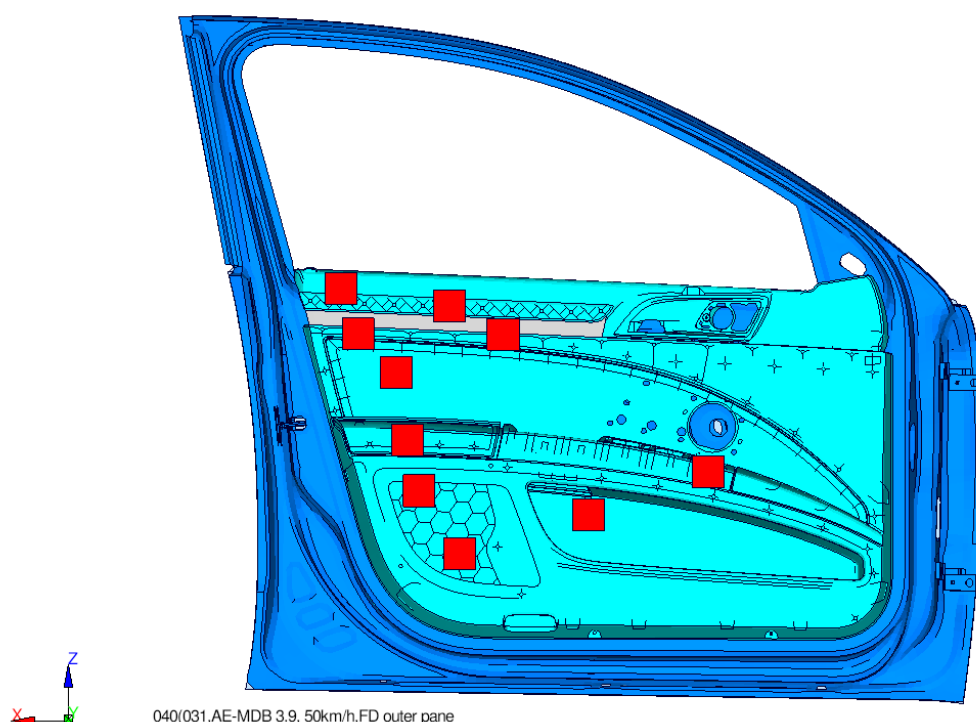


Obr. 69: Umístění desek náhrady airbagu, vpravo detail s názvy oblastí

### 7.3.2 Náhrada obložení

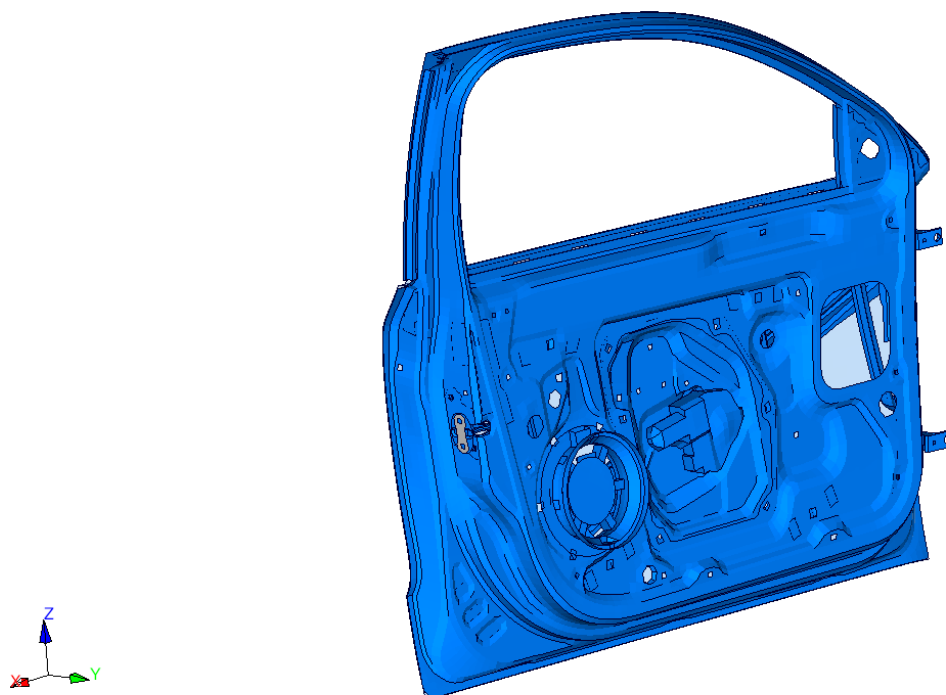
Při tvorbě náhrady obložení jsem postupoval podobně jako při vytváření náhrady airbagu. Jelikož však na rozdíl od airbagu pro všechna místa vlivem rozdílných lokálních tuhostí tyto odporové síly (síly kladoucí odpor proti stlačení) různé, je třeba posoudit je jednotlivě. K tomu mi posloužil samostatný výpočet, pomocí kterého jsem průběh tuhostí určil.

Model byl tvořen dveřmi vyseparovanými z velkého výpočtového modelu. Dále jsem importoval desky do stejných míst, v jakých jsou umístěny vzhledem k figuríně. Do těch jsem zadal počáteční rychlost. Na té v podstatě nezáleží, důležité je co nejvíce obložení stlačit, tak abych získal průběh až do okamžiku kontaktu obložení se strukturou.



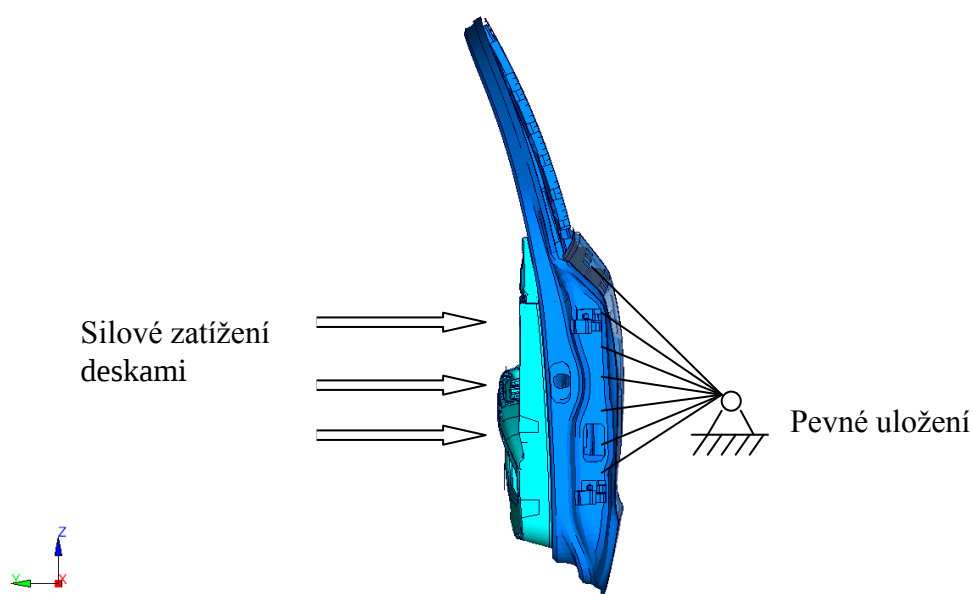
Obr. 70: Výpočetní model pro určení průběhu tuhosti obložení

V prostoru jsem dveře umístil pomocí bodu na struktuře nosného dílu dveří. Poté jsem mu odebral všechny stupně volnosti. Tím, že jsem ještě svázel všechny body struktury pomocí elementů RBE, jsem získal na pevně uložené dveře v prostoru. Do těžišť jednotlivých desek jsem ještě umístil body pro měření uražené vzdálenosti (THNOD).

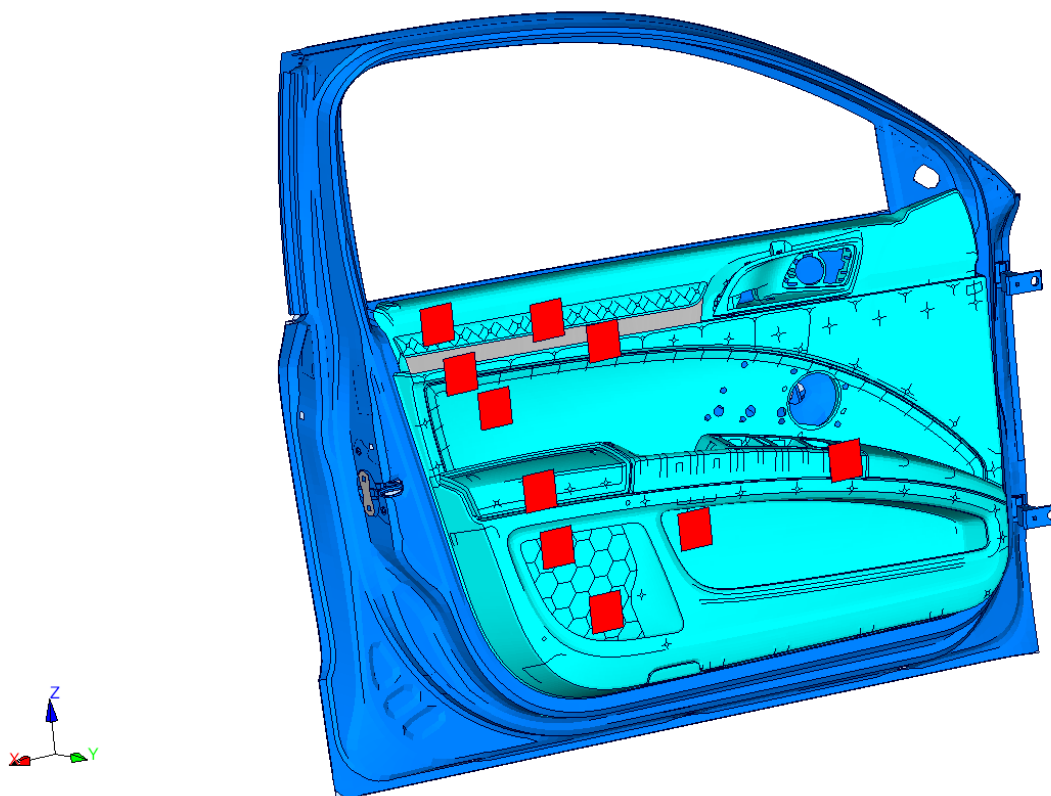


Obr. 71: Díl dveří, jehož body byly svázány prvky RBE

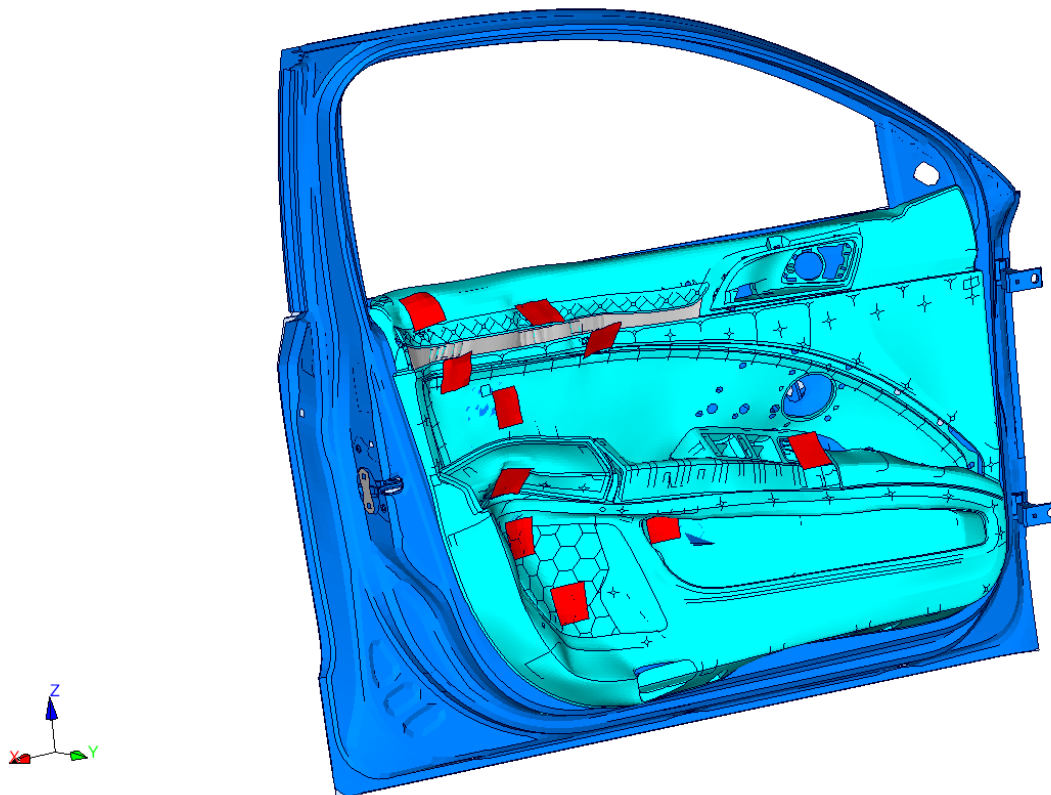
Následoval výpočet, který jsem počítal do doby 8 ms. Důležitým výstupem pro mě byl časový průběh sil vyčtených z kontaktů desek s obložením a časový průběh dráhy, které jednotlivé desky urazily v ose y. Tímto jsem získal dvě funkce závislé na čase podobně jako při určení náhrady airbagu.



Obr. 72: Naznačení zatížení obložení

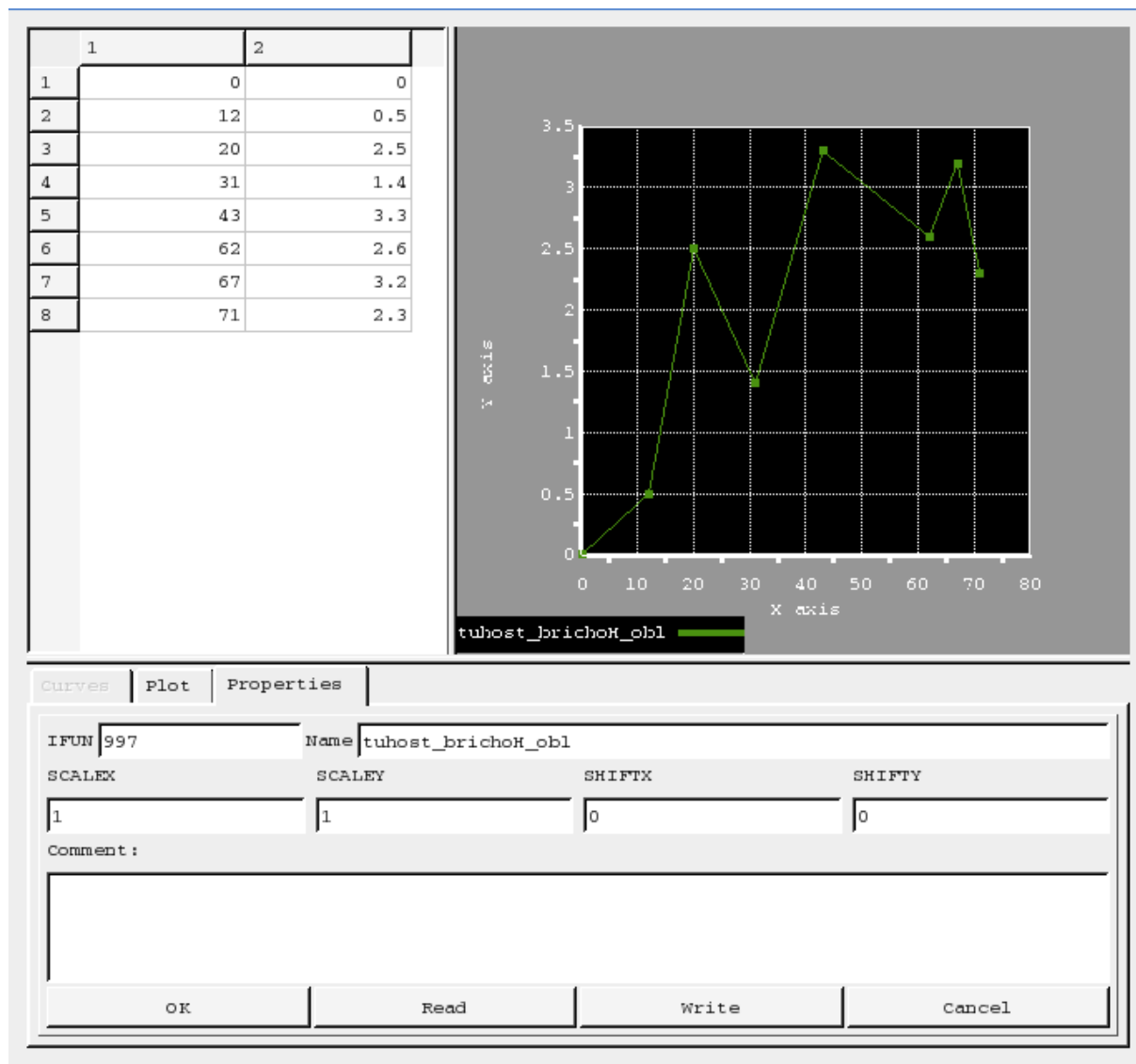


Obr. 73: Počáteční stav výpočtu pro určení tuhosti obložení



Obr. 74: Konečný stav výpočtu pro určení tuhosti obložení

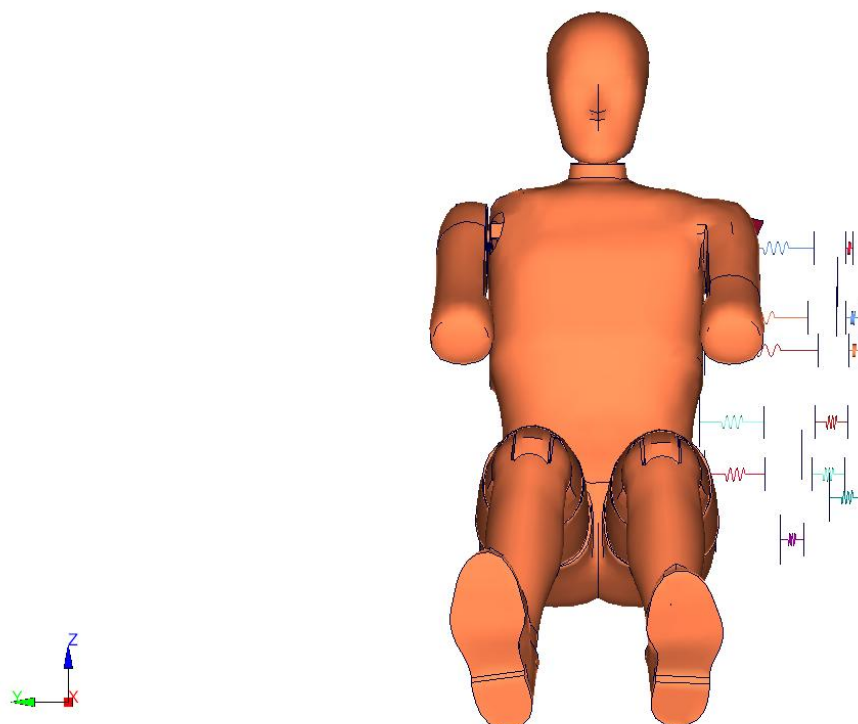
Jejich spojením pomocí stejného parametru času jsem získal průběhy tuhostí obložení odpovídající jednotlivým oblastem. Ty jsem poté zadal do materiálových karet pružných elementů zjednodušeného modelu. Ukázka průběhu tuhosti v oblasti horní části břicha je uvedena na obr. 75.



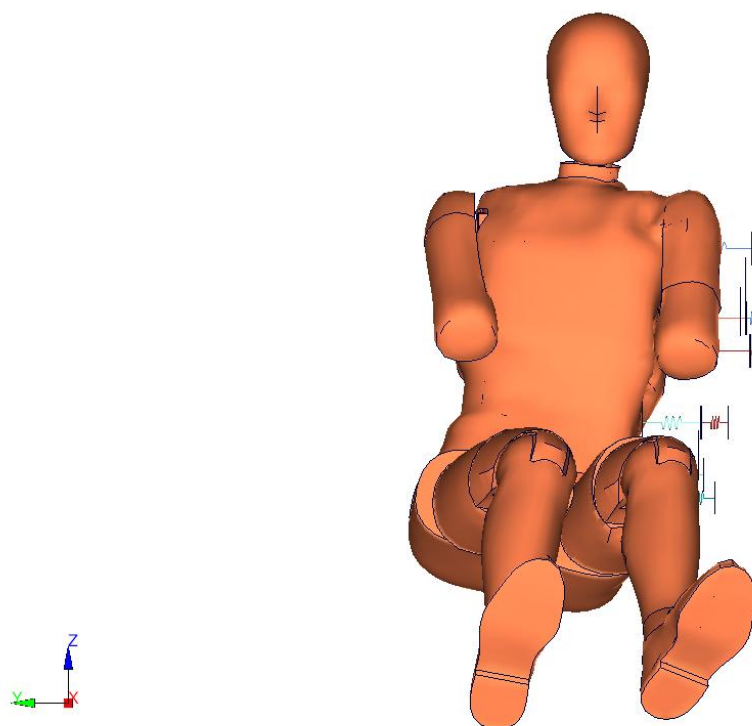
Obr. 75: Ukázka průběhu tuhosti obložení v místě břichoH

Stejným způsobem jsem si určil průběhy tuhostí i pro ostatní místa. Vzhledem k tomu, že oblasti ruky a kolena ovlivňují výsledný pohyb figuríny jen minimálně, rozhodl jsem se pro tyto oblasti vliv tuhosti obložení zanedbat. Na tyto desky jsem poté zadával přímo hodnoty posuvu odměřené z bodu na obložení velkého modelu.

Kompletní soustava desek a pružných elementů v počátečním stavu je zobrazena na obr. 76. Charakter pohybu figuríny, na které působí zatížení soustavy impaktorů, je zase znázorněna na obr. 77. Jelikož se pomalu blíží situaci ve velkém výpočtovém modelu, je možné začít oba modely porovnávat.



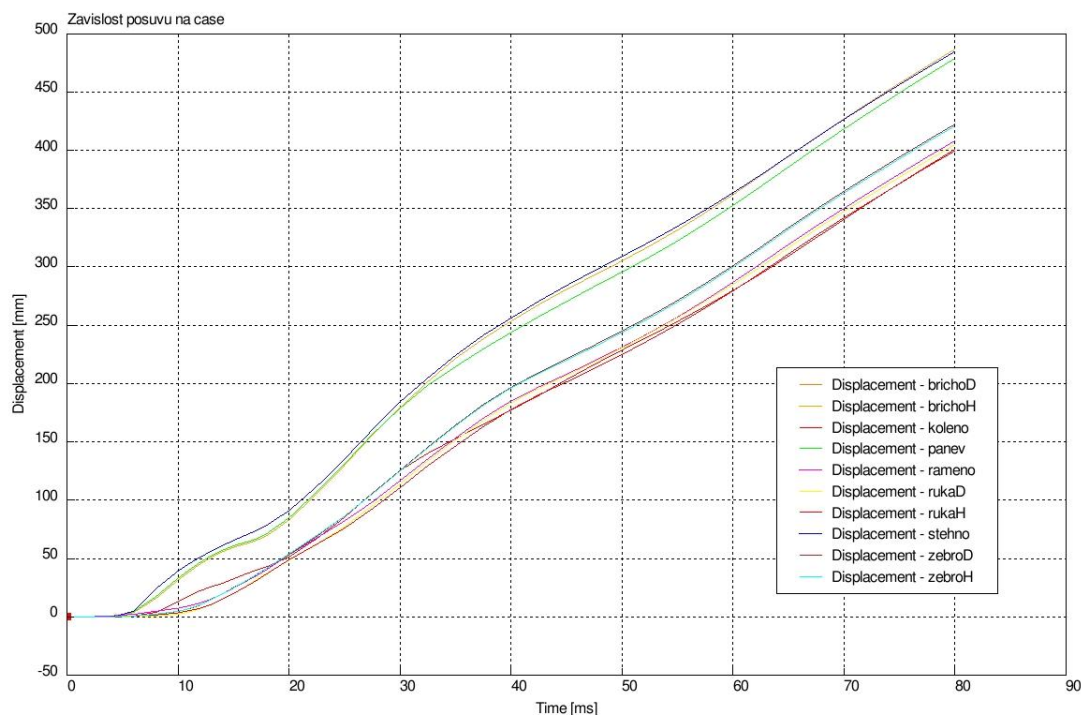
Obr. 76: Kompletní zjednodušený model, stav v čase 0 ms



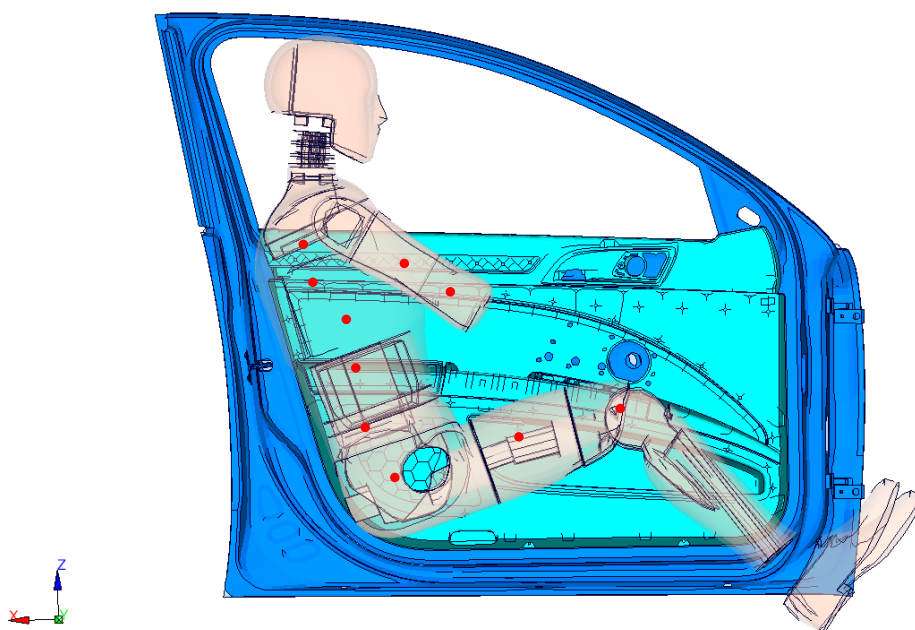
Obr. 77: Kompletní zjednodušený model, stav v čase 50 ms

### 7.3.3 Nastavení průběhu posuvu vnějšími deskám

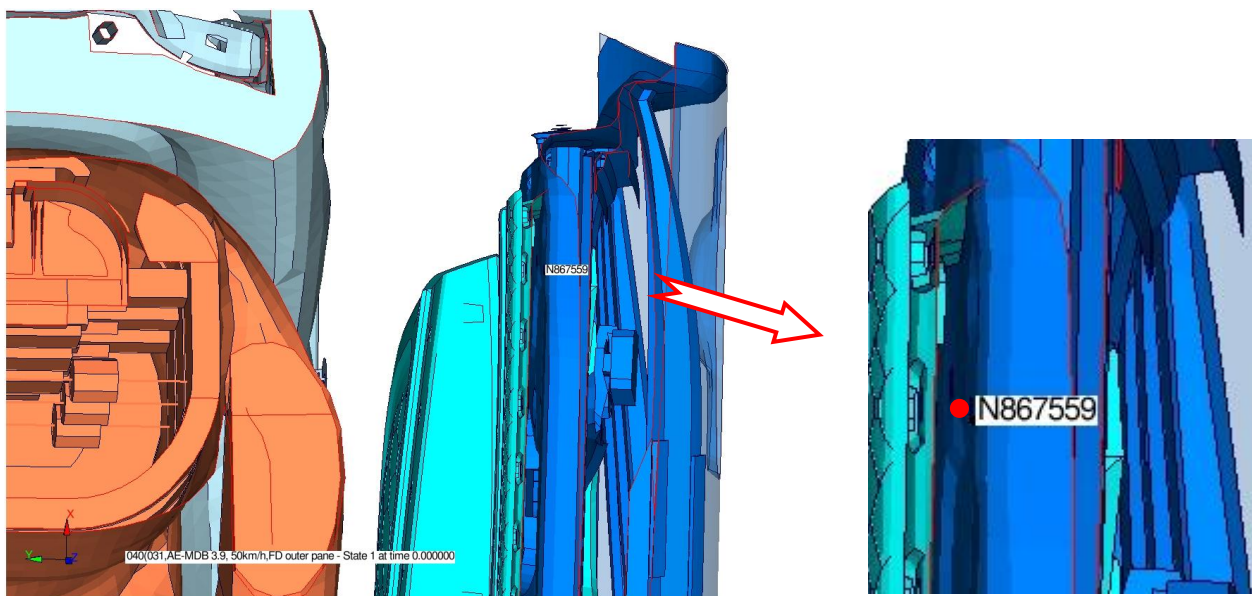
Při určování posuvu, který se zadává na inicializační desky, jsem postupoval podle postupu naznačeného v kap. 6.4. Křivky byly odměřeny v jednotlivých řezech a pro hodnoty v osách y. Jejich souhrn je uveden na obr. 78. Těmito průběhy je dán pohyb vnějších impaktorů.



Obr. 78: Průběhy naměřených posuvů pro jednotlivé oblasti



Obr. 79: Naznačení bodů pro určení průběhu posuvu vzhledem k figuríně

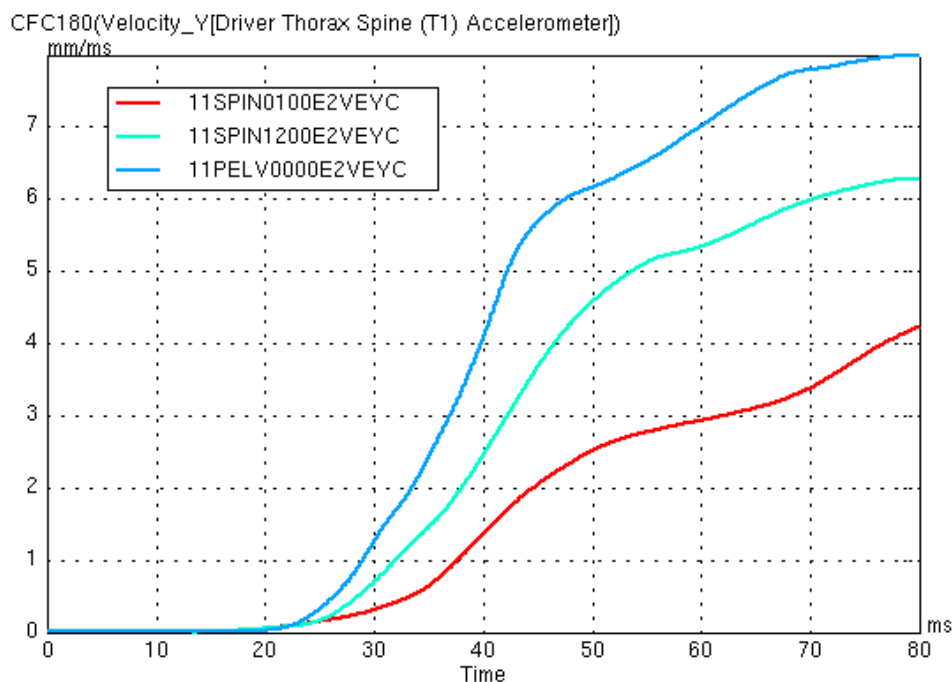


Obr. 80: Obrázek volby bodu pro odečet průběhu posuvu, vlevo detailní zobrazení

#### 7.4 Výchozí model pro porovnávání SK461\_SSS\_041

Při vzájemném srovnání zjednodušeného modelu s modelem kompletním jsem využil skupiny nejdůležitějších ukazatelů, charakterizujících výsledný pohyb figuríny a její zatížení. Jde o údaje ze snímačů umístěných uvnitř figuríny. Ty měří posuvy, rychlosti a zrychlení. Jednotlivé charakteristiky jsou:

- průběh hlavních rychlostí figuríny:



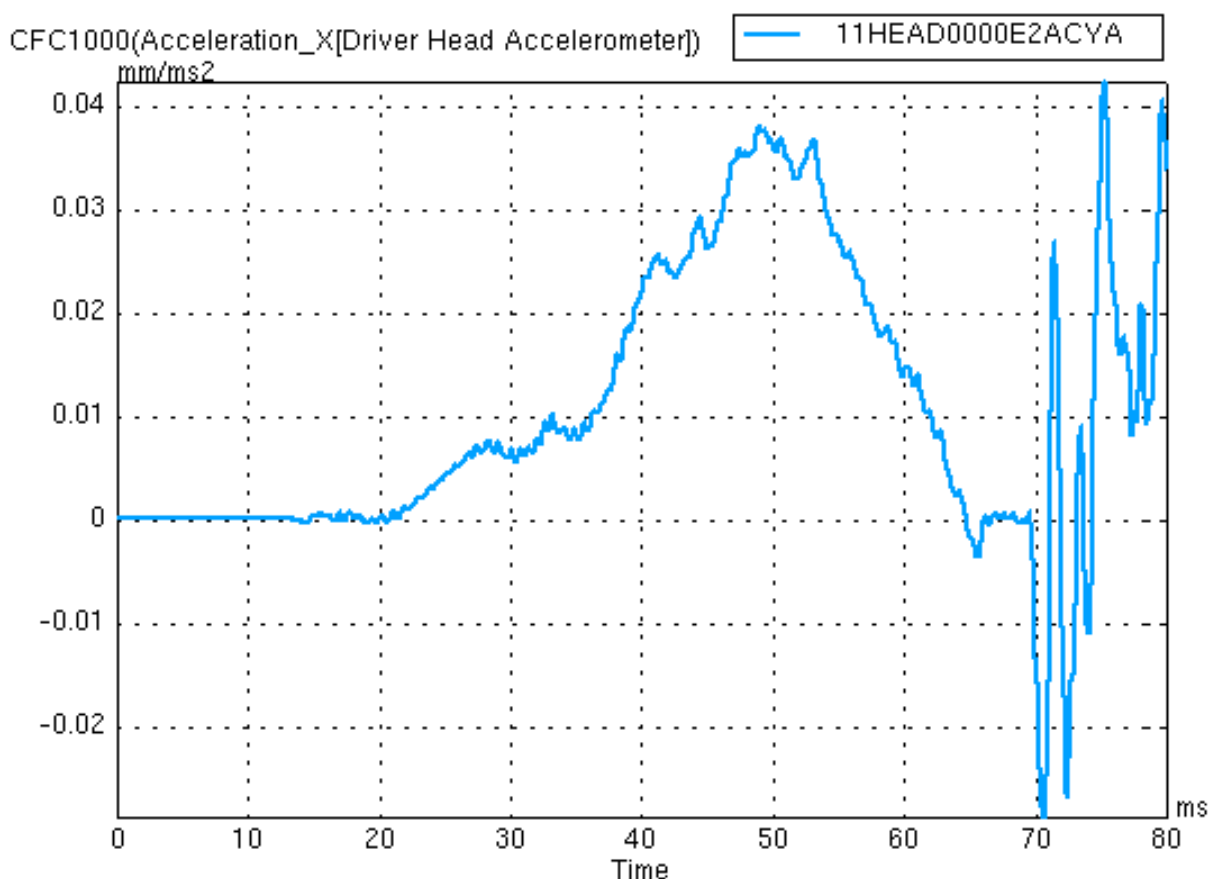
Obr. 81: Průběh hlavních rychlostí figuríny

Jsou to průběhy v místech pánve (modrá barva), břicha (zelená barva) a ramene (červená barva). Souhrnně udávají charakter pohybu figuríny, přičemž jsou nejdůležitější údaje v rozmezí cca od 30. ms do 50. ms. Je předpoklad, že budou-li při srovnání tyto průběhy shodné se zjednodušeným modelem, budou odpovídat i průběhy ostatních vyhodnocovaných křivek.

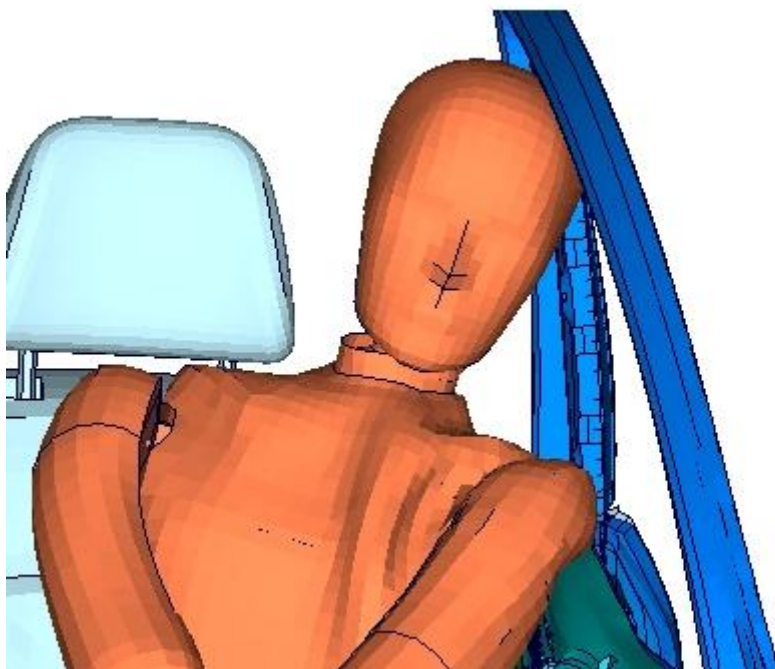
$$\text{KIN (I,II,III)}_{\text{ZM}} = \text{KIN (I,II,III)}_{\text{KM}} \Rightarrow \text{ZAT}_{\text{ZM}} = \text{ZAT}_{\text{KM}} \quad (6)$$

- průběh zrychlení hlavy:

Ten udává snímač umístěn v hlavě figuríny. Měří sice zrychlení ve všech třech osách, vzhledem ale k tomu, že působím na figurínu pomocí desek jen v ose y, průběhy v ostatních osách jsou neporovnatelné. Na obr. 82 je vidět křivka tohoto zrychlení. Maximální hodnoty bylo dosaženo cca v 50. ms. Velké kmity na konci průběhu jsou způsobeny kontaktem hlavy figuríny s vnitřním rámem dveří, to je způsobeno absencí hlavového airbagu. Z průběhu se určuje HIC kritérium, což je důležitá charakteristika určující míru zranění hlavy.



Obr. 82: Křivka zrychlení změřená snímačem v hlavě figuríny



Obr. 83: Detail kontaktu hlavy figuríny s rámem dveří

- průběh deformace žeber:

Určuje velikost stlačení žeber. Ty jsou samy o sobě pružné, avšak mají svou maximální mez únosnosti. Uvádí se 22 mm, pro které s největší pravděpodobností nedojde k vážným zraněním. Například jejich zlomení, ale také poranění dalších vnitřních orgánů vlivem příliš velkého zmáčknutí hrudního koše.

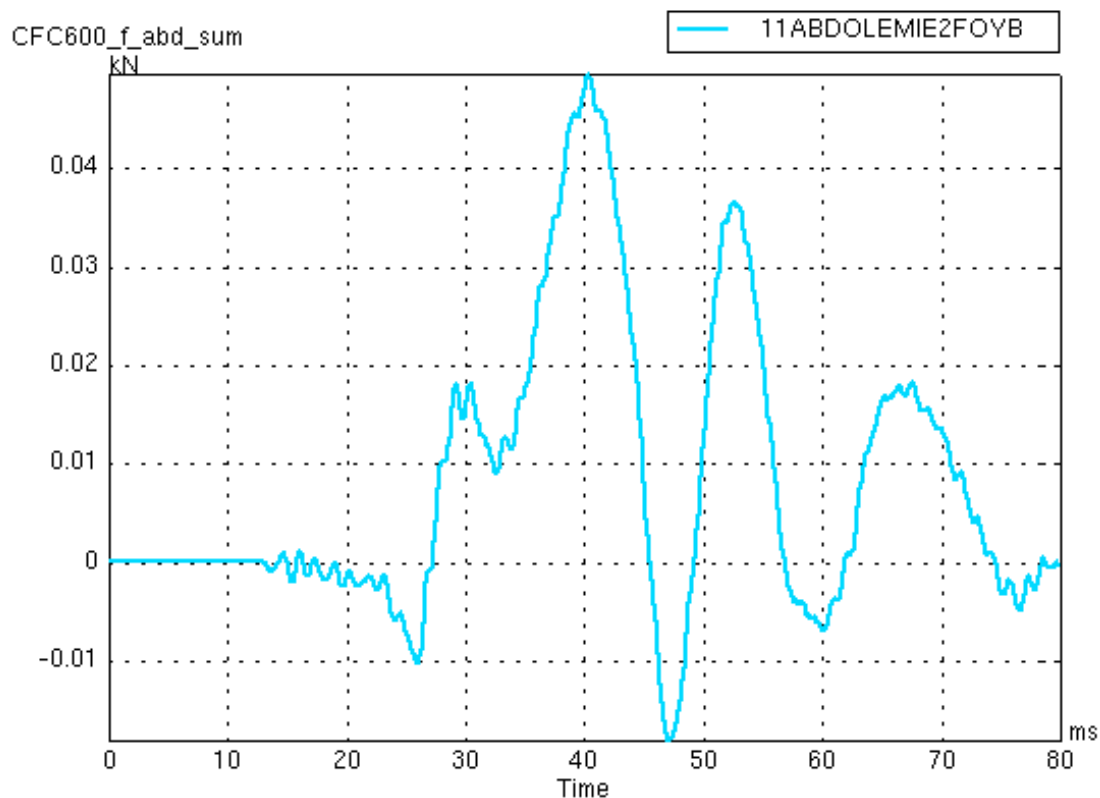
Uvnitř hrudi figuríny jsou umístěny tři snímače deformace žeber (horní, střední a spodní žebro). Na obr. 84 je uveden průběh stlačení žebra prostředního. S hodnotou 13,5 mm v čase cca 40 ms jde o bezpečné zatížení žeber.

Velký vliv na průběh deformace žeber má boční airbag. Kdyby jím vozidlo nebylo vybaveno, nedošlo by k odtlačení figuríny od hroutící se boční struktury. Tím by došlo k pozdějšímu náběhu stlačení žeber, avšak mělo by prudký nárůst a větší maximální hodnotu. Odsunutím figuríny se tyto následky výrazně sníží.



Obr. 84: Křivka deformace prostředního žebra

- průběh síly působící na břicho:

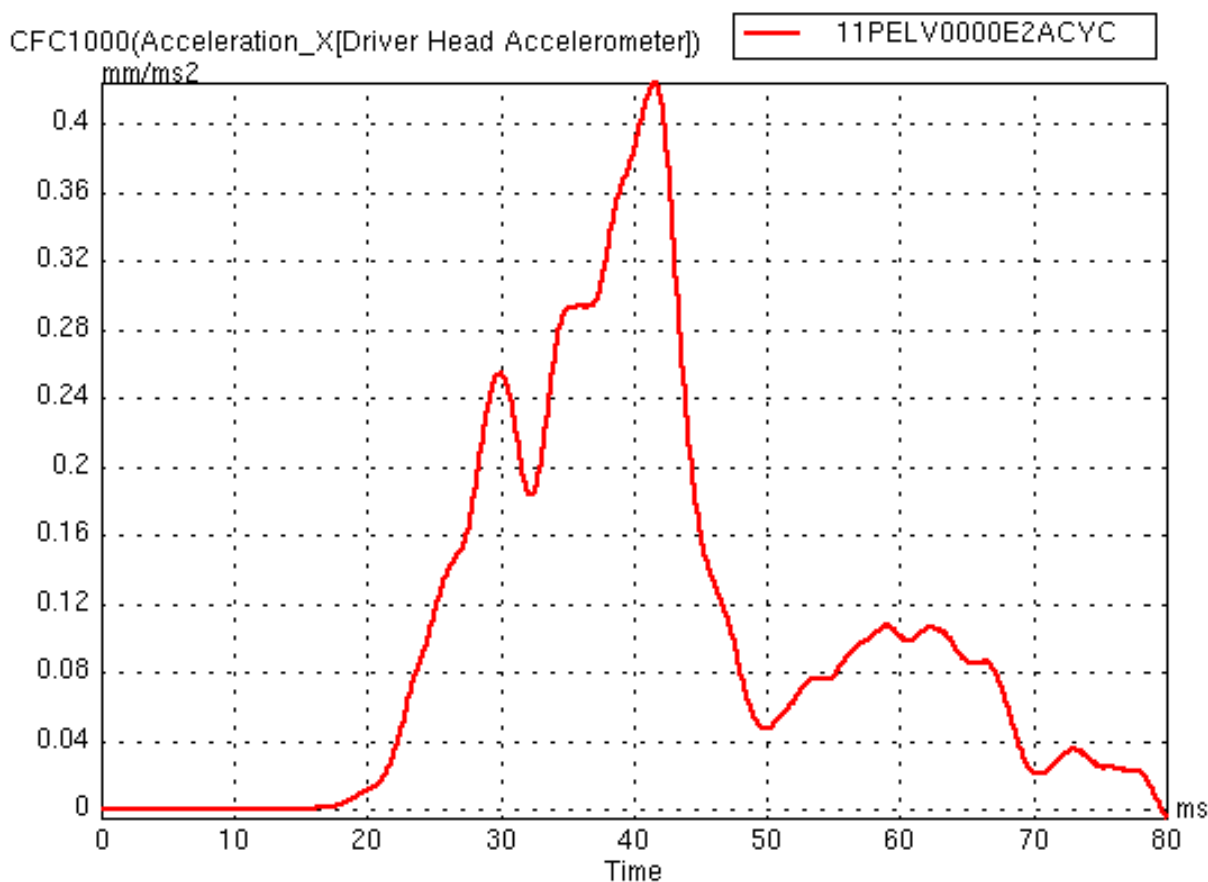


Obr. 85: Průběh síly působící na břicho

Na obr. 85 je uveden průběh síly působící v oblasti břicha. Ta by měla být pod limitem 1 kN. První část, kdy jde křivka do záporných hodnot, přisuzuji vlivu pohybu vozu na figurínu. Vrchol v čase 30 ms potom práci airbagu, který odtlačuje figurínu. Po mírném poklesu pak nastává kontakt se samotnou boční strukturou a síla stoupá na svou maximální hodnotu v čase 40 ms.

- průběh zrychlení pánve:

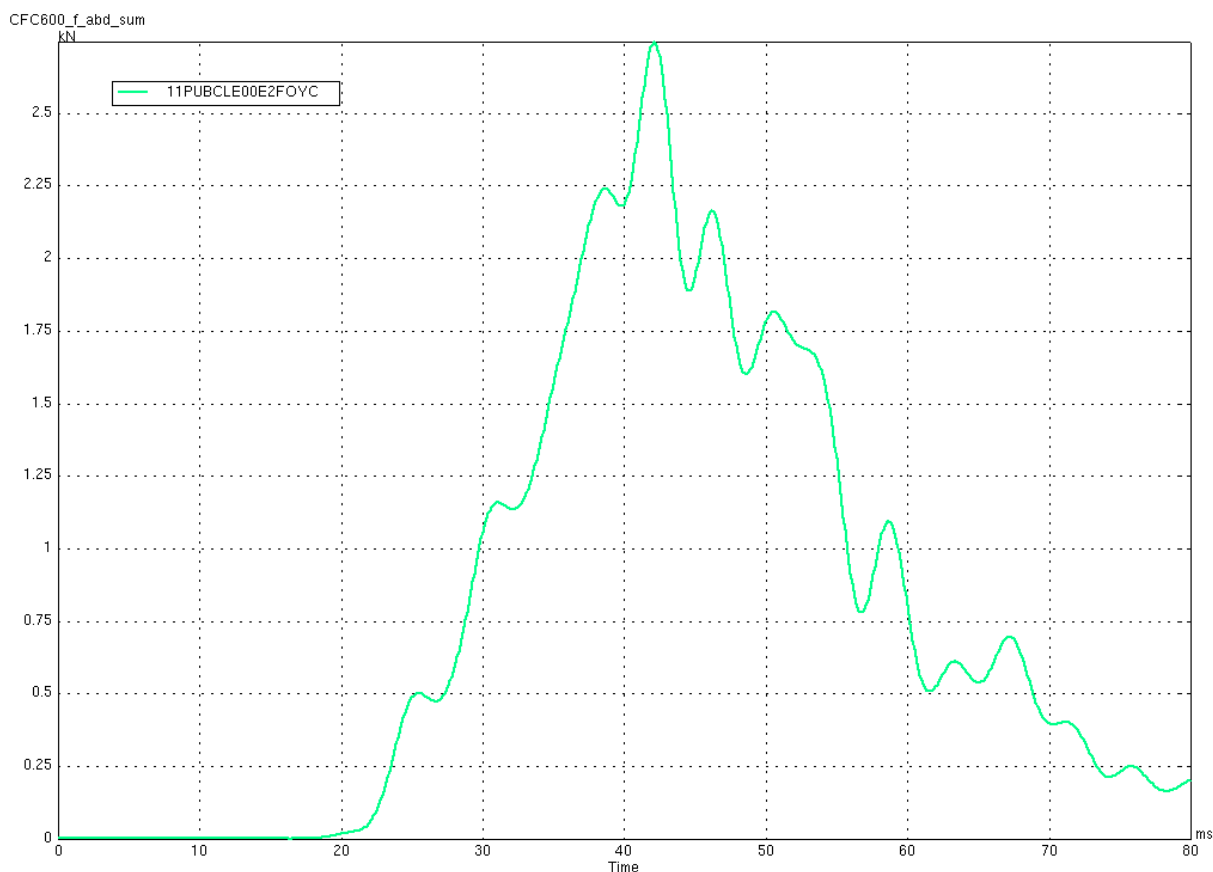
Na něm je patrný obdobný záchvěv v čase 30 ms jako v případě průběhu síly na břiše. Maximální zrychlení se také nachází ve 40. ms. Podobnost je dána vzájemnou blízkostí obou vyhodnocovaných míst. Opět pro porovnávání uvažuji jen hodnoty v ose y ze stejných důvodů, jako u zrychlení hlavy.



Obr. 86: Průběh zrychlení pánve

- průběh síly působící na pánev:

Má velký vliv na míru zranění pánve, její maximální hodnota, při které s největší pravděpodobností ještě nedojde k vážným poraněním, je 3 kN. Podle obr. 87 bylo dosaženo velikosti 2,75 v čase cca 42 ms. Tato oblast je tedy vzhledem k limitu relativně bezpečná.



Obr. 87: Průběh síly působící na pánev

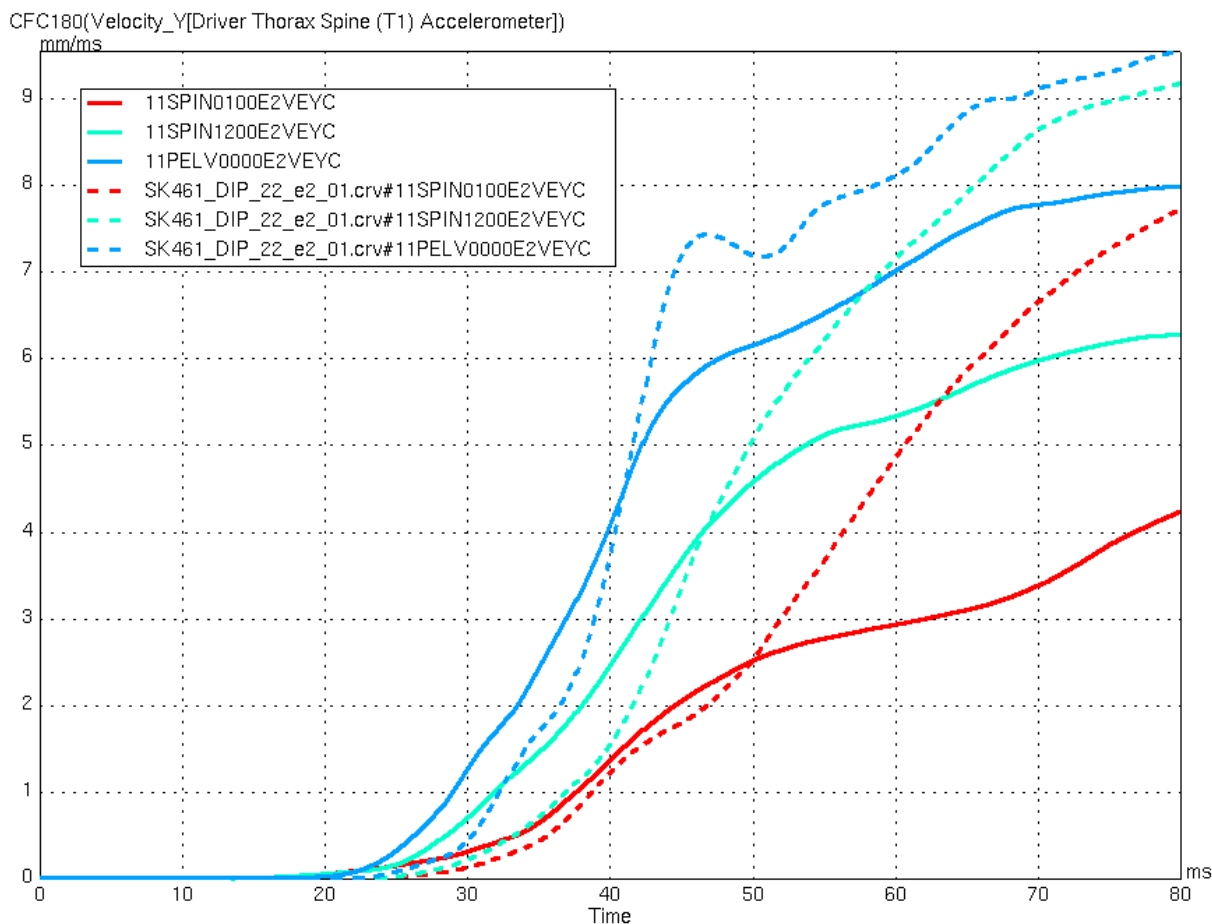
## 7.5 Vývojová varianta SK461\_DIP\_22

V tuto chvíli jsem již po dodělení všech součástí zjednodušeného modelu pokračoval úpravami jednotlivých parametrů a snažil se přiblížit chování velkému modelu. V modelu byly oproti předchozím mírně změněny průběhy tuhostí v oblasti dolní části břicha a pánve. To mělo vliv na navýšení hodnot rychlostí v těchto místech.

### 7.5.1 Srovnání s kompletním modelem

Při hrubém srovnávání zjednodušeného modelu s kompletním modelem jsem porovnával průběhy hlavních rychlostí. Na obr. 81 je stav, ke kterému jsem se snažil přiblížit. Níže na obr. 88 vidíme průběh získaný z varianty SK461\_DIP\_22 v porovnání s etalonem. Pro každou ze tří křivek jsem si určil body na časové ose, v kterých jsem vzájemně porovnával hodnoty rychlosti. Na obrázku vyjadřuje modrá barva rychlost v místě pánve, světle zelená v oblasti břicha a červená popisuje rychlost ramena.

Odečtené údaje z průběhů jsem poté sestavil do tabulek a určil odchylky v procentech od výchozího stavu. Ze všech tří průběhů nejlépe odpovídá vzoru průběh rychlosti ramene, avšak odchylka v procentech je docela veliká. V místě břicha je již rozdíl větší a úplně největší neshodu v průběhu vidíme pro rychlost pánve. Z toho usuzuji, že tam mám problém. Nesprávné zatížení pánve totiž ovlivňuje i průběh rychlosti v oblasti břicha.



Obr. 88: Průběh rychlostí v hlavních oblastech modelu SK461\_DIP\_22

| Čas [ms] | Rychlost ve VM [mm/ms] | Rychlost ve ZM [mm/ms] | Odchylka [%] |
|----------|------------------------|------------------------|--------------|
| 30       | 1,2                    | 0,5                    | - 58,3       |
| 40       | 4                      | 3,9                    | - 2,5        |
| 50       | 6,2                    | 7,2                    | + 16,1       |
| 60       | 7                      | 8                      | + 14,3       |

Tab. 6: Porovnání hodnot rychlostí v oblasti pánve

| Čas [ms] | Rychlost ve VM [mm/ms] | Rychlost ve ZM [mm/ms] | Odchylka [%] |
|----------|------------------------|------------------------|--------------|
| 30       | 0,8                    | 0,25                   | - 68,8       |
| 40       | 2,5                    | 1,6                    | - 36         |
| 50       | 4,6                    | 5                      | + 8,7        |
| 60       | 5,3                    | 7,2                    | + 35,8       |

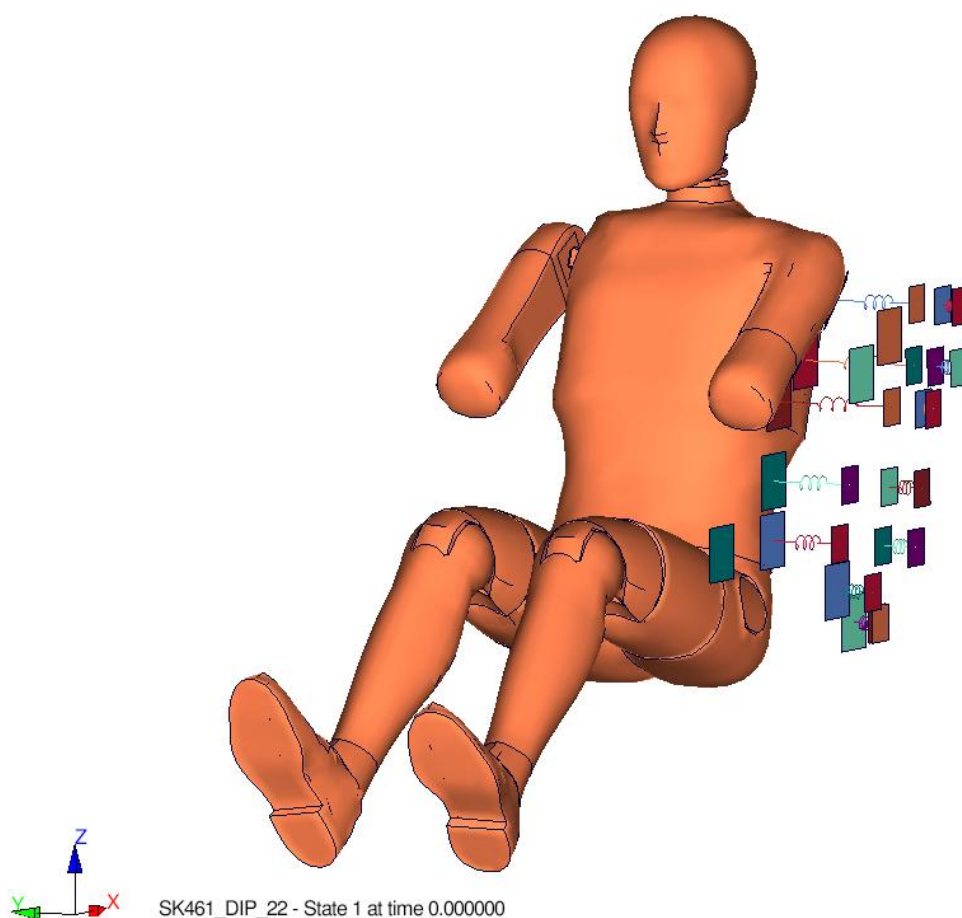
Tab. 7: Porovnání hodnot rychlostí v oblasti břicha

| Čas [ms] | Rychlost ve VM [mm/ms] | Rychlost ve ZM [mm/ms] | Odchylka [%] |
|----------|------------------------|------------------------|--------------|
| 30       | 0,25                   | 0,2                    | - 20         |
| 40       | 1,4                    | 1,2                    | - 14,3       |
| 50       | 2,5                    | 2,5                    | 0            |
| 60       | 3                      | 4,8                    | + 60         |

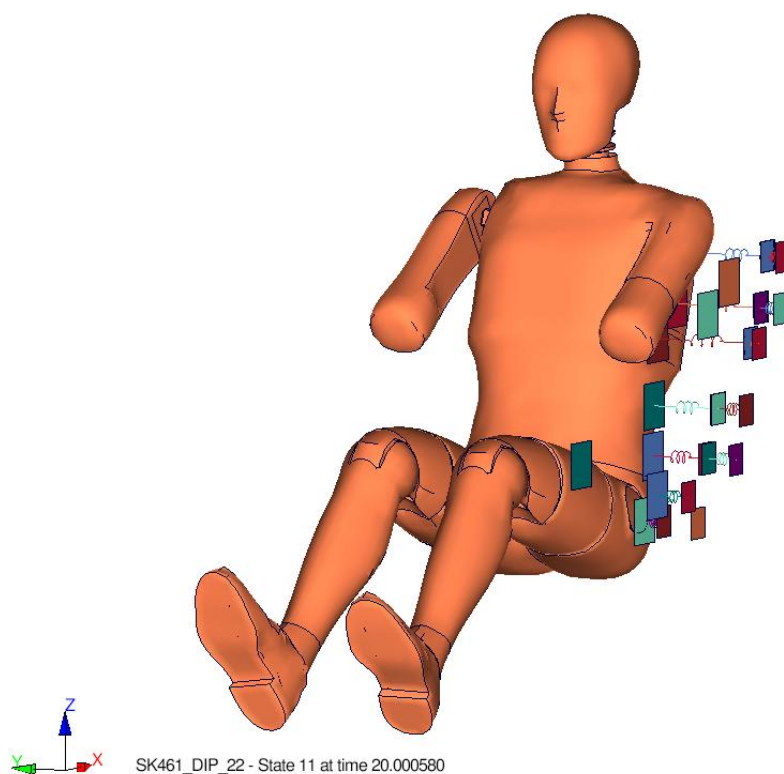
Tab. 8: Porovnání hodnot rychlostí v oblasti ramene

- Pohyb figuríny pod zatížením ve zjednodušeném modelu:

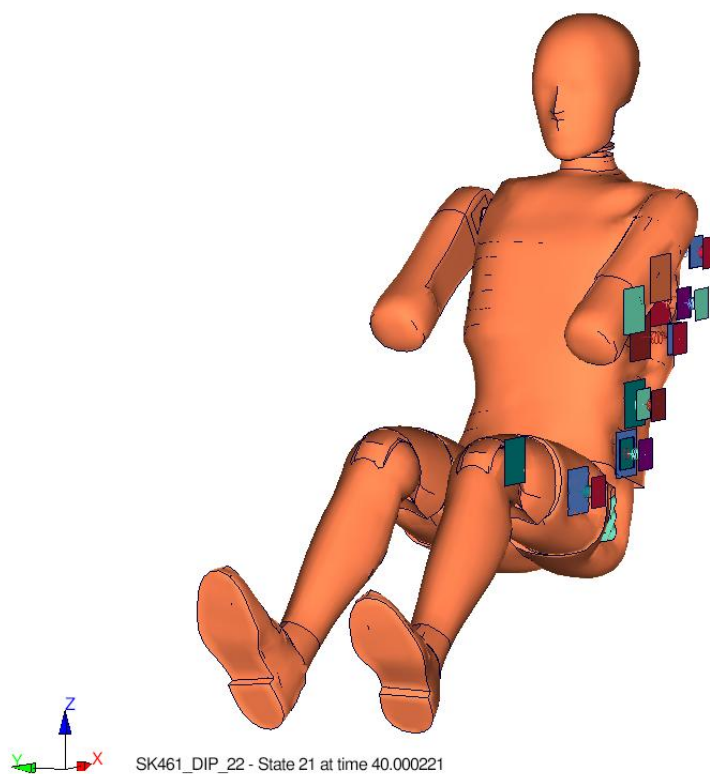
Při srovnání stylu pohybu figuríny ve zjednodušeném modelu a s tím v kompletním modelu vidím jistou podobnost. Velký rozdíl však nastává cca od 40. ms, kdy je figurína zatěžována daleko více, než by měla být. To dávám za vinu způsobu odečtu průběhů posuvů, které zadávám na inicializační desky. V kompletním modelu je totiž figurína ještě před nárazem o kolabující boční strukturu částečně urychlována díky kontaktu s vozidlem (pásy, sedadlo, ...). Na rozdíl od toho v mém zjednodušeném modelu je figurína ustavena volně v prostoru a tak ji nemá co předčasně urychlovat. Tento vliv je třeba nějakým způsobem odstranit.



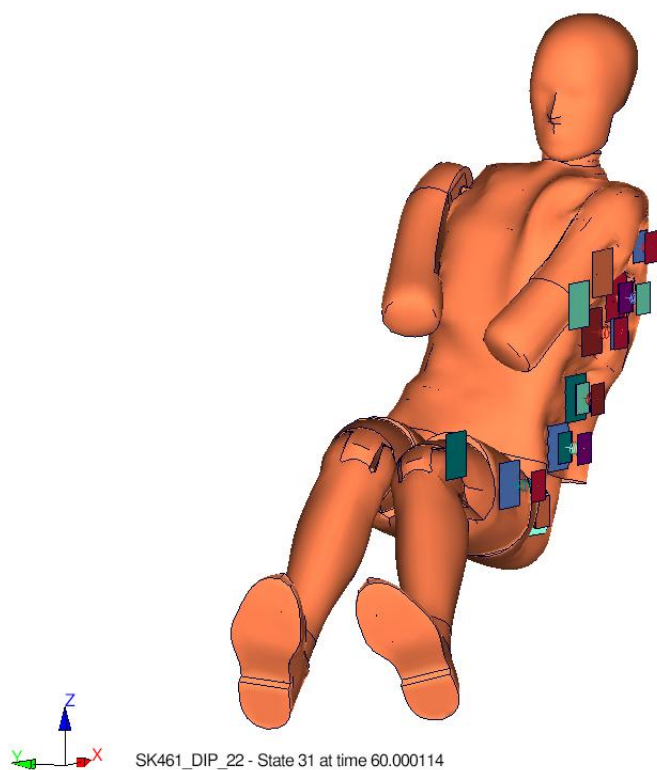
Obr. 89: SK461\_DIP\_22 - stav v čase 0 ms



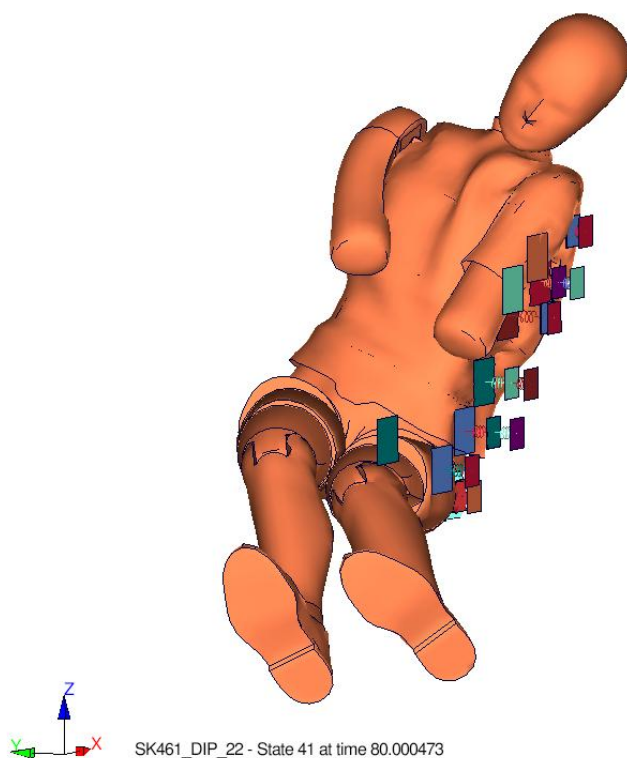
Obr. 90: SK461\_DIP\_22 - stav v čase 20 ms



Obr. 91: SK461\_DIP\_22 - stav v čase 40 ms

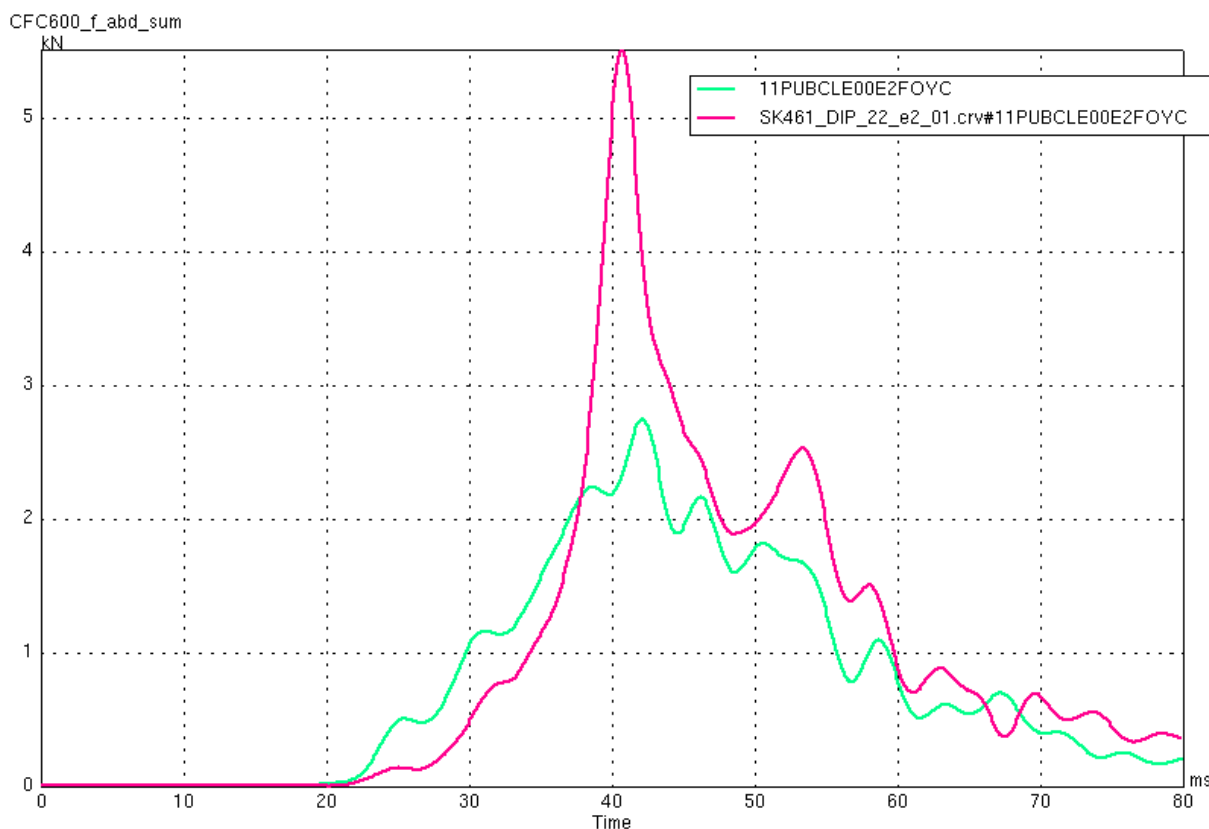


Obr. 92: SK461\_DIP\_22 - stav v čase 60 ms



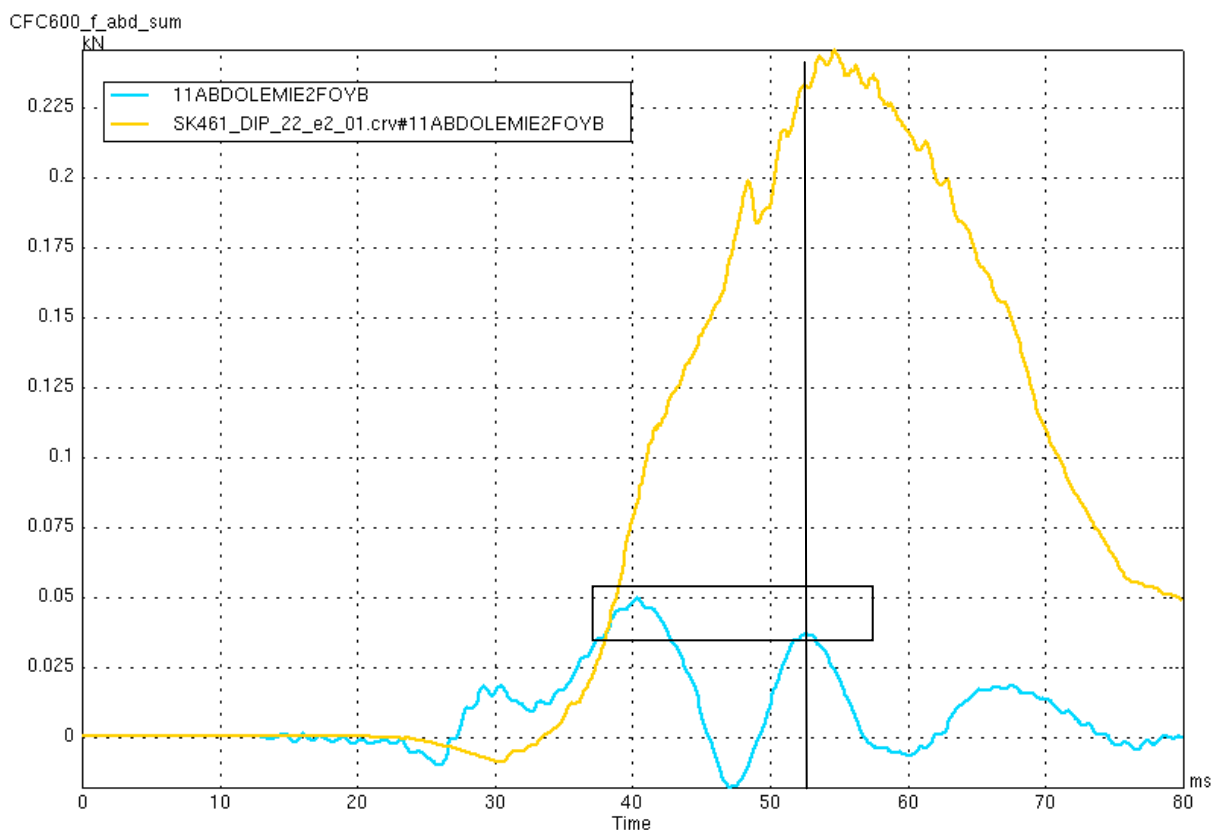
Obr. 93: SK461\_DIP\_22 - stav v čase 80 ms

Pro demonstraci velkého rozdílu v zatížení uvedu srovnání průběhu sil v oblasti pánve a břicha. Na obr. 94 vidíme křivky sil působící na břicho. Jejich průběh má podobný charakter. Znatelně se však liší maximální hodnoty, kdy ta ve zjednodušeném modelu (růžová barva) je téměř dvojnásobná v porovnání s tou, která panuje v modelu kompletním. Tento rozdíl dávám za vinu výše uvedenému způsobu odečtení průběhů pro inicializační desky. Jistým dobrým náznakem je čas amplitudy křivek, ten je téměř stejný. Načasování působení síly tedy odpovídá vzoru.



Obr. 94: Průběh síly v oblasti pánve

Ještě výraznější rozdíl ve velikosti působící síly lze odečíst z obr. 95. Tvar průběhu by do 40. ms odpovídal, nebýt počátečního dřívějšího náběhu síly u zjednodušeného modelu. Po něm křivka chvíli kopíruje originál, avšak jen do cca. 40. ms. V tento čas síla v kompletním modelu začne klesat, ta ve zjednodušeném ale nadále stoupá. Co se hodnot maxim týče, tak ty jsou ještě více rozdílné než u síly působící na pánev. Při posouzení času jejich náběhu, pokud budeme uvažovat dva peaky (maximální hodnoty) v průběhu u kompletního modelu jako přibližně stejné, lze vidět jistou podobnost. Podobně jako tomu je u zatížení pánve. V tomto případě nabíhají křivky na svá maxima odhadem v 52. ms.



Obr. 95: Průběh síly v oblasti břicha

### 7.5.2 Zhodnocení varianty

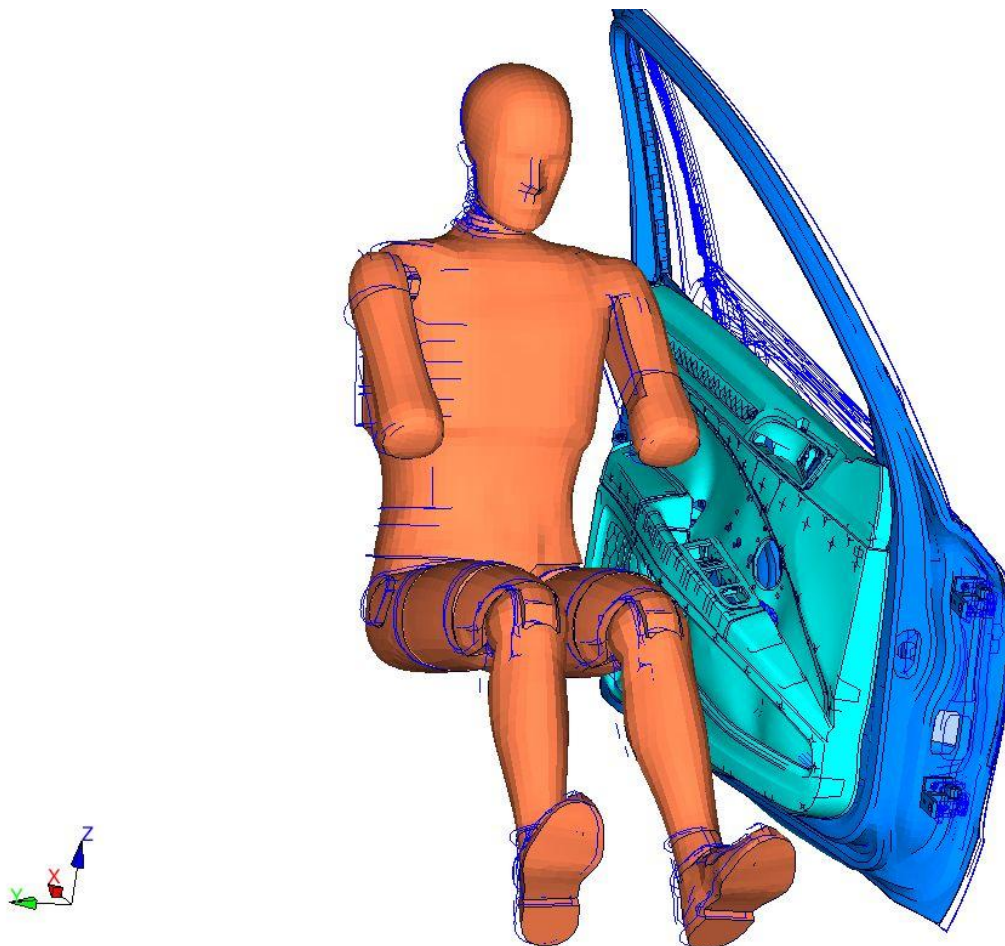
Výpočty jsem zjistil, že u této varianty dochází ke značným rozdílům ve velikostech zatížení. To přisuzuji způsobu odčítání rychlostí pro desky. Je třeba navrhnout možnou úpravu, pomocí které by se zjistili lepší průběhy posuvů pro zadávání deskám. Také jsem vysledoval z průběhu hlavních rychlostí, že pohyb v místě ramene přibližně odpovídá velkému modelu, avšak břicho a pánev se výrazně liší. Proto v dalších variantách věnuju pozornost hlavně nastavení pro oblast pánve a pokusím se průběh více přiblížit vzoru.

## 7.6 Vývojová varianta SK461\_DIP\_23

Navazuje na verzi SK461\_DIP\_22. Velký rozdíl je ve způsobu odečtu průběhu posuvů, které poté zadávám na inicializační desky. Abych odstranil vliv působení automobilu na počáteční odtlačení figuríny od struktury, rozhodl jsem se odměřit průběhy posuvů vzhledem souřadnému systému vozu. Je třeba zvolit takové tři body, u nichž v průběhu nárazu kompletního modelu nedochází k deformaci. Určil jsem je v místech zámků spolejezdových dveří. Vzhledem k nim jsem poté stanovil průběhy posuvů podobně jako v 7.3.3.

### 7.6.1 Určení relativních průběhů posuvů ve zvolených bodech struktury

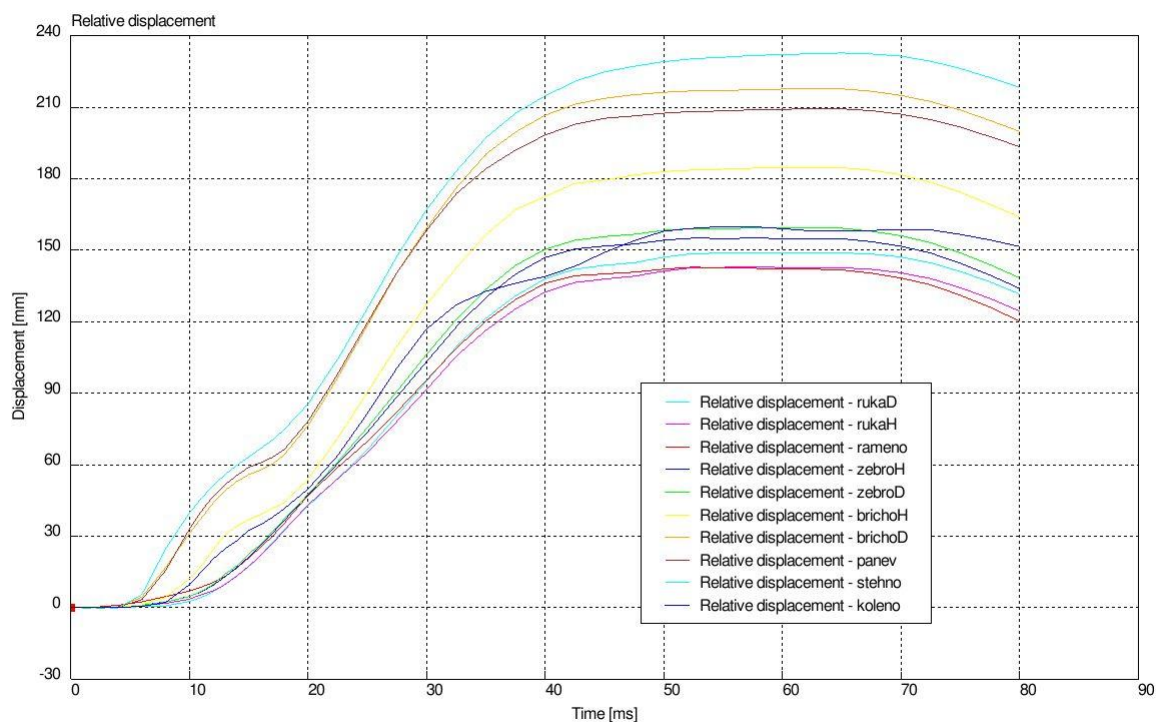
To jsem prováděl opět pomocí řezů struktury a zvolením bodu pro jejich určení. V tomto případě byl průběh posuvů odlišný v porovnání s těmi určenými pomocí globálního souřadného systému. Na obrázcích níže lze vidět způsob pohybu figuríny, jestliže se stanoví vzhledem k relativnímu souřadnému systému.



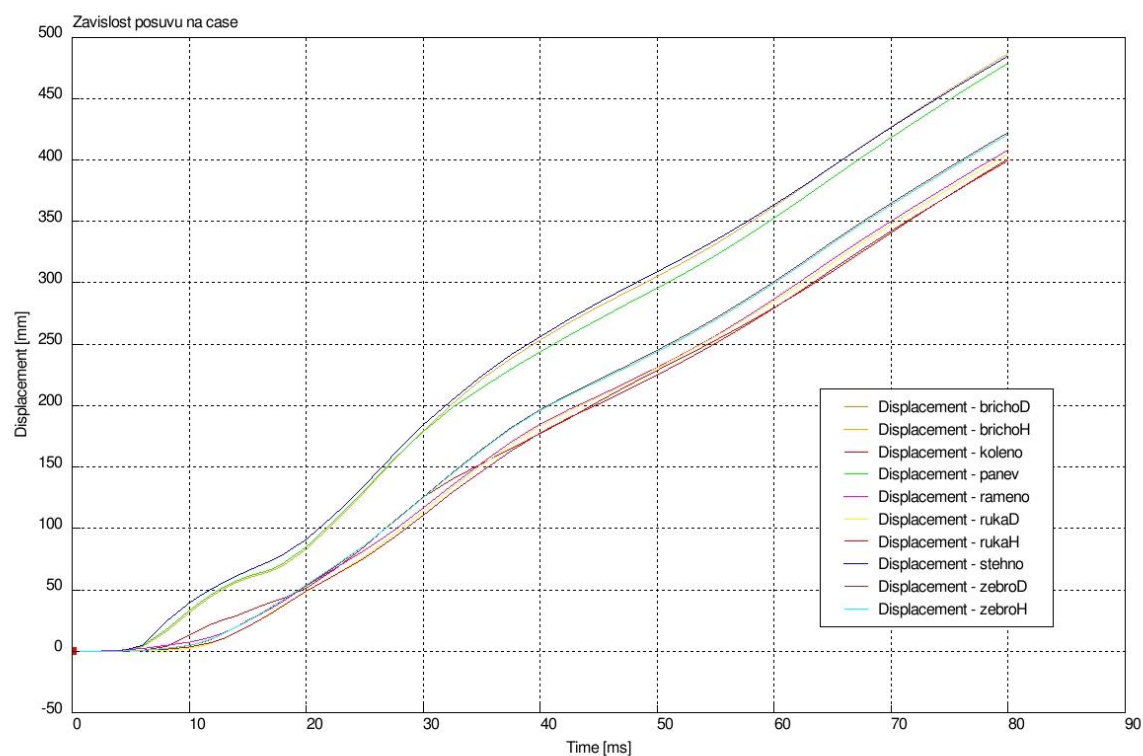
Obr. 96: Pohyb figuríny vztažený k relativnímu souřadnému systému

Předpoklad je takový, že figurína zůstane na svém místě a tak dostanu průběh posuvů vzhledem k jejímu přibližnému statickému umístění v prostoru. Porovnáním pohybu figuríny vzhledem k počáteční poloze jsem zjistil, že tomu tak opravdu je. Jediný rozdíl nastával do cca 20. ms, do kdy se figurína nepatrně pohybovala směrem k boční struktuře. Tento vliv jsem se rozhodl zanedbat.

Výsledné průběhy křivek, odměřené vzhledem k nedeformované části vozu, jsou uvedeny na obr. 97. Zřetelný je rozdíl v maximálních hodnotách i v průbězích. Při relativním pohybu je již od cca 40. ms změna posuvu téměř konstantní. Na rozdíl od průběhu posuvů stanovených v globálním souřadném systému, kdy od 40. ms je struktura stále v pohybu vzhledem k vozovce. Ve skutečnosti ale již nedochází k tak velkému zatížení figuríny. Pro srovnání jsou na obr. 98 uvedeny opět průběhy posuvů vzhledem ke globálním souřadnicím.



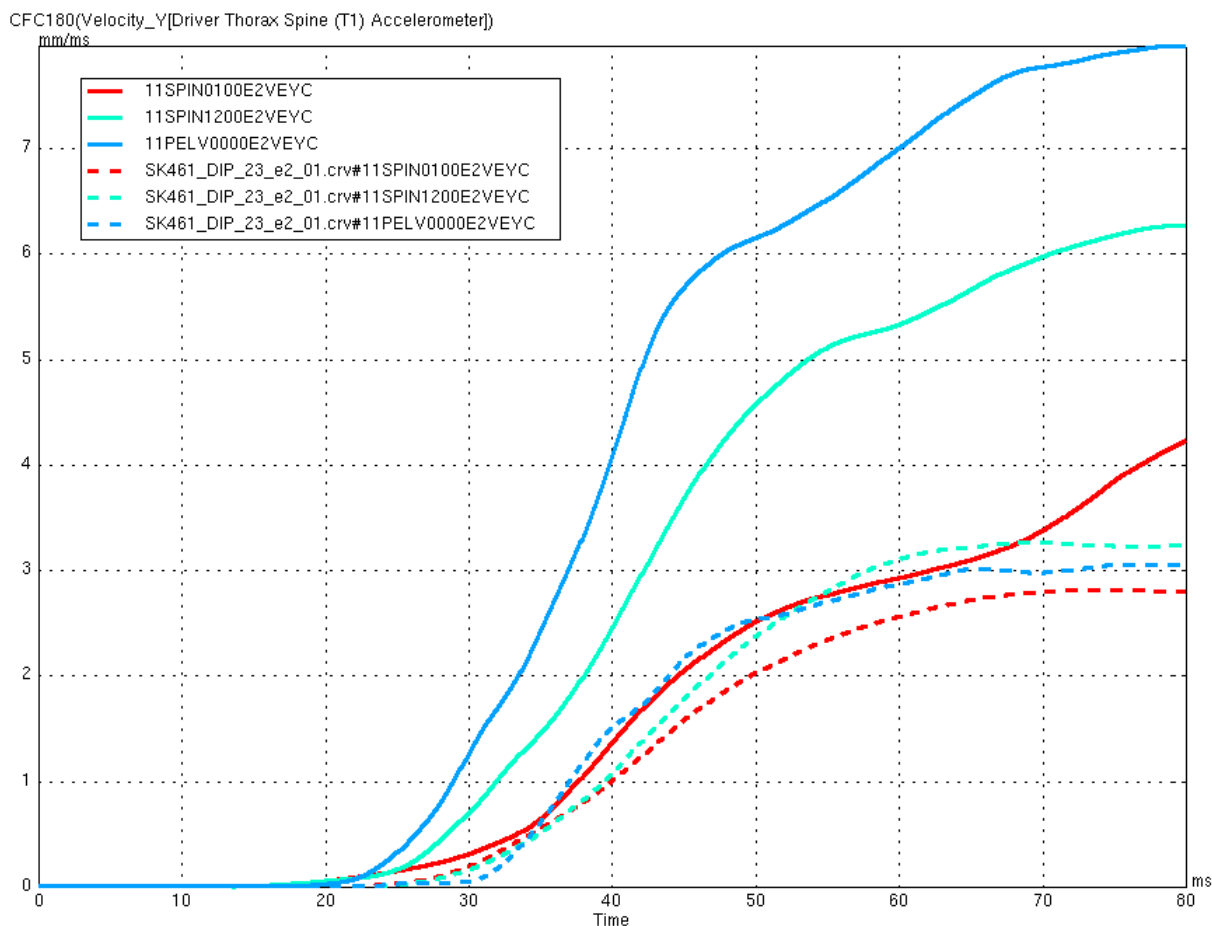
Obr. 97: Průběhy posuvů vzhledem k relativním souřadnicím



Obr. 98: Průběhy posuvů vzhledem ke globálním souřadnicím

### 7.6.2 Srovnání s kompletním modelem

Po změně průběhu zatěžování je třeba posoudit vzájemným srovnáním vliv této úpravy na průběhy zatížení. Docela výrazným způsobem se snížily samotné hodnoty rychlostí a to zejména v místech břicha a pánve. Průběh rychlosti ramene přibližně kopíruje tvarem situaci v kompletním modelu.



Obr. 99: Průběh rychlostí v hlavních oblastech modelu SK461\_DIP\_23

| Čas [ms] | Rychlost ve VM [mm/ms] | Rychlost ve ZM [mm/ms] | Odchylka [%] |
|----------|------------------------|------------------------|--------------|
| 30       | 1,2                    | 0,1                    | - 92         |
| 40       | 4                      | 1,5                    | - 62,5       |
| 50       | 6,2                    | 2,5                    | - 59,7       |
| 60       | 7                      | 2,9                    | - 58,6       |

Tab. 9: Porovnání hodnot rychlostí v oblasti pánve

| Čas [ms] | Rychlost ve VM [mm/ms] | Rychlost ve ZM [mm/ms] | Odchylka [%] |
|----------|------------------------|------------------------|--------------|
| 30       | 0,8                    | 0,1                    | - 87,5       |
| 40       | 2,5                    | 1                      | - 60         |
| 50       | 4,6                    | 2,3                    | - 50         |
| 60       | 5,3                    | 3,1                    | - 18,9       |

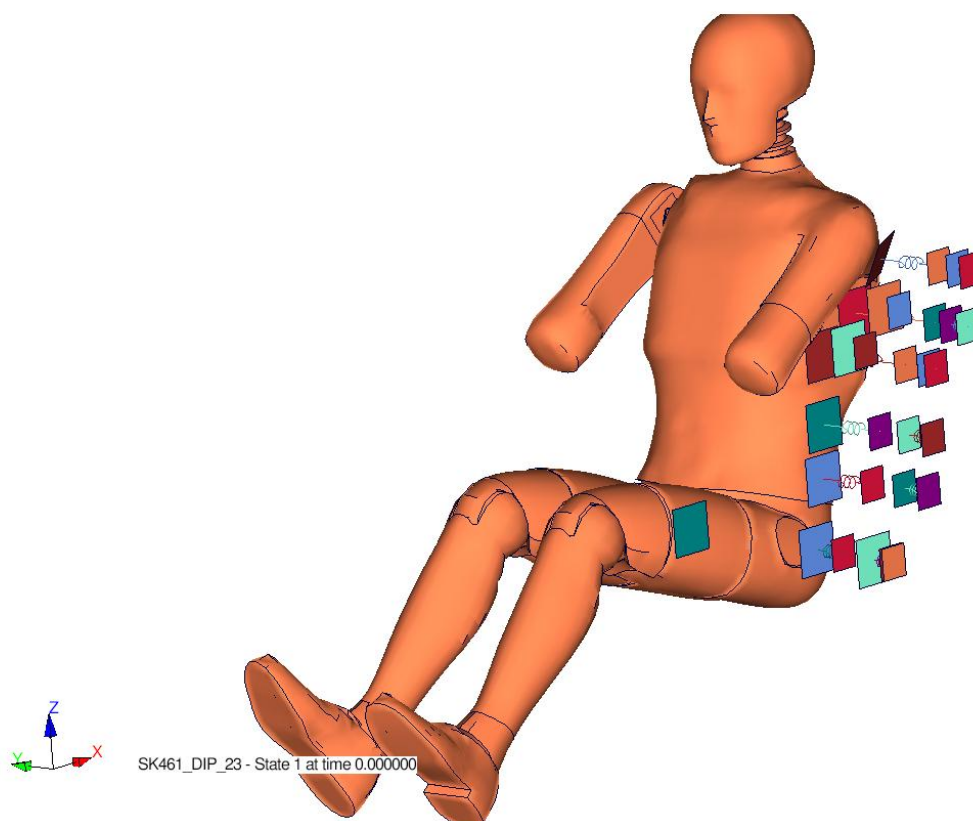
Tab. 10: Porovnání hodnot rychlostí v oblasti břicha

| Čas [ms] | Rychlost ve VM [mm/ms] | Rychlost ve ZM [mm/ms] | Odchylka [%] |
|----------|------------------------|------------------------|--------------|
| 30       | 0,25                   | 0,2                    | - 20         |
| 40       | 1,4                    | 1                      | - 28,6       |
| 50       | 2,5                    | 2                      | - 20         |
| 60       | 3                      | 2,7                    | - 10         |

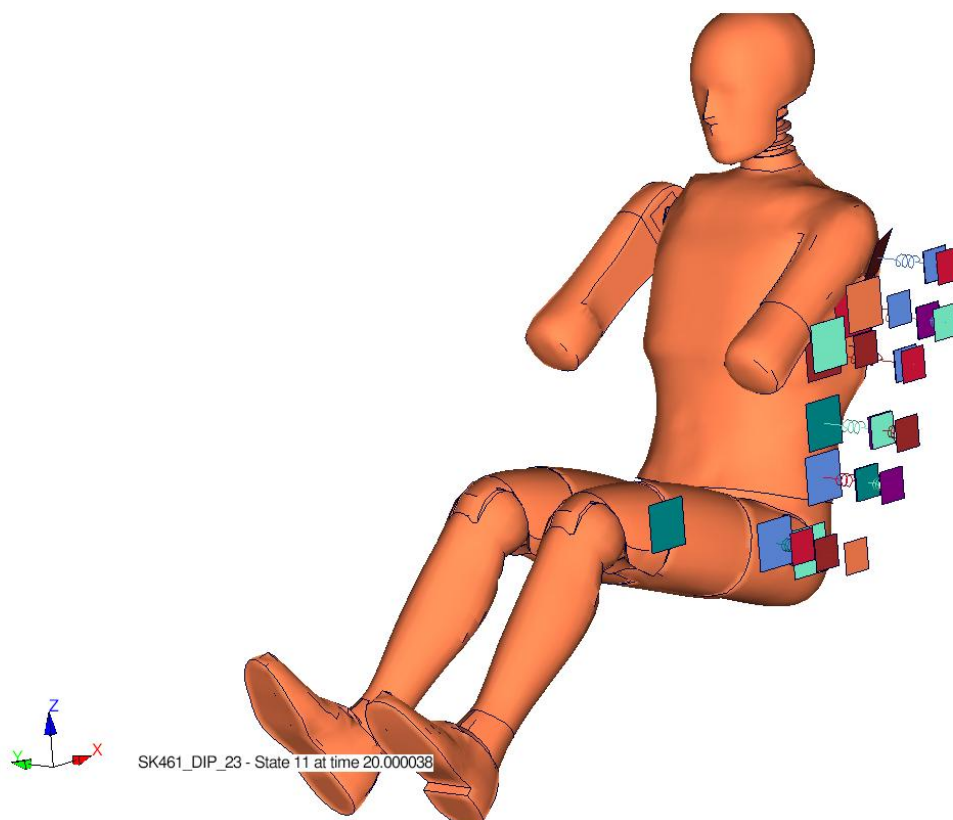
Tab. 11: Porovnání hodnot rychlostí v oblasti ramene

Tvar křivek rychlostí u této varianty více vystihuje situaci ve velkém modelu, než tomu tak bylo u verze SK461\_DIP\_23. Dalšími výpočty se však budu snažit hlavně přiblížit se samotnými hodnotami k vzoru. Ty mají totiž velké odchylky jak je patrné z tabulek výše.

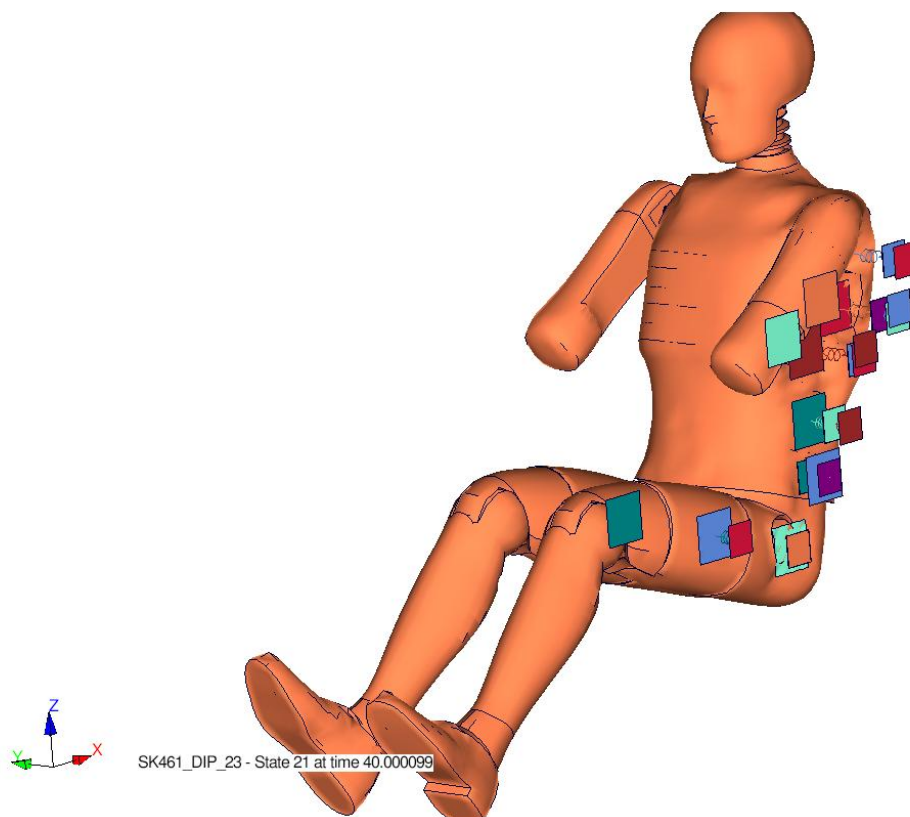
- Charakter pohybu figuríny pod zatížením u varianty SK461\_DIP\_23:



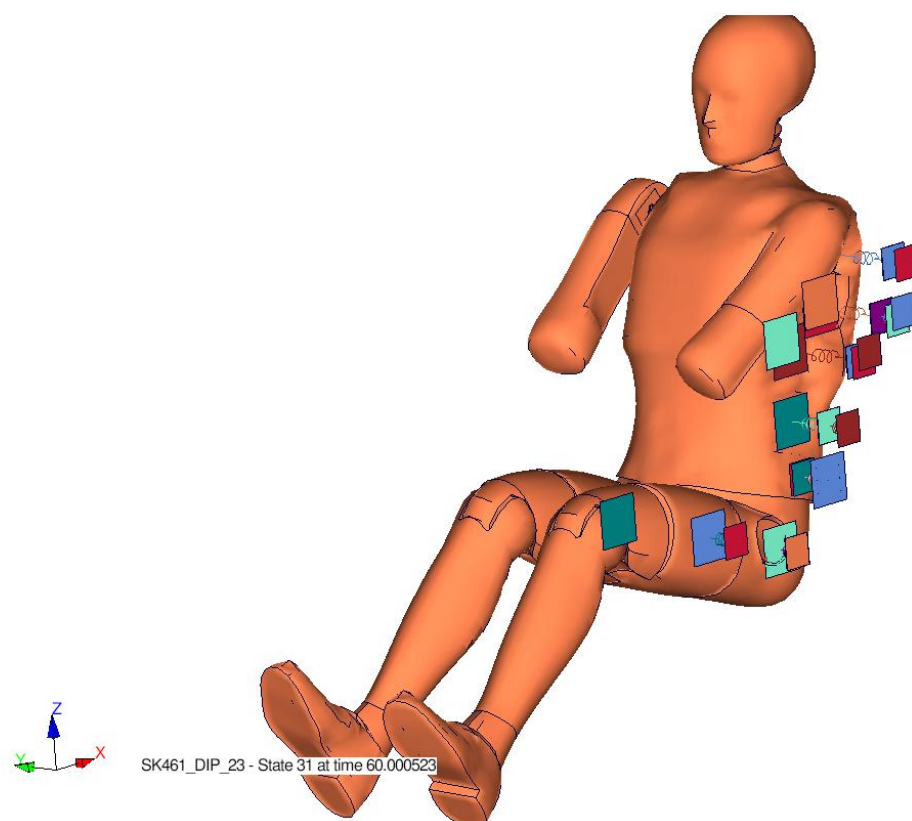
Obr. 100: SK461\_DIP\_23 - stav v čase 0 ms



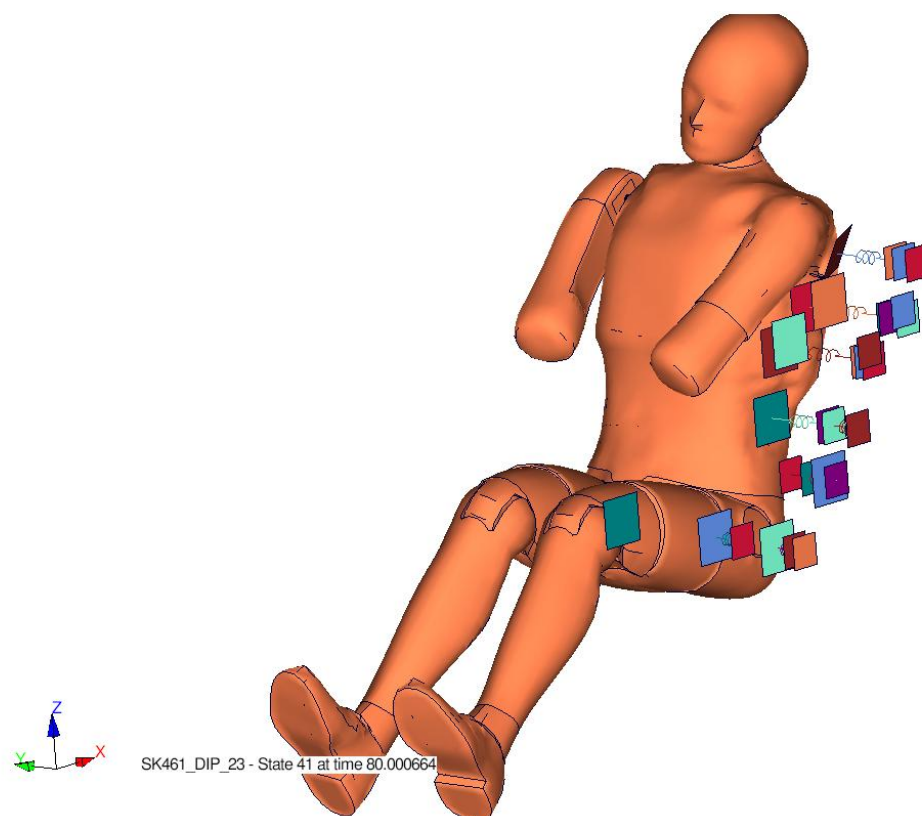
Obr. 101: SK461\_DIP\_23 - stav v čase 20 ms



Obr. 102: SK461\_DIP\_23 - stav v čase 40 ms

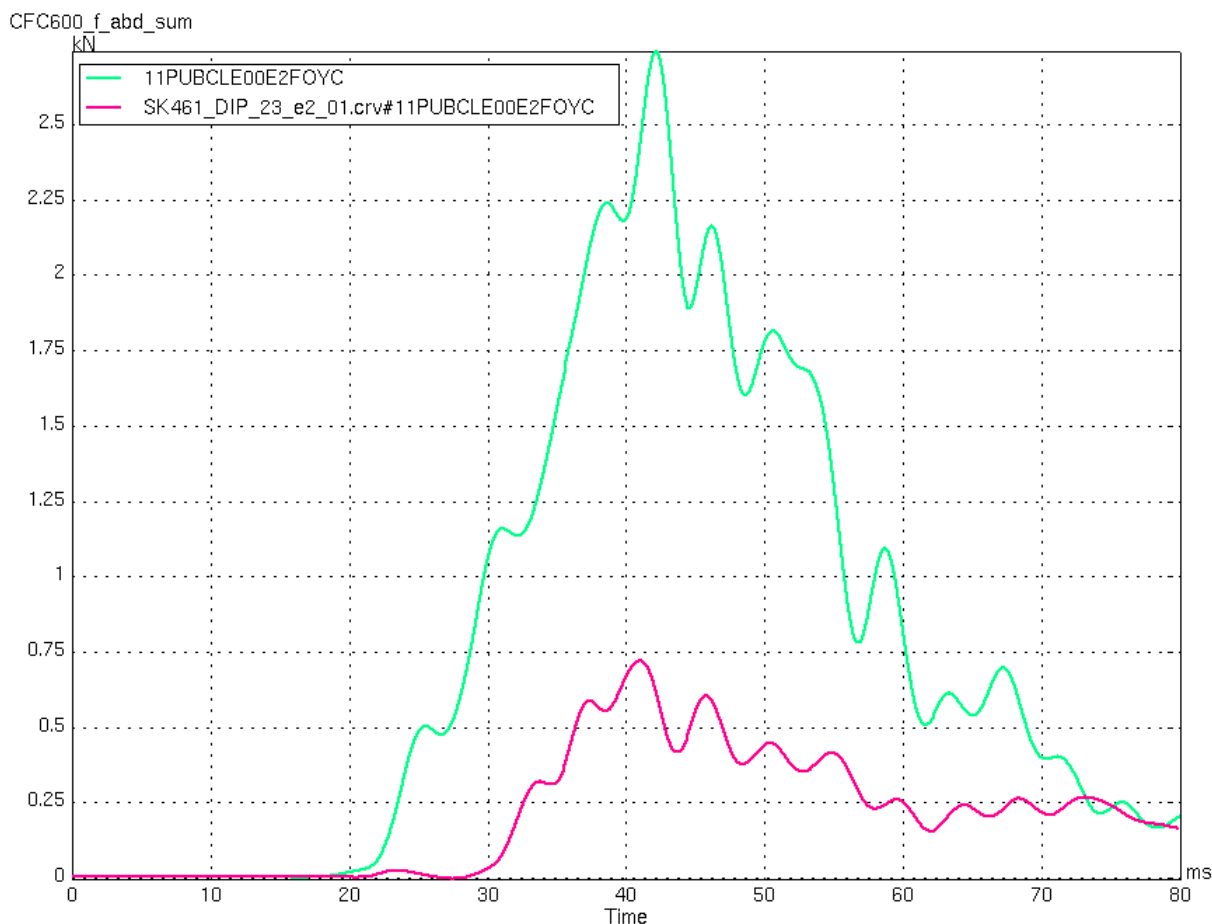


Obr. 103: SK461\_DIP\_23 - stav v čase 60 ms



Obr. 104: SK461\_DIP\_23 - stav v čase 80 ms

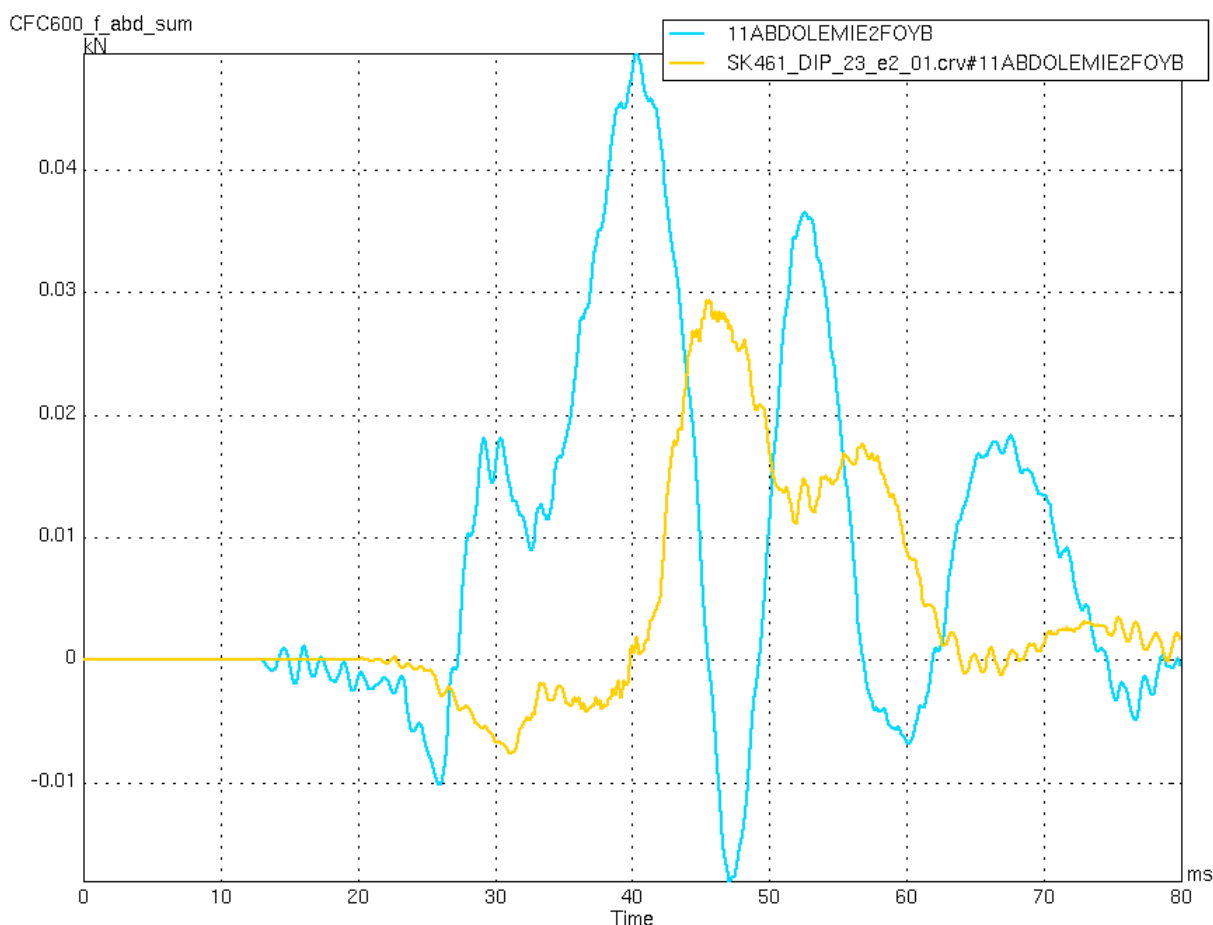
Na obrázcích uvedených výše vidíme způsob, jakým se figurína pohybuje pod zatížením. Je patrné, že změnou způsobu zjištění posuvu pro zadání deskám se zmenšilo samotné silové působení. Důkaz tohoto tvrzení získáme zobrazením průběhů sil na pánvi a břiše.



Obr. 105: Průběh síly v oblasti pánve

Pokud se podíváme na průběh síly v místě pánve, stejně jako u předchozí varianty, vidíme výrazný pokles ve velikosti hodnot zatížení. Maximum nabývá opět ve stejném čase, což je pozitivní výsledek. Nižší hodnoty průběhu jsou způsobeny právě nižšími rychlostmi v oblasti pánve. Kdyby ty odpovídaly, předpokládám, že by se shodoval i průběh síly.

Na obr. 106 je zase pro názornost uveden srovnání průběhu síly, působící na břicho. Viditelný je podobný trend, kdy maximální velikost je nižší u zjednodušeného modelu než v případě modelu kompletního. Křivky mají podobný počátek náběhu, kdy jdou nejprve do záporných hodnot a až poté začnou nabíhat do plusu. Rozdíl je však v časovém posunu, kdy křivka charakterizující situaci ve zjednodušeném modelu je zpožděna cca o 10 ms. Tento rozdíl dále přetrvává.



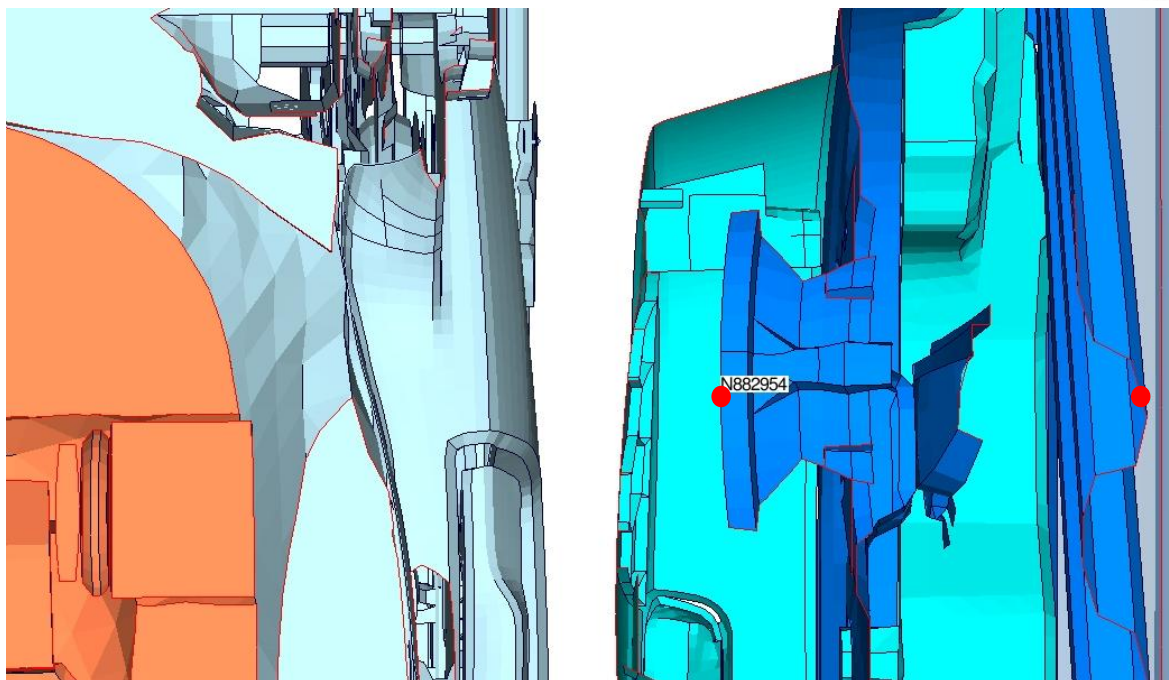
Obr. 106: Průběh síly v oblasti břicha

### 7.6.3 Zhodnocení varianty

Ověřením návrhu jiného způsobu zjištění odečtu průběhů posuvů se podařilo získat lepší průběhy hlavních rychlostí. Jejich hodnoty byly sice nižší (hlavně pro pánev a břicho), to by však mělo být možné odstranit postupným upravováním parametrů modelu (průběhy tuhostí náhrad airbagu a obložení, geometrie desek). A to zejména průběhu tuhostí náhrady airbagu a obložení. Popřípadě jejich vzájemným posuvem směrem k nebo od figuríny. To by mělo mít vliv na časování jednotlivých průběhů (v jakém okamžiku začnou působit).

## 7.7 Vývojové varianty SK461\_DIP\_23 až SK\_DIP\_31

Dále jsem se již pokoušel měnit průběhy hlavních rychlostí figuríny jen pomocí uvedených parametrů. Postupně jsem se blížil vzoru, avšak oblast pánve zůstávala pořád problematická. Nedařilo se v ní zvýšit hodnoty rychlosti na požadovanou úroveň jen za pomoci změn parametrů. Problém byl podle mě v tom, že jsem strukturu zjednodušil a posuv odečetl jen v jednom lokálním místě. V řezu strukturou je totiž velký rozdíl mezi posuvem vnitřní strany dveří a vnější. Speciálně pro tuto oblast jsem se rozhodl stanovit průběh posuvu jiným způsobem. Změřil jsem si průběh v bodě na vnitřní straně obložení a na vnější. Tyto dvě křivky jsem poté zprůměroval a zadal na inicializační desku pánve. Body pro určení posuvů jsou naznačeny na obr. 107.



Obr. 107: Naznačení bodů pro stanovení průběhu posuvu v oblasti pánve

Takto upravený model jsem vypočítal jako variantu SK461\_DIP\_31 a porovnal sledované průběhy rychlostí, popřípadě některých zvolených silových průběhů.

#### 7.7.1 Srovnání varianty SK461\_DIP\_31 s kompletním modelem

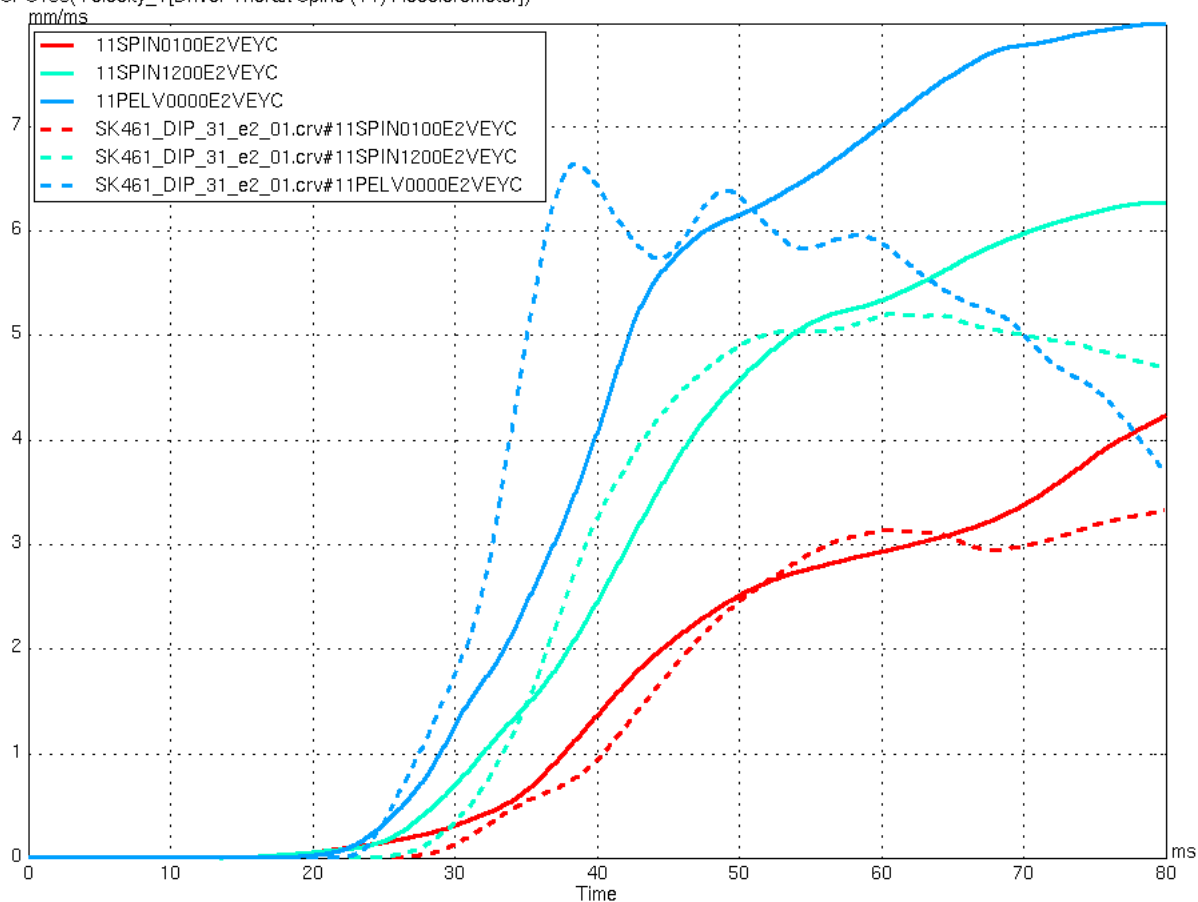
Oproti předchozím variantám došlo ke značnému přiblížení v průbězích hlavních rychlostí figuríny, jak je patrné na obr. 108.

Křivka rychlosti v místě ramene (červená barva) kopíruje vzor téměř až do 65. ms. To je však v pořádku, jelikož vlivem velkého zjednodušení při sestavování modelu je možné průběhy porovnávat maximálně do 60. ms.

Pokud se podíváme na rychlost v oblasti břicha (světle zelená barva), vidíme podobnost až do 60. ms. Hodnoty zjištěné ze zjednodušeného modelu jsou však lehce zpožděné a mají prudší náběh.

Závěrem průběh v místě pánve (modrá barva). Počátek náběhu křivky se dá považovat za dostatečně přesný, avšak její náběh je příliš prudký. Maximální hodnota nabíhá někdy kolem 38. ms. Pak ale dochází k zákmitům, které jsou způsobeny pravděpodobně chybou v modelu. Rychlý pokles hodnot také ukazuje na skutečnost, že je pánev nějakým způsobem brzděna. Abych mohl problém identifikovat, je třeba podívat se na způsob pohybu figuríny pod zatížením.

CFC180(Velocity\_Y[Driver Thorax Spine (T1) Accelerometer])



Obr. 108: Průběh rychlostí v hlavních oblastech modelu SK461\_DIP\_31

| Čas [ms] | Rychlost ve VM [mm/ms] | Rychlost ve ZM [mm/ms] | Odchylka [%] |
|----------|------------------------|------------------------|--------------|
| 30       | 1,2                    | 1,8                    | + 50         |
| 40       | 4                      | 6,3                    | + 57,5       |
| 50       | 6,2                    | 6,3                    | + 1,6        |
| 60       | 7                      | 6                      | + 14,3       |

Tab. 12: Porovnání hodnot rychlostí v oblasti pánve

| Čas [ms] | Rychlost ve VM [mm/ms] | Rychlost ve ZM [mm/ms] | Odchylka [%] |
|----------|------------------------|------------------------|--------------|
| 30       | 0,8                    | 0,4                    | - 50         |
| 40       | 2,5                    | 3,2                    | + 28         |
| 50       | 4,6                    | 4,9                    | + 6,5        |
| 60       | 5,3                    | 5,2                    | - 1,9        |

Tab. 13: Porovnání hodnot rychlostí v oblasti břicha

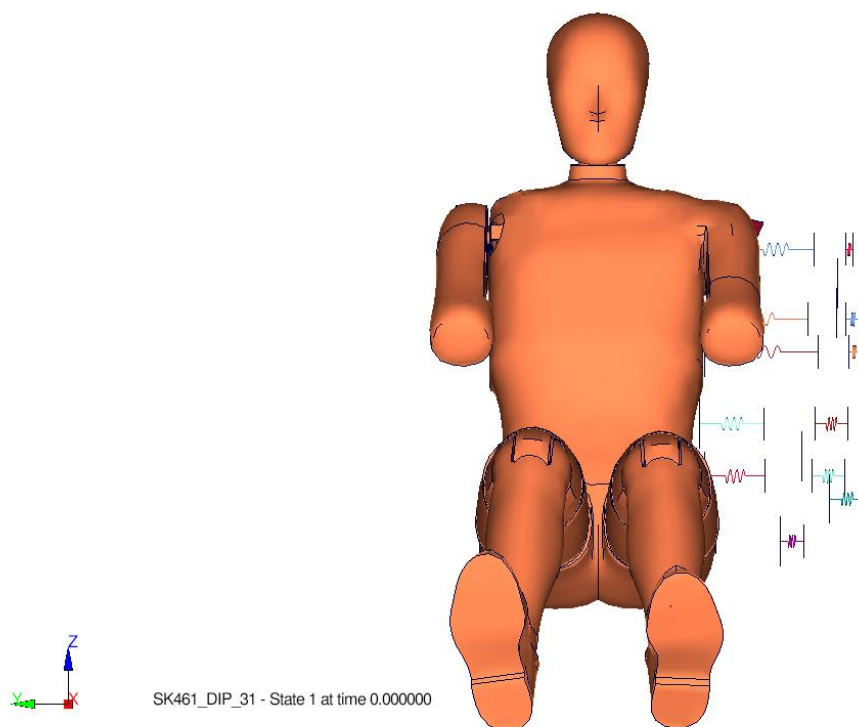
| Čas [ms] | Rychlost ve VM [mm/ms] | Rychlost ve ZM [mm/ms] | Odchylka [%] |
|----------|------------------------|------------------------|--------------|
| 30       | 0,25                   | 0,1                    | - 40         |
| 40       | 1,4                    | 1                      | - 28,6       |
| 50       | 2,5                    | 2,5                    | 0            |
| 60       | 3                      | 3,1                    | + 3,3        |

Tab. 14: Porovnání hodnot rychlostí v oblasti ramene

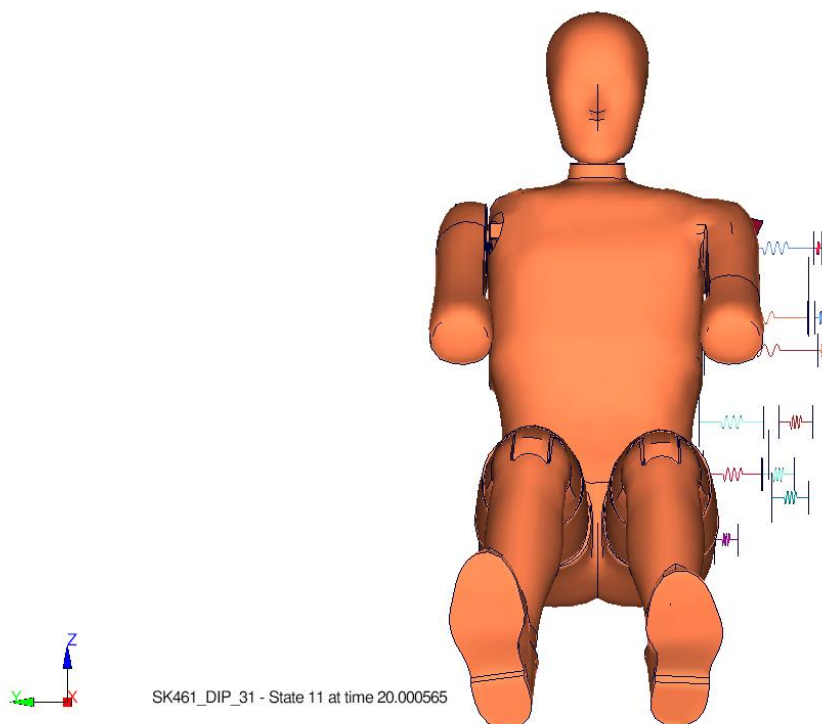
Co se týče procentuálních odchylek průběhu rychlosti pánve, jsou kromě 50. ms příliš velké (nad 20%). Břicho se blíží již od 40. ms pod odchylku 20%. Podobná situace panuje i v průběhu rychlosti ramene.

- Charakter pohybu figuríny pod zatížením u varianty SK461 DIP 31:

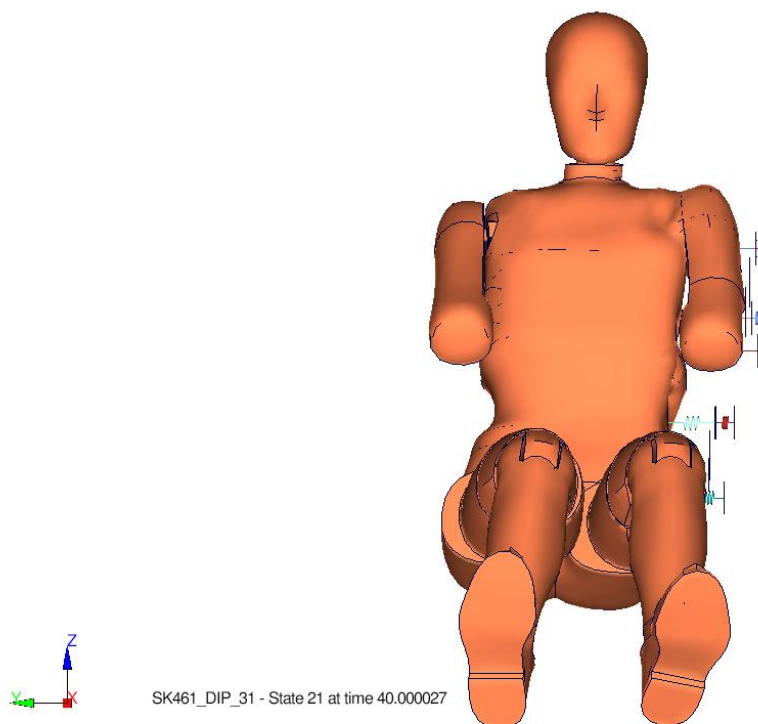
Na níže uvedených obrázcích je vidět pohyb figuríny vlivem působení desek. Lze docela jasně vypořádat problém v oblasti pánve, která se pohybuje podstatně rychleji než ostatní části těla, což způsobuje natáčení figuríny. To také popisuje průběh rychlosti pánve na obr. 108. Zkoumáním pohybu modelu je třeba najít příčinu kmitání průběhu rychlosti pánve.



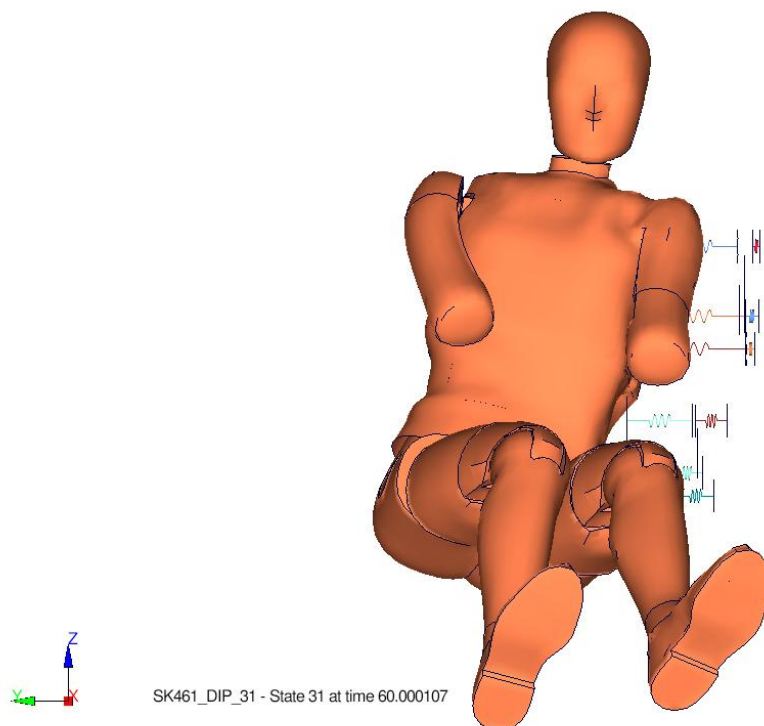
Obr. 109: SK461\_DIP\_31 - stav v čase 0 ms



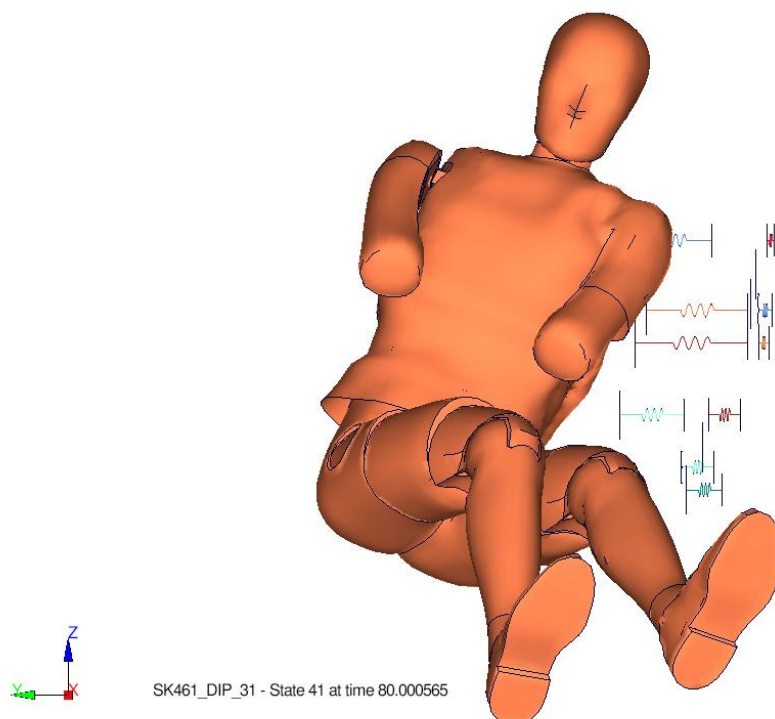
Obr. 110: SK461\_DIP\_31 - stav v čase 20 ms



Obr. 111: SK461\_DIP\_31 - stav v čase 40 ms

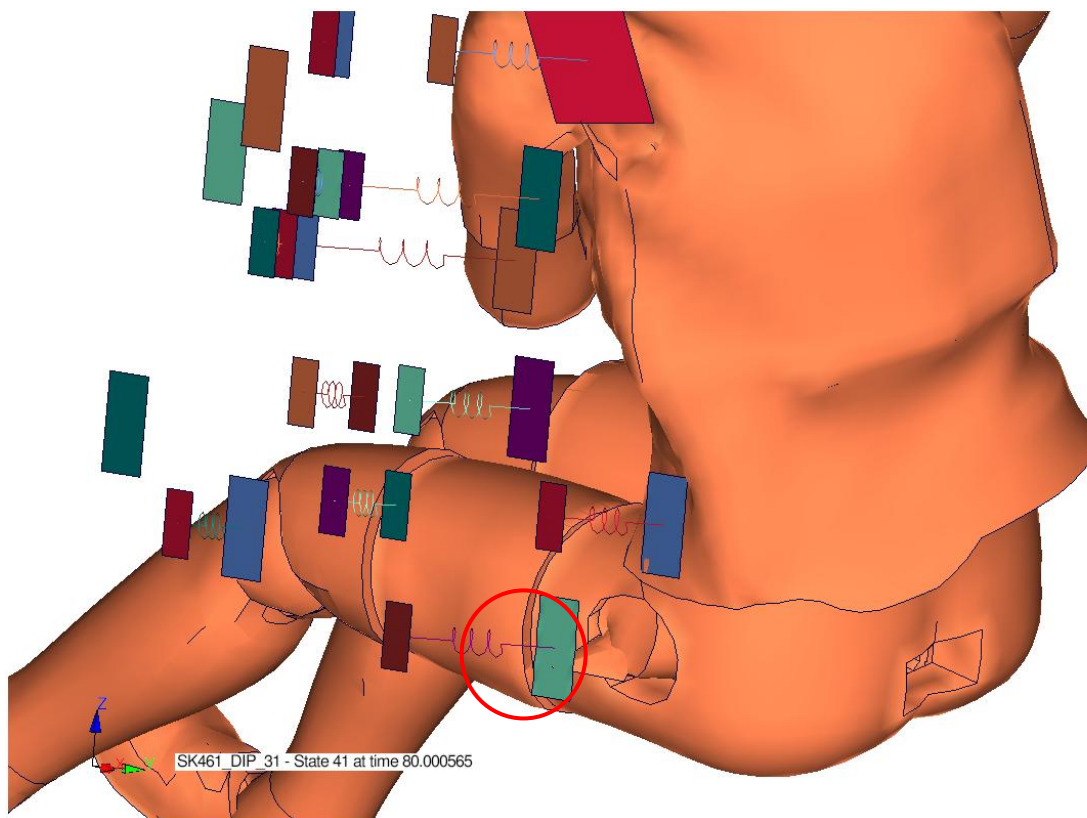


Obr. 112: SK461\_DIP\_31 - stav v čase 60 ms



Obr. 113: SK461\_DIP\_31 - stav v čase 80 ms

Posouzením pohybu figuríny jsem identifikoval problém v kontaktu mezi deskou a pánví. Jeho vizualizaci můžeme vidět na obr. 114. V průběhu výpočtu dochází k penetraci desky dovnitř figuríny. Když se zastaví pohyb působící desky, dojde k natažení pružného elementu a ten poté brzdí pánev. Kmitání rychlosti je způsobeno vlastností pružiny.

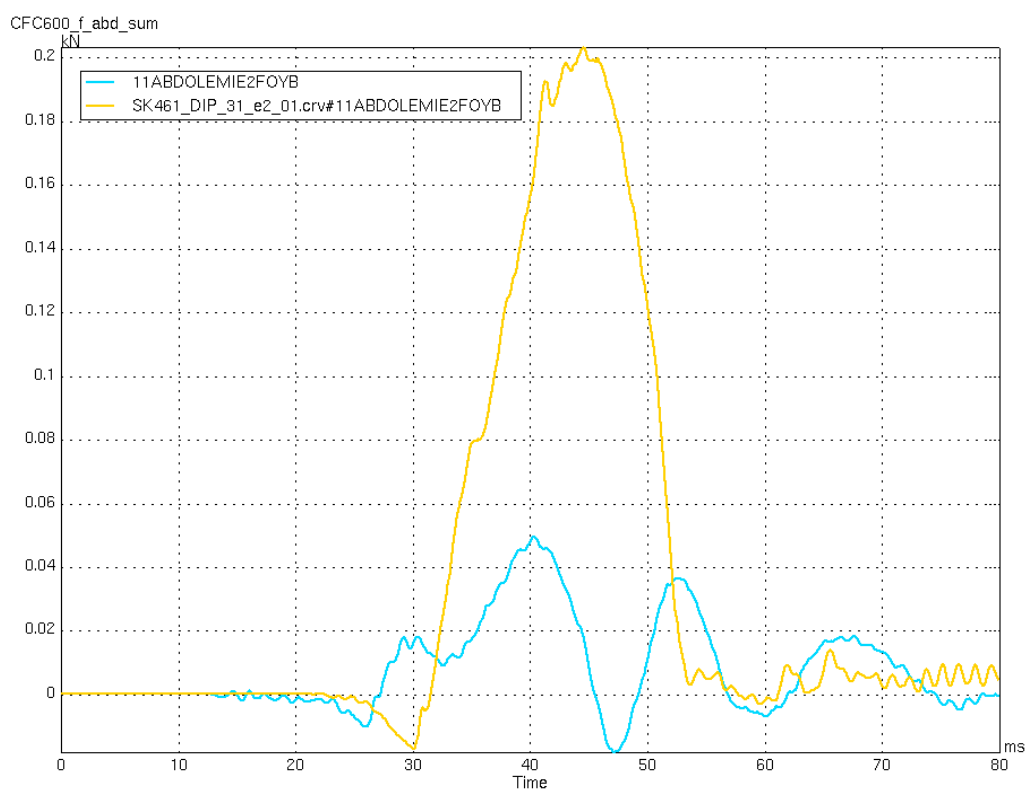


Obr. 114: SK461\_DIP\_31 - problém penetrace, stav v čase 80 ms

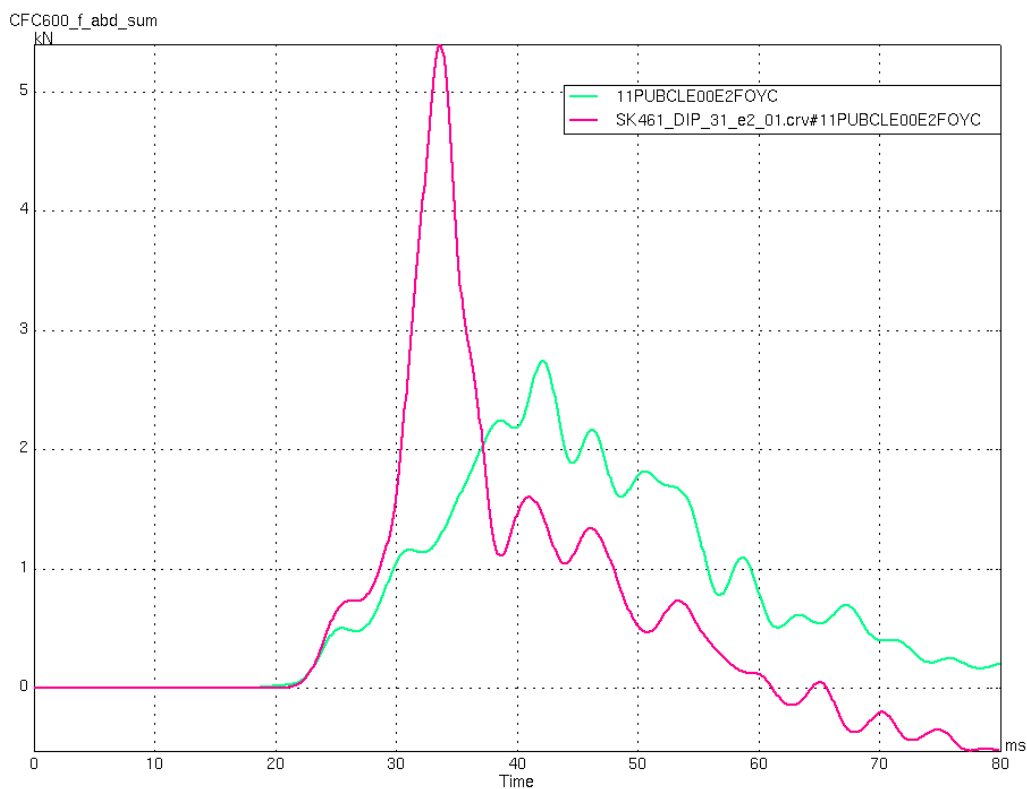
Jelikož se mi nedařilo penetraci úplně odstranit změnou geometrie desek a ani změnou tloušťky desky, rozhodl jsem se přidat do modelu ještě jednu desku. Ta se umístí hned za desku inicializační a zadání pohybu se přesune na ni. Takto již nebude figuríny brzděna a bude jí umožněn volný pohyb.

Na obr. 115 je uvedeno porovnání sil působících na břicho. Rozdíl v maximální hodnotě je příliš velký. Rovněž načasování náběhu křivek nesedí ideálně. Časy, kdy křivky dosahují maxima, se liší asi o 5 ms.

Obr. 116 uvádí průběh síly působící na pánev. V tomto případě je načasování počátku nabíhání křivek téměř totožné. Průběh v případě zjednodušeného modelu má však příliš velkou amplitudu, která je navíc posunuta o cca 10 ms dříve.



Obr. 115: Srovnání průběhu síly působící na břicho



Obr. 116: Srovnání průběhu síly působící na pánev

### 7.7.2 Zhodnocení variant

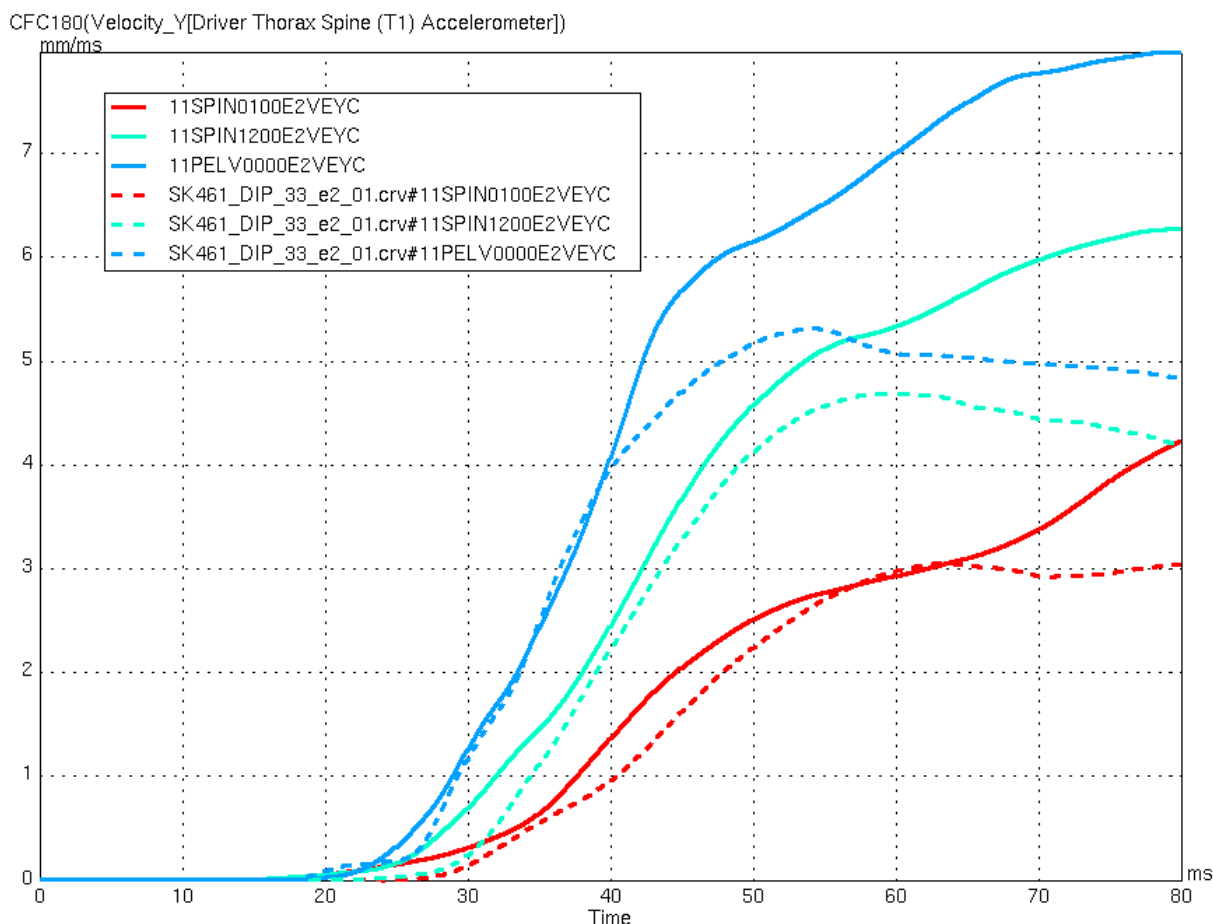
Postupně se mi dařilo získávat čím dál lepší shodu v průbězích hlavních rychlostí figuríny. Pomalu se situace zlepšovala i v případě problematické pánve. U té byla zjištěna chyba v podobě penetrace desky do figuríny. V další výpočetní variantě je již tento problém odstraněn.

## 7.8 Konečná vývojová varianta SK461\_DIP\_33

Poslední výpočetní verzi zjednodušeného modelu jsem se nejvíce přiblížil kompletnímu modelu, a to průběhem hlavních rychlostí figuríny i průběhem jednotlivých zatížení. Snažil jsem se eliminovat všechny možné chyby (kontrola jestli nedochází k dalším penetracím).

### 7.8.1 Srovnání varianty SK461\_DIP\_33 s kompletním modelem

Na obr. 117 je uvedeno srovnání všech hlavních průběhů rychlostí. U tohoto modelu se mi povedlo nejvíce se přiblížit vzorovým křivkám. Jsou zde ještě mírné odchylky, které by pravděpodobně bylo ještě možné zpřesnit. Průběh rychlosti pánve je nejpresnější ze všech variant, až do 40. ms naprosto kopíruje křivku rychlosti u kompletního modelu.



Obr. 117: Srovnání průběhů hlavních rychlostí figuríny



Podobně kopíruje svůj vzor i křivka rychlosti břicha, její hodnoty jsou však nepatrně nižší. K většímu rozdílu dochází přibližně od 50. ms. Průběh rychlosti ramene je také dosti podobný vzoru, kromě časového intervalu od 35. ms do 55. ms, kdy je zde menší rozdíl.

| Čas [ms] | Rychlost ve VM [mm/ms] | Rychlost ve ZM [mm/ms] | Odchylka [%] |
|----------|------------------------|------------------------|--------------|
| 30       | 1,2                    | 1,2                    | 0            |
| 40       | 4                      | 4                      | 0            |
| 50       | 6,2                    | 5,2                    | - 16,1       |
| 60       | 7                      | 5,1                    | - 27,1       |

Tab. 15: Porovnání hodnot rychlostí v oblasti pánve

| Čas [ms] | Rychlost ve VM [mm/ms] | Rychlost ve ZM [mm/ms] | Odchylka [%] |
|----------|------------------------|------------------------|--------------|
| 30       | 0,8                    | 0,3                    | - 62,5       |
| 40       | 2,5                    | 2,4                    | - 4          |
| 50       | 4,6                    | 4,1                    | - 10,9       |
| 60       | 5,3                    | 4,7                    | - 11,3       |

Tab. 16: Porovnání hodnot rychlostí v oblasti břicha

| Čas [ms] | Rychlost ve VM [mm/ms] | Rychlost ve ZM [mm/ms] | Odchylka [%] |
|----------|------------------------|------------------------|--------------|
| 30       | 0,25                   | 0,15                   | - 40         |
| 40       | 1,4                    | 1                      | - 28,6       |
| 50       | 2,5                    | 2,2                    | - 12         |
| 60       | 3                      | 3,1                    | + 3,3        |

Tab. 17: Porovnání hodnot rychlostí v oblasti ramene

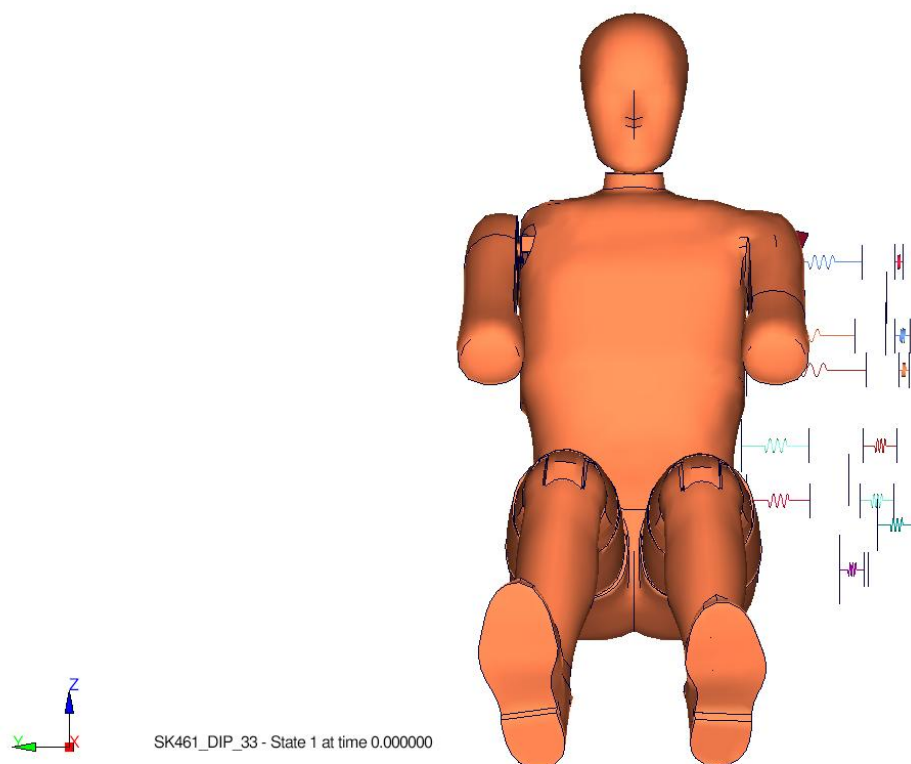
Při porovnání hodnot odchylek je také vidět největší podobnost s kompletním modelem. U průběhu rychlosti pánve je výraznější odchylka jen v čase 60. ms. Na oblast pánve by bylo vhodné působit o chvíli déle, tak aby ke stagnaci hodnot rychlosti došlo až někdy u 50. ms.

Co se týče průběhu rychlosti břicha, tak ta výrazněji nesedí v čase 30. ms. Nesedí zde úplně přesně počátek náběhu křivky. Ke zlepšení by došlo, kdyby desky na břicho začali působit o chvíli dříve.

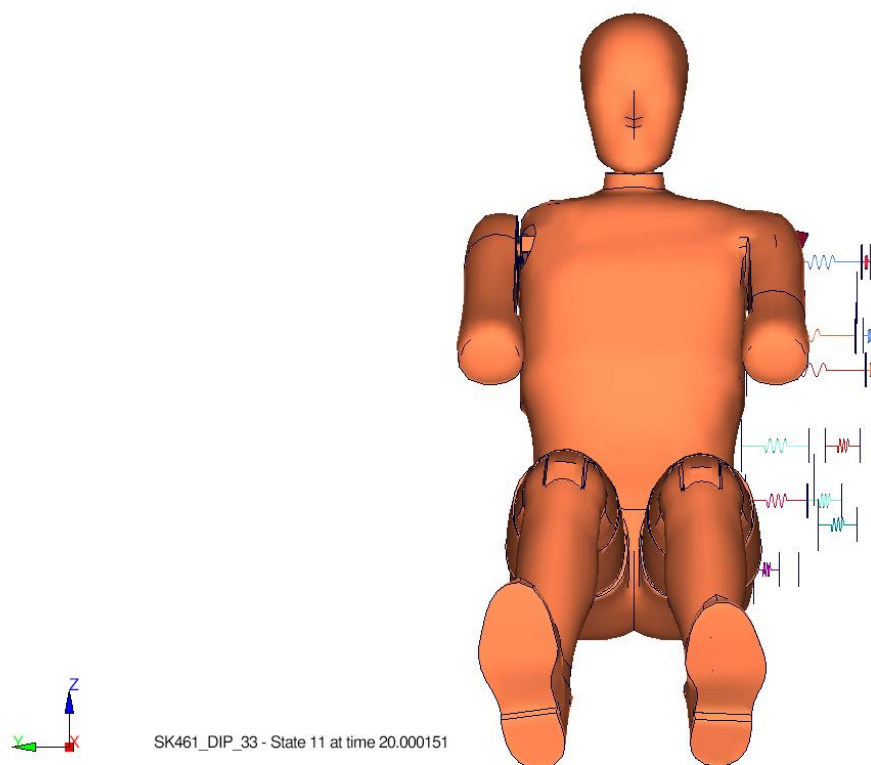
Podobná situace panuje v rozdílu průběhů rychlostí ramene. Úplně dokonale nesedí počátek působení a potom také již zmiňovaná oblast od 35. ms do 55 ms.

Vzhledem k prováděným zjednodušením při tvorbě modelu jde však o poměrně malé rozdíly. Když tedy kinematika pohybu figuríny přibližně odpovídá té v kompletním modelu, je vhodné porovnat další průběhy. Hlavně ty, které jsou rozhodující pro bodové hodnocení podle Euro NCAP.

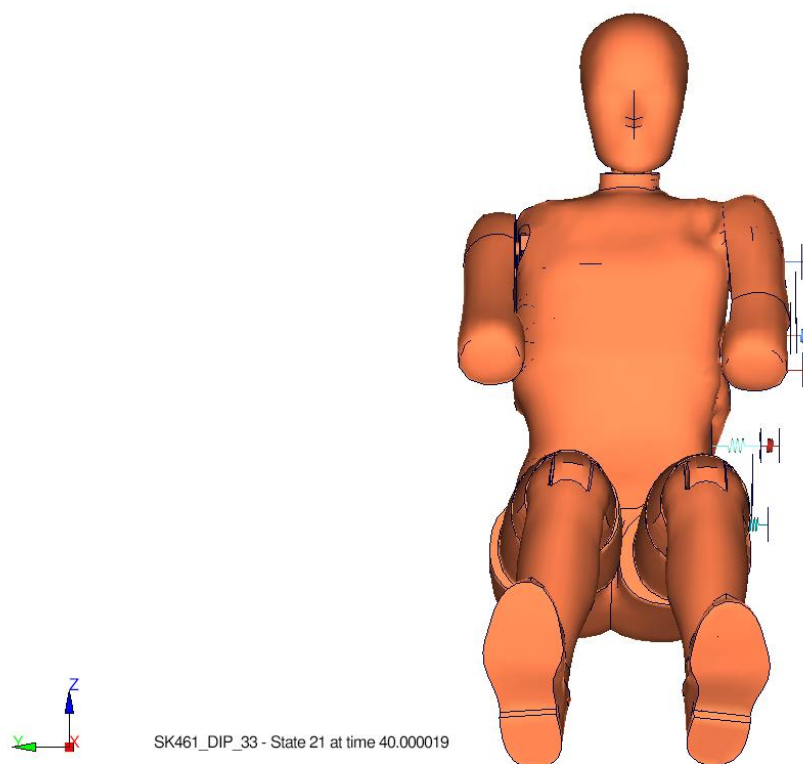
- Charakter pohybu figuríny pod zatížením u modelu SK461\_DIP\_33:



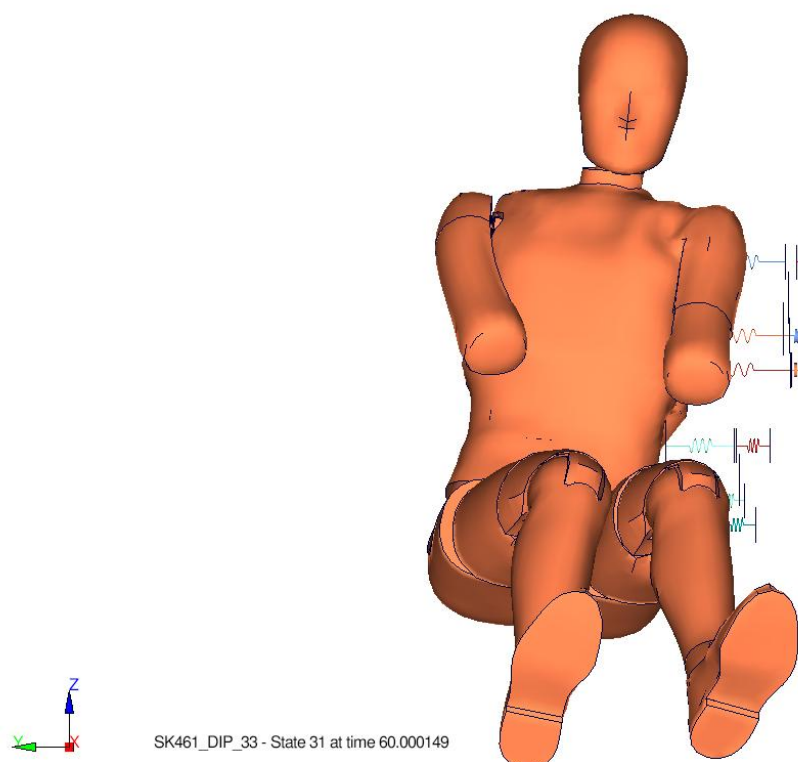
Obr. 118: SK461\_DIP\_31 - stav v čase 0 ms



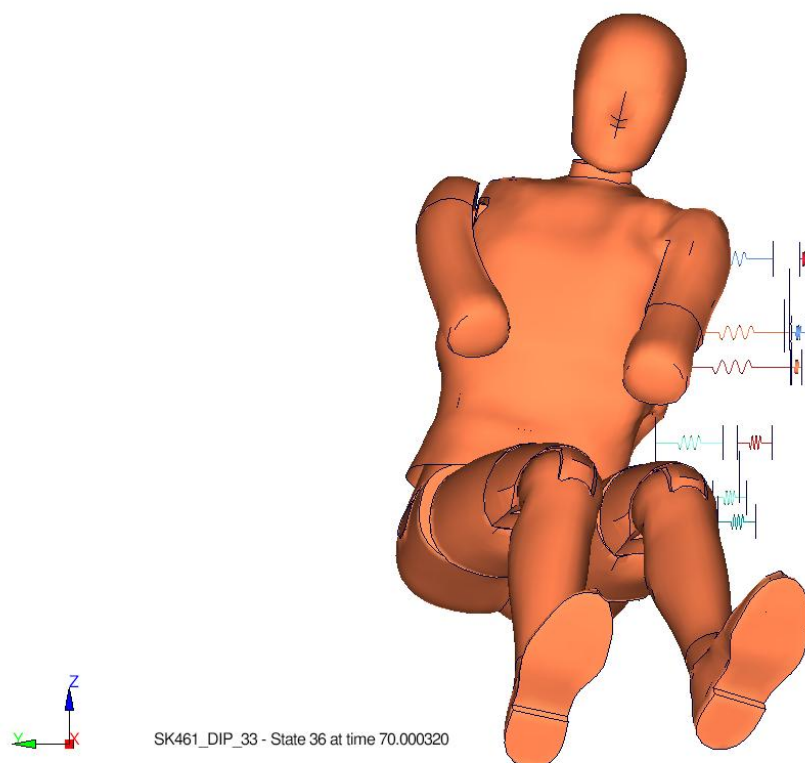
Obr. 119: SK461\_DIP\_31 - stav v čase 20 ms



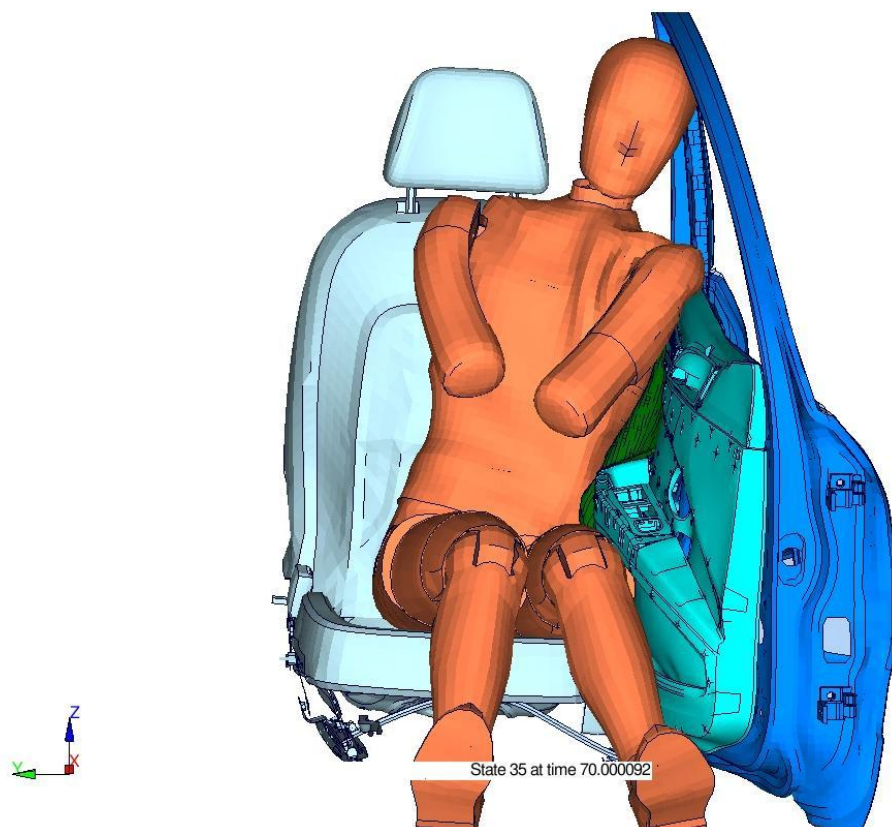
Obr. 120: SK461\_DIP\_31 - stav v čase 40 ms



Obr. 121: SK461\_DIP\_31 - stav v čase 60 ms



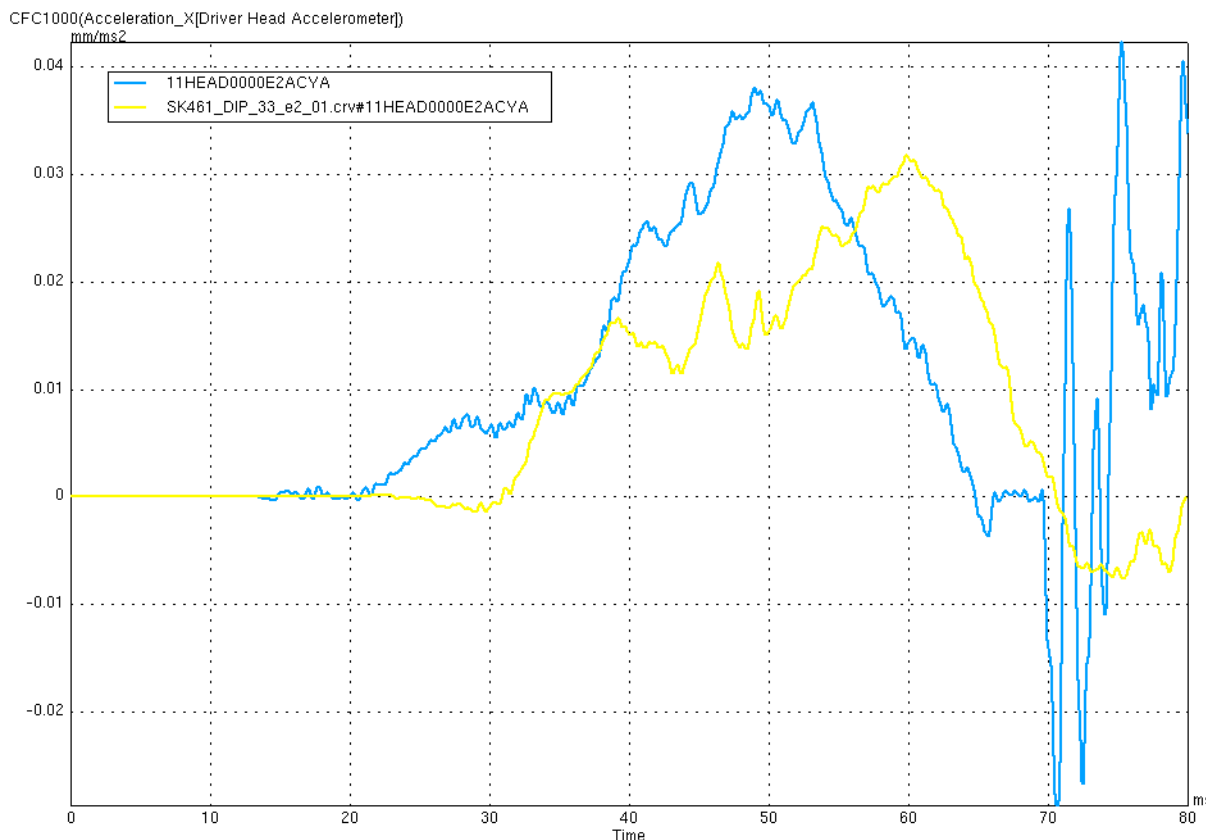
Obr. 122: SK461\_DIP\_31 - stav v čase 70 ms



Obr. 123: SK461\_SSS\_41 - stav v čase 70 ms

Na obrázcích uvedených výše jsem chtěl ukázat, jak podobně se figurína pohybuje ve srovnání s kompletním modelem. Jsou zde patrné jisté rozdíly, avšak vzhledem k míře zjednodušení je podobnost akceptovatelná.

- Porovnání průběhu zrychlení hlavy:



Obr. 124: SK461\_SSS\_41 - stav v čase 70 ms

Oblast hlavy je vzhledem k způsobu zatěžování figuríny jen přes její torso těžce vystižitelná. Přesto pokud se podíváme na hodnotu maximálního zrychlení tak se liší přibližně o 0,008 mm/ms². Celý průběh křivky v případě zjednodušeného modelu je však časově posunut, a to o cca 10 ms.

- Porovnání průběhu síly na zádové desce:

Při tomto srovnání je patrné, že křivka u zjednodušeného modelu má dřívější počátek náběhu, poté však přibližně kopíruje charakteristiku z kompletního modelu. V 35. ms ale dojde ke zlomu a průběh začne klesat až do záporných hodnot. K náběhu peaků dochází skoro ve stejnou dobu, v případě zjednodušeného modelu ale v záporných hodnotách. Od nějaké 55. ms už jsou opět křivky téměř shodné.



Obr. 125: Srovnání průběhů sil působících na zádovou desku

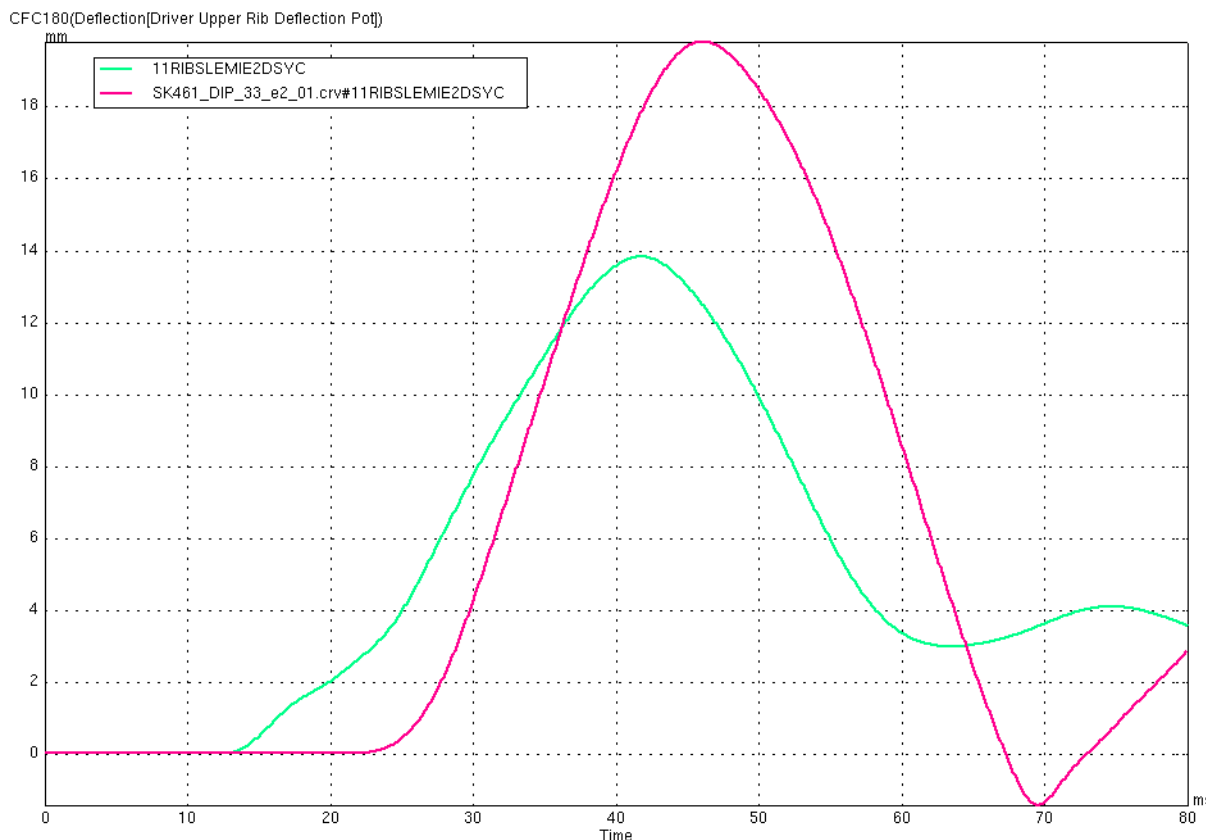
- Porovnání průběhu momentu působícího na zádovou desku:



Obr. 126: Srovnání průběhů momentů působících na zádovou desku

Charakteristika průběhu momentů přibližně odpovídá do cca 32. ms, pak však dochází k velké odchylce. Stejně jako v případě síly na zádové desce, ani zde nelze hovořit o dostatečném přiblížení.

- Porovnání průběhu deformace žeber:

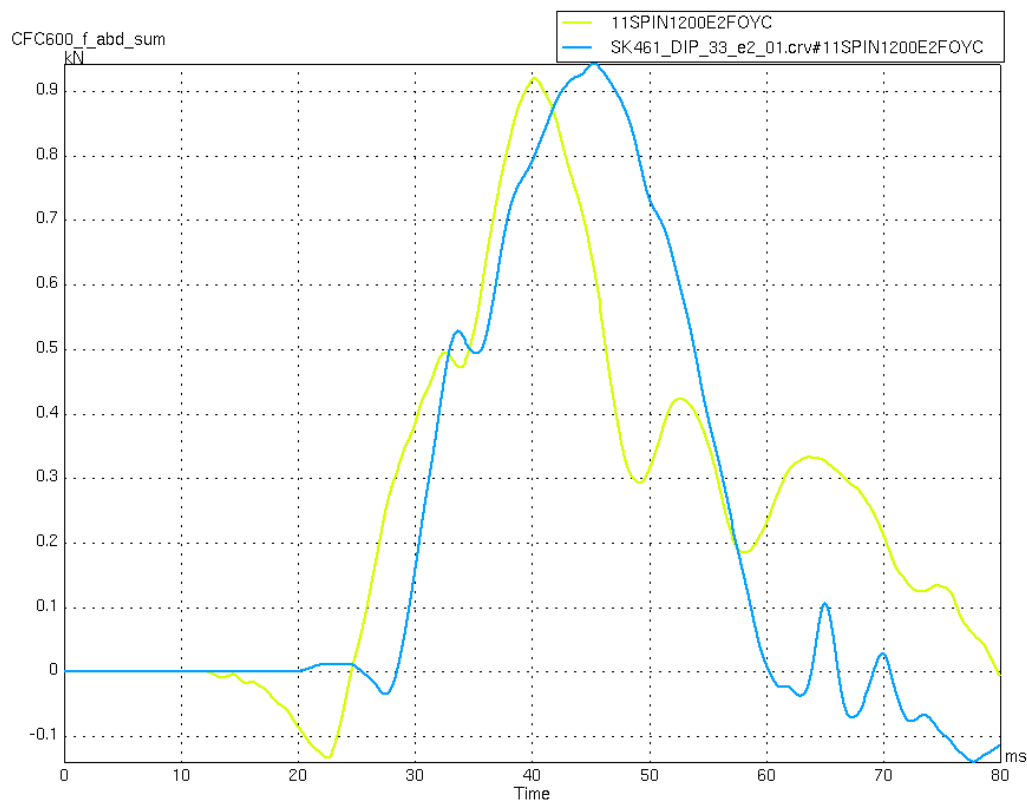


Obr. 127: Srovnání průběhů deformace prostředního žebra

Dochází k pozdnímu počátku stlačování žeber. Maximální hodnota tohoto stlačení je také větší než v případě kompletního modelu. Pokud by se podařilo stlačit žebra dříve, je možné, že maximum by částečně kleslo. Tvar křivek je ale poměrně shodný.

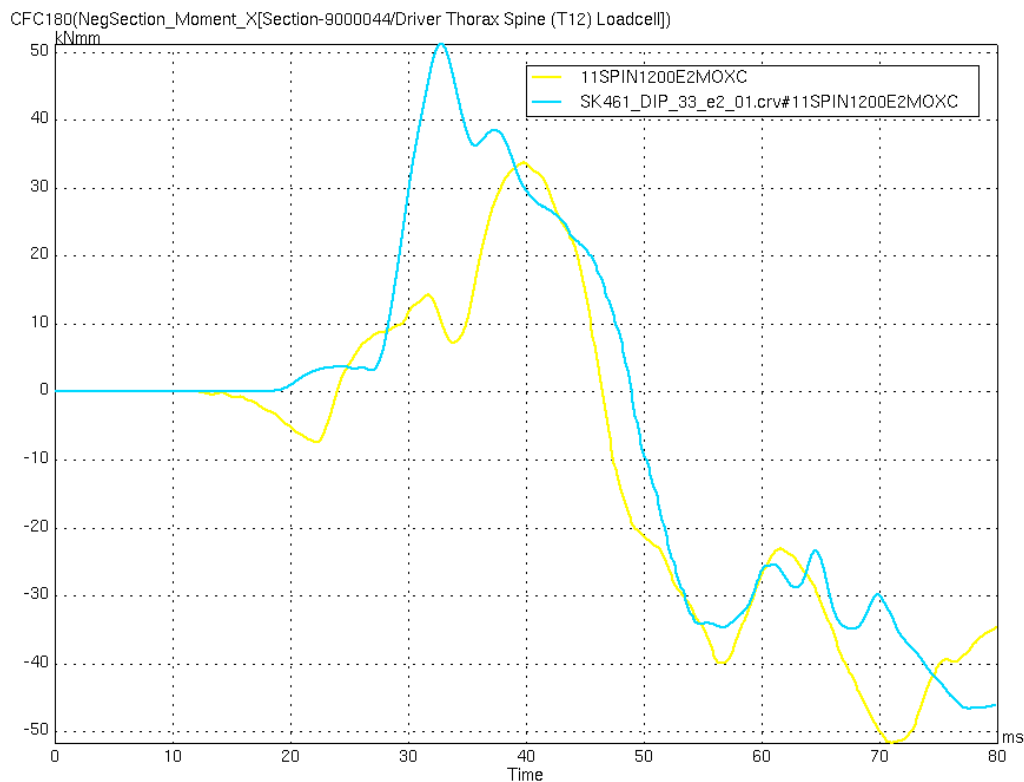
- Porovnání průběhu síly působící na páteř:

Až na mírné zpoždění v jejím náběhu je síla v případě zjednodušeného modelu velmi podobná. Hodnotu maxima lze považovat za totožnou, mírně se liší jen čas, kdy ji křivky dosahují. Rozdíl je zde asi jen 5 ms. Na rozdíl od předchozích srovnání jde o velké přiblížení k situaci v kompletním modelu.



Obr. 128: Srovnání průběhů sil působících na páteř

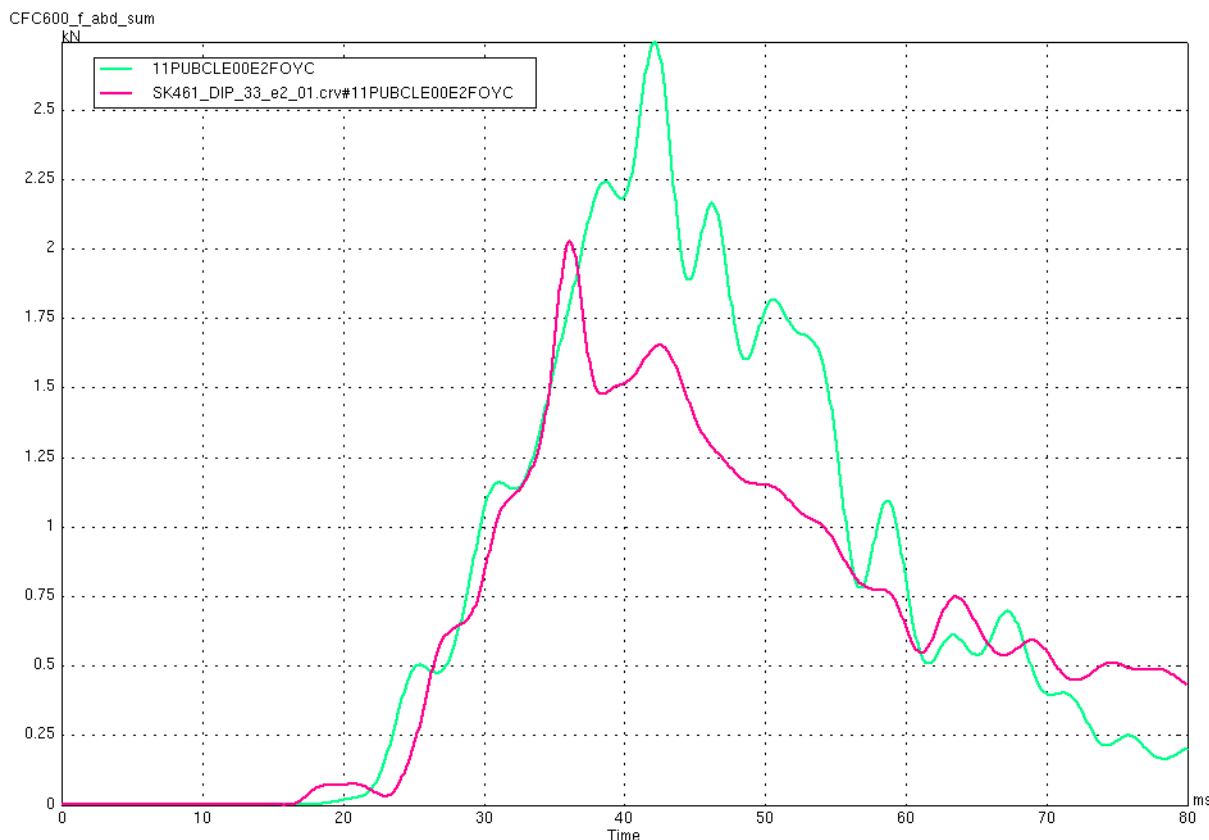
- Porovnání průběhu momentů působících na páteř:



Obr. 129: Srovnání průběhů momentů působících na páteř

Průběhy vykazují podobný charakter, avšak maximální hodnota se liší přibližně o 20 kN/mm. Okamžiky, ve kterých křivky nabývají svých maxim, jsou od sebe vzdáleny 8 ms.

- Porovnání průběhů sil působících na pánev:



Obr. 130: Srovnání průběhů sil působících na pánev

Až do času 36 ms jsou křivky velmi podobné. Poté však síla působící na pánev začne předčasně klesat. To má analogii v průběhu rychlosti pánve, který také klesá přibližně o 10 ms dříve. Kdyby zatížení na pánev působilo delší dobu, je pravděpodobné, že by se přiblížily i hodnoty maxim.

### 7.8.2 Zhodnocení varianty

Co se týče kinematiky a průběhů hlavních rychlostí přiblížil se zjednodušený model poměrně dobře kompletnímu modelu, i když v určitých místech je ještě prostor pro možné zlepšení dalšími úpravami parametrů (dřívější působení síly na břicho, ...). Při porovnání průběhů jednotlivých zatížení však dochází k poměrně velkým rozdílům. Nejméně odpovídá zatížení působící na zádovou desku. Této oblasti by bylo potřeba ještě věnovat pozornost. Jiné oblasti však naznačují slibné výsledky (síla na páteř). Z toho usuzuji, že dalšími úpravami by se podařilo získat ještě přesnější zjednodušení boční struktury. To pak již bylo možné použít pro optimalizaci zatížení na figuríně.



## 8 Závěr

V této diplomové práci jsem zpracoval problematiku „zjednodušeného modelu boční struktury“. Bylo nutné posoudit možnosti, jak nahradit složitou strukturu tak, aby se zachoval charakter zatížení působící na figurínu. Byly navrženy tři možné postupy a zhodnoceny jejich vlastnosti (pracnost, možnost reprezentace výsledků, očekávaná přesnost). Na základě těchto úvah jsem se poté rozhodl pro jednu z možností a vypracoval zjednodušený parametrický model boční struktury. K tomu jsem použil následující software:

- Ansa v13 - tvorba a příprava modelu
- PamCrash v2005 - výpočet modelu
- Animator a4 - grafické vyhodnocení modelu
- PamView - vyhodnocení křivek

Při sestavování modelu jsem postupoval metodou „návrh - vyhodnocení výsledků - nový návrh“, kdy jsem v krocích posuzoval vliv parametrů na jednotlivé zatížení figuríny. Ty se mi postupně dařilo přibližovat situaci v kompletním modelu i přes velkou obtížnost danou velkým zjednodušením a zanedbáním vlivů.

V poslední provedené verzi se mi podařilo přiblížit se kompletnímu modelu, co se týče kinematiky (průběh rychlostí v místech figuríny - obr. 117, str. 103). Výsledky srovnání průběhů jednotlivých zatížení (síla působící na břicho, stlačení žeber) jsou však rozporuplné. V případě zadové desky došlo k minimálnímu přiblížení (obr. 125 a 126, str. 109), na druhou stranu průběh síly působící na páteř je téměř identický (obr. 130, str. 112).

K optimalizaci parametrů zatížení figuríny pomocí zjednodušeného parametrického modelu ještě tato varianta není vhodná. Metoda náhrady boční struktury je však perspektivní a při hlubším zkoumání je možné dosáhnout ještě lepších výsledků při srovnání s kompletním modelem.

Nabízí se více způsobů jak v řešené problematice dále pokračovat, například další úpravou parametrů modelu, kdy se však již budou sledovat přímo průběhy jednotlivých zatížení v oblastech. Jiný způsob by zahrnoval snahu model co nejvíce zpřesnit, jelikož jsem při tvorbě hodně vlivů zjednodušil nebo zanedbal. Například zpřesnit způsob odměření posuvů zadávaných impaktorům.

Za zmínku stojí i další dva navrhované způsoby vytvoření zjednodušeného parametrického modelu. Je možné, že v jejich případě se dosáhne lepších výsledků, než u mnou zvolené varianty. To však nelze odhadnout, bylo by třeba tyto návrhy realizovat.



## Seznam použité literatury

- [1] Decker, Decker, Dito & Internicola. *Type sof car incidents* [online], [cit.2009-03-02]  
Dostupné z: < [www.dddilaw.com/library](http://www.dddilaw.com/library)>
- [2] Přednášky k předmětu Motorová Vozidla  
Dostupné z: <[www.iae.fme.vutbr.cz](http://www.iae.fme.vutbr.cz)>
- [3] LAMÍK, O. *Audi A4 - vše v předu nově* [online], [cit.2009-21-03]  
Dostupné z: <[www.auto.cz](http://www.auto.cz)>
- [4] BMW group. *global* [online], [cit.2009-22-03]  
Dostupné z: <[www.bmw.com](http://www.bmw.com)>
- [5] Wikipedia. *Side airbag* [online], [cit. 2009-15-02]  
Dostupné z: <[www.wikipedia.org/wiki/File:Seitenairbag\\_Porsche.jpg](http://www.wikipedia.org/wiki/File:Seitenairbag_Porsche.jpg)>
- [6] MELLO, T. *Who benefits from Side and Head airbags?* [online], [cit.2009-14-03]  
Dostupné z: <[www.edmunds.com](http://www.edmunds.com)>
- [7] SCHWARTZAPFEL, S. *Ford brings airbags to back seats* [online], [cit.2009-05-04]  
Dostupné z: <[www.wired.com](http://www.wired.com)>
- [8] Ford group. *Smart seats can predict a hit* [online], [cit.2009-08-02]  
Dostupné z: <[www.foursprung.com/2006\\_12\\_01\\_archive.html](http://www.foursprung.com/2006_12_01_archive.html)>
- [9] Euro NCAP Online Documentation. [online], [cit.2009-20-04]  
Dostupné z: <[www.Euro NCAP.com](http://www.Euro NCAP.com)>
- [10] Sandyblogs.com. *SRX Real safety belt reminder functionality* [online], [cit-2009-13-03]  
Dostupné z: <[www.sandyblogs.com/techlink](http://www.sandyblogs.com/techlink)>
- [11] Citroen. *global* [online], [cit.2009-20-03]  
Dostupné z: <[www.citroen.cz](http://www.citroen.cz)>
- [12] Caradvice.org. [online], [cit.2009-07-02]  
Dostupné z: <[www.caradvice.org](http://www.caradvice.org)>
- [13] European Enhanced Vehicle-Safety Committee. [online], [cit.2009-13-04]  
Dostupné z: <[www.eevc.org](http://www.eevc.org)>
- [14] Beta Cae Systems. [online], [cit.2009-23-03]  
Dostupné z: <[www.beta-cae.gr](http://www.beta-cae.gr)>
- [15] Škoda Auto a.s. [online], [cit.2009-12-04]  
Dostupné z: <[www.skoda-auto.cz](http://www.skoda-auto.cz)>



- [16] PAM-CRASH/SAFE 2005. Solver reference manual. ESI-Group, Paris, France, 2005.
- [17] PAM-CRASH/SAFE 2005. Solver notes. ESI-Group, Paris, France, 2005.
- [18] JANÍČEK, P., ONDRÁČEK, E., VRBKA, J. Pružnost a pevnost I, VUT Brno 1992
- [19] PAM-CRASH 2G 2007 Documentation. ESI-Group, Paris, France, 2007.



## Seznam použitých zkratk a symbolů

|                |                                                                                                             |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ABS            | Anti-lock braking systém - protiblokovací systém kol                                                        |
| CAD            | Computer Aided Design - počítačová podpora konstruování                                                     |
| CAE            | Computer Aided Engineering - konstruování pomocí počítačové pomoci                                          |
| DSY            | Formát souboru, do kterého se v průběhu výpočtu ukládají deformační stavy                                   |
| EEVC           | European Enhanced Vehicle Safety Committee                                                                  |
| Euro NCAP      | European New Car Assessment Programme - nezávislá společnost zabývající se srovnáváním bezpečnostních prvků |
| FEM            | Finite Element Method - metoda konečných prvků                                                              |
| Frict          | Friction - hodnota součinitele tření                                                                        |
| HIC            | Head Injury Criterion - kritérium vyjadřující míru zranění hlavy                                            |
| Master         | Entita značící akční prvky v definici kontaktu                                                              |
| Mesh           | Procedura, kterou se tvoří výpočtová síť                                                                    |
| MKP            | Metoda konečných prvků                                                                                      |
| NMS            | Number of Master Set - identifikační číslo setu, zadávaného jako master                                     |
| NSS            | Number of Slave Set - identifikační číslo setu, zadávaného jako slave                                       |
| Postprocessing | Proces zahrnující práce pro vyhodnocení výsledků po výpočtu                                                 |
| Preprocessing  | Proces zahrnující přípravné práce před výpočtem                                                             |
| RBE            | Rigid Body - entita vazby používaná při stavbě modelu                                                       |
| SET            | Skupina libovolných entit                                                                                   |
| Shell          | Plošný element mající definovanou tloušťku                                                                  |
| Slave          | Entita označující pasivní prvky v definici kontaktů                                                         |
| Solver         | Označuje program používaný pro řešení výpočtů MKP                                                           |
| THP            | Time History Plot - formát souboru pro ukládání dat                                                         |



## Seznam použitých veličin

|                   |                                |                                                 |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|
| $a$               | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$ | Zrychlení                                       |
| $E$               | $[\text{GPa}]$                 | Modul pružnosti v tahu                          |
| $h_{\text{cont}}$ | $[\text{mm}]$                  | Kontaktní tloušťka                              |
| $t_1$             | $[\text{s}]$                   | Doba počátku pro vyhodnocování kritérií         |
| $t_2$             | $[\text{s}]$                   | Doba konce intervalu pro vyhodnocování kritérií |
| $\mu$             | $[-]$                          | Poissonova konstanta                            |
| $\rho$            | $[\text{kg}\cdot\text{m}^3]$   | Hustota                                         |
| $v$               | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$ | Rychlost                                        |
| $F$               | $[\text{N}]$                   | Síla                                            |
| $s$               | $[\text{m}]$                   | Dráha                                           |
| $t$               | $[\text{s}]$                   | Čas                                             |