



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

VYTVOŘENÍ A VALIDACE VÝPOČTOVÉHO FEM MODELU KLIKY DVEŘÍ PRO CRASHOVÉ VÝPOČTY

CAR DOOR HANDLE FEM MODEL CREATION AND VALIDATION FOR CRASH SIMULATIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETER RAFFAI

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL RAMÍK

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Peter Raffai

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:

Vytvoření a validace výpočtového FEM modelu kliky dveří pro crashové výpočty

v anglickém jazyce:

Car Door Handle FEM Model Creation and Validation for Crash Simulations

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte výpočtovou analýzu funkce zadaného mechanismu kliky dveří automobilu při zkoušce bočním nárazem a validaci modelu experimentem. Na základě výsledků experimentu proveďte zpřesnění parametrů výpočtového modelu.

Cíle diplomové práce:

1. Proveďte stručnou rešerši současného stavu v oblasti nárazových zkoušek automobilů se zaměřením na boční náraz vozidla.
2. Proveďte rešerši současného provedení konstrukcí kliky dveří automobilů a možných příčin problému s otevřením dveří při zkouškách vozidla bočním nárazem.
3. Vytvořte komponentní FEM model současné konstrukce multivýztuhy kliky dveří a definování zátěžných stavů pro počítačovou simulaci jejího chování při nárazu.
4. Proveďte počítačovou simulaci chování komponentního modelu multivýztuhy pro dané stavy ("case studies").
5. Ve spolupráci se zkušebním oddělením proveďte reálné zkoušky chování multivýztuhy dveří a srovnajte experimentálně zjištěné hodnoty s výsledky simulací.
6. Na základě experimentálně získaných výsledků upřesněte parametry výpočtového modelu a proveďte ověřovací výpočty pro posouzení shody s experimentem. Tento postup podle potřeby opakujte.
7. Zhodnoťte navržený simulační model a možnosti jeho použití v simulaci nárazových zkoušek celého automobilu.

Seznam odborné literatury:

- [1] JANÍČEK, P., ONDRÁČEK, E., VRBKA, J. Pružnost a pevnost I, VUT Brno 1992
- [2] Euro NCAP Online Documentation [online], 2010, poslední revize 23.9.2010. Dostupné z: <http://www.euroncap.com>
- [3] PAM-CRASH 2G 2007 Documentation. ESI-Group, Paris, France, 2007

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Ramík

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 25.10.2011

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Cieľom tejto diplomovej práce bolo vytvoriť komponentný model multivýstuhu kľučky dverí, použitá v modeloch koncernu Volkswagen, ktorý je možný použiť v crashových výpočtoch. Naladiť jeho parametre tak, aby svojim chovaním najviac odpovedal skutočnej súčiastke.

V teoretickej časti sa najprv predstavili súčasné predpisy organizácie Euro NCAP týkajúce sa testovania a hodnotenia pasívnej bezpečnosti nových vozidiel. Pozornosť sa zamerala na hodnotenie skúšok bočného nárazu, pri ktorých sa prejavili následky porušenia multivýstuhu v najväčšej miere. Ukázali sa dôvody snahy o simuláciu reálneho chovania multivýstuhu, faktory, ktoré iniciovali vznik danej témy.

Praktická časť práce sa začína tvorbou FEM siete súčiastky na základe jej 3D CAD modelu, popisom požiadaviek na kvalitu siete, použitých nástrojov a postupov. Ďalej sa preskúmali charaktery skutočných namáhání oblasti kľučky dverí pri bočnom náraze, na základe čoho sa navrhli komponentné skúšky na validáciu simulačného modelu. Experimentálny výskum zahrňoval skúšku zaťaženia multivýstuhu na ohyb a na krútenie, po troch vzorkách. Po vykonaní experimentov sa ich výsledky porovnali s hodnotami odpovedajúcich simulácií. Podľa odchýlok sa vykonali úpravy simulačného modelu: spresnila sa sieť konečných prvkov, nastavil sa nový materiálový model s mechanizmom porušenia a nadefinovali sa skutočné materiálové vlastnosti použitého termoplastu. V záveru sa opäť porovnali miesta porušenia a závislosti nameraných hodnôt so simulačnými, obdržané výsledky sa vyhodnotili.

Kľúčové slová

nárazové skúšky, Euro NCAP, multivýstuha kľučky dverí, explicitná MKP, komponentný model, materiálový model, PBT GF30, validácia

Abstract

The aim of this master's thesis was to create a component model of a door handle stiffener used by the Volkswagen concern, which can be used for crash computations. Also to tune its parameters the way, its behavior corresponds the most to the real part's.

In the theoretical part the current regulations of the Euro NCAP are presented, concerning the testing and evaluation of the passive safety of new vehicles. Attention is focused on the evaluation of the side impact barrier tests, where the effect of the door handle stiffener's damage is reflected the most. Shown are the reasons for the effort to simulate the real behavior of the stiffener, the factors, which initialized the born of the studied problem.

The practical part starts with the creation of the FEM mesh of the part based on its 3D CAD model, also describes the requirements for the mesh quality, as well as the used tools and methods. Further on investigated are the characters of real damages of the door handle area during side impacts, based on which the component tests are proposed for the validation of the simulation model. Experimental research consists of the stiffener's testing for simple bend and twist loads, three specimens each. After the execution of the tests the results get compared with the corresponding simulations. Modifications are made on the model according to the acquired results: refinement of the FEM mesh, new material model usage with failure for shell elements and definition of real material characteristics for the used thermoplastics. The latest obtained simulation dependencies are compared with the measured values again, the results are evaluated at last.

Key words

crash tests, Euro NCAP, door handle stiffener, explicit FEM, component model, material model, PBT GF30, validation

Bibliografická citácia práce

RAFFAI, P. *Vytvoření a validace výpočtového FEM modelu kliky dveří pro crashové výpočty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 143 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Ramík.

Prehlásenie

Prehlasujem, že diplomovú prácu na tému *Vytvoření a validace výpočtového FEM modelu kliky dveří pro crashové výpočty* som vypracoval samostatne pod vedením Ing. Pavla Ramíka. Do zoznamu použitej literatúry som uviedol všetky literárne a odborné pramene z ktorých som čerpal.

V Brne, dňa

.....
Peter Raffai

PodĎakovanie

Na prvom mieste by som chcel poďakovať svojmu vedúcemu práce z fakulty FSI VUT v Brně, Ing. Pavlovi Ramíkovi za sprostredkovanie diplomantského pobytu v Škoda Auto, za cenné rady a podporu nielen počas vypracovania záverečnej práce.

Ing. Janovi Koroušovi, Ph.D, vedúcemu práce z technického vývoja automobilky Škoda za vytvorenie všetkých podmienok týkajúce sa vypracovania diplomového projektu a pobytu v Mladej Boleslavi, za odbornú pomoc a usmernenia v priebehu riešenia projektu.

Ďalej celému pracovnému tímu simulácie bočných nárazov, obzvlášť Ing. Martinovi Burdíkovi a Ing. Jakubovi Odvárkovi, ktorí za každých okolností mi pohotovo a užitočne poradili, tým vo veľkej miere uľahčili dokončenie tejto práce. Takisto Ing. Martinovi Fridrichovi za odborné vykonanie experimentov.

Taktiež by som chcel poďakovať svojim blízkym za podporu počas celého môjho štúdia.

Obsah

OBSAH	15
<u>1. ÚVOD</u>	19
1.1. MOTIVÁCIA	19
1.2. ORGANIZÁCIA EURO NCAP	20
1.3. TESTOVANÉ VOZIDLÁ	22
<u>2. CELKOVÉ HODNOTENIE – OVERALL RATING</u>	24
2.1. PRINCÍP VÝPOČTU	24
<u>3. OCHRANA DOSPELEJ POSÁDKY – ADULT OCCUPANT PROTECTION</u>	29
3.1. SPÔSOB HODNOTENIA	29
3.2. KALKULÁCIA BODOV	30
3.3. HODNOTENIE ČELNEJ NÁRAZOVEJ SKÚŠKY	31
3.4. HODNOTENIE BOČNEJ NÁRAZOVEJ SKÚŠKY A NÁRAZOVEJ SKÚŠKY DO STĹPA	33
3.5. HODNOTENIE SEDAČIEK NA OCHRANU KRČNEJ CHRBTICE	35
<u>4. SKÚŠKA BOČNÉHO NÁRAZU – SIDE IMPACT TESTING</u>	37
4.1. PRÍPRAVA SKÚŠANÉHO VOZIDLA	37
4.2. POUŽITÉ FIGURÍNY („DUMMY“)	39
4.3. POUŽITÉ SNÍMAČE A SENZORY	42
4.4. NÁRAZOVÝ VOZÍK A MOBILNÁ DEFORMOVATELNÁ BARIÉRA (MDB)	43
<u>5. ÚPRAVA BODOVANIA BOČNÉHO NÁRAZU DO MOBILNEJ BARIÉRY</u>	45
5.1. MODIFIKÁTORY BIOMECHANICKÝCH PARAMETROV	46
5.2. MODIFIKÁTORY TECHNICKÉHO STAVU VOZIDLA	47
<u>6. NEŽIADANÉ OTVORENIE DVERÍ</u>	49
6.1. GLOBÁLNY PROBLÉM	49
6.2. MOŽNÉ PRÍČINY	51

7. TVORBA KOMPONENTNÉHO MODELU	61
7.1. POŽIADAVKY NA SIEŤ KONEČNÝCH PRVKOV	61
7.2. VOĽBA METÓDY TVORBY FEM SIETE	63
7.3. TVORBA FEM SIETE	67
8. NÁVRH KOMPONENTNEJ SKÚŠKY	81
8.1. ANALÝZA SKUTOČNÝCH NAMÁHANÍ	81
8.2. NÁVRH ZAŤAŽENIA	84
9. SIMULÁCIA ZÁŤAŽNÝCH STAVOV	86
9.1. TVORBA SÚSTAVY ZAŤAŽENIA NA OHYB	86
9.2. TVORBA SÚSTAVY ZAŤAŽENIA NA KRÚTENIE	90
9.3. VÝPOČET SÚSTAV ZÁŤAŽNÝCH STAVOV	93
9.4. VÝSLEDKY SIMULÁCIE SÚSTAVY ZAŤAŽENIA NA OHYB	94
9.5. VÝSLEDKY SIMULÁCIE SÚSTAVY ZAŤAŽENIA NA KRÚTENIE	97
10. VALIDÁCIA VÝPOČTOVÉHO MODELU	101
10.1. USPORIADANIE EXPERIMENTU NA OHYB	101
10.2. VÝSLEDKY EXPERIMENTU NA OHYB	103
10.3. POROVNANIE VÝSLEDKOV SIMULÁCIE A EXPERIMENTU NA OHYB	105
10.4. USPORIADANIE EXPERIMENTU NA KRÚTENIE	107
10.5. VÝSLEDKY EXPERIMENTU NA KRÚTENIE	109
10.6. POROVNANIE VÝSLEDKOV SIMULÁCIE A EXPERIMENTU NA KRÚTENIE	112
10.7. OVERENIE SYMETRICKÉHO CHOVANIA	113
11. SPRESNENIE VÝPOČTOVÉHO MODELU	117
11.1. ZDOKONALENIE FEM SIETE	117
11.2. NÁHRADA MATERIÁLU	119
11.3. ZMENA PRIEBEHU ZÁŤAŽE	121
11.4. POSÚDENIE ZHODY SIMULÁCIE S EXPERIMENTOM	122
11.5. LADENIE MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ	128
12. ZHRNUTIE VÝSLEDKOV	131
13. ZÁVER	135

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	136
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	141
ZOZNAM PRÍLOH	143

1. Úvod

1.1. Motivácia

Na trhu pribúda každý rok čoraz viac nových áut, ktoré podľa požiadaviek zákazníkov sa delia do rôznych skupín: podľa veľkosti, typu karosérie, atď. Pri výbere vhodného vozidla si zákazníci v prvom rade zvolia kategóriu vozidla na základe účelu použitia, ďalej sa zúži počet kandidátov zvyčajne podľa vlastného vkusu. Pri finálnom rozhodnutí za istú značku hrajú rolu už len čisté čísla a fakty, ako napríklad výkon a krútiaci moment agregátov, spotreba paliva, ponuka prevodoviek a rôznych elektronických systémov aktívnej bezpečnosti a v neposlednom rade cena. Je tu však ešte jeden aspekt, ktorý by sa mal brať do úvahy a na ktorý sa tak často zabúda. Jedná sa o pasívnu bezpečnosť vozidla, inými slovami opatrenia k zmenšeniu následkov prípadnej nehody. Je to komplexná vlastnosť, ktorú ovplyvňujú viaceré čiastkové vlastnosti. Smerodátňá je miera ohrozenia bezpečnosti účastníkov nehody, ako napríklad maximálna záťaž, ktorá pôsobí na organizmus chodcov, či pasažierov počas zrážky, alebo dostatočný priestor na prežitie v deformovanej karosérii vozidla. V dôsledku toho, aby sa tieto vlastnosti dali nezávisle porovnať u každého automobilu, založil sa jednotný program na objektívne skúšanie a hodnotenie aspektov pasívnej bezpečnosti nových vozidiel, ktorý sa v Európe menuje Euro NCAP.



Obrázok 1: Logo organizácie Euro NCAP, zdroj: [Euro NCAP]

1.2. Organizácia Euro NCAP

V 70-tych rokoch minulého storočia vedenie niekoľko štátov Európy rozpoznalo dôležitosť skúšania a hodnotenia pasívnej bezpečnosti automobilov. V spolupráci s Európskym výborom pre experimentálne vozidla (EEVC) vypracovali komplexnú metodiku nárazových skúšok na hodnotenie ochrany pasažierov vozidla pri čelnom a bočnom náraze, ako aj na hodnotenie ochrany chodcov pri strete s predkom auta. Napriek svojej úplnosti a nezávislosti sa testy nedostali do európskej legislatívy kvôli náporu výrobcov automobilov.

Aby sa testy mohli presadiť na štátnej úrovni, boli potrebné ďalšie zdokonalenia. Vstupné inšpekcie sa začali vykonávať na vozidlách z dôvodu zaistenia vyššieho štandardu skúšok. Prvoradým zámerom týchto inšpekcií bolo rozšírenie oprávnenosti vykonaných skúšok na širší rozsah veľkosti a polohy pasažierov a nárazových situácií. Na základe informácií zo vstupných prehliadok sa výsledky nárazových skúšok mohli vyhodnotiť s použitím aktuálnych vedeckých znalostí, viac sa unifikovali, čo poskytol lepšie možnosti na porovnanie. Prvými organizáciami, ktoré sa zapojili do nového programu hodnotenia áut sa stali: Európska komisia, Švédska národná správa ciest (SNRA) a Medzinárodná automobilová federácia (FIA). Z ich spojení v decembri roku 1996 vznikla organizácia s názvom Euro NCAP.

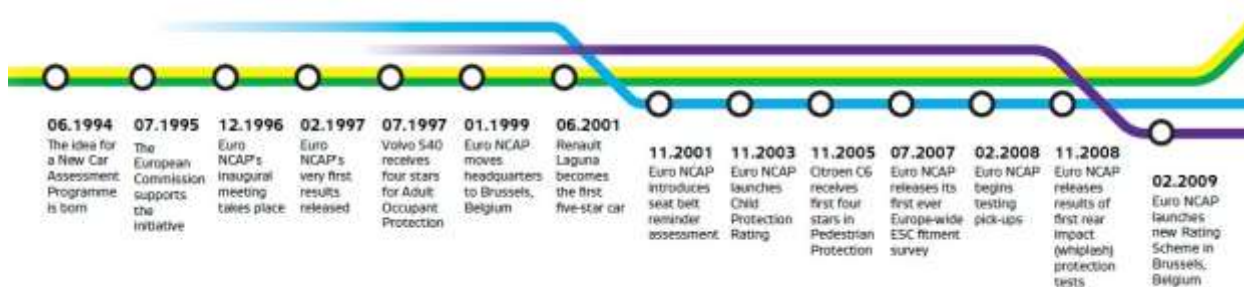
Zverejnené prvé výsledky novej organizácie na začiatku nasledujúceho roka vyvolali veľkú pozornosť médií, hlavne z dôvodu obrovskej nespokojnosti výrobcov vozidiel. Domnievali sa totiž, že kritéria sú príliš prísne a ani jeden automobil v tom čase nebol schopný dosiahnuť ani štyri hviezdičky z možných piatich v oblasti ochrany pasažierov. Ich domnienky rýchlo vyvrátila švédska automobilka Volvo, keď ich model S40 sa stal prvým vozidlom hodnotené so štyrmi hviezdičkami. Postupným predstavením nových modelov vplyv výsledkov testov Euro NCAP bol čoraz viac citelný na pribúdajúcich sa hviezdičiek, akurát ochrana chodcov sa nezlepšila podľa očakávania. V roku 2001 ďalším míľnikom v histórii pasívnej bezpečnosti boli výsledky nárazových skúšok Renault Laguny. V oblasti ochrany dospeléj posádky sa totiž po prvé hodnotili s piatimi hviezdičkami. Od tej doby sa zvýšili štandardy u väčšine výrobcov automobilov, dosiahnutie najpriaznivejšieho hodnotenia sa stal ich hlavným zámerom u každého nového modelu.

Neustále zlepšovanie sa nezastavilo ani na chvíľu, úroveň testovania sa nepretržite zvyšovala. V roku 2003 sa ujala nová koncepcia kalkulácie hodnotenia bezpečnosti detí, nakoľko sa zistilo, že väčšina detských zádržných systémov sa nepoužívala podľa návrhu konštruktérov. Výsledky boli založené na hodnotení detských sedačiek odporúčaných výrobcami áut, zvlášť pre 18-mesačné dojčatá a pre trojročné deti. Hlavným zámerom

týchto testov bola inšpirácia výrobcov vozidiel a detských sedačiek, ako aj rodičov na venovanie zvýšenej pozornosti na bezpečnosť najmenších účastníkov cestnej premávky.

Počas ďalších rokov Euro NCAP popri osobných áut zahájil aj testovanie úžitkových vozidiel, pretože sa zistilo, že sa v poslednej dobe nepoužívajú výhradne len na rozvoz tovaru, ale stali sa „jednopriestorovým miláčikom“ rodín, najmä s malými deťmi. Nedostačujúce výsledky ich skúšok ukázali, že testovanie vozidiel menej sledovaných kategórií má taktiež veľký význam na odhalenie nedostatkov a na následnú motiváciu ich vývoja. Koncom roku 2008 organizácia rozšírila svoju pozornosť na poranenia krčnej chrbtice pri náraze zozadu, tzv. whiplash injury. V prvom kole sa hodnotilo 25 sedadiel z predtým testovaných vozidiel, pri ktorom sa okrem geometrických aspektov sedadiel bralo do úvahy aj veľkosť a tvar hlavových opierok a dynamické spávanie figuríny počas samotnej zrážky. Testy sa vykonávali na skúšobných saniach pri troch rôznych rýchlostiach, imitujúce rozsah pôsobiacich síl pri nehode.

Organizácia Euro NCAP bola presvedčená, že zákazníci postupom času kladú čoraz väčší dôraz na poskytnutú bezpečnosť posádky a ostatných účastníkov cestnej premávky pri vyberaní nového vozidla. Z tohto dôvodu sa na začiatku roka 2009 rozhodli vyvinúť nový systém hodnotenia. Výsledkom novej schémy sa stala známka celkovej bezpečnosti, ktorá zahrnuje hodnotenia čiastkových testov ochrany dospelých a detskej posádky, chodcov, a najnovšie sa začali brať do úvahy eventuálne účinky pokrokových technológií asistencie vodiča, ako napr. elektronická kontrola stability, či obmedzovače rýchlosti. Hlavným zámerom spojení dovtedy samostatných výsledkov bolo inšpirovať výrobcov na všestranný rozvoj pasívnej bezpečnosti ich nových modelov, najmä z hľadiska ochrany chodcov, ktorá bola v tom čase nízko pod úrovňou ostatných vlastností.



Obrázok 2: Časový prehľad histórie vývoja Euro NCAP, zdroj: [1]

O uznaní a dôležitosti činnosti organizácie Euro NCAP svedčí aj jej rozmanité spoločenstvo súčasných členov z celej Európy. Od jej založenia vládou Veľkej Británie sa členská základňa rozšírila o vlády Francúzska, Nemecka, Švédska, Holandska a katalánskej časti Španielska. Zákaznícke združenia sú zastúpené členstvom združenia Medzinárodného

zákazníckeho výskumu a testovania, kým automobilové kluby Európy reprezentuje Medzinárodná automobilová federácia (FIA) a automobilové kluby Nemecka a Talianska (ADAC a ACI). Spolupráca týchto prestížnych členov okrem zaistenia vysokej úrovne a dôveryhodnosti zaručuje aj nezávislosť a objektivnosť vykonaných testov a ich následného hodnotenia voči akejkolvek značke z celého sveta. [1], [2]

1.3. Testované vozidlá

Na začiatku svojho vzniku Euro NCAP videl najväčší prínos v testovaní najpredávanejšieho variantu každého modelu vozidla. V tej dobe ešte neexistovala hromada bezpečnostných systémov, navyše ich drvivá väčšina sa ponúkala ako príplatková výbava. Zásluhou činnosti tejto celoeurópskej organizácie sa však tento trend rýchlo zmenil. V súčasnosti v zozname štandardnej výbavy každého modelu je rozmanitá škála systémov sekundárnej bezpečnosti, nakoľko boj o získanie hviezdíčiek v nárazových skúškach sa natoľko vyostřil, že výrobcovia si nemôžu dovoliť ani najmenšie plytvanie. Je to práve z dôvodu zmeny metodiky Euro NCAP, podľa ktorej sa stanoví vybavenosť testovaného vozidla bezpečnostnými prvkami. Na skúšku sa pripúšťajú len tie systémy, ktoré sú súčasťou štandardnej výbavy väčšiny, prípadne každého vyrobeného kusu z celého rozsahu modelov.

Kvôli jednoznačnosti sa zaviedli technické terminológie ako:

- variant – špecifická kombinácia karosérie, motoru a výbavy daného modelu
- rozsah modelov – množina všetkých variantov dostupných v oblasti EU-27 pod spoločným názvom modelu
- bezpečnostné vybavenie – prvky zamerané na zvýšenie bezpečnosti, medzi nimi patria:
 - zádržné systémy, ako opierky hlavy, uchytania detských sedačiek
 - ochrana kolena a nohy
 - deformácia pedálovej sústavy
 - zariadenia na zmiernenie dopadu chodcov
 - varovanie na zapínanie bezpečnostných pásov
 - spínače a označenia systémov
- minimálne percento – najmenší podiel predaja v percentách, ktorý musí splniť prvok bezpečnostného vybavenia k tomu, aby sa stal súčasťou výbavy základnej úrovni, tzv. Basic Level

Výbava základnej úrovni sa určí na základe dokumentu Equipment Matrix, v ktorom výrobca vymenuje každý bezpečnostný prvok štandardnej, či príplatkovej výbavy z celého rozsahu modelov. V prípade príplatkových prvkov sa musí splniť minimálne percento a prítomnosť v každom variante. Do testovaného vozidla sa namontujú len tie prvky bezpečnosti, ktoré splnia všetky hore uvedené podmienky.

O výbere skúšaného variantu sa rozhoduje sekretariát organizácie Euro NCAP na základe výrobcom poskytnutých údajov predaja, vo väčšine prípadov sa volí najpredávanejšia konfigurácia. V situácii, keď najnižšia výbava najpredávanejšieho variantu presiahne výbavu základnej úrovni, tak variant sa modifikuje podľa stanoveného postupu dovtedy, kým sa docieli požadovaná výbava. Kvôli inšpirácii rozvoja bezpečnostných prvkov nad úrovňou základnej výbavy Euro NCAP uvíta sponzorovanie výrobcov áut, výsledkami im dodaných vozidiel môžu demonštrovať prínosy týchto prvkov. Výsledné hodnotenie je však zverejnené len jedno, a to vždy na základe skúšky vybavenosti Basic Level.

Kvôli predchádzaniu akýchkoľvek obvinení z individuálnych odklonov, testované modely a značky áut sú menované Členským výborom Euro NCAP. Predmetom skúšok môže byť každý automobil predávaný v Európe, bez ohľadu na jeho predajný obrat či typ homologizácie. Výrobcovia sa však často hlásia s dotáciou vozidiel na skúšky. Ich hlavným záujmom býva zverejnenie oficiálnych výsledkov testov súčasne so slávnostnou premiérou niektorého nového modelového radu. [3]

2. Celkové hodnotenie – Overall Rating

Základ pôvodného spôsobu hodnotenia Euro NCAP bol spoločne vyvinutý firmami TRL a Vehicle Safety Consultants Ltd. na základe objednávky britského Ministerstva životného prostredia, dopravy a regiónu. Neskoršie verzie tohto protokolu už vydal sekretariát Euro NCAP, s najvýznamnejšími zmenami v 5. verzii, kde sa zaviedlo celkové hodnotenie jednotlivých, dovtedy individuálnych skúšok. Aspekty hodnotenia hlavných oblastí sa stanovili v štyroch samostatných dokumentoch:

- Posudzovací protokol na ochranu dospelých pasažierov
- Posudzovací protokol na ochranu detských pasažierov
- Posudzovací protokol na ochranu chodcov
- Posudzovací protokol na asistenčné systémy

Hlavným zámerom skúšok Euro NCAP je podať čestný, zmysluplný a objektívny posudok o poskytnutej bezpečnosti testovaným vozidlom. Pri informovaní zákazníkov snahou je aj stimulovať výrobcov vo vývoji a odmeniť tých, ktorí najviac chránia účastníkov cestnej premávky. Celkové hodnotenie preto odzrkadľuje podaný výkon pri prípadnej nehode v oblasti ochrany dospelých a detskej posádky, ochrany bezbranných chodcov pri strete s vozidlom a v neposlednom rade schopnosť asistenčných systémov podporiť bezpečnejšiu jazdu. Napriek všetkým snahám ani spoločný výsledok skúšok nedokáže pokryť celý rozsah rozličných nehodových situácií na cestách, ale aspoň všeobecnú predstavu dáva o tom, ktoré vozidlo by poskytlo väčšiu ochranu.

2.1. Princíp výpočtu

Hodnota celkovej ochrany sa po vykonaní a vyhodnotení skúšok v štyroch hlavných oblastiach bezpečnosti určí váženým priemerom jednotlivých výsledkov. Každá oblasť má svoju váhu pri zistení výsledného hodnotenia podľa jej relatívnej dôležitosti, čím sa dá lepšie zahrnúť vplyvy a priority reálneho života do posudzovania. Váhy jednotlivých oblastí sú po určitú dobu stále, ale každý rok je možné ich prispôsobiť súčasnému trendu.

Tabuľka 2.1: Váhy jednotlivých oblastí, prevzaté z: [4]

Rok	2009	2010	2011	2012
Dospelí	50%	50%	50%	50%
Deti	20%	20%	20%	20%
Chodci	20%	20%	20%	20%
Asistencia	10%	10%	10%	10%

Vozidlám, ktoré podajú slabší výkon v niektorej čiastkovej oblasti, čiže nedosiahnu minimálne percento na určitý počet hviezdíčiek, sa obmedzí maximálny počet dosiahnuteľných hviezdíčiek, aby sa ukázalo, že ich poskytnutá ochrana nie je všestranne dostačujúca. [4]

Tabuľka 2.2a: Minimálne percentá k dosiahnutí istého počtu hviezdíčiek v roku 2009, prevzaté z: [4]

2009	Dospelí	Deti	Chodci	Asistencia	Celkové
5 hviezdíčiek	75%	70%	25%	60%	70%
4 hviezdíčky	60%	55%	15%	40%	55%
3 hviezdíčky	30%	30%	10%	25%	45%
2 hviezdíčky	25%	25%	5%	15%	35%
1 hviezdíčka	15%	15%	0%	5%	20%

Tabuľka 2.2b: Minimálne percentá k dosiahnutí istého počtu hviezdíčiek v roku 2010 a 2011, prevzaté z: [4]

2010/2011	Dospelí	Deti	Chodci	Asistencia	Celkové
5 hviezdíčiek	80%	75%	40%	60%	75%
4 hviezdíčky	65%	60%	25%	40%	60%
3 hviezdíčky	35%	30%	15%	25%	50%
2 hviezdíčky	30%	25%	10%	15%	35%
1 hviezdíčka	20%	15%	5%	5%	25%

Tabuľka 2.2c: Minimálne percentá k dosiahnutí istého počtu hviezdíček v roku 2012, prevzaté z: [4]

2012	Dospelí	Deti	Chodci	Asistencia	Celkové
5 hviezdíček	80%	75%	60%	60%	80%
4 hviezdíčky	70%	60%	50%	40%	70%
3 hviezdíčky	40%	30%	25%	25%	60%
2 hviezdíčky	30%	25%	15%	15%	55%
1 hviezdíčka	20%	15%	10%	5%	45%

Bodovanie štyroch oblastí na základe ich váh teda dáva výsledné skóre celkového hodnotenia. Výsledok sa uvádza v percentách voči maximálnemu dosiahnuteľnému počtu. Dosiahnutý finálny počet hviezdíček zodpovedá celkovému bodovému hodnoteniu, ale môže byť aj výrazne nižší z hore uvedených dôvodov. Princíp výpočtu je jednoznačne prehľadný z nasledujúcich tabuliek schémy hodnotenia:

	Ochrana dospelých	Ochrana detí	Ochrana chodcov	Asistenčné systémy
	max. počet bodov	max. počet bodov	max. počet bodov	max. počet bodov
Parametre hodnotenia	Čelný náraz 16	Dyn. test 1 ½ roč. dieťaťa 12	Náraz hlavy 24	Pripomínač zapn. bezp. pásov 3
	Bočný náraz (MDB) 8	Dyn. test 3 roč. dieťaťa 12	Náraz nohy 6	Obmedzovač nast. rýchlosti 1
	Bočný náraz (stĺp) 8	Hodn. sedačky 1 ½ roč. dieťaťa 4	Náraz bedra 6	ESC 3
	Whiplash 4	Hodn. sedačky 3 roč. dieťaťa 4		
		Interface 1 ½ roč. dieťaťa 2		
		Interface 3 roč. dieťaťa 2		
		Hodnotenie vozidla 13		
Maximálny počet bodov (1)	36	49	36	7
Hodnotenie testu (2)	Dosiahnutý počet / (1)	Dosiahnutý počet / (1)	Dosiahnutý počet / (1)	Dosiahnutý počet / (1)
Váha bodovania (3)	50%	20%	20%	10%
Vážené hodnotenie testu (4)	(2) x (3)	(2) x (3)	(2) x (3)	(2) x (3)

Celkové hodnotenie (5) je vtedy suma vážených hodnotení testov, $\sum(4)$.

Na praktickom príklade je viditeľné postupné sprísnenie testov:

	Ochrana dospelých	Ochrana detí	Ochrana chodcov	Asistenčné systémy
Dosiahnutý počet bodov z testu	33,00	36,00	8,00	6,00
Maximálny počet bodov (1)	36	49	36	7
Hodnotenie testu (2)	33 / 36 = 92%	36 / 49 = 73%	8 / 36 = 22%	6 / 7 = 86%
Váha bodovania (3)	50%	20%	20%	10%
Vážené hodnotenie testu (4)	92% x 50% = 46%	73% x 20% = 15%	22% x 20% = 4%	86% x 10% = 9%

Celkové hodnotenie (5): $\sum(4) = 46\% + 15\% + 4\% + 9\% = 74\%$

Na základe celkového hodnotenia z tabuliek 2.2a až 2.2c sa zdá, že vozidlo s takýmito výsledkami by v roku 2009 teoreticky mohol získať až 5 hviezdíčiek, napriek tomu z dôvodu slabšej ochrany chodcov je vozidlo hodnotené iba so 4 hviezdčkami.

Zo samotných tabuliek je vidieť, ako sa každoročne postupne sprísnila hladina hodnotení, z čoho vyplýva, že za rovnaký výsledok v roku 2010 by bolo vozidlo hodnotené s 3, kým v roku 2012 už len s 2 hviezdčkami.

Vyššie uvedené porovnanie [13] dobre predstavuje a naznačí trend budúceho vývoja spôsobu hodnotenia pasívnej bezpečnosti motorových vozidiel. Číselné hodnoty v tomto prípade sú prebraté z ustanovení organizácie Euro NCAP, ale snahy a pokroky majú rovnaký smer po celom svete, či už hovoríme o organizácii Latin NCAP v Južnej Amerike, o US NCAP alebo USA IIHS v Spojených štátoch, alebo o C-NCAP v Číne.

3. Ochrana dospelaj posádky – Adult Occupant Protection

Hodnotenie ochrany dospelaj posádky je najdôležitejšou časťou zo štyroch čiastkových testov pri stanovení výslednej známky celkovej ochrany. Jej váha sa v súčasnosti podieľa vo výpočte váženého priemeru v miere 50%. Hlavne z tohto dôvodu sa výrobcovia zamerali vo veľkej miere na jej vývoj, obzvlášť v minulosti. Preto je v dnešnej dobe čoraz bežnejšie, že nové modely nestrácajú ani jednu hviezdičku z maximálnych piatich pri hodnotení nárazových skúšok v tejto oblasti.



Obrázok 3: Znak ochrany dospelaj posádky, zdroj: [Euro NCAP]

3.1. Spôsob hodnotenia

Východiskom hodnotenia ochrany dospelých pasažierov sú informácie obdržané z testovacej figuríny, tzv. dummy, zo štyroch odlišne prevedených nárazových testov: čelný náraz, bočný náraz, bočný náraz do stĺpa a (nízko rýchlostný) náraz zozadu. Spočiatku každá partícia tela je zvlášť bodovaná na základe získaných biometrických parametrov. Tieto body sa potom môžu upraviť podľa dodatočných požiadaviek, tzv. modifikátorov, ako napríklad vplyv odlišnej veľkosti a pozície sedenia pasažierov na miesta kontaktu s vozidlom. Do úvahy sa berú aj aspekty ako premiestnenie volantu, posuv pedálovej skupiny, deformácia priestoru pre nohy, či A stĺpika. Úpravy hodnotení sa po inšpekcii a geometrických zvážení aplikujú len na tie časti tela, na ktoré majú bezprostredný vplyv. Pri udelení počtu bodov sa však vôbec nie je snahou rozlíšiť vážnych, ale menej častých poranení od častejších, ale ľahších, čím sa chce zabrániť podporovaniu výrobcov na zameranie svojich pozorností na oblasti, ktoré by nemali významný prínos v prípade nehody.

Zhodnou metodikou sa stanovujú body u všetkých štyroch variant nárazových skúšok. Výsledky jednotlivých segmentov tela, čiže body na základe nameraných hodnôt mínus modifikátory, sú nakoniec graficky znázornené vyfarbením obrysu ľudského tela podľa bodového zisku.



Obrázok 4: Spôsob vizualizácie výsledkov testu jednotlivých segmentov ľudského tela, zdroj: [Euro NCAP]

Výsledné skóre ochrany dospelých posádky vzniká sumarizáciou čiastkových hodnotení testov čelného a bočného nárazu, bočného nárazu do stĺpa a nárazu zozadu, a je uvedené v percentách voči celkovému možnému bodovému zisku. [5]

3.2. Kalkulácia bodov

Na určenie presného počtu získaných bodov z každého meraného kritéria sa používa kľzavá stupnica. Je založená na dvoch limitných hodnotách pre každý parameter, na náročnejšej (vyšší účinok), pod ktorou sa udeľuje maximálny počet bodov, a na menej náročnej (nižší účinok), nad ktorou je bodový zisk nulový. Pri nárazových skúškach maximálny počet bodov na určenie ochrany dospelých posádky pre každú telesnú partíciu sú štyri body. V prípade, že nameraná hodnota leží medzi stanovenými limitnými hodnotami, bodový zisk sa počíta lineárnou interpoláciou so zaokrúhlením na tri desatinné miesta.

U niektorých rizikových častí tela, kde hrozí nadmierne nebezpečenstvo na zdravie človeka, sa zaviedli maximálne prahové hodnoty. Prekročenie týchto hodnôt, ktoré vo väčšine prípadov sa rovnajú limitným hodnotám nižšieho účinku, vedie k okamžitej strate všetkých bodov z daného testu. [5], [6]

3.3. Hodnotenie čelnej nárazovej skúšky

Základnými kritériami na hodnotenie čelnej nárazovej skúšky sú horné a dolné limitné hodnoty pre každý parameter, ktoré sú presne stanovené zvlášť pre každú partíciu tela. Kde je viac ako jedno kritérium na danú časť tela, pri výpočte bodovania sa vždy používa najslabšie účinkujúce z nich. Prahové hodnoty pri čelného nárazu sú stanovené v oblasti hlavy, krku a hrudníka.

Získané body z biomechanických hodnôt figuríny vodiča sa môžu ďalej upravovať, keď vplyvom inej veľkosti a pozície sedenia človeka sa môže predpokladať horší dopad skúšky. Strata z bodovania jednotlivých častí tela môže činiť maximálne dva body. Faktory ovplyvňujúce úpravu bodového zisku sú opäť stanovené v protokole Euro NCAP pre hodnotenie ochrany dospelých posádky. [5]

Podobne ako u výsledkov figuríny vodiča, bodovanie sa môže upravovať aj v prípade obdržaných hodnôt zo snímačov figuríny spolujazdca, keď sa predpokladá možnosť horšieho dopadu testu pri zmene veľkosti a umiestnenia pasažiera, alebo pri mierne odlišnej vážnosti nehody. Modifikátory sa však používajú v užšom rozsahu.

Celkový počet získaných bodov sa upravuje aj v prípade otvorenia niektorých z dvier počas testu, vrátane dvier úložných priestorov a posuvných striech. Za každé otvorené dvie sa udeľuje pokuta jeden bod, maximálny počet odobratých bodov nie je obmedzený. Po skúške sa však meria sila potrebná na otvorenie jednotlivých dvier do uhlu 45°, bez ohľadu na ich spávanie počas testu. Výsledok tejto skúšky síce neovplyvňuje celkové bodovanie, ale jej dopad sa môže uviesť v písomnom hodnotení. [6]

Biomechanické limity a modifikátory hodnotenia čelného nárazu podľa platných pravidiel Euro NCAP [13]:

Hlava	
4 body	HIC 36 < 650; a_{3ms} < 72 g
0 bodov	HIC 36 > 1000; a_{3ms} > 88 g
Modifikátor	Nestabilný kontakt s airbagom (-1 bod) Posunutie stĺpika riadenia (-1 bod)

Stehno	
4 body	Sila stlačenia < 3,8 kN
0 bodov	Sila stlačenia > 9,07 kN, alebo > 7,56 kN po 10 ms

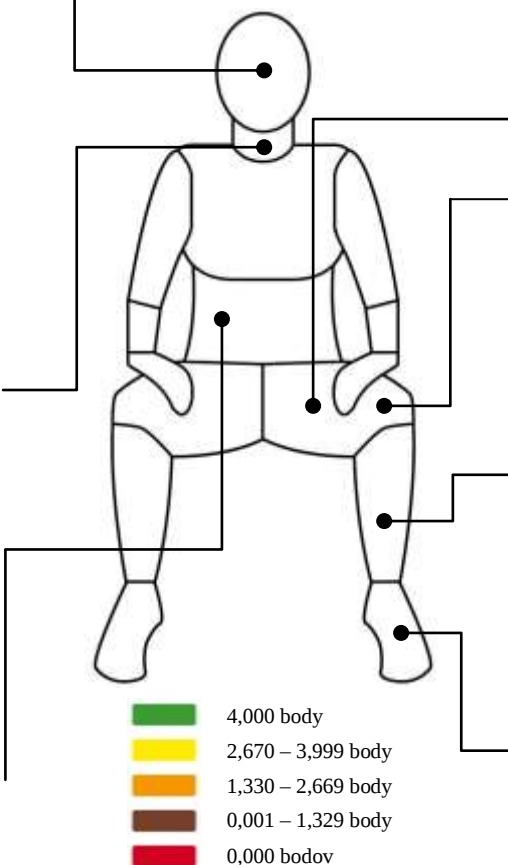
Krk		
4 body	$M_{y,extension}$	< 42 Nm
	Napätie:	< 2,7 kN @ 0 ms < 2,3 kN @ 35 ms < 1,1 kN @ 60 ms
0 bodov	Strih:	< 1,9 kN @ 0 ms < 1,2 kN @ 25-30 ms < 1,1 kN @ 45 ms
	$M_{y,extension}$	< 42 Nm
0 bodov	Napätie:	< 2,7 kN @ 0 ms < 2,3 kN @ 35 ms < 1,1 kN @ 60 ms
	Strih:	< 1,9 kN @ 0 ms < 1,2 kN @ 25-30 ms < 1,1 kN @ 45 ms

Koleno	
4 body	Dislokácia < 6mm
0 bodov	Dislokácia > 15 mm
Modifikátor	Premenlivý kontakt (-1 bod) Koncentrovaná záťaž (-1 bod)

Hrudník	
4 body	Stlačenie < 22 mm; VC < 0,5 m/s
0 bodov	Stlačenie > 50 mm; VC > 1,0 m/s
Modifikátor	Deformácia A-stĺpika (-2 body) Deformácia priestoru pre cestujúcich (-1 bod) Kontakt s volantom (-1 bod)

Holeň	
4 body	TI < 0,4; Sila stlačenia < 2 kN
0 bodov	TI > 1,3; Sila stlačenia > 8 kN
Modifikátor	Vertikálny posuv najhoršieho pedálu (-1 bod)

Chodidlo	
4 body	Horiz. posuv brzdového pedálu < 100 mm
0 bodov	Horiz. posuv brzdového pedálu > 200 mm
Modifikátor	Porušenie priestoru pre nohy (-1 bod) Zablokovaný pedál (-1 bod)



Airbag	
Modifikátor	Modifikátor za nesprávne, či neúplne otvorenie niektorého airbagu (-1 bod)

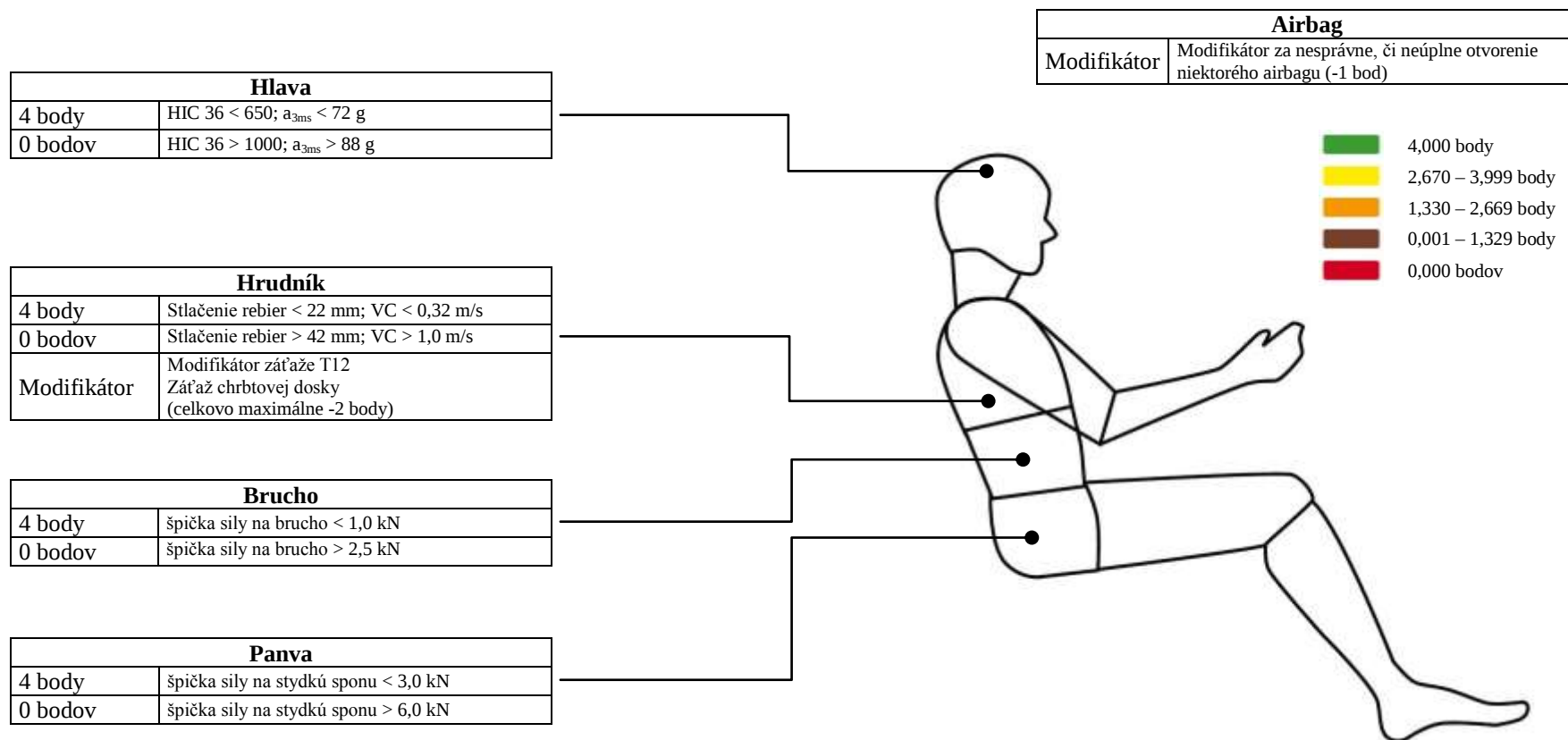
3.4. Hodnotenie bočnej nárazovej skúšky a nárazovej skúšky do stĺpa

Jadro postupu hodnotenia bočných nárazových skúšok a bočných nárazových skúšok do stĺpa je identický s popísanou metodikou u hodnotení čelných nárazových skúšok. Používajú sa dve, horné a dolné limitné hodnoty pre každé kritérium, v prípade viacerých parametrov sa vždy hodnotí slabšie účinkujúci. Úprava bodovania jednotlivých partií tela je takisto limitovaná na dva body. Číselné hodnoty kritérií a presne definované okolnosti úprav bodovaní sú takisto stanovené v protokolu Euro NCAP pre hodnotenie ochrany dospelých posádky. [5]

Rozdielom je stanovenie prahových hodnôt v odlišných oblastiach ľudského tela. U bočných nárazových skúšok sa aplikujú na hlavu, hrudník, brucho a panvu, kým pri bočnom náraze do stĺpa jedine na hlavu. Vozidlá bez vybavenia hlavového ochranného systému nie sú predmetom skúšok nárazu do stĺpa, ich bodový zisk z tejto oblasti je automaticky nulový.

Maximálny celkový počet získateľných bodov pre obe skúšky je šesťnásť. Napriek tomu, že testy sa hodnotia nezávisle od seba, do celkového hodnotenia ochrany dospelých posádky však prispieva ich priemer, pre každú oblasť tela zvlášť. [7], [8]

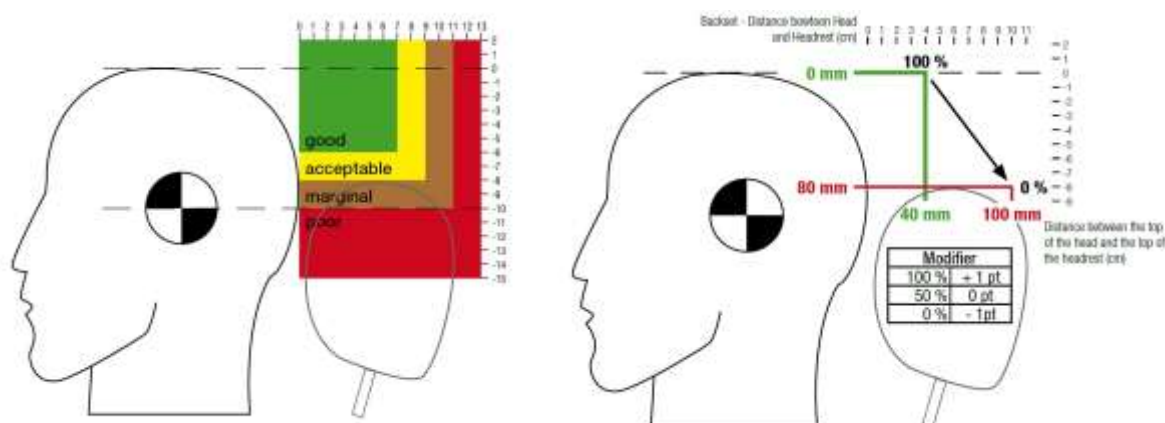
Biomechanické limity a modifikátory hodnotenia bočného nárazu bariérou MDB podľa platných pravidiel Euro NCAP [13]:



Pri skúške bočného nárazu na stĺp sa používajú rovnaké biomechanické limity ako pri skúške s MDB bariérou. Jedinou výnimkou je limit hlavy, pri ktorom k dosiahnutiu štyri body musí pre namerané hodnoty platiť $HIC_{36} < 1000$, súčasne $A_{res,peak} < 80 \text{ g}$ a nesmie dôjsť k priamemu kontaktu hlavy so stĺpom. Neplatí ani kľzavá stupnica, takže pri nesplnení ktorejkoľvek hore uvedenej požiadavky je bodový zisk oblasti hlavy nulový.

3.5. Hodnotenie sedačiek na ochranu krčnej chrbtice

Skúšky ochrany krčnej chrbtice sa delia na statické a dynamické. Pri statickom hodnotení sa meria geometria opierky hlavy, t.j. vzdialenosti medzi plochou snímača meracieho zariadenia HRMD a opierky hlavy v oboch, v horizontálnom a vo vertikálnom smere. V prvom kroku sa určia priemery týchto hodnôt z minimálne deväť meraní na dostupných sedačiach. Každá sedačka podlieha troch dopadových skúškach, aby bola zaručená zásadovosť výsledkov. Interval hodnotenia geometrie činí dva body, v rozsahu od -1 do +1. K výsledkom sedačiek s kladným bodovým ziskom sa môže pripočítavať ďalší bod z výsledkov merania nastavenia tzv. „najhoršieho prípadu“, keď sa opierky nastavia do najnižšej a najzadnejšej možnej polohy.



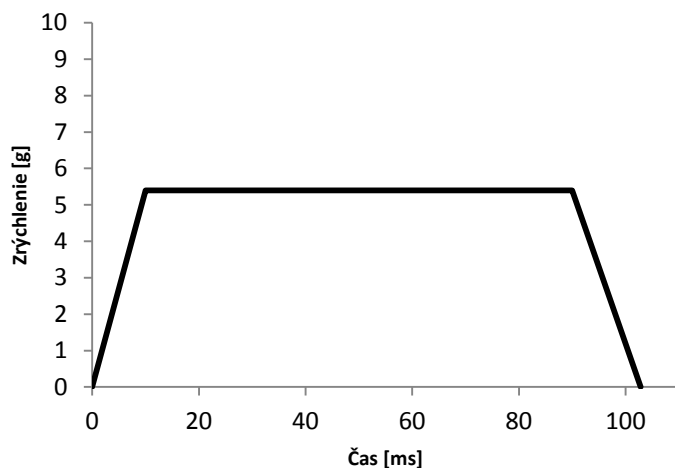
Obrázok 5: Limitné hodnoty geometrie hlavovej opierky, zdroj: [13]

Existujú tri druhy dynamických skúšok, uskutočnia sa pri dvoch dopadových rýchlostiach s odlišným priebehom a veľkosťou spomalenia znázorňujúcich rozdielne hladiny impulzu nárazu. Pri každej sa hodnotia sedem parametrov po 0,5 bodoch, maximálny počet dosiahnutelných bodov je však tri.

Celkový bodový zisk z testov sedačiek bez aplikácie modifikátorov vrcholí teda na hodnote 11 bodoch, ktorý sa do konečného protokolu transformuje na jednotnú škálu 4 bodov kvôli farebnému znázorneniu. Limitné hodnoty parametrov pre oba typy skúšok sú stanovené v protokole Euro NCAP pre hodnotenie ochrany dospelej posádky. [5], [9], [11], [12]

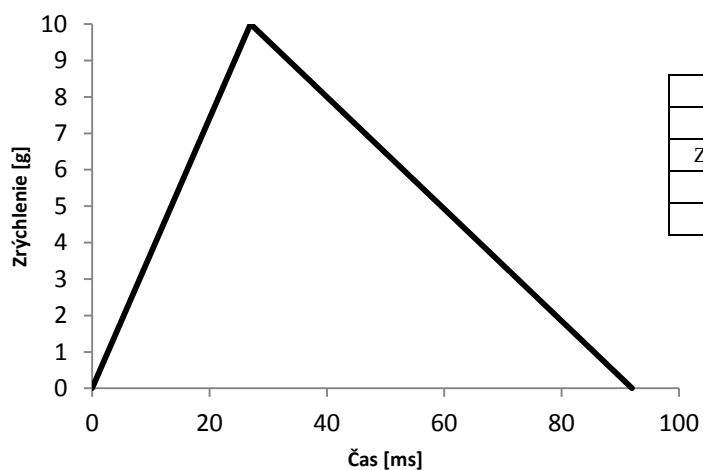
Priebehy zrýchlení (spomalení) dynamických skúšok ochrany krčnej chrbtice [13]:

Impulz SRA 16 km/h (nízka intenzita)



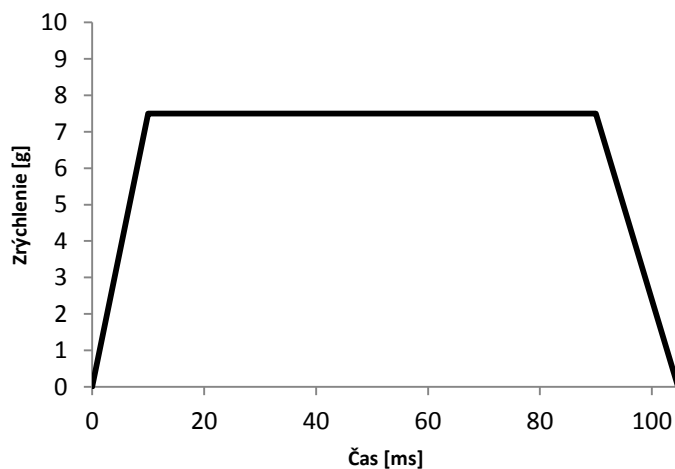
Čas	Zrýchlenie
0 ms	0 g
10 ms	5,4 g
90 ms	5,4 g
102,8 ms	0 g

Impulz IIWPG / IIHS 16 km/h (stredná intenzita)



Parameter	Minimum	Maximum
Zrých. v T = 0 ms	-0,25 g	0,5 g
Zrých. v T = 27 ms	9,5 g	10,5 g
Čas do zrýchl. 0 g	88 ms	94 ms
Δv	14,8 km/h	16,2 km/h

Impulz SRA 24 km/h (vysoká intenzita)

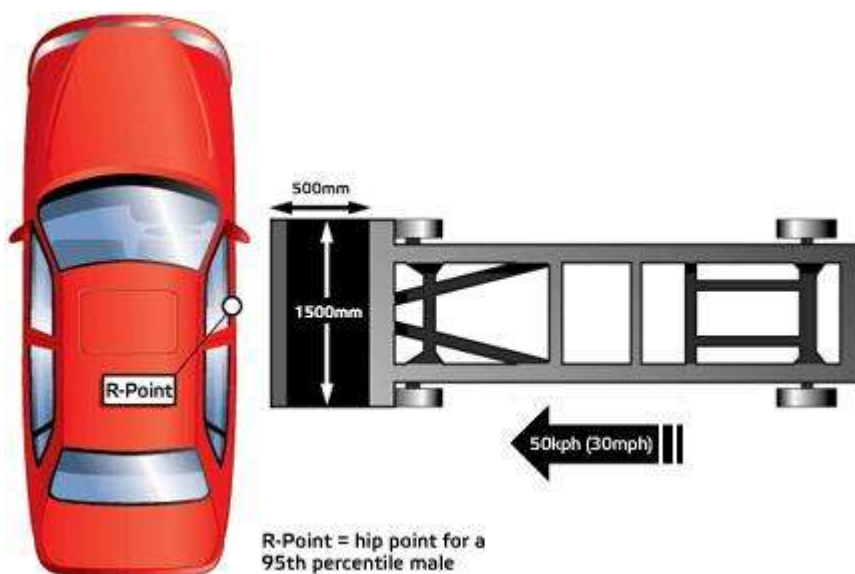


Čas	Zrýchlenie
0 ms	0 g
10 ms	5,4 g
90 ms	5,4 g
104,7 ms	0 g

4. Skúška bočného nárazu – Side Impact Testing

Hodnotenie ochrany dospelých posádok sa koná na základe výsledkov štyroch testov. Jeden z nich je práve skúška bočného nárazu, pri ktorej sa simuluje nárazové prostredie stretu osobného automobilu, či malého 4WD so skúšaným vozidlom. [10]

Priebeh celej skúšky, pred- a ponárazové opatrenia, použité prístroje, figuríny, ich umiestnenia vo vozidle, veľkosť, hmotnosť, rýchlosť a smer nárazového vozíka, ... atď., jedným slovom všetko je presne definované v súvisiacom protokole organizácie Euro NCAP.



Obrázok 6: Schéma skúšky bočného nárazu podľa smerníc Euro NCAP, zdroj: [Euro NCAP]

4.1. Príprava skúšaného vozidla

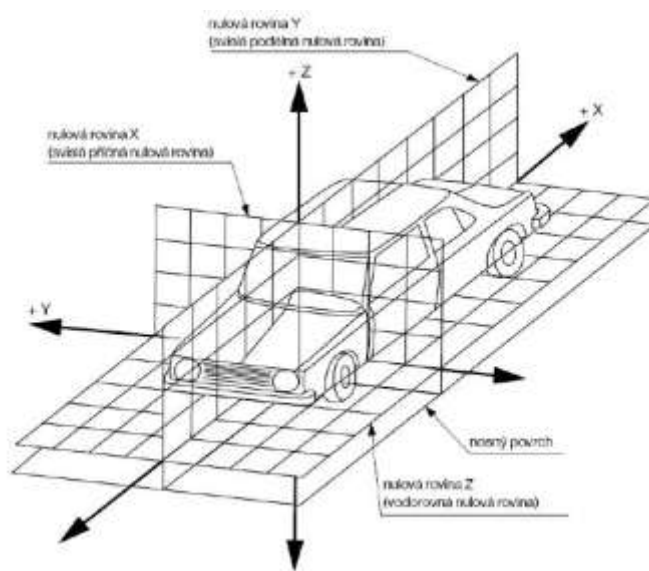
V prvom kroku sa nastaví pohotovostná hmotnosť vozidla. Pracovné kvapaliny agregátu sa doplnia na maximálnu hladinu s výnimkou paliva, ktorá sa načerpá len do 90% objemu palivovej nádrže. Okrem rezervného kolesa a sady náradia na výmenu kolesa, žiadne iné predmety v aute zatiaľ nie sú dovolené. Pneumatiky sa nahustia na výrobcom dané tlaky pre strednú záťaž. Zmeria sa hmotnosť prednej a zadnej nápravy, ich súčet sa zapíše do protokolu ako pohotovostná hmotnosť vozidla. Takisto sa zaznamenajú svetlé výšky zavesení jednotlivých kolies auta.

Nasleduje nastavenie referenčnej hmotnosti vozidla. To sa uskutoční pridaním závažia na sedačky, na ktorých budú umiestnené testovacie figuríny. Panáka na mieste vodiča nahradí 80 kg závažie, do zadného batožinového priestoru sa pridá taká hmota, aby celková hmotnosť vozidla presiahla pohotovostnú hmotnosť presne o 100 kg. V detských sedačkách 1,5 ročné dieťa symbolizuje 11 kilové, 3 ročné 15 kilové závažie, ale do referenčnej hmotnosti dvojmiestnych vozidiel sa hmotnosti detských figurín nepridávajú. Údaje takto zaťaženého automobilu slúžia ako referenčné hmotnosti náprav, resp. celého vozidla.

V ďalšom kroku sa na boky a strechu vozidla nalepí farebná páska, ktorá znázorňuje polohu R-bodu na aute v paralelnej rovine s X-ovou nulovou rovinou. Toto referenčné označenie bude pomáhať pri určení rozmerov vozidla a pri umiestnení ďalších referenčných bodov.

Odstránia sa koberčeky, závažia z batožinového priestoru a rezervné koleso v prípade, že by ovplyvňovalo výsledky testov. Hmoty symbolizujúce figuríny sa neodstránia. Namontujú sa snímače, záznamové zariadenia a ich kabeláže do patričných miest automobilu. Celková hmotnosť takto vybaveného vozidla musí odpovedať referenčnej hmotnosti vozidla s toleranciou 1%, kým hmotnosti namerané pod jednotlivými nápravami musia ležať v okolí hodnoty referenčných hmotností náprav s maximálnou odchýlkou 5%. V prípade nehody niektorých údajov je možné pridať, či odstrániť niektorý komponent vozidla (prípadne i viac), ktorý nemá vplyv na štrukturálny dopad nárazovej skúšky.

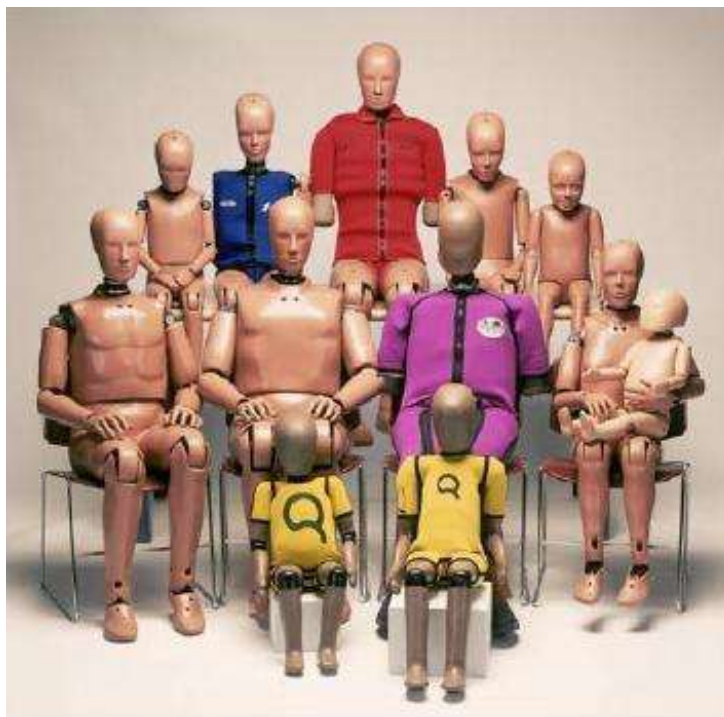
Ako posledný krok v príprave vozidla sa umiestnia na stred kapotu motoru a na prednú časť strechy skúšaného automobilu loga organizácie Euro NCAP.



Obrázok 7: Referenčný súradnicový systém vozidla, zdroj: [24]

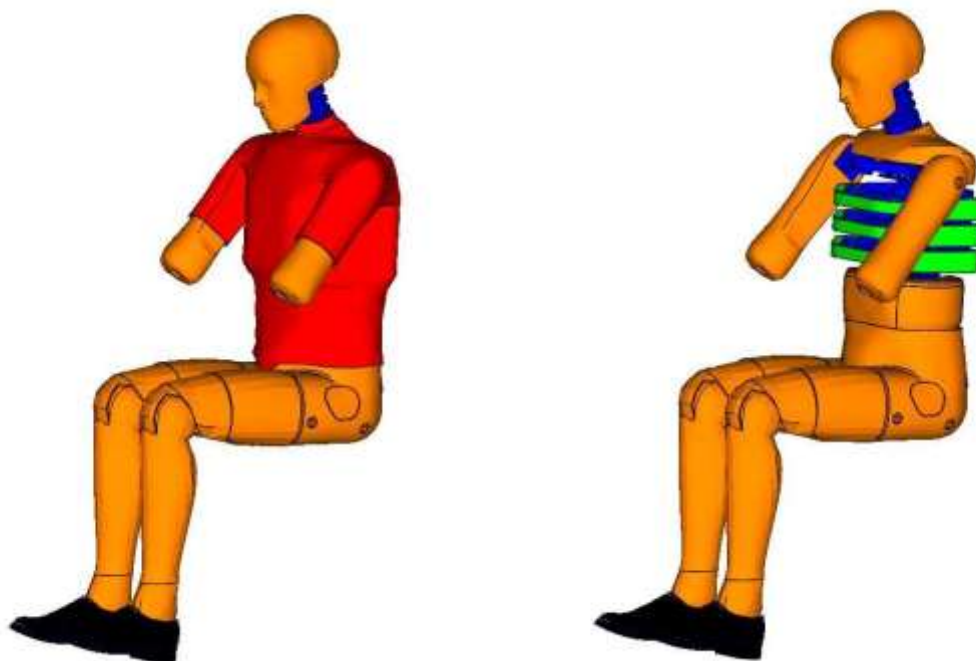
4.2. Použité figuríny („dummy“)

Nárazové skúšky vozidiel sa uskutočnia s cieľom overenia funkčnosti prvkov pasívnej bezpečnosti. Popredným cieľom je zmapovanie možných poranení posádky v dôsledku kontaktu s niektorou časťou vozidla, či preniknutého telesa, alebo z dôvodu prekročenia biometrických limitov znesiteľných pre ľudský organizmus. Všetky tieto ochranné námahy sú zamerané na jednu jedinú spoločnú vec, a to je ľudské telo. Živý organizmus ohľadom na jeho zraniteľnosti nie je schopný na reálne testovanie nových konceptov a na ich vyhodnotenie. Preto vedci dlhé roky hľadali adekvátnu náhradu človeka na validáciu zádržných systémov. Prvotné pokusy s mŕtvolami a s rôznymi zvieratami sa z odlišných dôvodov neujali. Zvrat priniesla americká firma Sierra Engineering Co., keď v roku 1949 predstavila prvé antropomorfické meracie zariadenie, referované ako „dummy“. Od tej doby sa figuríny neustále zdokonaľujú, aby sa so svojim správaním čo najviac priblížili správaniu sa reálneho človeka, aby slúžili čím širším rozsahom výstupných dát. [14]



Obrázok 8: Ukážka „rodiny“ skúšobných figurín, zdroj: [25]

V dnešnej dobe figuríny nie sú jednoduchými imitáciami ľudského tela, ich jadrom je oceľová kostra pokrytá gumovou kožou, ktorá je napakovaná hromadou snímacích elementov. Ich cena sa pohybuje okolo 150 000 eur.



Obrázok 9: Simulačný model figuríny bočného nárazu, EuroSID-2, zdroj: [Škoda]

Na snímanie parametrov bočných nárazov s MDB bariérou sa v súčasnosti podľa platných predpisov Euro NCAP používajú tri rôzne druhy figurín. Na pozíciu vodiča (č. 1 na obr. č. 10) je umiestnená figurína dospelého človeka EuroSID-2 (ES-2), ktorá so svojimi výškovými a váhovými parametrami reprezentuje tzv. „50%-ného muža“. Do zadného radu na sedadlo za vodičom (4) sa usadí figurína P 1½ symbolizujúca 18 mesačné dieťa, kým na druhú stranu (6) figurína P 3, čiže trojročné dieťa. Obidve detské figuríny sa umiestnia do riadne ukotvených detských sedačiek odporúčané výrobcom automobilu.



Obrázok 10: Jednotné číselné označenia miest na sedenie vo vozidle, zdroj: [Euro NCAP]

Kvôli jednoznačnému určeniu kontaktných miest figurín s časťami vozidla slúžia samolepiace pásky, na ktoré sa nanesú príslušné farby jednotlivých častí tela podľa smernice Euro NCAP [7]:

Dospelá figurína EuroSID-2

Hlava	červená
Rameno	modrá
Horné rebro	červená
Stredné rebro	žltá
Spodné rebro	zelená
Brucho	červená
Panva	oranžová

Detské figuríny P 1½ a P 3

Vršok hlavy	modrá
Tretiny čelenky (zľava doprava)	červená, žltá, zelená



Obrázok 11: Použitie testovacích figurín v praxi, zdroj: [Škoda]

4.3. Použité snímače a senzory

Snímače sú umiestnené po celom tele figuríny ES-2 v najdôležitejších miestach, kde získané dáta najviac odzrkadľujú záťaž jednotlivých partícií tela. V prípade detských figurín sa údaje zapisujú len z dvoch miest. Akcelerometrom je vybavený aj B-stĺpik vozidla na nedeformovanej strane, rovnako ako ťažisko nárazového vozíku. Celkovo sa teda sníma 57 kanálov v priebehu jednej skúšky.

Tabuľka 4.1: Snímače biomechanických parametrov testovacích figurín, zdroj: [7]:

Dospelá figurína EuroSID-2	Parameter	Min. amplitúda	Počet kanálov
Hlava	Zrýchlenia, $A_x A_y A_z$	250 g	3
Rameno	Sily, $F_x F_y F_z$	8 kN	3
Hrudník T1	Zrýchlenia, $A_x A_y A_z$	200 g	3
Hrudník T12	Zrýchlenie, A_y	200 g	1
Rebrá, 3 snímače	Zrýchlenie, A_y	700 g	3
	Stlačenie, D_{nb}	90 mm	3
Brucho, 3 snímače	Sila, F_y	5 kN	3
Chrbtová doska	Sily, $F_x F_y$	5 kN	4
	Momenty, $M_y M_z$	200 Nm	
T12	Sily, $F_x F_y$	5 kN	4
	Momenty, $M_x M_y$	300 Nm	
Panva	Zrýchlenia, $A_x A_y A_z$	150 g	3
Stydka spona	Sila, F_y	20 kN	1
Stehná (pravé a ľavé)	Sily, $F_x F_y F_z$	22 kN	6
	Momenty, $M_x M_y M_z$	350 Nm	6

Detské figuríny P 1½ a P 3	Parameter	Min. amplitúda	Počet kanálov
Hlava	Zrýchlenia, $A_x A_y A_z$	150 g	3
Hrudník	Zrýchlenia, $A_x A_y A_z$	150 g	3

Vozidlo	Parameter	Min. amplitúda	Počet kanálov
B-stĺpik (nedeformovaný)	Zrýchlenie, A_y	150 g	1

Nárazový vozík	Parameter	Min. amplitúda	Počet kanálov
Ťažisko	Zrýchlenie, A_y	150 g	1

4.4. Nárazový vozík a mobilná deformovateľná bariéra (MDB)

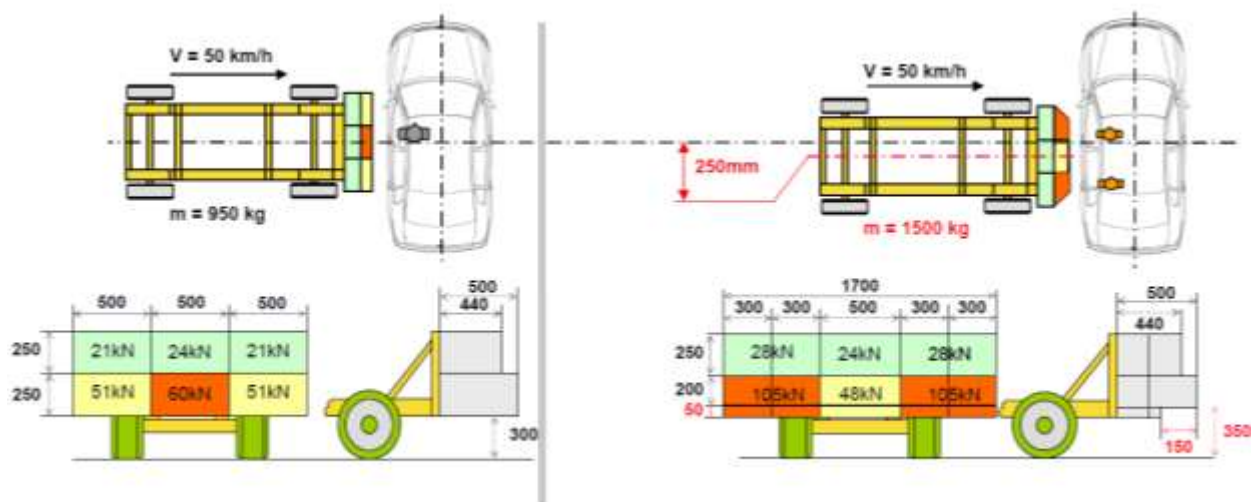
Pri skúškach bočného nárazu podľa ustanoveniach Euro NCAP do testovaného vozidla kolmo naráža vozík s rýchlosťou $50 \text{ km/h} \pm 1 \text{ km/h}$. Parametre vozíka sú presne stanovené, jeho rázvor je $3000 \pm 10 \text{ mm}$, rozchod prednej a zadnej nápravy $1500 \pm 10 \text{ mm}$ a jeho hmotnosť musí ležať v intervale $950 \pm 20 \text{ kg}$.



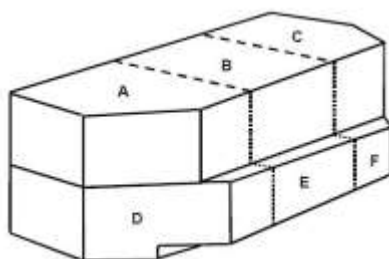
Obrázok 12: Nárazový vozík bez deformačného člena, zdroj: [Škoda]

Každý vozík je na čele vybavený s deformačným členom, ktorý pri náraze imituje chovanie prednej časti z boku narážajúceho vozidla. Podľa platných smerníc Euro NCAP je to sústava 6 blokov hliníkovej voštiny presne definovanými tuhosťami a rozmermi. Bloky sú usporiadané takým spôsobom, aby nárast sily na impaktore v závislosti na deformácií bol progresívny. Odlišné tuhosti jednotlivých blokov sa snažia zachytiť reálne deformačné vlastnosti predka osobného vozidla, či malého SUV, čiže s tuhším stredom a mäkkšími okrajmi.

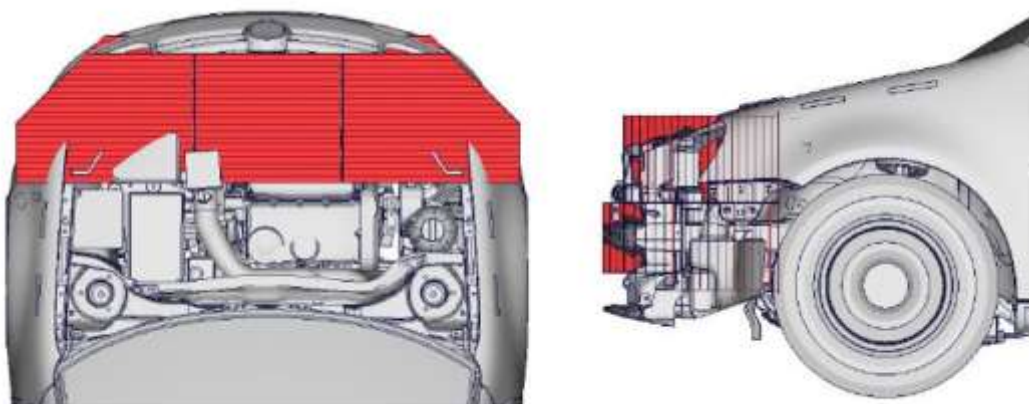
Vyše popísaný nárazový vozík s deformačným členom tvorí celok mobilnej deformačnej bariéry s označením MDB. V súčasnosti túto konfiguráciu používa organizácia Euro NCAP pri nárazoch na validáciu bočnej bezpečnosti nových vozidiel. Z dôvodu komplexnejšieho pokrytia priemerného vozidlového parku Európy sa v roku 2001 začal vývoj novej testovacej procedúry s názvom AE-MDB, ktorá navrhuje zvýšenie hmotnosti vozíku s impaktorom na $1500 \pm 20 \text{ kg}$, iné tuhosti a tvary voštinových blokov a pridanie „nárazníkového“ elementu. Síce nová regulácia je ešte stále vo vývojovej fáze, automobilka Škoda a ostatní členovia koncernu Volkswagen svoje nové vozidlá už vyvíjajú a testujú podľa predpokladaných náročnejších podmienok, aby aj po zavedení nových pravidiel v roku 2015 (plánované), mohli dosiahnuť špičkové hodnotenie v tejto oblasti bezpečnosti posádky. [7], [16], [17]



Obrázok 13: Porovnanie skúšky s MDB bariérou s plánovanou novou s bariérou AE-MDB, zdroj: [Škoda]



Obrázok 14: Schéma bariéry AE-MDB, zdroj: [Škoda]



Obrázok 15: Porovnanie zhody AE-MDB bariéry s predkom VW Golf V (2003) , zdroj: [Škoda]

5. Úprava bodovania bočného nárazu do mobilnej bariéry

Výpočet bodového hodnotenia pasívnej bezpečnosti vozidiel je predovšetkým založený na presných číselných hodnotách obdržaných zo senzorov. Tie sa potom na základe limitov Euro NCAP lineárnou interpoláciou transformujú na jednotnú stupnicu v rozsahu od 0 do 5 bodov s presnosťou na 3 desatinné miesta. Pri neustálych sprísneniach pravidiel musia automobilky tvrdo pracovať za každé maličké polepšenie, aby ustáli vo veľmi napnutom konkurenčnom súboji. Realita je však krutá, body sa ťažko zbierajú, ale rýchlo sa môžu stratiť aj pri najmenšej nepozornosti. Za náhlu stratu bodov môžu najmä modifikátory, ktorý dokážu znížiť skóre niektorej čiastkovej oblasti, ale aj väčšieho celku výsledku nárazových skúšok. Na elimináciu príčin aplikácie modifikátorov kladú výrobcovia automobilov veľký dôraz, hlavne keď o dosiahnutie vyššieho počtu hviezdíček pri celkovom hodnotení prídu kvôli jedinému bodu. Čo je práve prípad poslednej generácie modelového radu Škody Fabie.



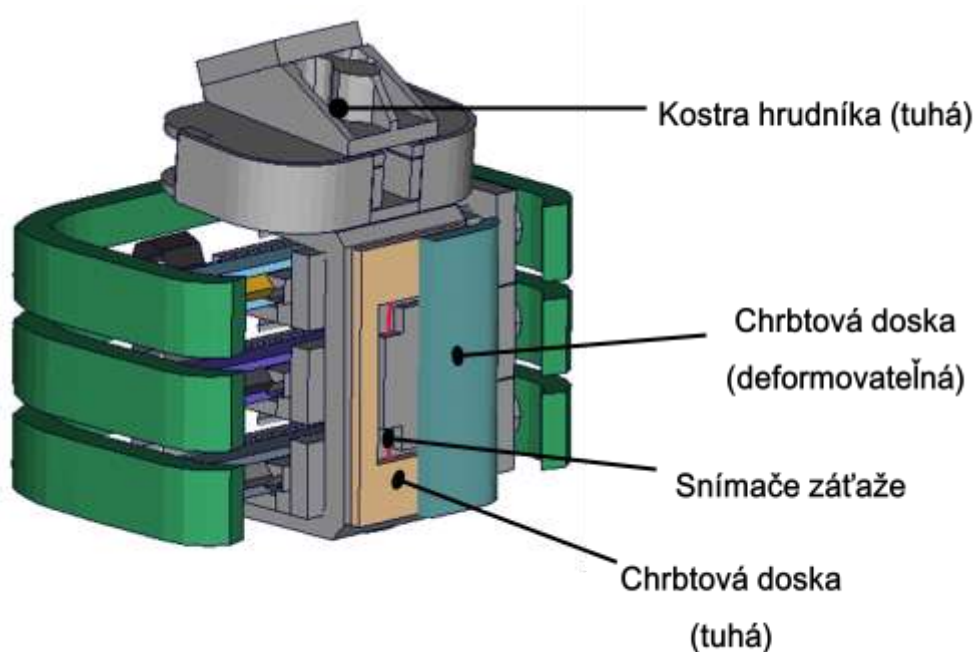
Obrázok 16: Obrázok z priebehu skúšky bočného nárazu Škody Fabie (2007), zdroj: [Škoda]

Príčiny aplikácie modifikátorov sa rozdeľujú na biomechanické parametre a na technický stav vozidla. Modifikátory hodnotenia skúšky bočného nárazu sú popísané v nasledujúcich podkapitolách.

5.1. Modifikátory biomechanických parametrov

5.1.1. Zaťaženie chrbtovej dosky

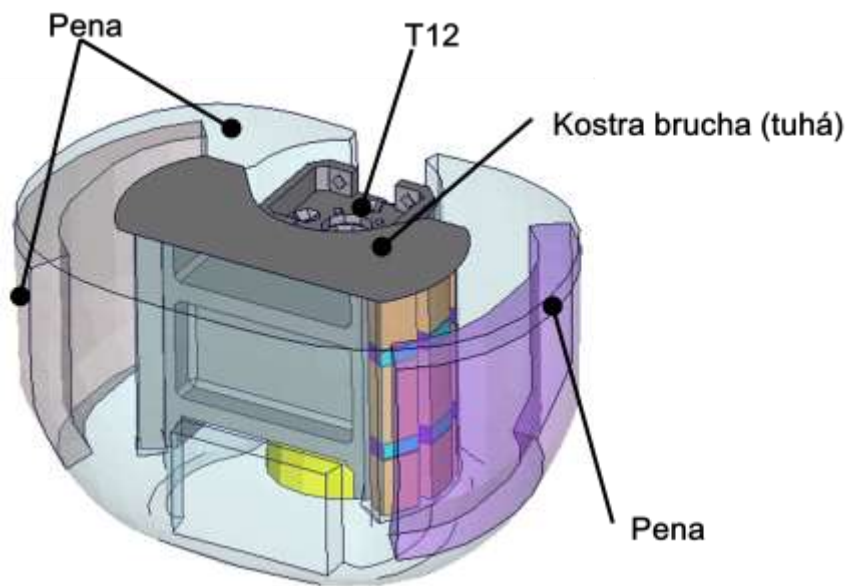
V prípade, že počas testu hodnota sily zaťaženia chrbtovej dosky F_y presiahne hodnotu 4 kN, uskutoční sa 2-bodová penalizácia hrudníka. Ak nameraná hodnota leží v rozmedzí 1 kN až 4 kN, tak modifikátor sa určí lineárnou interpoláciou medzi 0 a 2. Len tie záťaže sa počítajú, ktoré pôsobia na chrbtovú dosku zrýchlením chrbtice v smere od miesta nárazu.



Obrázok 17: Model časti hrudníka figuríny EuroSID-2, zdroj: [Škoda]

5.1.2. Modifikátor T12

T12 je deformovateľné spojenie hrudníka a brucha testovacej figuríny. Keď sila F_y a moment M_x pôsobiaci na tento snímač presiahne hodnotu 1,5 kN, resp. 150 Nm, opäť 2-bodová penalizácia postihne oblasť hrudníka. V prípade, že výsledky ležia v rozmedzí 1,5 – 2,0 kN, resp. 150 – 200 Nm, bodová zrážka sa počíta identickým spôsobom ako v predchádzajúcom prípade, kľavou stupnicou, pritom sa aplikuje výsledok horšieho parametra z dvoch.



Obrázok 18: Detail brucha figuríny EuroSID-2, zdroj: [Škoda]

5.2. Modifikátory technického stavu vozidla

5.2.1. Nesprávne rozbalenie airbagov

Každý airbag, ktorý sa nerozbalí úplne podľa plánovaného priebehu má za následok jednobodovú penalizáciu oblastí telesa, ktoré bezprostredne ochraňuje. V prípade, že ovplyvňuje viac ako jednu oblasť, vyberú sa 2 najviac postihnuté. Zníženie počtu bodov v niektorých regiónoch telesa pri bočnej nárazovej skúške do MDB bariéry sa aplikuje aj pri hodnotení nárazovej skúšky na stĺp, prípadne i čelného nárazu.



Obrázok 19: Ukážky nesprávneho rozbalenia bočného airbagu na prototype Škody, zdroj: [Škoda]

5.2.2. Otvorenie dverí

V prípade, že počas testu dôjde k otvoreniu niektorých dverí, celkový počet bodov bočného nárazu do mobilnej bariéry sa zníži o bod za každé otvorené dvere, vrátane strešného okna a veka batožinového priestoru. Pritom maximálny počet bodovej straty nie je obmedzený.

Po vykonaní skúšky sa overuje aj sila potrebná na otvorenie dverí na nedeformovanej strane vozidla. Veľkosť nameraných síl sa nebuduje, výsledok sa uvedie do textového záveru hodnotenia vozidla. Dvere na strane nárazu sa neskúšajú.



Obrázok 20: Ukážka otvorenia dverí vplyvom bočného nárazu na prototype Škody, zdroj: [Škoda]

6. Nežiadané otvorenie dverí

Z predchádzajúcej kapitoly je viditeľné, že modifikátorov technického stavu vozidla nie je príliš veľa. Podmienky na uplatnenie sú jednoznačne stanovené smernicami organizácie Euro NCAP. Navyše ich použitie znižuje bodovanie jednotlivých oblastí telesa, či celkové hodnotenie bočných nárazových skúšok o celý bod, v horšom prípade o násobky celého bodu. Práve to sú hlavné dôvody každej automobilky, aby svoju pozornosť zamerali na zmapovanie vplyvov, ktoré ich vyvolajú, a na snahu o ich elimináciu.

6.1. Globálny problém

Ako som sa na začiatku piatej kapitoly zmienil, problém nežiadaného otvorenia dverí sa vyskytol aj u modelov mladoboleslavskej značky Škoda, presnejšie u modelového radu druhej generácie Fabie, ktorá bola predstavená v marci roku 2007 na ženevskom autosalóne. Oficiálne vykonané nárazové skúšky v tom istom roku priniesli novej Fabii len 4 hviezdičky z možných 5, hodnotenie maximálnej bezpečnosti uniklo iba o jeden bod. Pri skúške bočného nárazu došlo k uvoľneniu primárneho zámku zadných dverí, úplnému otvoreniu zabránil len sekundárny zámok. Tento stav však už podľa predpisov Euro NCAP podlieha jednobodovej penalizácii. Na druhej strane absolútny úspech samozrejme nezáležal len na tejto maličkosti chybe, ale keby tomu nebolo došlo, aj tento predstaviteľ kategórie malých rodinných áut by sa mohol pýšiť hodnotením najvyššej pasívnej bezpečnosti svojej posádky.

Český výrobca vozidiel s okrídleným šípom nie je jediný, koho zasiahli tieto problémy. Na nasledujúcej mape sú znázornené príklady výrobcov, ktorí v poslednej dobe museli riešiť výskyt podobných problémov. Z európskych automobiliek takýmito nedostatkami trpeli napr. Citroën, Peugeot, Renault, dokonca aj BMW, kým k otvoreniu dverí došlo aj u niektorých modelov juhokórejských, či japonských značiek, ako napr. Mazda, Subaru, Kia, či Hyundai. Je vidieť, že sa nejedná o regionálnu, či koncernovú záležitosť. Uvoľnenie zámku niektorých dverí počas skúšky bočného nárazu trápí aj tie najprestížnejšie značky sveta (zdroj mapy: [18]):

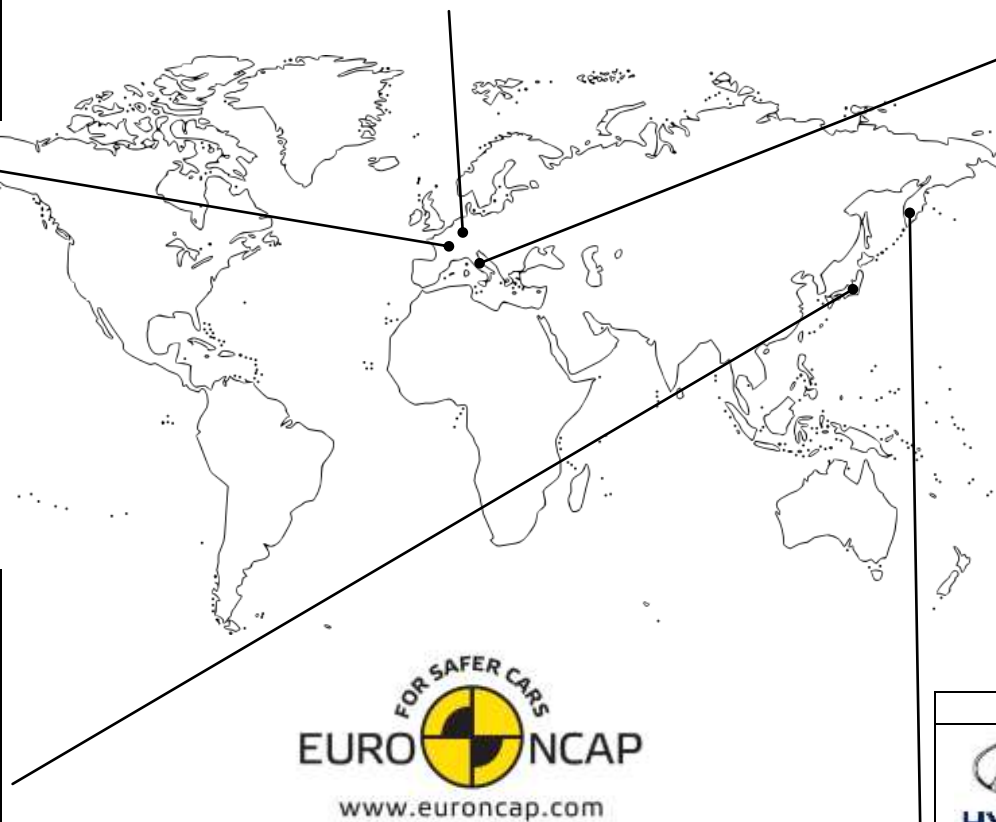
Francúzsko		
	C5 C5 C-Zero	2001 2004 2011
	Laguna	2007
	iOn	2011

Nemecko		
	3 Series	2001
	Astra	1999

Taliansko		
	159	2006
	Panda	2004

Japonsko		
	2 Series	2007
	Lancer i-MiEV	2009 2011
	Impreza	2009

Južná Kórea		
	Elantra	2001
	Picanto Rio	2011 2011

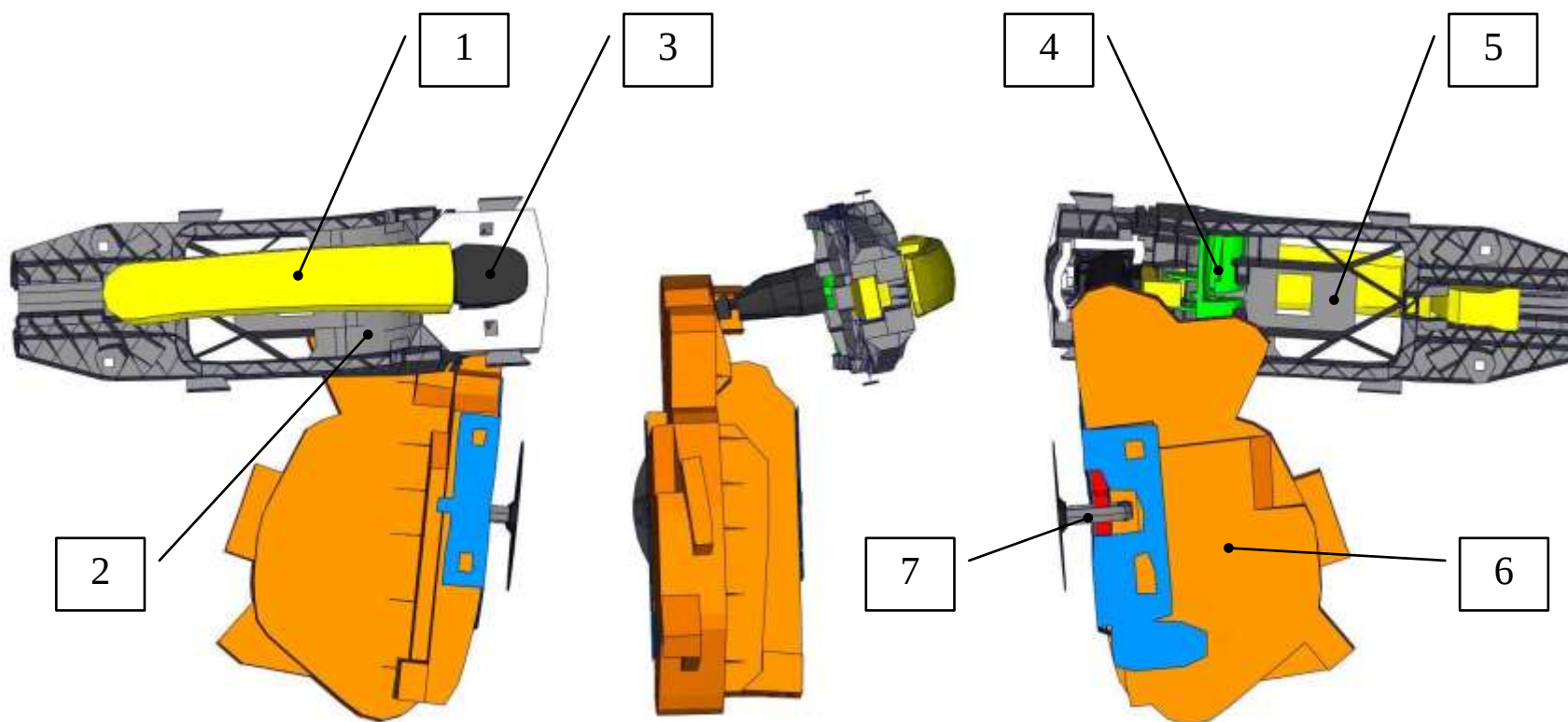


Mapa 1: Prehľad výskytu otvorenia dverí u modelov konkurenčných značiek

6.2. Možné príčiny

Nežiadané otvorenie dverí počas nárazovej skúšky zapríčiní zrejme zlyhanie, resp. nesprávne chovanie niektorej súčiastky zostavy zámku dverí vplyvom síl a zrýchlení pôsobiace na celok vozidla. K tomu, aby sme mohli uvažovať o možných príčinách otvorenia dverí musíme pochopiť spôsob fungovania celého mechanizmu kľučky.

Najdôležitejšie súčiastky zostavy sú označené na obrázku FEM modelu mechanizmu. Pribeh otvorenia dverí vozidla je nasledujúci: zatiahnutím kľučky (1) sa otočí kovové závažie (4) okolo čapu, pomocou ktorého je zachytené do tzv. multivýstuhu (2). Multivýstuha sa nachádza na vnútornej strane plechu dverí, na predných je prichytená iba jednou skrutkou a zámkom (3), ktorý zapadne do tvarovanej diery multivýstuhu. Na zadných dverách je predná fixácia identická s prednými dverami, čiže skrutkou, vzadu sa však namiesto zámku používa tvarovaná záslepka, ktorú drží aretačný zámok. Pohyb kľučky sa do zámkového mechanizmu (6) prevádza cez oceľové lanko, ktoré je uložené do trubky z vinutej oceľovej pásky, kvôli vedeniu lanka, aby bol zaistený rovnaký posuv oboch koncov. Zatiahnutie za lanko otvára jazýček zámku, ktorý sa drží na háčku (7) v ráme dverí, a zabráňuje samovoľnému otvoreniu dverí. Samotné lanko je uchytené na jednom konci v otočnom závaží multivýstuhu, na druhom v zámkovom mechanizme. Na vrátenie kľučky do východiskovej (zatvorenej) polohy slúži pružina na otočnom čapu, ktorá pôsobí na kovové závažie.

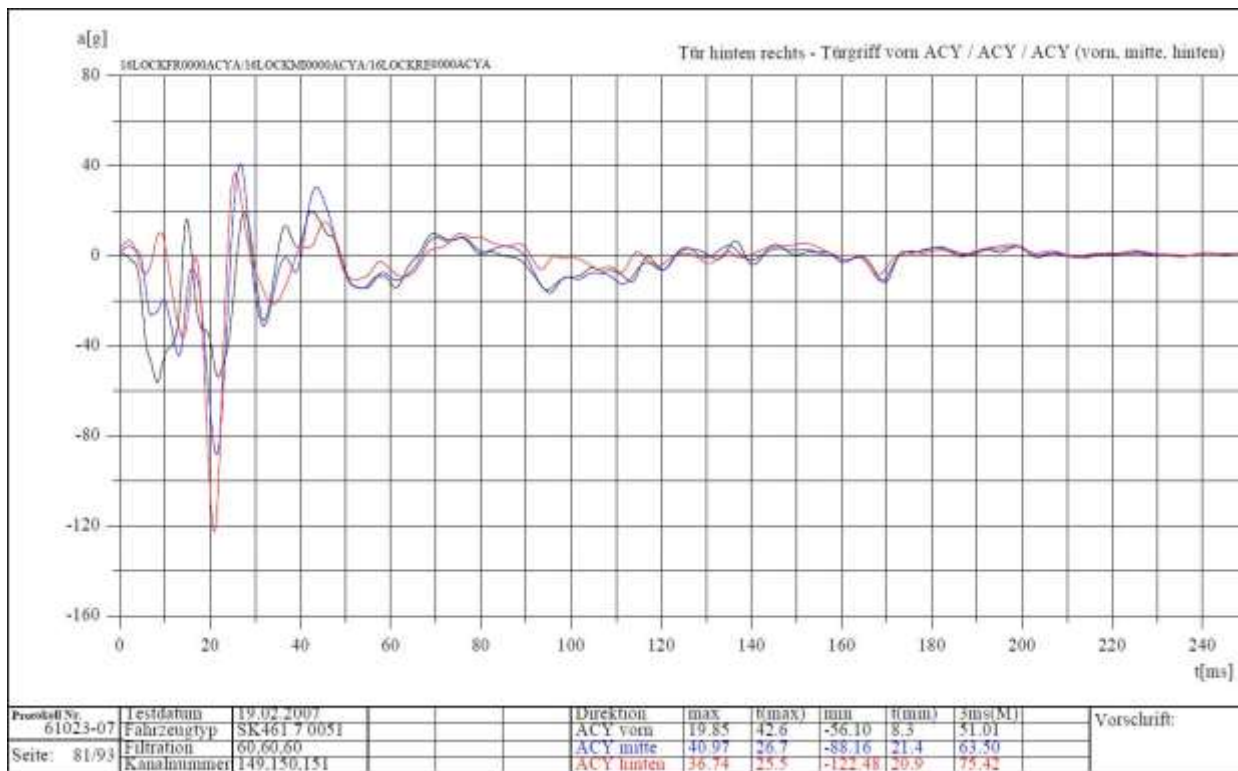


Obrázok 21: Model celku zámkového mechanizmu, zdroj: [Škoda]

- 1- Kľučka dverí
- 2- Multivýstuha kľučky dverí
- 3- Vložka zámku dverí
- 4- Kovové závažie
- 5- Miesto súčiastky „massensperre“
- 6- Zámok dverí
- 7- Háčok v ráme dverí

6.2.1. Vplyv zotrvačnosti kľučky

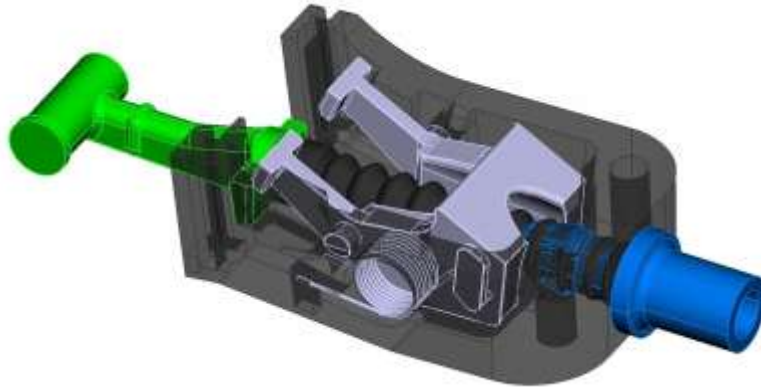
Napriek tomu, že kľučka dverí je vyrobená z ľahkého plastu, pri náraze mobilnej bariéry do vozidla na ňu pôsobí také veľké zrýchlenie, že by kvôli vlastnej zotrvačnosti mohlo dôjsť k otvoreniu dverí. Z grafikonu nameraných zrýchlení počas nárazovej skúšky prototypu s interným označením Škody SK461 je názorné, že špička zrýchlenia pôsobiace na zadné dvere dosahuje hodnotu 122,48 g v čase 20,9 ms. Podobný dej by nastal, ako keby sme rukou zatiahli za nej.



Obrázok 22: Grafikon nameraných zrýchlení na kľučke pravých zadných dverí pri skúške bočného nárazu, zdroj: [Škoda]

Na zabránenie takejto udalosti je určený podmechanizmus tzv. „massensperre“, ktorý sa nachádza v blízkosti konca oceleového lanka v multivýstuhe kľučky (poz. č. 5 na obrázku č. 21). Jeho účelom je zablokovanie oceleového lanka, tým pádom aj kľučky, pred nežiadaným posunutím vplyvom priečného zrýchlenia. Mechanizmus je uložený do plastovej krabice, skladá sa z malého závažia excentricky uloženého na otočnom čapu. V normálnej polohe ho drží malá pružinka, ale v prípade, že bočné zrýchlenie prekročí hranicu 10,6 g, zotrvačná sila závažia prekoná silu pružiny a preklopí sa do polohy v ktorej zabráni pred zatiahnutím oceleového lanka. Číselná hodnota minimálneho prahového zrýchlenia vychádza z hodnôt udávaných výrobcom, z minimálneho krútiaceho momentu pružiny, z ramena jeho pôsobenia a z hmotnosti závažia.

K zlyhaniu tohto mechanizmu by mohlo dôjsť v prípade, že by deformácia vonkajšieho plechu dverí zľahka nadvihla kľučku ešte pred dosiahnutím limitného zrýchlenia pre aktiváciu blokovacieho systému. V tomto prípade by výstupok na oceľovom lanku sa mohol posunúť o minimálnu vzdialenosť, pri ktorej by sa dostal za bariérou tvorenou preklopením závažia mechanizmu „massensperre“.



Obrázok 23: Model mechanizmu na zabránenie otvorenia dverí vplyvom zotrvačnosti kľučky, zdroj: [Škoda]

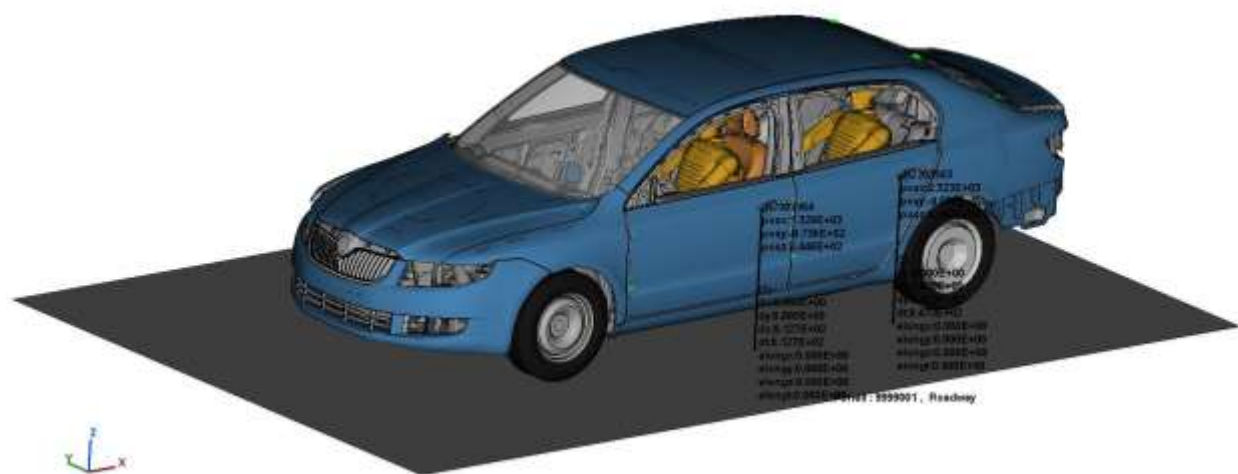
6.2.2. Zaseknutie kľučky do voštiny bariéry

Obrázkové záznamy priebehu interných nárazových skúšok automobilky Škoda ukazujú, že v niektorých prípadoch dôjde k zatlačeniu kľučky predných dverí do hornej plochy voštiny deformovateľnej bariéry v následku deformácie dverí. Pri následnom oddialení skúšaného vozidla od nárazového vozíku potom dochádza k mechanickému zatiahnutiu kľučky, čiže k otvoreniu dverí.

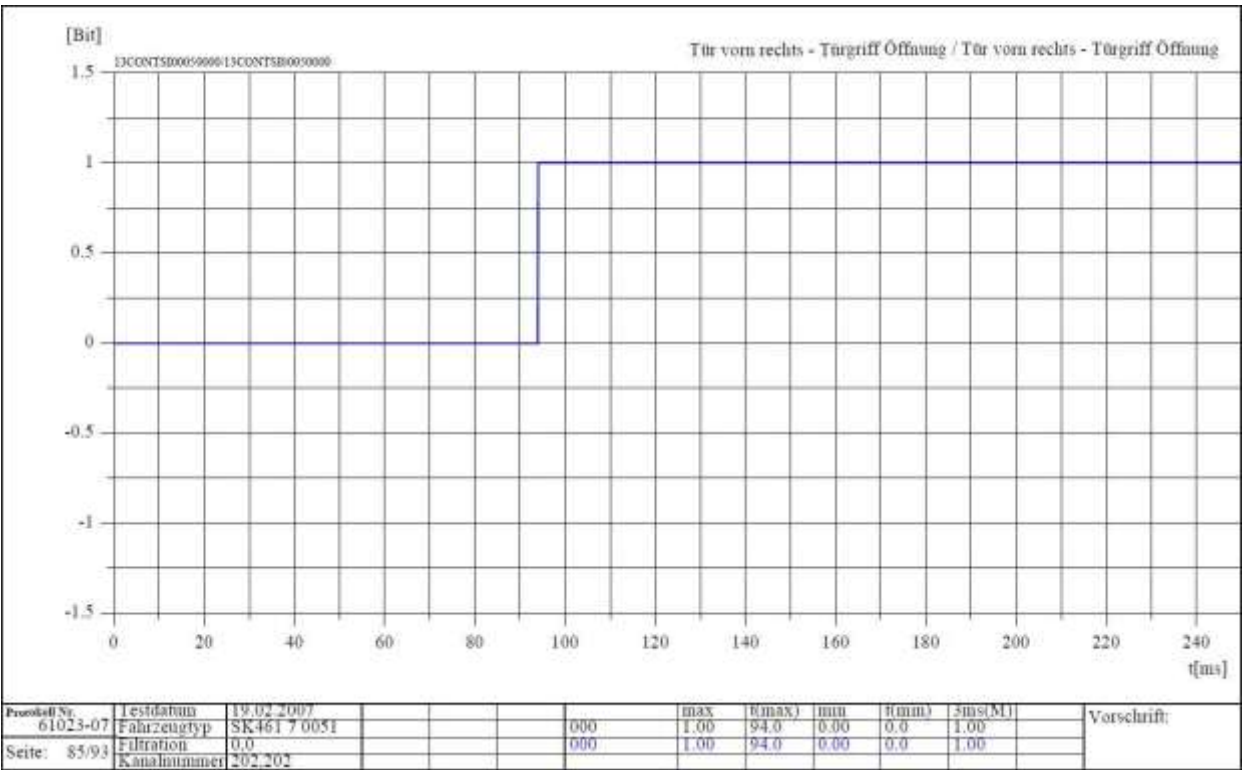
Dôvodom tohto procesu je nešťastný návrh výškového rozmeru uloženia kľučky dverí, vzhľadom k rozmerom deformačného člena mobilnej bariéry. Medzi výšky hornej plochy deformačnej bariéry a spodnej hrany kľučky je podľa simulačných modelov bočnej nárazovej skúšky len niekoľko desiatok milimetrov. Pri náraze deformačný člen bariéry zasiahne dvere tesne pod kľučkou. Vzdialenosť medzi spodnou hranou kľučky a vozovkou sa však postupne skracuje v priebehu nárazu kvôli deformácii plechu dverí. Vertikálny posuv kľučky počas zrážky je väčší ako počiatočná medzera, čím dochádza k zatlačeniu kľučky do voštiny. Voština sa však zdeformuje podľa tvaru kľučky a objemu ju v dostatočnej miere k tomu, aby došlo k zatiahnutiu pri oddialení.

Nasledujúci model znázorňuje postup reálnej skúšky. Rozmery simulačných modelov sa môžu líšiť od reálnych vozidiel, tento rozdiel je však v tomto prípade zanedbateľný, nakoľko sa jedná o dôkaz deja a nie o presný výpočet.

Prototyp s interným označením SK461:



Obrázok 24: Simulačný model prototypu Škody, zdroj: [Škoda]



Obrázok 25: Grafikon výstupného signálu snímača otvorenia pravých predných dverí, zdroj: [Škoda]

Na modeli prototypu s interným označením SK461 je viditeľná výška kľučky predných dverí. Jej spodná hrana sa nachádza vo výške 873 mm nad hladinou vozovky. V tomto prípade vzdialenosť medzi kľučkou a blokom deformačnej bariéry je 73 mm. Na snímkach video záberu reálnej nárazovej skúšky je táto medzera menšia z dôvodu nižšej svetlej výšky automobilu kvôli skutočnému zaťaženia zavesení vozidla a ich väčšieho stlačenia. Impaktor mobilnej bariéry zasiahne dvere vozidla tesne pod kľučkou, ako je názorné z fotky 5. milisekundy nárazu.



Obrázok 26: Obrázkový záznam z 5. ms skúšky bočného nárazu, zdroj: [Škoda]

V priebehu nárazu dochádza k deformácii štruktúry dverí, ktorá pôsobí skrátenie rozmeru dverí vo vertikálnom smere. Následkom tohto skrátenia je pohyb kľučky dverí, ktorá sa zatlačuje do hornej plochy voštiny deformačného bloku. Vzniknutý tvar deformácie voštiny funguje ako puzdro, v ktorom sa drží kľučka. K otvoreniu dverí dôjde v momente, keď vplyvom jeho zotrvačnosti sa vozidlo začne oddaľovať od impaktoru, v ktorom je kľučka zafixovaná. V prípade znázornenej nárazovej skúšky tomu dôjde v čase 94 milisekúnd podľa výstupných dát zo snímače otvorenia dverí, jeho časový priebeh je zachytený v príslušnom grafikone. Kľučka dverí je tak pevne zaseknutá do voštiny bariéry, že v ďalšom priebehu sa jej plastové háčiky, na ktorých sa drží v multivýstuhe ulomia, a kľučka ostáva v objatí deformačného člena.



Obrázok 27: Obrázkový záznam z 94. ms skúšky bočného nárazu, zdroj: [Škoda]



Obrázok 28: Obrázkový záznam zo 130. ms skúšky bočného nárazu, zdroj: [Škoda]

6.2.3. Porušenie multivýstuhy

Uchytenie multivýstuhy do konštrukcie dverí je riešené jednoduchým spôsobom, po okrajoch oboch dier plechu dverí sa držia malé plastové výstupky, háčiky. Tie predovšetkým udávajú presnú polohu namontovania, kým o zaistení tejto polohy sa stará malá skrutka na prednej časti a tvarovaný protikus na jeho zadnom konci. Tento tvarovaný protikus sa zasunie do otvoru multivýstuhy z vonkajšej strany plechu, na ktorú si dosadne jeho príruha, zároveň sa jeho poloha v multivýstuhy zafixuje posuvnou súčiastkou.

Vzdialenosť medzi predným a zadným záchytným bodom multivýstuhy je však dostatočne veľká k tomu, aby pri deformácii plechu počas nárazu na ňu pôsobili veľké ohybové a krútiace momenty. Podľa výsledkov nárazových skúšok rôznych modelov značky Škoda, v ktorých sa používa výše predstavený typ multivýstuhy, sa ukázalo, že tieto záťaže často presahujú hranicu pevnosti plastového materiálu výstuhy. V praxi to znamená porušenie štruktúry v najslabšom mieste.



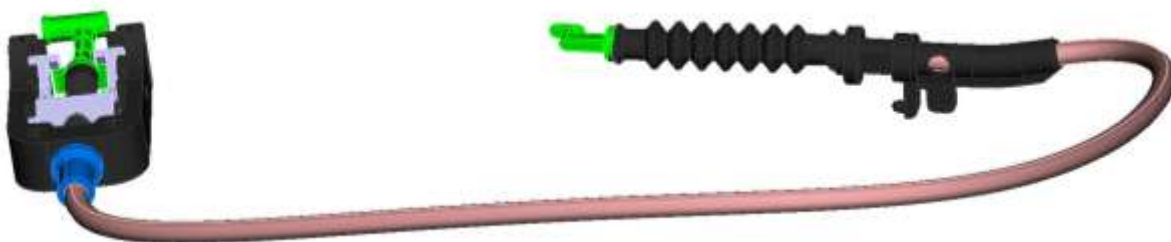
Obrázok 29: Obrázkový záznam porušenia multivýstuhy kľučky dverí č. 1, zdroj: [Škoda]

V niektorých prípadoch deformácia plechu dosiahne miery, pri ktorej dôjde k rozlomení multivýstuhy cez celú šírku a ku vzájomnému posunutí jej častí. Tieto situácie sa v záverečných protokoloch z hľadiska otvorenia dverí hodnotia rizikové.



Obrázok 30: Obrázkový záznam porušenia multivýstuhy kľučky dverí č. 2, zdroj: [Škoda]

Pri úvahe o možnom otvorení dverí v takýchto prípadoch je však treba zmieniť fakt, že oceľové lanko, ktoré otvára zámok dverí je vedené v ochrannom potrubí z vinutého kovového pásu. Toto potrubie je síce flexibilné, ale jeho dĺžka je konštantná. Navyše jeho konce sú pevne uložené na jednej strane v krabici „massensperre“, na druhej v mechanizme zámku.

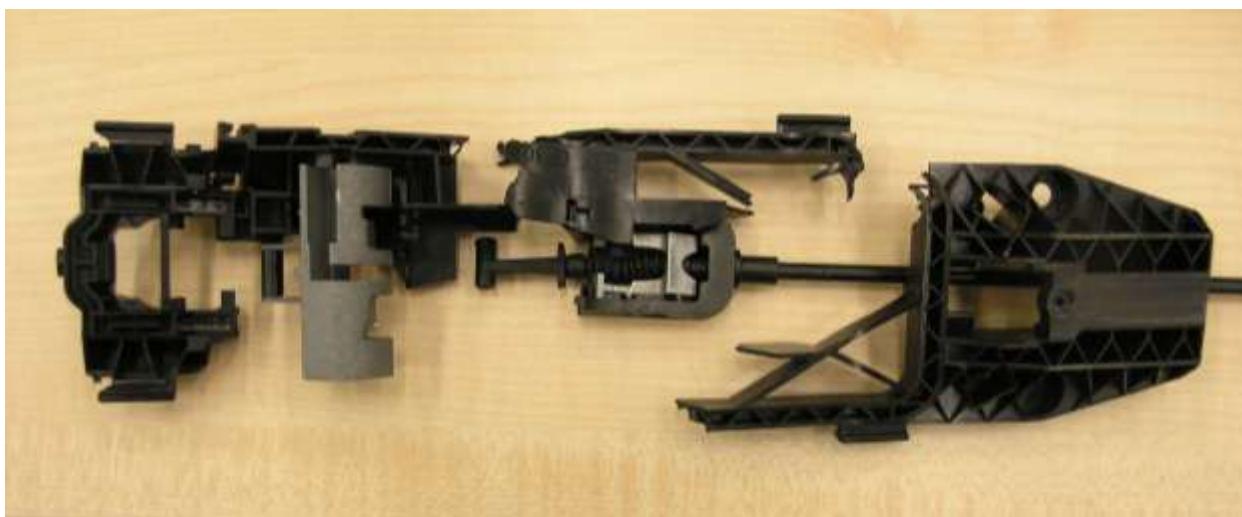


Obrázok 31: Model oceľového lanka s mechanizmom „massensperre“, zdroj: [Škoda]

Podľa tohto predpokladu k zatahnutiu bowdenu, čiže k otvoreniu dverí, môže dôjsť v prípade, že:

- vytrhne sa niektorý koniec zachytenia ochranného potrubia oceľového lanka,
- poruší sa štruktúra ochranného potrubia a jeho dĺžka sa zmení,
- multivýstuha sa rozlomí presne medzi kovovým závažím a škatuľkou „massensperre“.

Pri porušení multivýstuhy v iných miestach, ako uvedený výše, ani pri vzájomnom posunutí jeho častí, k zatahnutiu oceľového lanka dôjsť nemôže. Prípadné skrátenie dĺžky bowdenu vplyvom ohýbania sa ochranného potrubia je zanedbateľné, nakoľko nie je dostačujúce na otvorenie zámku dverí.



Obrázok 32: Obrázkový záznam porušenia multivýstuhy kľučky dverí č. 3, zdroj: [Škoda]

7. Tvorba komponentného modelu

Jedným zo stanovených cieľov diplomovej práce je vytvorenie funkčného FEM modelu mechanizmu kľučky dverí pre crashové simulácie. Z hľadiska skúmaného problému, čiže otvorenie dverí v dôsledku bočného nárazu, najdôležitejšou súčiastkou mechanizmu je multivýstuha kľučky dverí. Jej realistické chovanie počas simulácie je zásadnou požiadavkou na odhalenie rizika možnosti nežiadaneho dopadu skúšky skutočného vozidla.

7.1. Požiadavky na sieť konečných prvkov

Typ multivýstuhy, ktorý sa používa v modeloch značky Škoda je koncernová súčiastka, používa ju väčšina automobiliek pod vedením Volkswagenu. Konštrukcia pochádza od návrhárov VW, k dispozícii sú technické výkresy a 3D model súčiastky v CAD softvéri CATIA. V súčasnosti v simuláciách komponentných skúšok (napr. jednotlivých dverí), či celého vozidla, sa už používa FEM model tejto multivýstuhy, ktorý je však miestami zjednodušený. Zámerom diplomovej práce je tento model upraviť tak, aby odpovedal požiadavkám na správnu funkčnosť a realistické správanie. K tomuto účelu sa použije preprocesný softvér, ktorý je k dispozícii na vývojových pracoviskách firmy Škoda, ANSA.

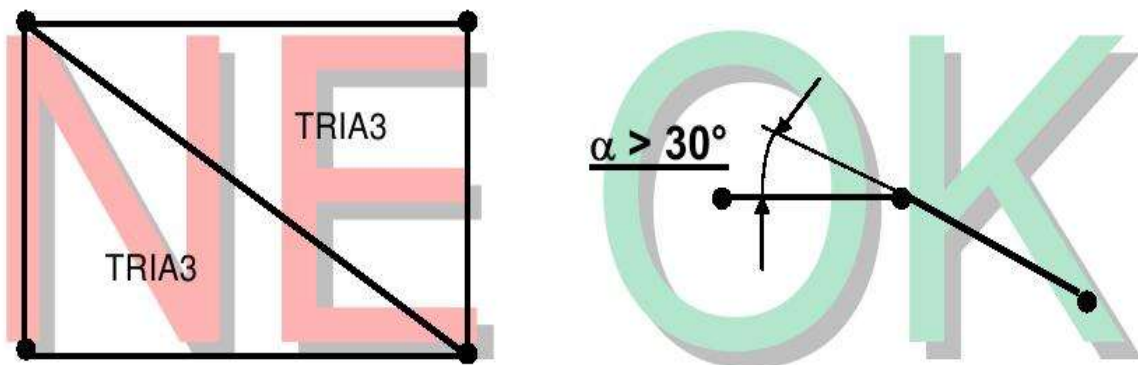
ANSA je produktom gréckej spoločnosti BETA CAE-Systems S.A. Jedná sa o pokrokovú počítačovú aplikáciu v oblasti CAE preprocesu, ktorá vďaka svojimi multidisciplinárnymi funkciami poskytne možnosť na vytvorenie vstupného súboru pre niektorý výpočtový program, tzv. solver, zo vstupných CAD dát, a to v rámci jedného grafického užívateľského prostredia. Pri vypracovaní diplomovej práce sa použila verzia softvéru ANSA 13.1.4. [19]

Pomocou integrovaných prekladačov ANSA dokáže jednoducho načítať CAD modely rôznych softvérov, ako je napr. CATIA, NX, Pro/ENGINEER, či JT. V našom prípade geometria súčiastky je zo softvéru CATIA v5. V starších verziách tohto CAD softvéru sa jednotlivé diely modelovali ako plochy na vnútornom alebo vonkajšom povrchu danej súčiastky, smer a vzdialenosť k druhému povrchu značila normála. Dĺžka normály bola určená hrúbkou aktuálnej plochy, z vizualizačných dôvodov bola 100 násobok reálneho rozmeru. Strednica, ktorá je plocha ležiaca v strede hrúbky jednotlivých častkových plôch súčiastky sa vytvorila offsetovaním modelovaného povrchu v smere normály o polovicu hrúbky plochy. Pri nasledujúcej tvorbe FE modelu táto plocha slúžila základom pre sieť konečných prvkov. Od verzie č. 5 CATIE diely sú reprezentované

solidmi. V tomto prípade sa strednica tvorí ofsetovaním ľubovoľného povrchu o polovicu hrúbky plochy.

Samotná tvorba FE modelu sa riadi internou pracovnou smernicou, kde sú stanovené požiadavky na kvalitu siete, minimálne, či maximálne limity jednotlivých parametrov, ako napr.:

- Štandardná veľkosť elementov siete plastových dielov je 5 mm, kým minimálna prípustná je 3,3 mm. Dodržaním tohto kritéria je zaručené splnenie časového kroku 1 μ s, ktorá sa používa pri explicitnej nárazovej simulácii.
- Za účelom splnení daných kritérií je v odôvodnených prípadoch povolená odchýlka siete od geometrie maximálne 1 mm.
- Malé diery a výrezy na dielu sieťovanom elementmi s 5 mm veľkosťou sa modelujú v prípade, že ich rozmer presahuje 5 mm, inak sa zaslepia.
- To samé pravidlo platí aj na modelovanie rádiusov zaoblení hrán. V prípade, že tetiva sú menšie, ako minimálna dovolená veľkosť elementu, rádius je zrušený a nahradený ostrou hranou.
- Sieť musí byť rovnomerná a pravidelná, musí vystihovať topológiu, zmysel a stavbu plôch CAD dát. Zjednodušenie geometrie musí byť opodstatnené.
- Trojuholníkové elementy musia byť rovnomerne rozmiestnené, nesmú sa nazhromaždiť na jednom mieste. Ich maximálny podiel v modeli je 15%. [20]



Obrázok 33: Požiadavka na tvorbu trojuholníkových elementov siete FEM, zdroj: [20]

7.2. Voľba metódy tvorby FEM siete

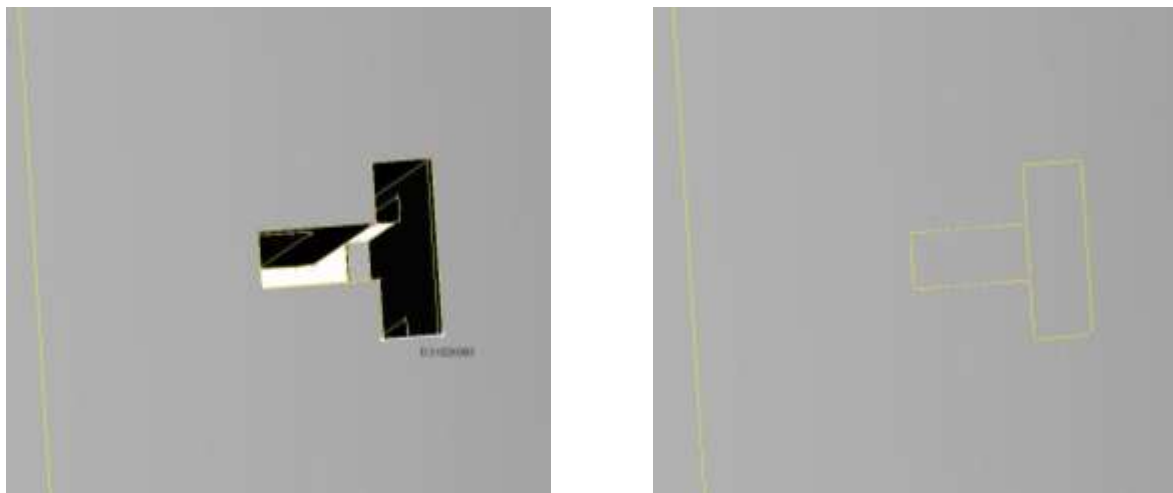
Pri tvorbe vlastného FEM modelu multivýstuhu v rámci diplomovej práce sa v prvom kroku rozhodovalo medzi vytvorením novej siete konečných prvkov z dostupných CAD dát, a medzi použitím existujúceho modelu ako základ pre nový. Pri rozhodovaní sa musel navrhnúť postup riešenia v oboch prípadoch, aby sa mohla odhadnúť časová náročnosť v závislosti na výslednej kvalite siete, čo by umožnilo zvoliť si vhodnejšiu a efektívnejšiu variantu.

Jednoznačnou výhodou nového modelu z CAD dát by bola zhoda jeho strednice s geometriou súčiastky, tým pádom aj novej siete, ktorá by sa vytvorila práve na ploche strednice. Tvorba siete na strednici by navyše dovolila využitie automatizovaných nástrojov a generátorov siete, ktoré sú v preprocesore ANSA dobre prepracované. Ďalšou výhodou by bola neovplyvnenosť nového modelu sieťou pôvodného, čo by umožnilo riešenie problematických miest novým prístupom, čo by zas mohlo znamenať skvalitnenie siete.



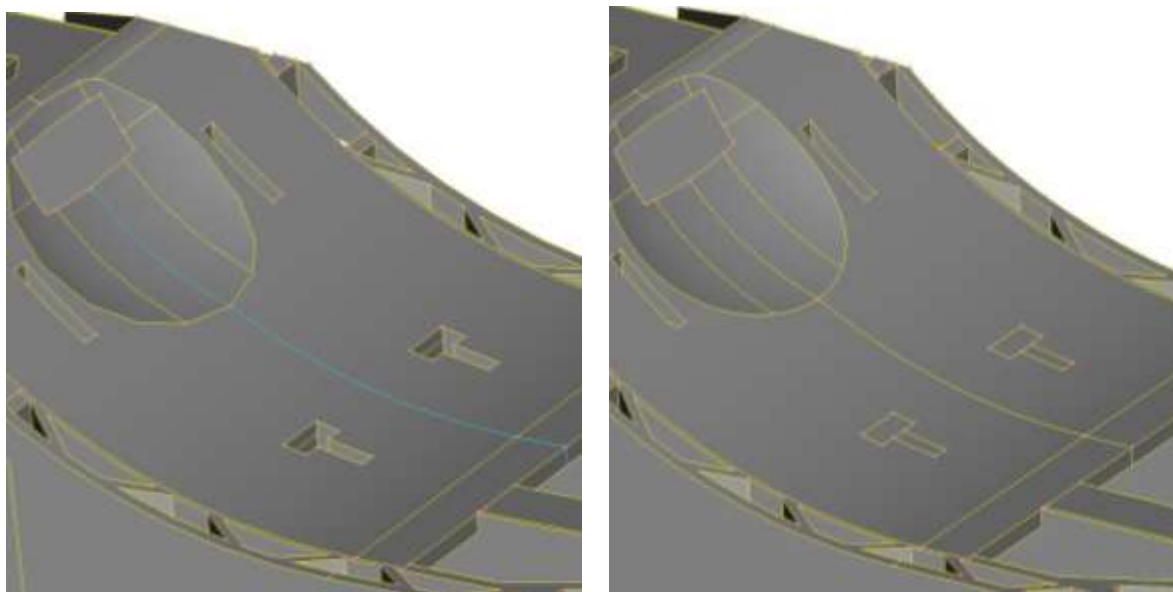
Obrázok 34: 3D model súčiastky multivýstuhu z CAD softvéru CATIA v5

Nevýhody tohto prístupu vyplývajú zo zložitosti geometrie multivýstuhu, ide hlavne o nutnosť rozsiahlej úpravy CAD modelu podľa internej smernice tvorby FEM modelov Škody Auto a.s., ktorá je vyššie uvedená. Popri úprave CAD modelu podľa smernice by sa museli opravovať aj jeho nedokonalosti, aké sú napr. nespojitosti hrán, trojité hrany, atď.

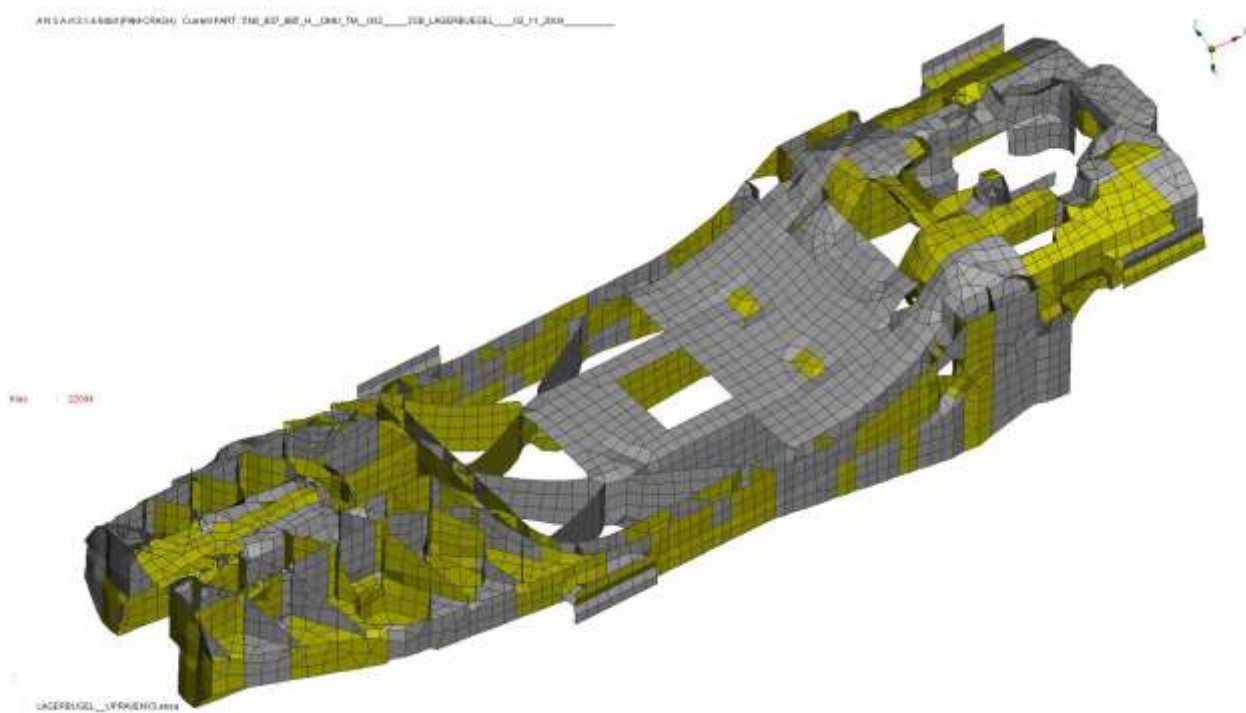


Obrázok 35: Ukážka úpravy CAD modelu pred tvorbou FEM siete č. 1

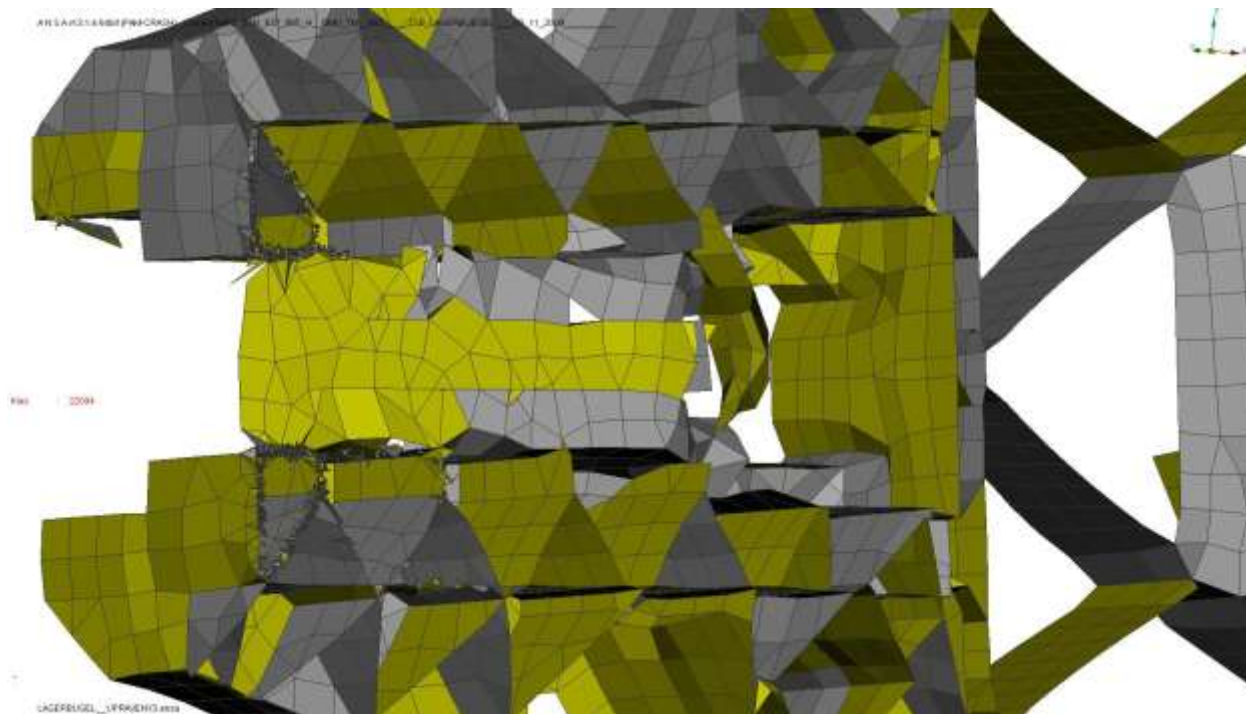
Hlavné ťažkosti sú však spôsobené rôznymi hrúbkami jednotlivých plôch a veľkým počtom výstužných rebier, s ktorými by sa automatizované generátory strednice softvéru neporadili. Manuálne konštruovanie stredovej plochy súčiastky by tým pádom bolo obtiažne a časovo náročné.



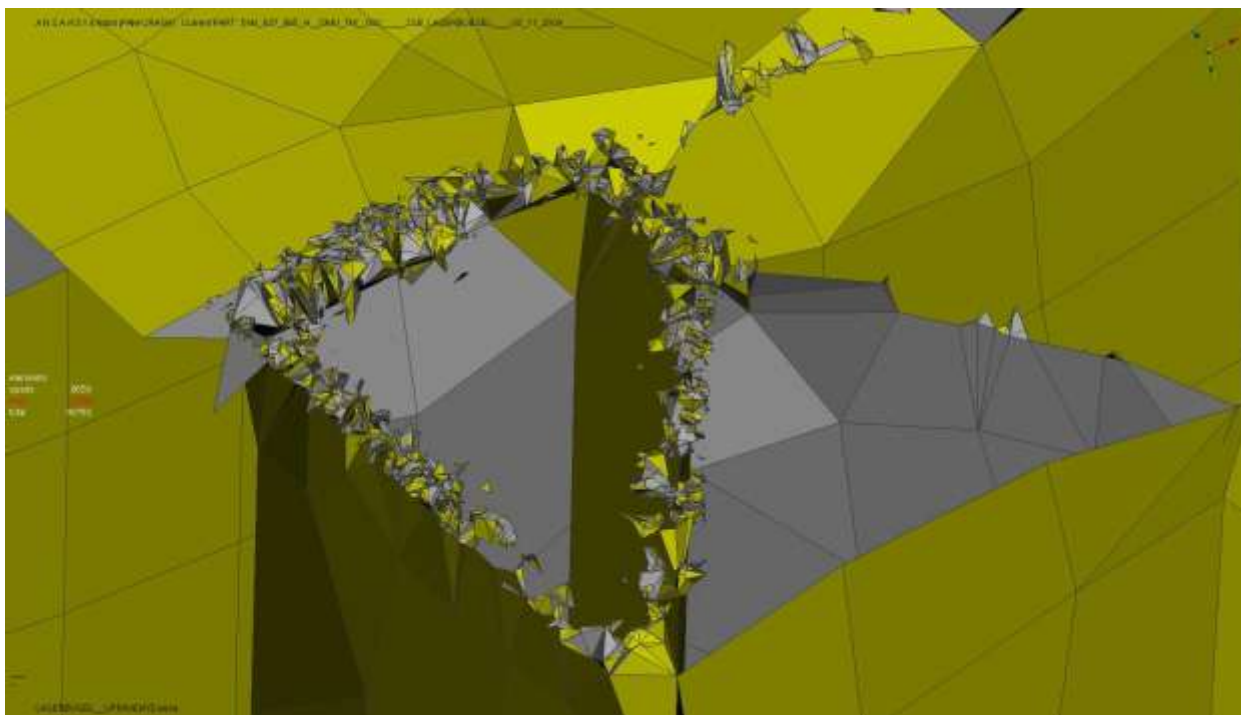
Obrázok 36: Ukážka úpravy CAD modelu pred tvorbou FEM siete č. 2



Obrázok 37: Sieť vytvorená z geometrie pomocou funkcie generátoru siete



Obrázok 38: Detailný pohľad na sieť po použití automatického generátoru siete č. 1



Obrázok 39: Detailný pohľad na sieť po použití automatického generátoru siete č. 2

Vyššie na detailoch modelu sú viditeľné nedostatky siete generované automatickými nástrojmi preprocesoru. Sieť sa nedrží geometrie v dostatočnej miere, ani štruktúra nie je vyhovujúca, nakoľko pomer trojuholníkových elementov k celkovému počtu je 71,85% (22094 trias, 30753 total). Tieto problémy by vyžadovali náročné opravovanie, ktoré by vo veľkej časti boli ručné posúvania uzlovými bodmi.

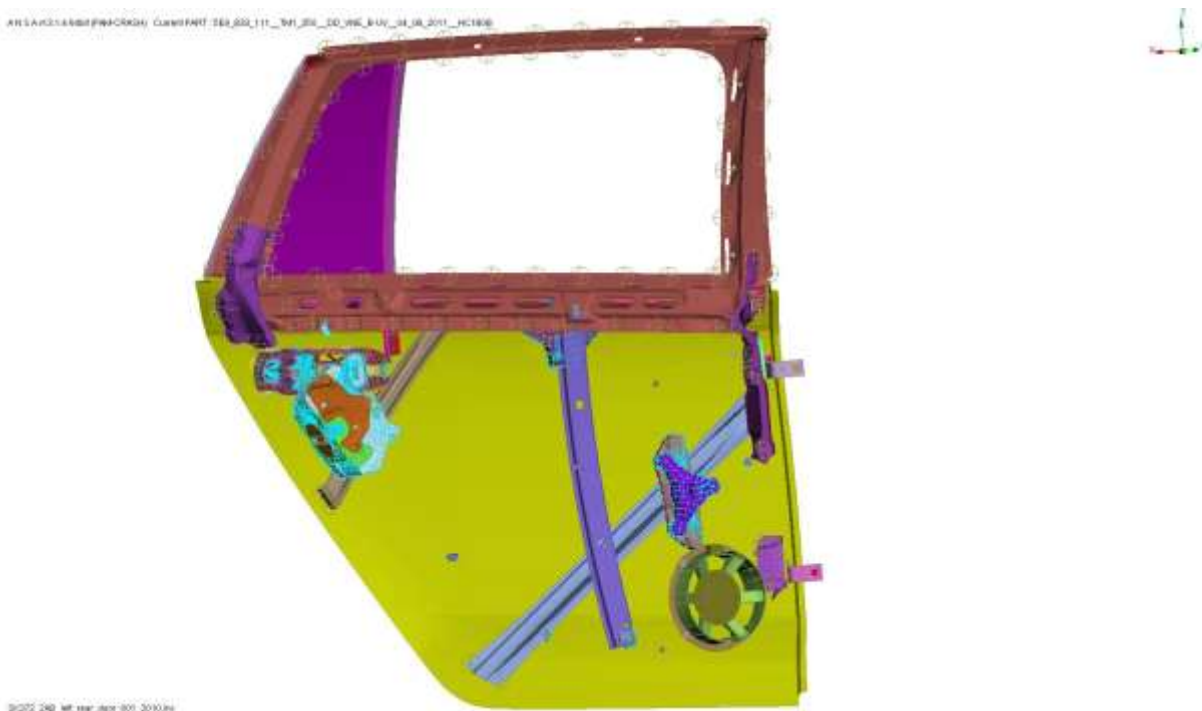
Tvorba nového modelu modifikáciou siete súčasného modelu má výhodu v nenáchylnosti na chyby CAD modelu, nakoľko nie je potreba vyrobiť strednicu. Sieť by sa prerobila tak, aby presne kopírovala povrch geometrie, následne ofsetovaním niektorých elementov siete o vhodnú vzdialenosť by sa docielil správny rozmer. Výhodou je absolútna zhoda siete s geometriou bez zložitého konštruovania strednice, navyše pri hýbaní sa s jednotlivými riadiacimi uzlovými bodmi je možné priamo vytvoriť priaznivý tvar siete aj na problematických miestach.

Najväčšia nepriaznivosť tohto prístupu spočíva v časovej náročnosti modifikácie siete, totiž pri zjednodušení pôvodného modelu došlo k výraznej nezhode siete s geometriou. Premiestnenie riadiacich uzlových bodov siete na hrany plôch geometrie sa musí vykonať manuálne, rovnako ako zlepšenie kvality tvaru, či jemnosti siete, čo v prípade modelu s 3516 uzlovými bodmi by mohlo znamenať značnú nevýhodu.

Pri rozhodnutí sa porovnali výhody a nevýhody oboch možností. Aj napriek svojej vyššej časovej náročnosti kvôli posúvaní uzlových bodov po jednom, či po menších skupinách sa zjavila transformácia v súčasnosti používanej siete za efektívnejšie riešenie tvorby nového modelu. Hlavným pozitívom tejto varianty je existujúce rozdelenie modelu na viaceré PID z dôvodu odlišnej hrúbky stien súčiastky, totiž preprocesor ANSA nedokáže priradiť viac ako jednu hrúbku steny k danému PID. Ďalším použiteľným komponentom hotového modelu je správne vysiet'ované a zaväzbené závažie, v ktorom je zafixovaný koniec oceľového lanka zámkového mechanizmu.

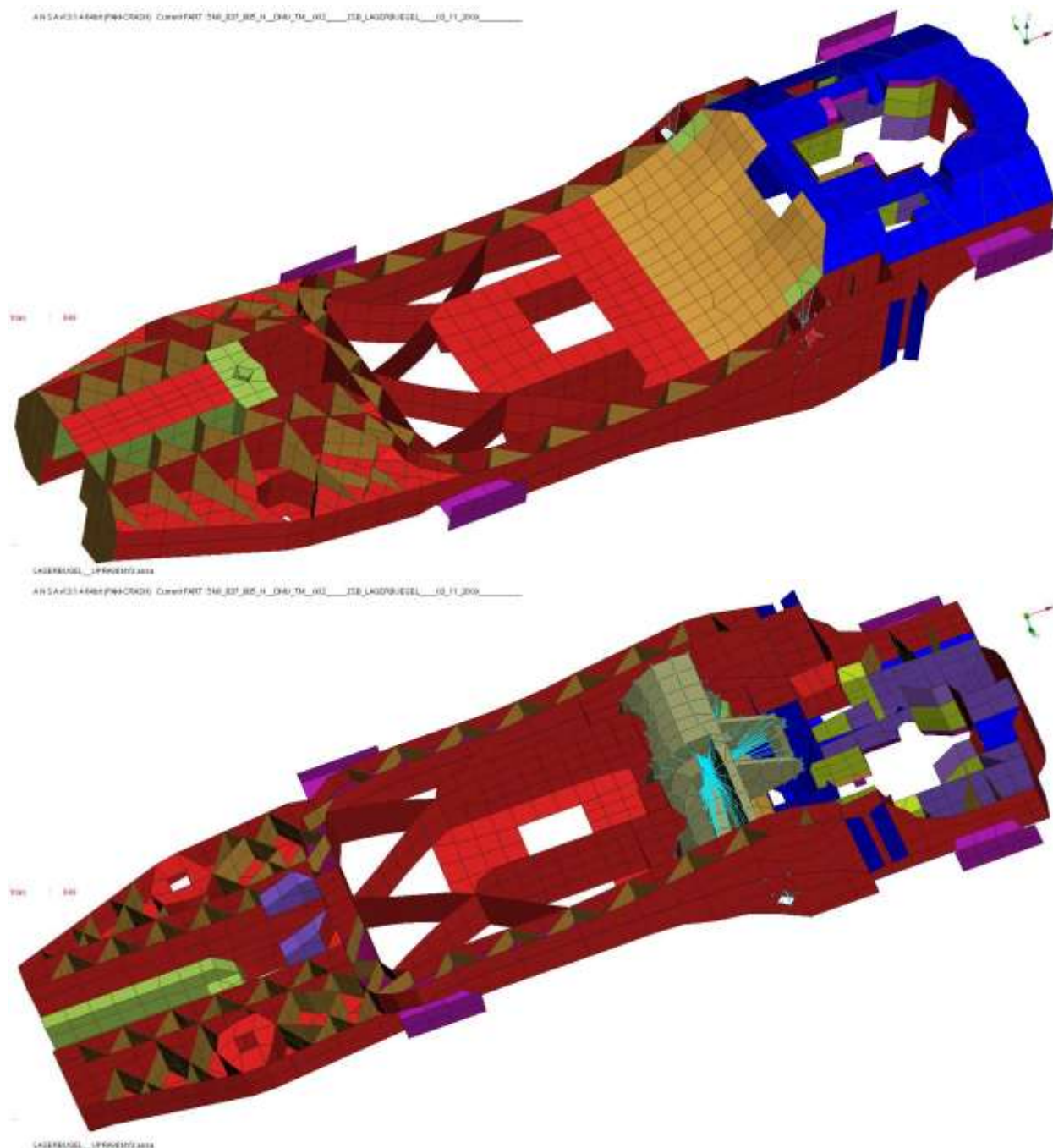
7.3. Tvorba FEM siete

Prvý krok pri tvorbe novej FEM siete modifikáciou existujúcej je zvoliť si vhodný model. V dobe riešenia diplomovej práce bočné nárazy sa simulovali na niekoľkých nových modeloch automobilky Škoda. S predpokladom, že rovnaký typ multivýstuhu sa používa na každom súčasnom modeli, všetky by boli vhodným kandidátom. Podľa interných doporučení sa zvolil model SK372, ešte presnejšie jeho ľavé zadné dvere.



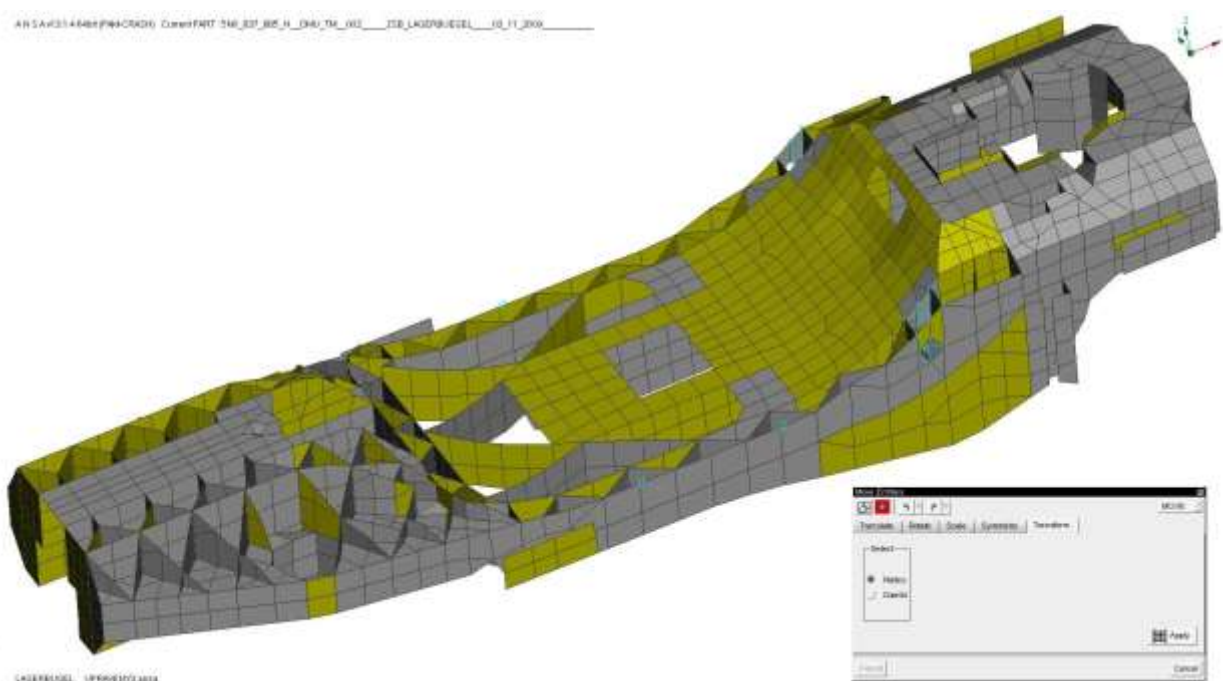
Obrázok 40: FEM sieť ľavých zadných dverí prototypu Škody s modelom multivýstuhu

Samotný model multivýstuhy získame odstránením nepotrebných dielov, resp. PID, z include zadných dverí. Výsledkom je sieť konečných prvkov multivýstuhy, rozdelená do rôznych častí podľa hrúbky plôch, znázornené farebným rozlíšením.



Obrázok 41: Všeobecný pohľad zhora / zdola na doteraz používaný FEM model multivýstuhy

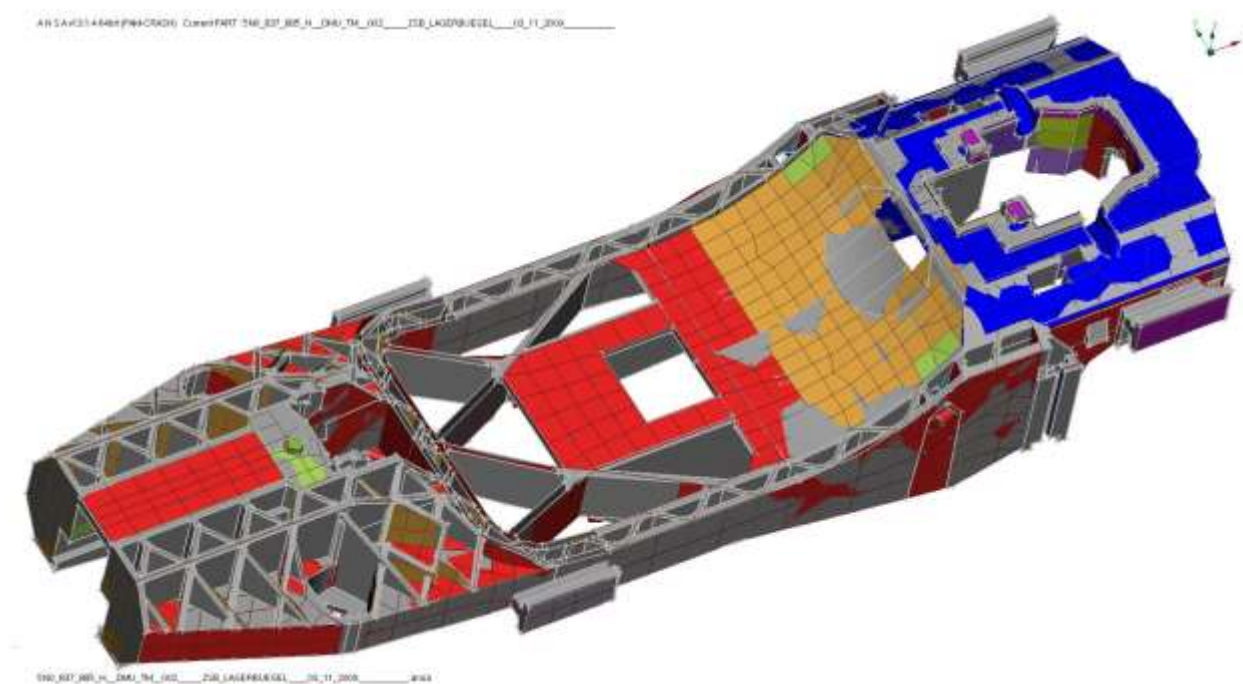
Získaná sieť je bez pôvodnej geometrie, totiž do súborov solveru, softvéru, ktorý sa používa na výpočet nárazov, sa neukladá geometria súčiastky, len sieť FEM, entity solveru a ich parametre. K tomu, aby bolo možné modifikovať sieť podľa presných rozmerov je potrebné spojiť CAD dáta a FEM sieť. Dôležité je ich presné a súhasné pozícovanie. Existujúca sieť konečných prvkov multivýstuhu je v polohe v priestore, v ktorej sa nachádza aj v reálnom vozidle v ľavých zadných dverách. Z dôvodu neskoršej jednoduchosti a jednoznačnosti určení súradníc a smerov, najlepšia voľba je transformovať sieť hneď do základných rovín globálneho súradnicového systému softvéru. Z hľadiska funkčnosti sa volí narovnanie najrozsiahlejšej rovnej plochy multivýstuhu do roviny XY globálneho súradnicového systému. Uskutoční to spôsobom, že sa vytvoria tri body v priestore so súradnicami A [0,0,0], B [100,0,0], C [0,100,0], ktoré ležia v počiatku a na osiach globálneho súradnicového systému. V príkaze transformácia entít sa označia tri body na vybranej ploche siete, (dostanú označenie 1, 2 a 3) podľa ktorých chceme transformovať multivýstuhu. Potom sa označia body A, B a C v poradí, aby odpovedali označeniu bodov na sieti (A=1', B=2', C=3'). Po vykonaní transformácie bod č. 1 na multivýstuhu bude ležať v pozícii [0,0,0], kým vybraná plocha v rovine XY globálneho súradnicového systému (viz. obr. č. 42)



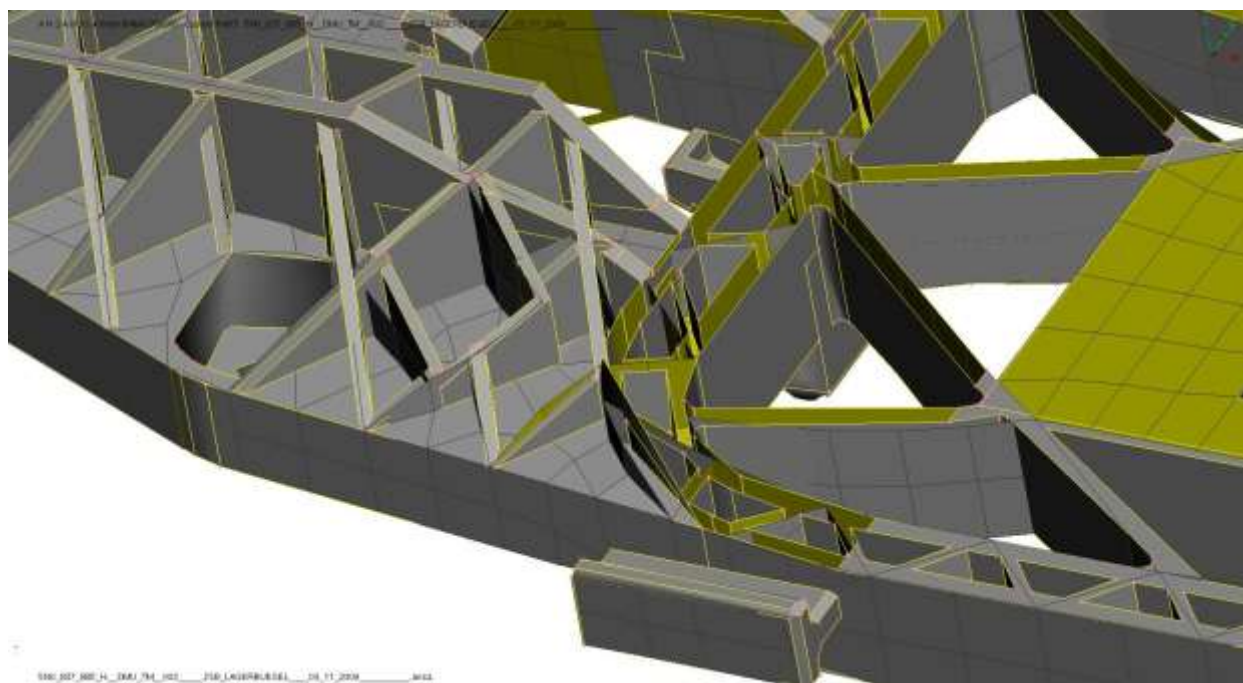
Obrázok 42: Príkaz transformácie geometrie na existujúcu sieť

Po pozícovaní siete nasleduje jej zlúčenie s geometriou CAD dát. Princíp funguje podobne, akurát v tomto prípade sa nevyberajú body globálneho súradnicového systému, ale hľadajú sa tri uzlové body na sieti a na geometrii, ktoré sa zhodujú. Z dôvodu presnosti

sa skonštruovali pomocné body vo vybraných miestach v rovine symetrie na geometrii, ku ktorým sa priradili uzly na sieti.

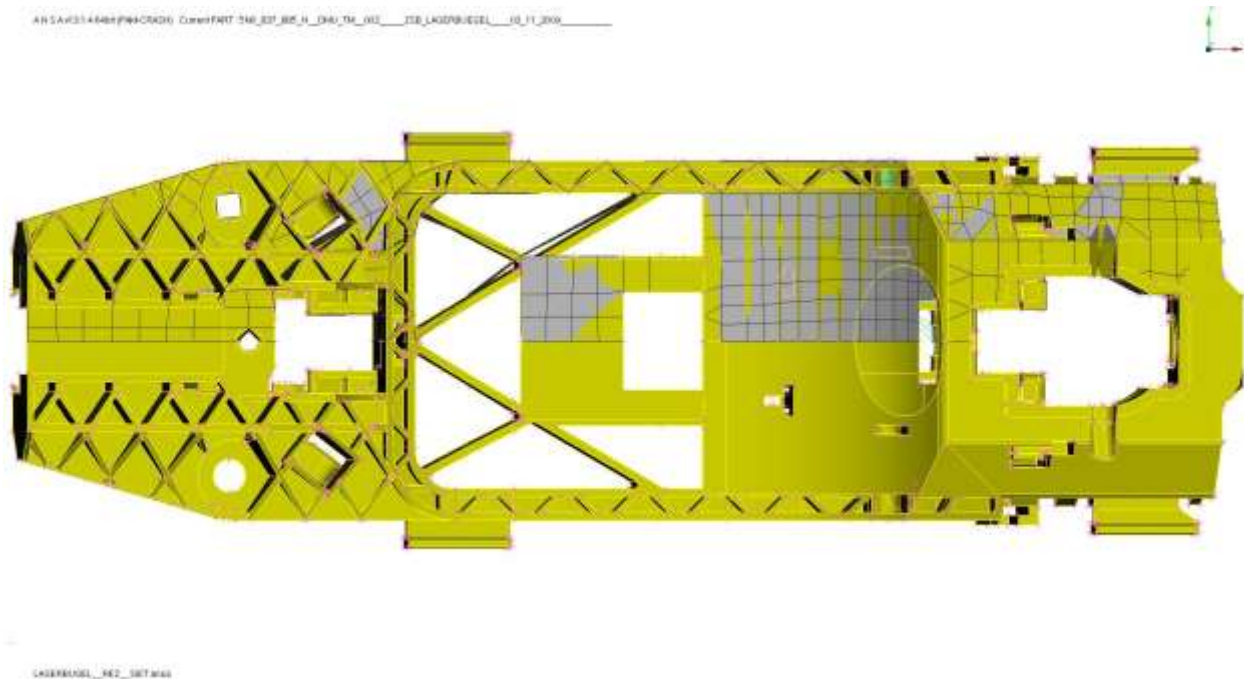


Obrázok 43: Pohľad na súhlasne pozícovanú sieť a geometriu



Obrázok 44: Detailný pohľad na súhlasne pozícovanú sieť a geometriu

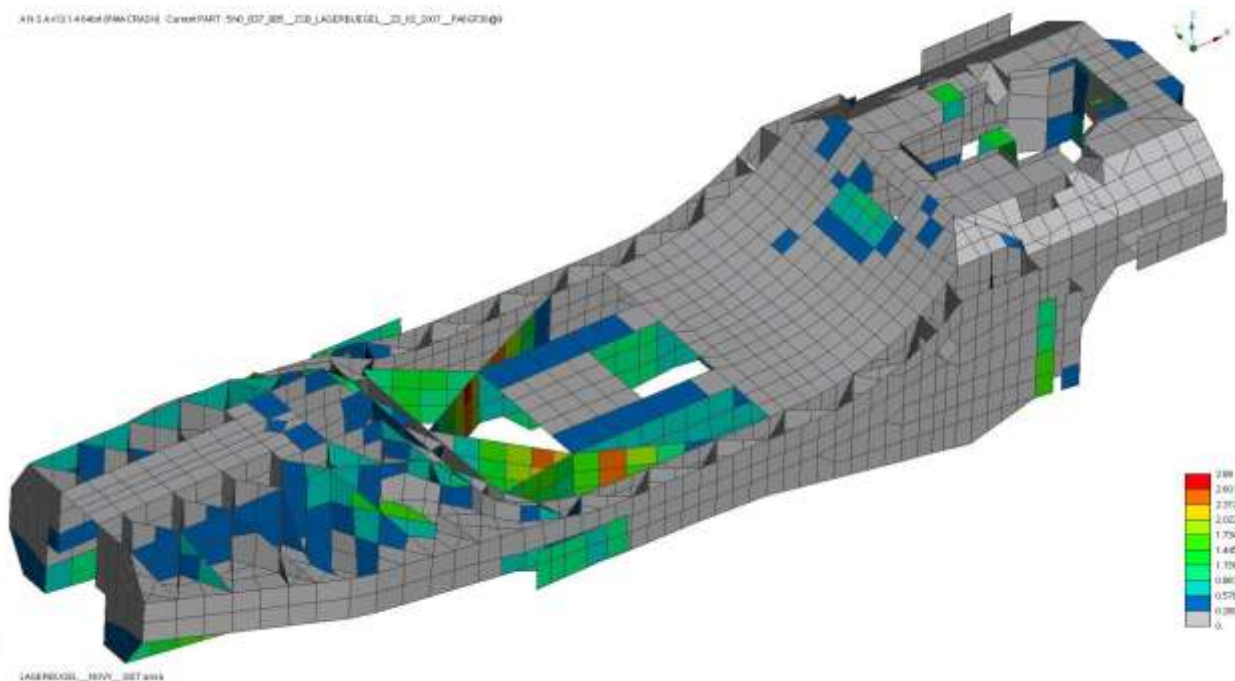
Súčiastka mutivýstuhy je symetrická podľa roviny paralelnej so základnou rovinou XZ, ktorá prechádza v strede jej šírky. Táto vlastnosť zjednoduší prácu o polovicu, nakoľko stačí upraviť sieť na jednej polovici modelu. Existujúca sieť bola zrejme vytvorená podobným spôsobom, jej elementy sú symetrické podľa roviny symetrie, takže ich odstránenie je jednoduché, po vhodnom natočení pohľadu sa obdĺžnikovým výberom označia elementy a odstránia sa príkazom ELEMENTs – DELETE. Geometria sa nerozdeľuje, pretože jej prítomnosť nijak nezavádza, práve naopak, pri konštrukcii pomocných bodov sa ešte môže využiť.



Obrázok 45: Pohľad na modifikovanú polovicu FEM siete s pôvodnou geometriou

Nasledujúci proces je modifikácia uzlových bodov siete tak, aby najviac odpovedala pôvodnej geometrii. Opravia sa odchýlky siete od geometrie s ohľadom na požiadavky kvality siete podľa interného návodu, ako napr. maximálna veľkosť elementov z dôvodu dodržania časového kroku v explicitnom výpočte, či maximálne percento trojuholníkových elementov voči celkovému počtu. Nakoľko geometria nie je spojená so sieťou, ich poloha je iba vzájomne zladená, automatické nástroje opravy siete nerozoznávajú súvislosť medzi nimi, takže nie sú použiteľné. Posun jednotlivými uzlovými bodmi sa preto musí vykonať manuálne príkazmi GRIDs – MOVE, po umiestnení riadiacich bodov do správnej polohy sa však narovnajú uzly ležiace medzi nimi do jednej priamky príkazom GRIDs – ALIGN.

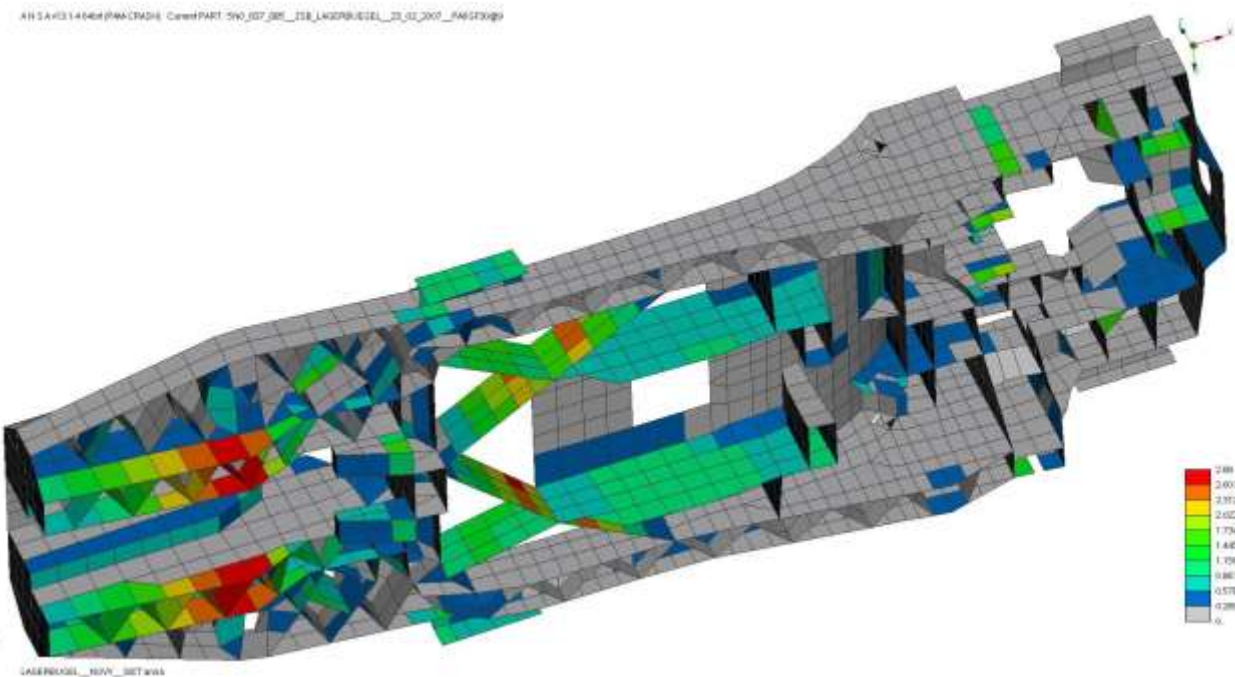
A:\3A\1314646\PMACRASH - Carrot PART 5N0_007_008_010_LASERBUDEL_01_02_2007_PAG030.q3d



LASERBUDEL_01_02_2007

Obrázok 46: Vyfarbené elementy modifikovanej siete podľa veľkosti odchýlky od pôvodnej – všeobecný pohľad zhora

A:\3A\1314646\PMACRASH - Carrot PART 5N0_007_008_010_LASERBUDEL_01_02_2007_PAG030.q3d

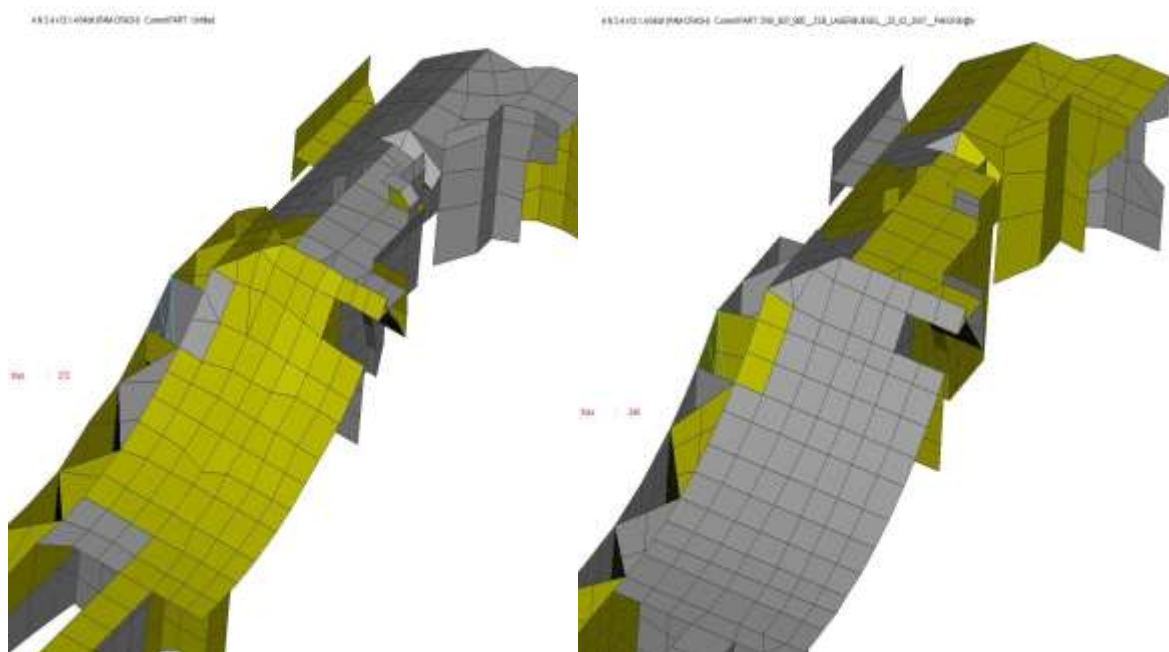


LASERBUDEL_01_02_2007

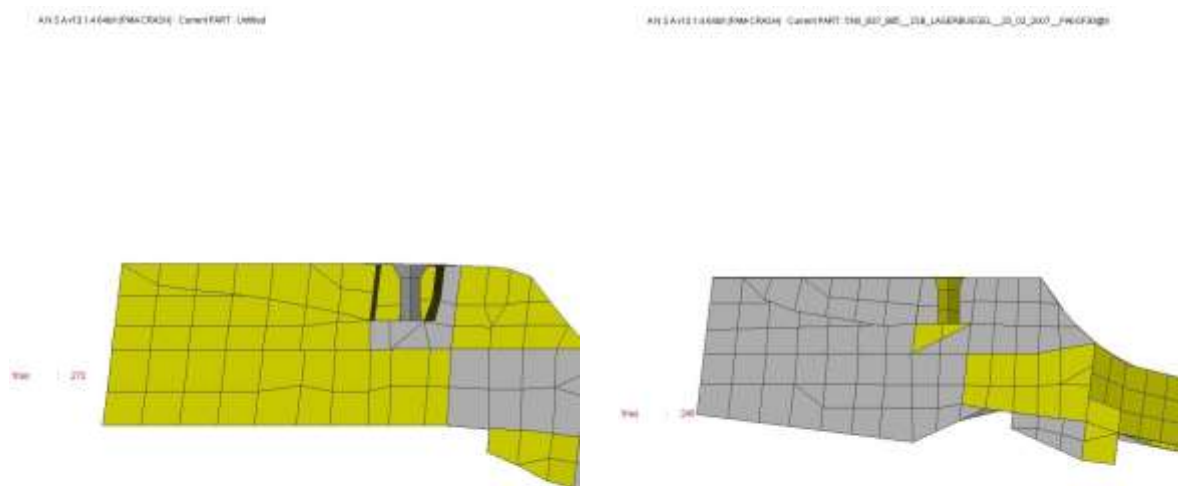
Obrázok 47: Vyfarbené elementy modifikovanej siete podľa veľkosti odchýlky od pôvodnej – všeobecný pohľad zdola

Na hore uvedených obrázkoch je porovnanie starej a novej siete funkciou SGRAPH, ktorá príslušným vyfarbením elementov znázorňuje ich vzájomnú vzdialenosť. Je viditeľné, že sieť pred modifikáciou v niektorých miestach vykazoval odchýlky od geometrie až 2,89 mm.

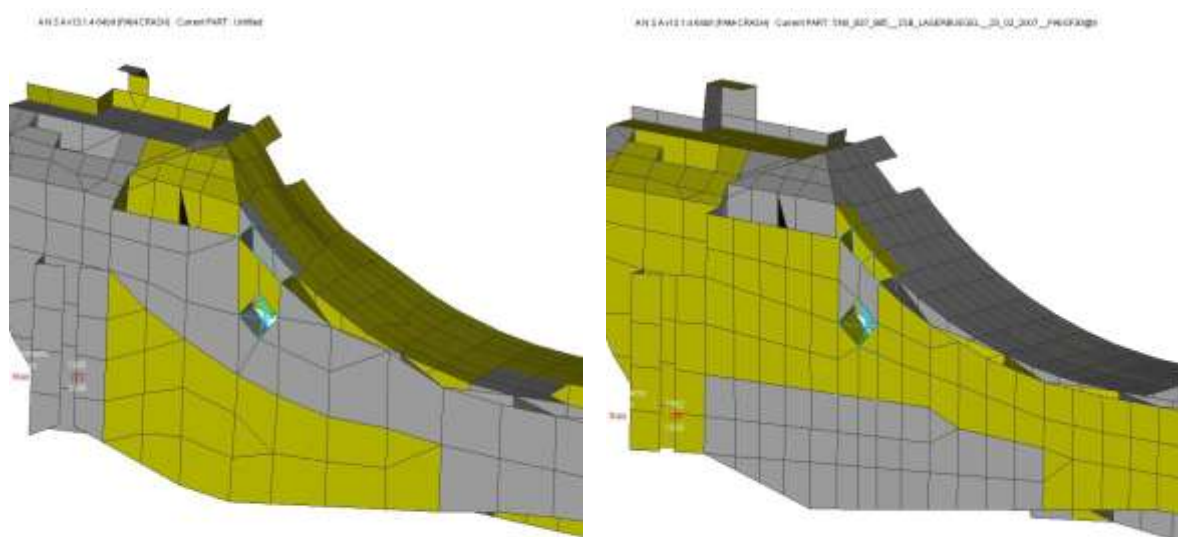
Vedľa úpravy siete podľa geometrie veľký dôraz sa kladie aj na zjemnenie siete celého modelu, obzvlášť v tých miestach, ktoré sa zjavia slabým, v ktorých sa očakávajú najväčšie plastické deformácie a porušenia štruktúry materiálu. Podľa možnosti sa na týchto miestach zmenší veľkosť elementov na minimálnu prípustnú, ktorá má v prípade plastických materiálov hodnotu 3,3 mm. Zjemnenie siete sa uskutoční buď vytvorením nových elementov na okraji siete, ktoré sa potom zarovnajú podľa geometrie, alebo rozkrájaním existujúcich elementov mriežky príkazom ELEMENTs – SPLIT. V podponuke príkazu je možné vybrať spôsob delenia jednotlivých elementov buď rozpolením hrán, alebo delením medzi vybranými uzlovými bodmi, či ich kombináciou.



Obrázok 48: Ukážka rozdielov medzi starou a novou sieťou č. 1

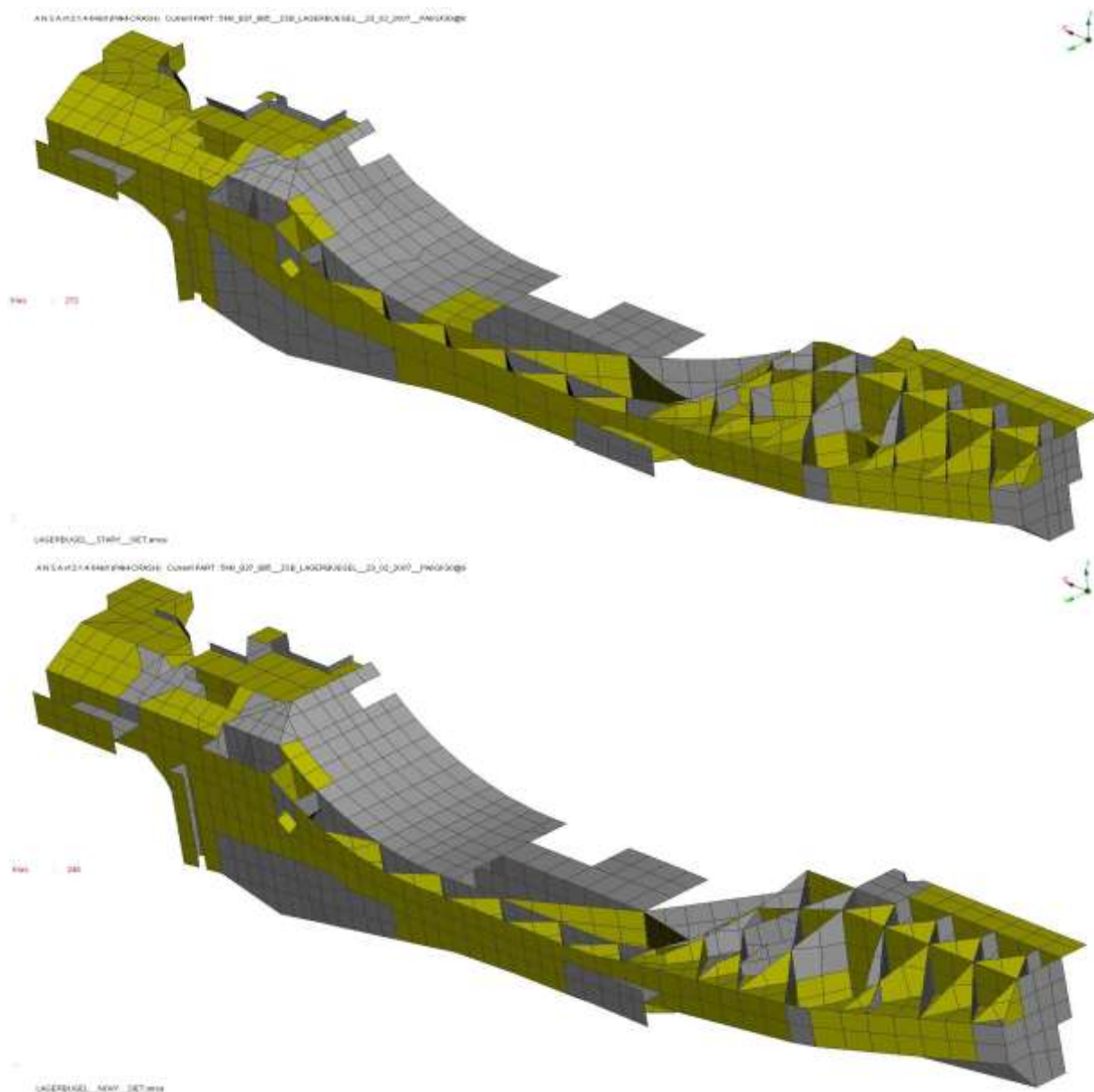


Obrázok 49: Ukážka rozdielov medzi starou a novou sieťou č. 2



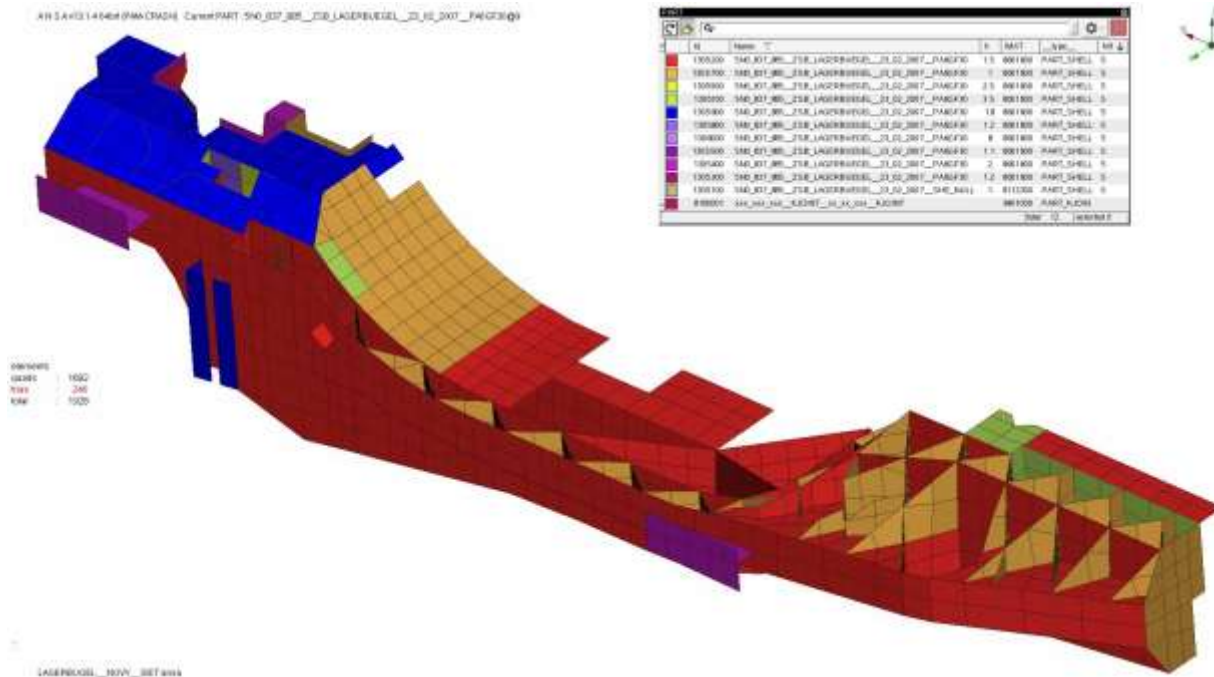
Obrázok 50: Ukážka rozdielov medzi starou a novou sieťou č. 3

Pri zjemnení siete vhodným zvolením uzlových bodov je možné nahradiť časť trojuholníkových elementov štvorcovými, aby sa znížil ich podiel na modeli. Príliš veľa trojuholníkov v modeli totiž môže spôsobiť nežiadajú zmenu tuhosti súčiastky. Na výslednej sieti je vidno nárast celkového počtu elementov z 1640 na 1928 (na polovici sieti), pri súčasnom poklese počtu trojuholníkov z 272 na 246. V percentuálnom prepočte táto zmena činí 3,83%, z pôvodného 16,59% na 12,76%.



Obrázok 51: Porovnanie starej (hore) a novej (dole) siete

V ďalšom kroku sa prekontroluje správne rozdelenie modelu do PID podľa hrúbky stien. Otvorí sa okienko PART v softvéri, kde sa nachádza zoznam vytvorených dielov modelu s ich parametrami, mimo iných aj hrúbkou elementov daného partu v stĺpci s označením h. Postupne sa prekontroluje každý diel podľa výkresovej dokumentácie a skutočného modelu. Po drobných úpravách vyzerá model podľa obrázku uvedeného nižšie.

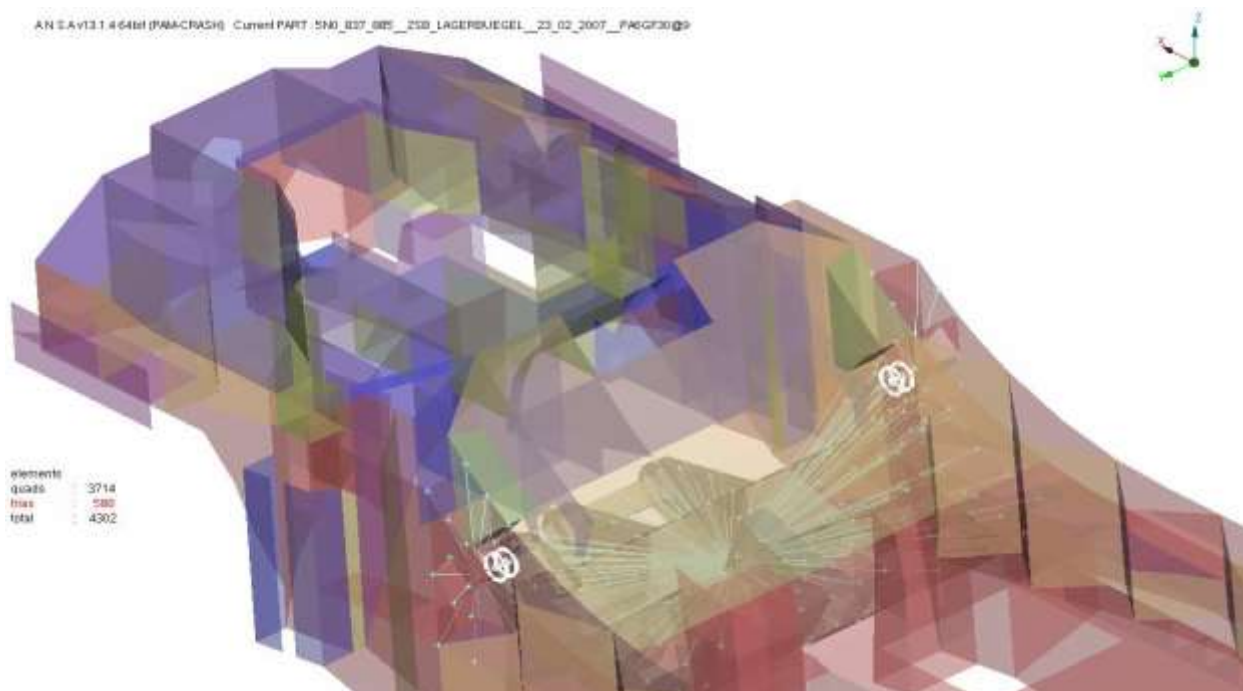


Obrázok 52: Farebné rozdelenie siete podľa jednotlivých PID

Nová, modifikovaná sieť multivýstuhy je pripravená na doplnenie o druhú polovicu, ostatné úpravy modelu sa už musia vykonať na oboch stranách naraz. V iných prípadoch zas úplný model už nepredĺži nasledujúcu prácu. Pri vytvorení úplného modelu sa použije príkaz transformácie geometrie zrkadlením siete rovinou symetrie. Po obdržaní druhej polovice siete je treba spojiť uzlové body pôvodnej a novej polovice siete ležiace v rovine symetrie príkazom GRIDs – PASTE.

Súčasťou súčiastky okrem plastových elementov je aj závažie, ktoré transformuje pohyb kľučky dverí na posuv oceľového lanka otvárajúce zámok dverí. Tento diel je odliatok zinku podľa nemeckej normy DIN EN 12844, takže kvôli jeho tuhosti v porovnaní s plastovej sa môže modelovať ako dokonale tuhé teleso, nakoľko pri porušení multivýstuhy zrejme nedôjde k jeho deformácii. Dokonale tuhé telesá sa modelujú pomocou väzby tzv. RBODY, kde sa vyberú uzlové body dielu, na ktorých sa vytvorí väzba o konštantnej vzájomnej polohy. Na takýchto dieloch nie je nutnosť sledovať ani počet trojuholníkových elementov, ani ostatné parametre ovplyvňujúce časový krok

crashového výpočtu. Rovnako, ako plastové diele, aj toto závažie sa modeluje pomocou 2D elementov, tzv. „shell“, na jeho povrchu. Od ostatných dielov sa však líši typom materiálového modelu, ktorý zodpovedá väzbe RBODY. Spojenie závažia so samotnou multivýstuhou sa rieši rotačnou kinetickou väzbou, tzv. KJOINT REVOLUTE, ktorá nahrádza funkciu plastového čapu reálnej súčiastky.



Obrázok 53: Rotačná kinematická väzba (biele kruhy) medzi telesom multivýstuhy a závažím

Ako je názorné z okienka PART, jednotlivým dielom okrem hrúbky stien sú priradené aj vlastnosti materiálu. Pri definovaní materiálu dielu sa v prvom kroku vyberie materiálový model, ktorý je obecné definovaný softvérom solveru, charakterizuje správanie daného typu materiálu.

Materiál plastových dielov multivýstuhy podľa výkresovej dokumentácie je PBT (30 ± 2)% GF, čiže sa jedná o plast spevnený sklenenými vláknami. Existujúci model využíva elasticko-plastický materiálový model pre 2D elementy bez zahrnutého porušenia, označený ako PAM SHELL Material 103. Algoritmus plasticity v tomto prípade využíva anizotropické Hillovo kritérium, ktoré zahrňuje účinky priečneho šmykového namáhania a precízne obnovuje hrúbky stien elementov počas plastickej deformácie. Tento model je ďalej doplnený o ďalšie parametre daného plastu, ako je vidno v karte materiálu, kde:

- r je hustota materiálu
- E je Youngov modulus
- ni je Poissonovo číslo
- ksi je vlastné tlmenie materiálu

PAM SHELL Material 103 [PAM SHELL Material 103]

Name: **durethan230_co_SHE_plc_vwm**

FROZEN_ID: NO / FROZEN_DELETE: NO / DEFINED: YES /

IDMAT	MATYP	r	NINT	ISHG	ISTRAT	IFROZ
8601600	+	1.32E-6	0	4	0	0

AVP1	AVP2	AVP3	AVP4	AVP5	AVP6	QVM	TDN
0	0	0	0	0	0	1.	0

E: 4.6 option: CURVE / ni: 0.4 HGM: 0.01 HGW: 0.01 HGQ: 0.01 As: 0.833333

LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	LC7	LC8
8601601	8601601	8601601	8601601	8601601	8601601	0	0

e.1	e.2	e.3	e.4	e.5	e.6	e.7	e.8
0	1.E-4	5.E-4	0.001	0.005	100000.	0	0

epmax	STRAT1	STRAT2	REL_THIN	REL_THIC
0	0	0		

STRAT3	STRAT4	STRAT5	STRAT6	ksi	10
0	0	0	0	0.1	0

GRUC: value: /

COLOR_R	COLOR_G	COLOR_B	TRANSPARENCY
183	185	125	0

Comment:

1 Modified: J.Holec: 060228;
c - changed filename:
c - orig: SHE_pl_durethan230.mat

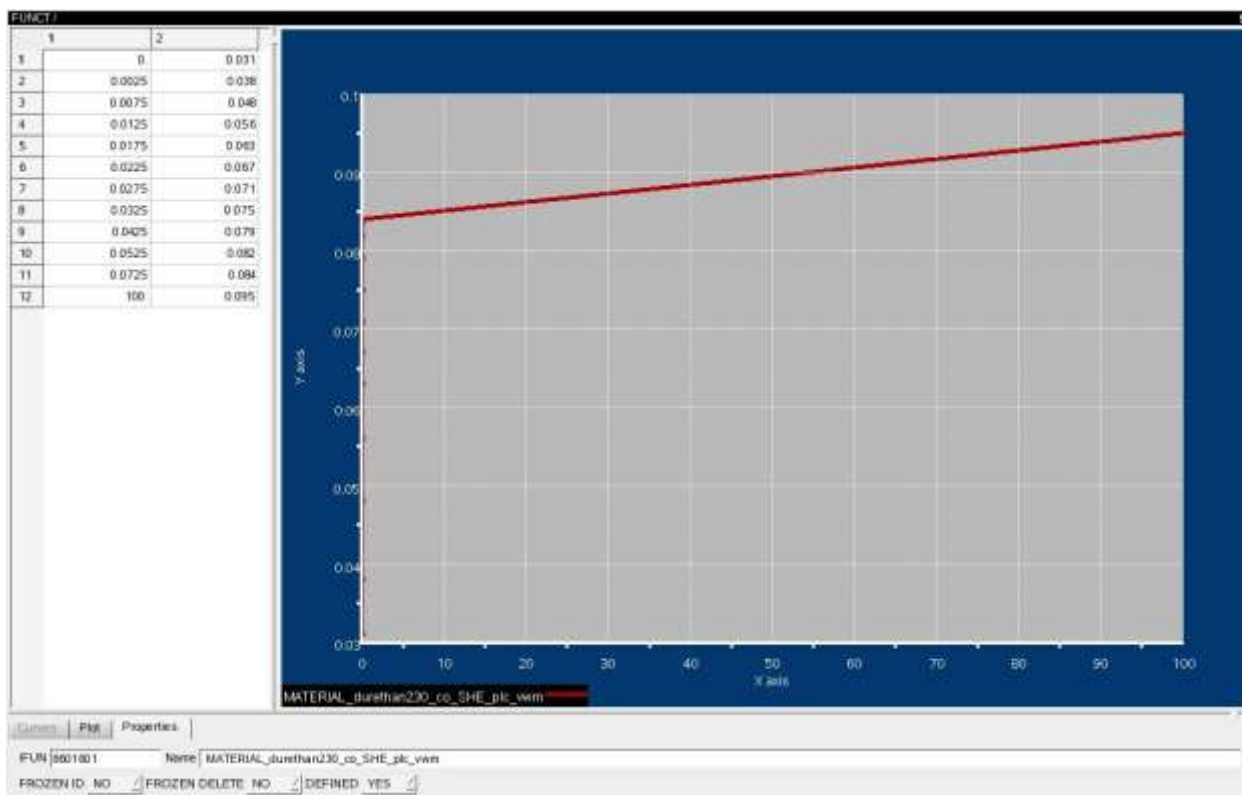
durethan230_co_SHE_plc_vwm

OK ColorEdit Cancel

Obrázok 54: Materiálová karta starej siete (materiálový model 103, termoplast polyamid PA 6)

Z údajov materiálovej karty je vidno, že existujúci model má definovaný materiál Durethan polyamid namiesto PBT. Súčasťou validácie modelu sa bude týkať aj tohto materiálového modelu a jeho parametre s reálnou súčiastkou.

Kľúčové slovo CURVE pod nastavením option značí popis priebehu závislosti napätie – deformácia použitím užívateľom definovanej krivky, ktorá má v našom prípade číslo 8601601. Jej hodnoty, spolu s ostatnými parametrami vychádzajú z materiálovej databáze koncernu VW.

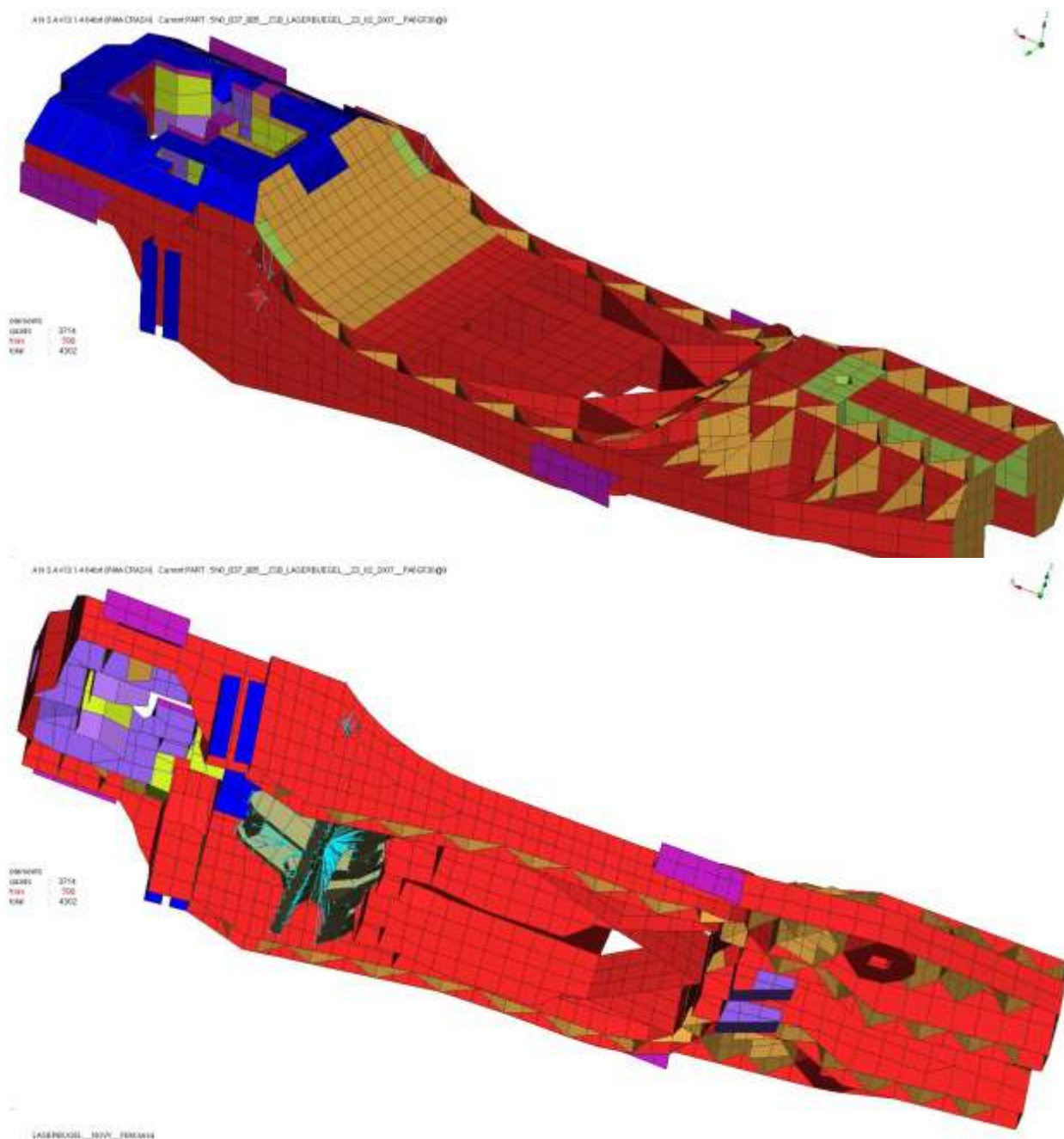


Obrázok 55: Závislosť skutočného napätia na skutočnej deformácii materiálu PA 6

Materiálový model tuhého telesa závažia sa ponechá štandardný pre RBODY typu 0, tj. PAM SHELL Material 100. Jedná sa o nulový materiál, ktorý sa používa v prípade, že vnútorné sily a deformácie daného dielu z hľadiska výpočtu nie sú zaujímavé. Dôvodom výberu tuhého telesa typu 0, ktorý má parametre vypočítané softvérom a nie užívateľom dané, ako v prípade typu 3 je ten, že chovanie závažia počas kvazi-statickej komponentnej skúšky dostatočne vystihuje aj jeho zjednodušený model, presná poloha ťažiska a hodnoty momentov zotrvačností nie sú potrebné.

Ďalším typom použitého materiálového modelu je PAM KINEMATIC JOINT Material 230, ktorý sú definované na rotačné kinematické väzby. Z dôvodov vymenovaných v predchádzajúcom odseku sa opäť použije základná definícia tohto modelu.

Týmto úpravami sme obdržali nový model siete konečných prvkov, ktorý presnejšie vystihuje topológiu geometrie CAD dát, má v rámci možností jemnejšiu a kvalitnejšiu sieť a jeho materiálové parametre sú doplnené podľa dostupných informácií.



Obrázok 56: Všeobecný pohľad zhora / zdola na nový FEM model multivýstuhu

8. Návrh komponentnej skúšky

Cieľom diplomovej práce popri vytvorení komponentného modelu je definovať záťažné stavy, pomocou ktorých je možné overiť správne chovanie počítačového modelu multivýstuhy kľučky dverí pri simuláciách nárazových skúšok.

8.1. Analýza skutočných namáhání

Návrh simulovaných záťažných stavov komponentného modelu musí byť taký, aby odzrkadľoval namáhanie súčiastky počas reálnej nárazovej skúšky. Ďalšou požiadavkou vhodného návrhu je možnosť overenia simulácie skutočným testom za laboratórnych podmienok.

V prvej časti procesu sa prevedie analýza obrázkových a video záberov skúšok bočného nárazu modelových rad značky Škoda, v ktorých je použitá skúmaná súčiastka zámkového mechanizmu dverí. Najpoužiteľnejšie multimediálne zábery skúšok z hľadiska tejto analýzy sú obrázky jednotlivých dielov vozidla po uskutočnení nárazu a po ich „rozpitvaní“. Na základe deformácií plechu dverí v oblasti multivýstuhy kľučky je možné asociovať na typ namáhania, ktorému došlo počas nárazu. Pozorovaným deformáciám je najvhodnejšie priradiť niektorý zo základných typov namáhání, ako je napr. ohyb, či krútenie, prípadne ich kombináciu.

Nasledujúce snímky predstavujú najčastejšie typy deformácií sledovanej oblasti na rôznych modeloch vozidiel z rôznych skúšok nárazu deformačnej bariéry.



Obrázok 57: Namáhanie multivýstuhy pravých predných dvier prototypu SK461 na ohyb, zdroj: [Škoda]



Obrázok 58: Namáhanie multivýstuhy ľavých predných dverí prototypu SK251 na ohyb, zdroj: [Škoda]



Obrázok 59: Detailný pohľad na zadnú stranu multivýstuhy prototypu SK251 namáhaný na ohyb, zdroj: [Škoda]



Obrázok 60: Namáhanie multivýstuhy ľavých zadných dverí prototypu SK461 na krútenie, zdroj: [Škoda]



Obrázok 61: Pohľad z druhej strany na ľavé zadné dvere prototypu SK461, zdroj: [Škoda]



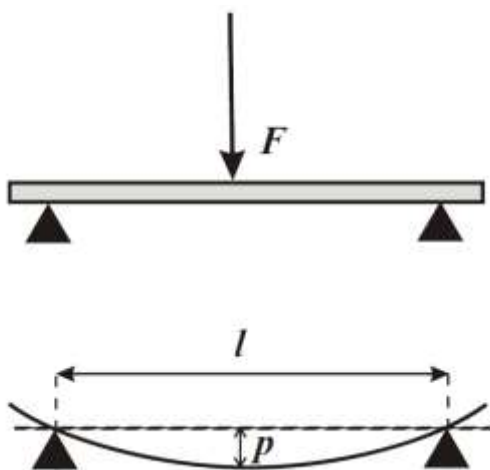
Obrázok 62: Namáhanie multivýstuhu ľavých zadných dverí prototypu SK371 na krútenie, zdroj: [Škoda]

Na základe analyzovaných dát je možné skonštatovať, že deformácia vonkajšieho plechu predných, či zadných dverí na strane nárazu vyvolá namáhanie multivýstuhu dverí kľučky, ktoré zodpovedá jej ohýbaniu a krúteniu. Napriek tomu, že tieto typy namáhání vyskytujú v drvivej väčšine prípadov súčasne, navrhuje sa komponentná skúška na oboch typov základných namáhání zvlášť, čiže jedna na prostý ohyb, druhá na prosté krútenie. Je to hlavne z dôvodu uľahčenia vykonania laboratórnych skúšok. Zhoda podmienok a priebehu reálnych skúšok totiž zaručuje, aby výsledky simulácie a merania boli medzi sebou porovnateľné.

8.2. Návrh zaťaženia

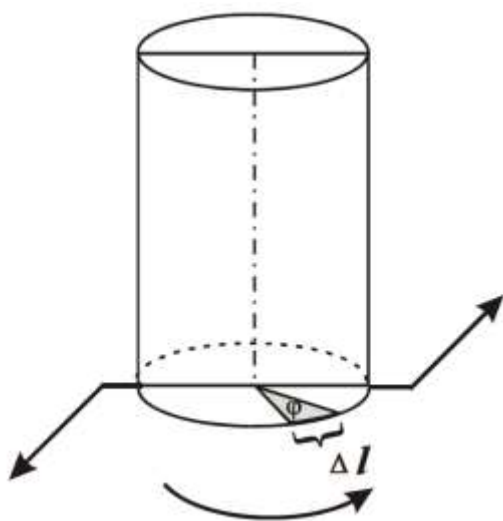
Konkrétny návrh komponentnej skúšky multivýstuhu na ohyb a na krútenie vychádza z jej reálneho uloženia vo dverách vozidla. Spôsobom zafixovania do predných a zadných dverí sa podrobnejšie zaoberá kapitola č. 6.2. Na základe faktov zo zmienenej kapitoly najjednoduchší a najefektívnejší spôsob riešenia vychádza zo základov teórie pružnosti a pevnosti. V skriptách väčšiny univerzít tohto predmetu sa základné vzťahy pre prostý ohyb odvodzujú aj na late podoprenej vo dvoch bodoch. Toto jednoduché uloženie by bolo vhodné aj na zaťaženie multivýstuhu prostým ohybom. Súčiastka by sa

podoprela na dvoch vhodne zvolených miestach, ktoré vychádzajú z jej konštrukcie, kým jedným impaktorom by sa vyvolala sila záťaže medzi podporami.



Obrázok 63: Schéma návrhu zaťaženia na ohyb, zdroj: [23]

Návrh skúšky простého krútenia vychádza z identického princípu, z definície pružnosti a pevnosti. Tento typ namáhania je odvodený cez tyč, ktorá má jednu základňu pevne uloženú, kým na druhú je vyvođený krútiaci moment, z dôsledku čoho sa namáhaná základňa pootočí oproti pevne uloženej.



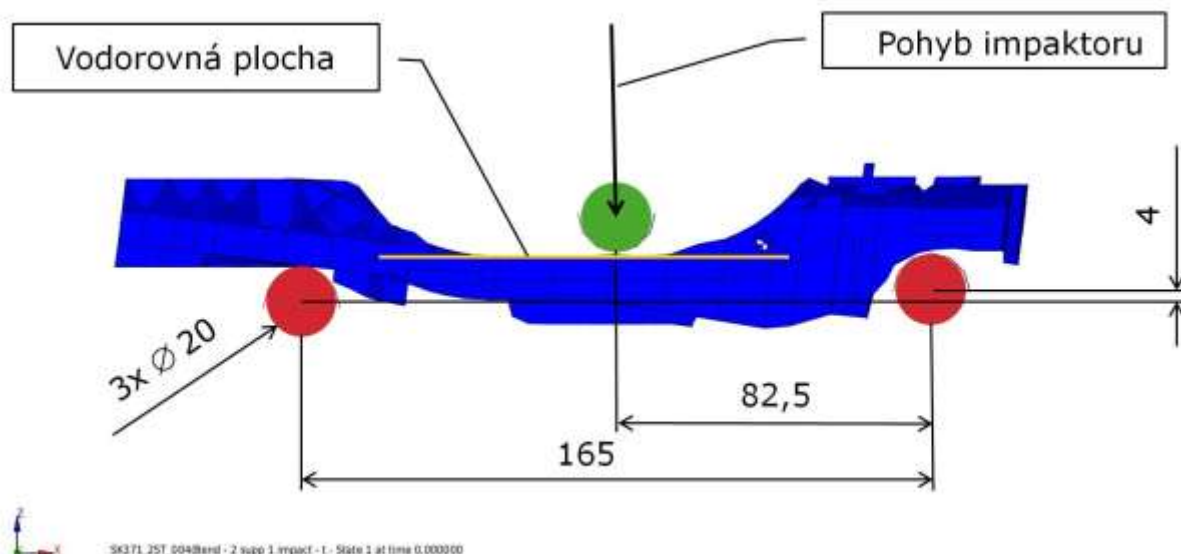
Obrázok 64: Schéma návrhu zaťaženia na krútenie, zdroj: [23]

9. Simulácia záťažných stavov

9.1. Tvorba sústavy zaťaženia na ohyb

Podľa návrhu komponentnej skúšky na ohyb sa musí vytvoriť aj FEM model záťažného stavu. To znamená, že sa namodelujú dve podpory, ktoré budú pevne uložené. Na týchto podporách bude ležať multivýstuha, na ktorú bude zhora tlačiť impaktor v polohe medzi dvoma podporami. Vykonaná skúška má byť kvazi-statická, takže rýchlosť pohybu impaktoru musí byť k tomu primerane zvolená.

Pri stanovení rozmerov a tvaru podpôr a impaktoru sa navrhne obvykle používaný profil pri takýchto typov skúšok, valcová oceľová tyč o priemeru 20 mm. Rozteč podpôr sa stanoví z FEM modelu multivýstuhy tak, aby spodná štruktúra súčiastky po dosadení zaistila rovnovážnu a zreprodukovateľnú polohu multivýstuhy. To je dôležité z dôvodu zaistenia súhlasnej východiskovej polohy predmetu skúšky pri každom pokuse. Podľa experimentálneho zistenia táto hodnota je 165 mm. Z toho vyplýva aj horizontálna poloha impaktoru, ktorá leží v strede medzi podporami, čili 82,5 mm od jednej i od druhej podpory. Kvôli zaistieniu vodorovnosti plochy multivýstuhy, na ktorú bude pôsobiť impaktor, podpory musia byť aj výškovo posunuté od seba, a to v prospechu zadnej podpory o 4 mm.

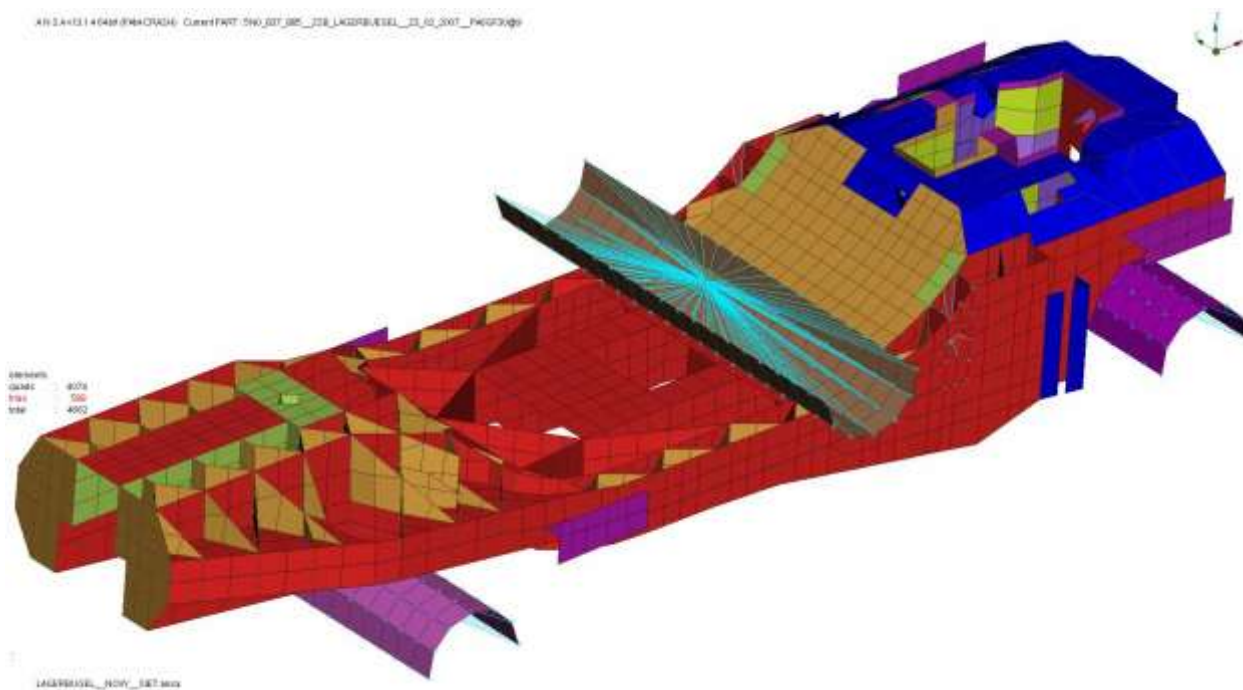


Obrázok 65: Návrh uloženia komponentnej skúšky na ohyb

V prvom kroku sa nakreslí čiara, ktorá reprezentuje styčnú hranu podpory s prednou časťou multivýstuhy. Pomocou tejto pomocnej čiary sa namodeluje geometria obalovej plochy podpory s navrhnutým polomerom 20 mm o dĺžke 100 mm. Z geometrie sa vytvorí sieť FEM prvkov, však stačí horná polovica valca z dôvodu zmenšenia počtu elementov vstupujúcich do neskoršieho výpočtu. Z týchto elementov podpory sa potom vytvorí dokonale tuhé teleso, RBODY typu 0, nakoľko ani podpory, ani impaktor sa nebude deformovať počas skúšky. Hotová podpora sa prekopíruje do správnej polohy pod zadnú časť multivýstuhy najprv posunutím o 165 mm v kladnom smere osi x, potom o 4 mm v kladnom smere osi z.

Impaktor je v podstate zhodné teleso s podporami, má identický tvar a rozmery, líši sa akurát v polohe a natočení. Vytvorí sa opäť kopírovaním prednej podpory, potom sa pootočí o 180° okolo osi prechádzajúcej ťažiskom RBODY, paralelnej s obecnou osou y. Správna pozícia sa docieli posunom o 82,5 mm v kladnom smere x, v kladnom smere z o toľko, aby nebol v kontakte s multivýstuhou, v našom prípade o 27 mm.

Model sa zároveň vizuálne prekontroluje na počiatočné prenikania zapnutím funkcie zobrazenia 2D shell elementov ako trojrozmerné telesá, solidy.



Obrázok 66: FEM model komponentnej skúšky na ohyb

Pevné uloženie podpôr sa rieši definovaním okrajových podmienok na ich uzly. Výhodou tuhých telies, RBODY, je, že stačí pridať ľubovoľnú entitu uzlového bodu (napr. počiatočná rýchlosť, tlmenie, posuv, akceleračné pole, okrajové podmienky, atď) na riadiaci uzlový bod tuhého telesa, čo je vo všeobecnosti jeho COG, a jej pôsobenie sa prejaví na každom uzlu tuhého telesa. V tomto prípade sa zafixujú všetky 6 stupne voľnosti na COG oboch podpôr, aby sme dosiahli ich nehybnosť počas skúšky. Okrajové podmienky sa definujú aj na COG impaktoru, tam sa však povolí posuv v ose z, nakoľko zvislým pohybom impaktoru budeme ohýbať multivýstuhu, ale nechceme, aby počas skúšky došlo k jeho posunutiu, či natočeniu v inom smere ako pozdĺž osi z. Vo všetkých prípadoch definície okrajových podmienok sa použije globálny súradnicový systém na určenie smerov pohybov a natočení.

V nasledujúcom kroku sa nadefinuje pohyb impaktoru zvisle dolu. Opäť sa vyberie COG tuhého telesa impaktoru, kým spôsob zadania translačného pohybu sa zvolí cez funkciu DIS3D, závislosť posun na čase. Presné hodnoty určí predom zostrojená funkcia jednotkovej lineárnej závislosti, na ktorú odkážeme pri vyplňovaní karty pohybu. Veľkosť výsledného posuvu v čase sa riadi zmenou merítka x-ovej a y-ovej osi, pri tejto skúške sa nastaví zväčšenie 500krát na x-ovú a 200krát na y-ovú osu. Nastaví sa orientácia podľa globálneho súradnicového systému, negatívny smer podľa osi z zaistí prepísanie mierky funkcie na -1.

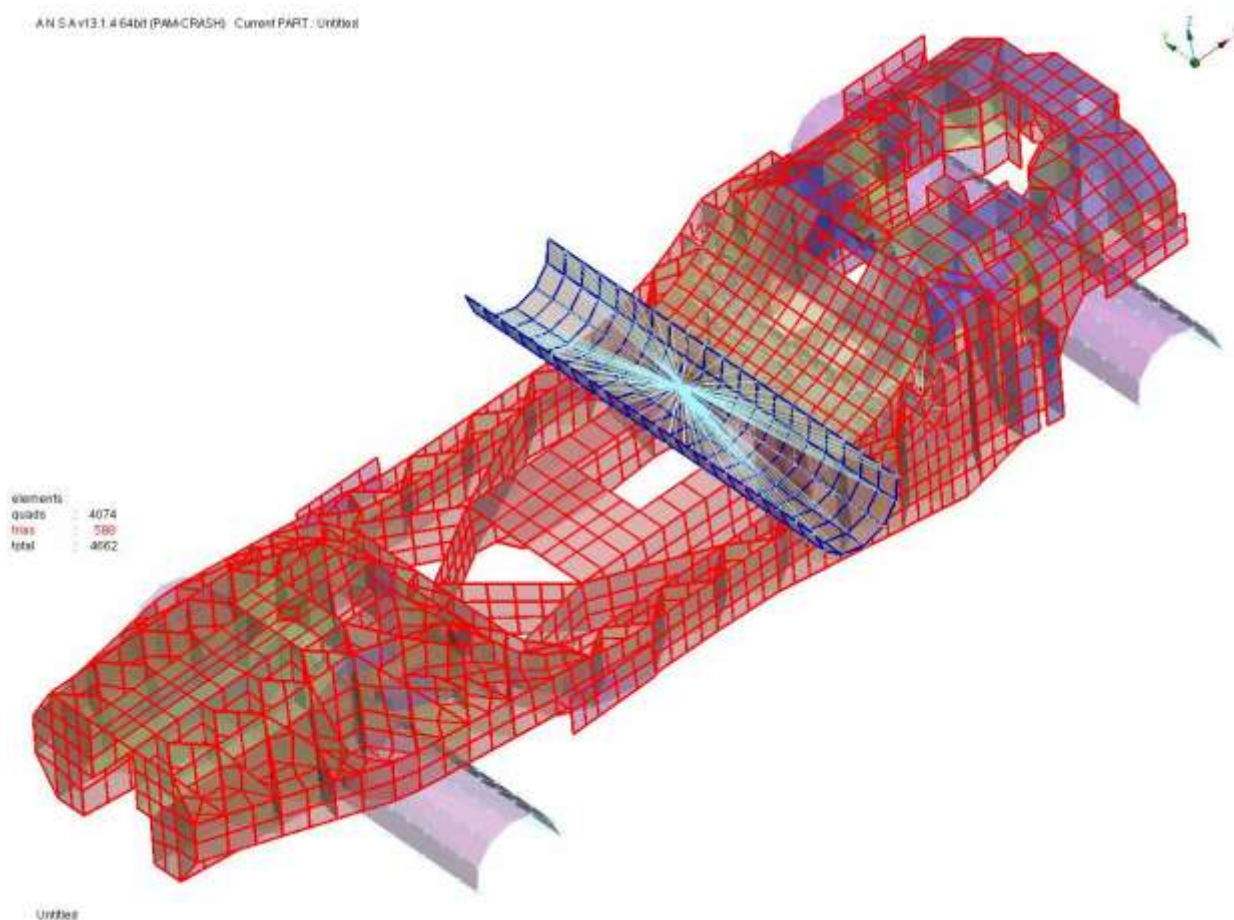
mode	keyword	by	NODE	DOF	IFUN	SCAL	Orient	IFRAM
translation	DIS3D	node	444	Z-dir	0	-1.	by coord	0

sensor: ISENS

Obrázok 67: Karta definície translačného pohybu impaktoru pri ohýbaní

Dôležité je zadať softvéru kontakty jednotlivých dielov sústavy, bez nich totiž o sebe nevedia, a výpočet by dobehol bez vzájomnej interakcie dielov. Kontakty môžu byť vlastné a medzi dvoma telesami. Vlastný kontakt, CNTAC typu 36 sa nadefinuje na multivýstuhu, aby sa zaznamenali interakcie medzi elementov multivýstuhu v prípade, že dôjde ku vzájomnému styku pri deformácii. Na ostatné kontakty sa zvolí možnosť segment na segment, CNTAC typu 33. Takýmto je styk medzi multivýstuhou a podporami, multivýstuhou a impaktorom a multivýstuhou a závažím. Tento typ kontaktu nerozlišuje master a slave plochy, výpočtový algoritmus spracováva obe plochy na rovnakej úrovni, čo síce predĺži výpočtový čas, ale v prípade malej súčiastky, aká je táto multivýstuha je tento

čas zanedbateľný. Kontaktná hrúbka sa vo všetkých prípadoch nechá vlastná hrúbka stýkajúcich sa elementov, kým hodnota súčiniteľa trenia sa nastaví na 0,1.



Obrázok 68: Definícia kontaktu medzi telesom multivýstuhu a telesom impaktoru

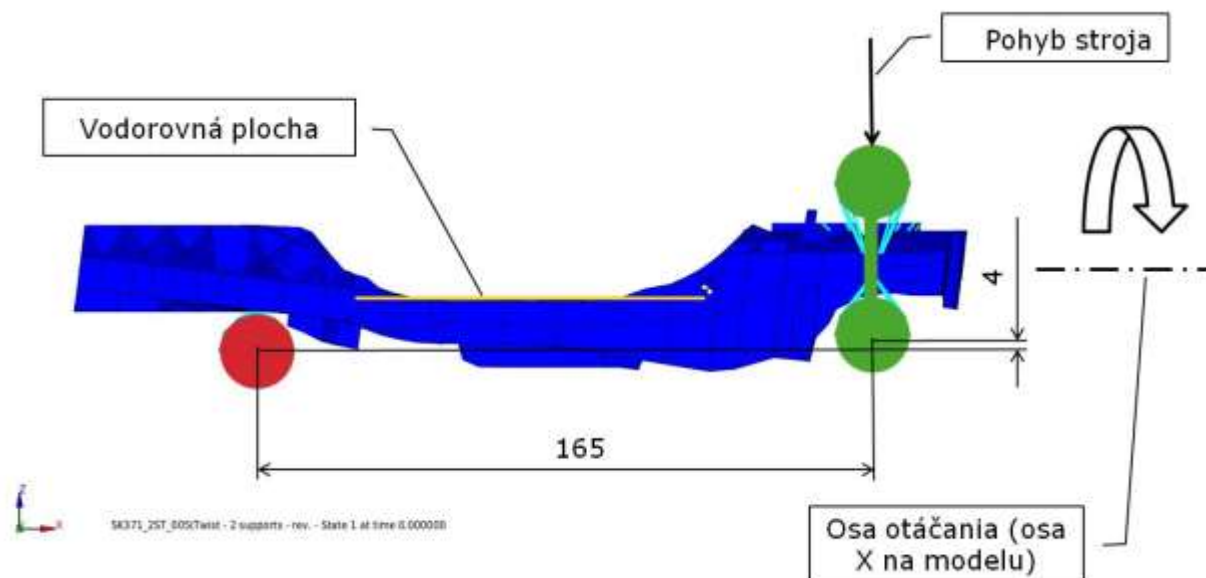
Hotový model sa musí uložiť do formátu input file-u softvéru solveru. Crashové výpočty sa na pracoviskách FEM simulácií v Škoda Auto počítajú softvérom PAM-CRASH, takže vstupný súbor pre výpočet bude mať príponu *.pc. Na výpočet sa predpokladá použitie verzie PAM-CRASH 2010.1, takže model sa môže uložiť vo formáte verzie 2010.

9.2. Tvorba sústavy zaťaženia na krútenie

Pri tvorbe sústavy záťažného stavu na krútenie opäť vychádzame z predpokladu najjednoduchšieho koncepčného riešenia, aby príprava reálnej skúšky bola čím menej náročná a jej vykonanie nie príliš zložitá.

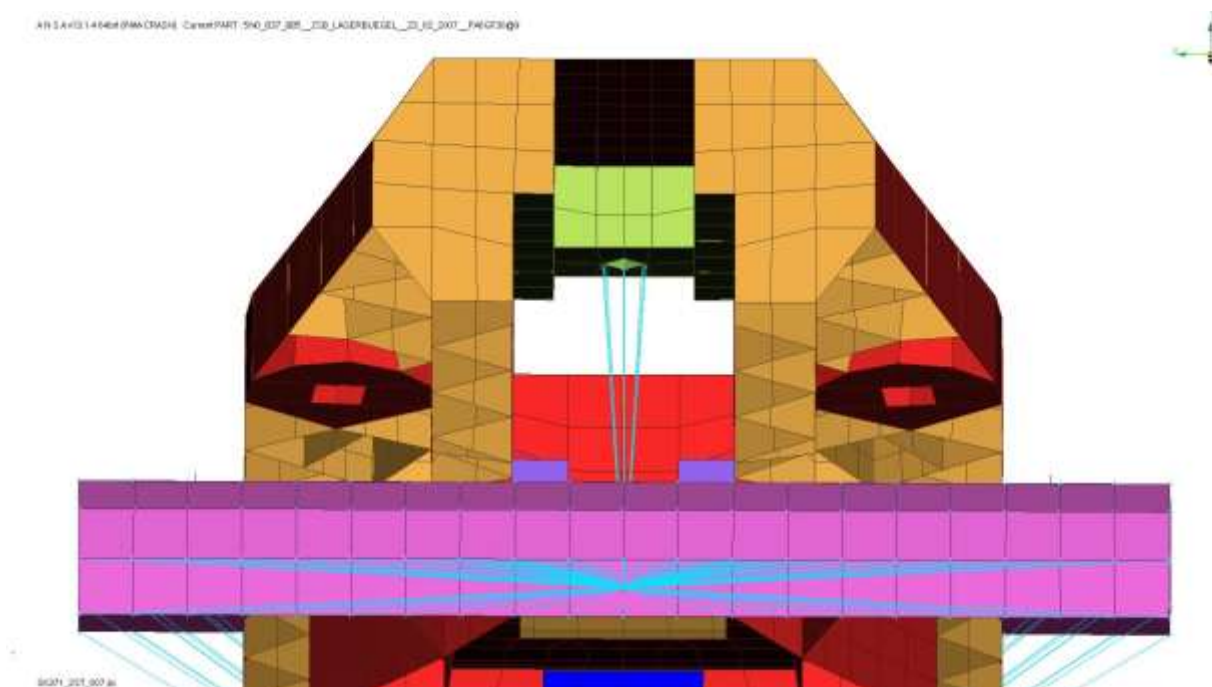
Podľa návrhu komponentnej skúšky krútiť sa bude s jedným koncom multivýstuhu. Z hľadiska dopadu skúšky výber strany zafixovania a strany zaťaženia nemá žiadny vplyv, v našom návrhu voľba padla na krútenie multivýstuhu na strane miesta zámku. Na nehybnej strane sa súčiastka uloží pevne medzi dvoma telesami (prípadne priskrutkovaním k pevnej podložke skrz dieru slúžiacu na uloženie vo dverách) tak, aby boli zamedzené všetky stupne voľnosti. Skúšobné zariadenie, ktoré je k dispozícii k vykonaní tejto skúšky je univerzálny skúšobný trhací stroj, ktorý však nedokáže vyvolať priamo krútiaci pohyb. Na prevod translačného pohybu stroja na rotačný pohyb skúšky sa navrhuje jednoduchý klukový mechanizmus, v ktorom stroj tlačí na páku, ktorá je pevne spojená so zadnou časťou multivýstuhu. Pritom páka je podoprená skrutkou v mieste zaistovacej skrutky zámku dverí.

Miesto predného uloženia multivýstuhu je súhlasné s podoprením pri skúške na ohyb. Rozmery sú podobné k sústave zaťaženia na ohyb, rozteč medzi predným a zadným uložením je 165 mm, polotovar na výrobu podpôr (čelustí) je opäť oceľová tyč o priemeru 20 mm. Rameno pôsobenia sily stroja na páku je 100 mm.



Obrázok 69: Návrh uloženia komponentnej skúšky na krútenie

Impaktor a podpora sú modelované aj v tomto prípade ako dokonalo tuhé telesá, s použitím materiálového modelu typického pre RBODY typu 0. Uloženie prednej časti multivýstuhu sa rieši spojením uzlových bodov montážnej diery súčiastky s tuhým telesom podpory. Uskutoční sa pridaním vybraných uzlových bodov multivýstuhu do skupiny zafixovaných uzlov prednej podpory väzbou RBODY. Po spojení súčiastky s podporou pomocou väzby tuhého telesa sa pridá okrajová podmienka na zamedzenie všetkých 6 stupňov voľností COG zmieneného tuhého telesa.



Obrázok 70: Spôsob zafixovania prednej časti výstuhu

Zadná podpora sa modeluje kvôli názornosti podľa návrhu, dve tyčky o priemere 20 mm, medzi ktorými je prichytený koniec multivýstuhu s otvorom na zámok dverí. Spodná tyč, na ktorú tlačí impaktor skúšobného stroja je asymetricky predĺžená o 100 mm. Spojenie multivýstuhu s podporou sa rieši podobne ako na prednej konci, uzlové body otvoru zámku dverí sa spojí s uzlovými bodmi elementov impaktora do jedného tuhého telesa. Zamedzením 5 stupňov voľností ťažiska tuhého telesa impaktora docielime možnosť otáčania zadnej časti multivýstuhu okolo osi x, čo zodpovedá krúteniu skúšobnej súčiastky podľa návrhu zaťaženia. Kvôli presnému umiestneniu ťažiska do stredu otvoru skrutky zaistenia zámku dverí sa použije RBODY typu 3. Okrem určenia presnej polohy sa musí zadať hmotnosť tuhého telesa a momenty zotrvačnosti v jednotlivých smeroch.

Krútiaci moment je vyvolaný translačným pohybom stroja v ťažisku tuhého telesa impaktoru funkciou DIS3D, ktorý je určený závislosťou posuv na čase. Hodnoty tejto závislosti sú určené z funkcie lineárnej závislosti zostrojenej počas definície záťažného stavu na ohyb, na ktorú opäť odkážeme pri vyplňovaní karty vlastností pohybu. Smer pohybu je aj v tomto prípade pozdĺž osi Z v zápornom smere.

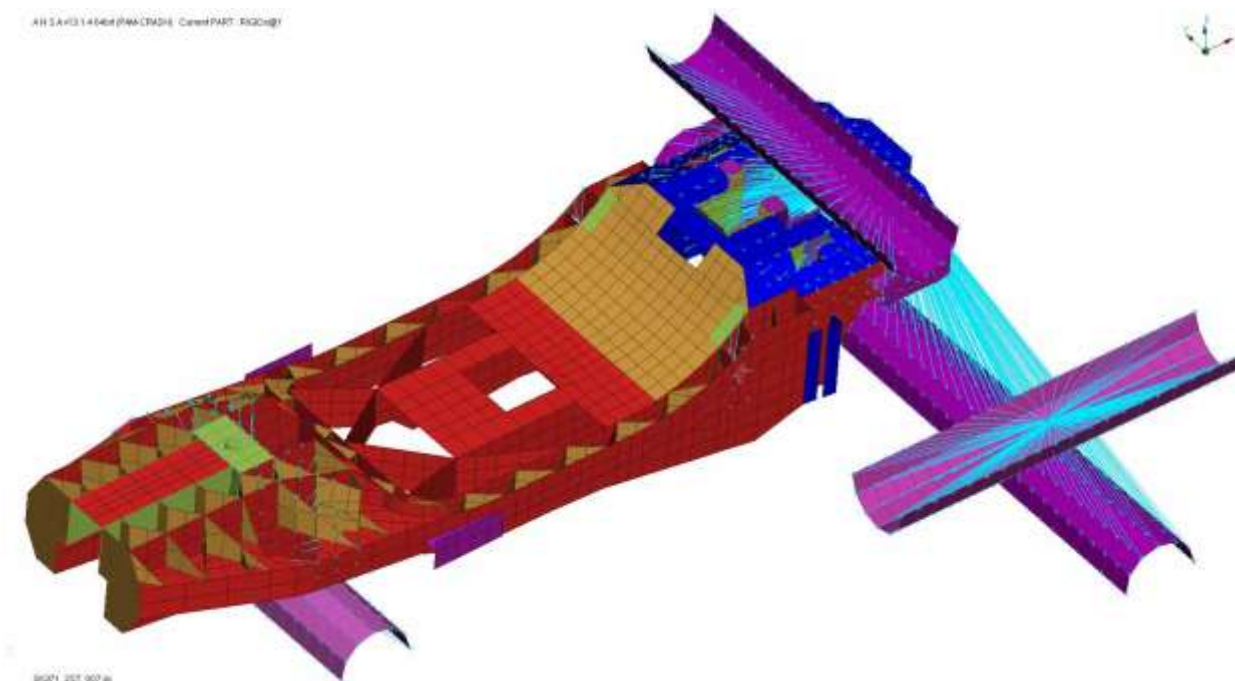
mode	keyword	by	NODE	DOF	IFUN	SCAL	Orient	IFRAM
translation	DIS3D	node	3	Z-dir	10	-1	by coord	0

sensor: ISENS

+

Obrázok 71: Karta definície translačného pohybu impaktoru pri krútení

Kontakty sú definované podobne ako u ohybu, hoci v tomto prípade je veľká pravdepodobnosť, že nedôjde k stretu elementov multivýstuhy ani s podporami, ani s impaktorom. Tento predpoklad vychádza zo spôsobu riešenia uloženia a zaťaženia multivýstuhy. Vlastný kontakt, CNTAC typu 36 je aj v tomto prípade nevyhnutný na všetky elementy deformovanej súčiastky.



Obrázok 72: FEM model komponentnej skúšky na krútenie

9.3. Výpočet sústav zát'ažných stavov

Vstupný súbor do solveru PAM-CRASH je súbor formátu ASCII, ktorého sa dá otvoriť a editovať obyčajným textovým editorom. Štruktúra obsiahnutých dát má pevne danú formu, s použitím vhodných príkazov na vhodných miestach je možné modifikovať model, či nastaviť vstupné a výstupné parametre výpočtu. Pred spustením výpočtu tieto parametre je nutné vhodne si nastaviť.

Po otvorení vstupného súboru modelu v prvej časti, podľa vnútornej dohody v rámci automobilky Škoda, sú umiestnené všeobecné popisy celého súboru, ako napr.: typ modelu, dátum vypracovania, zodpovedná osoba, rôzne komentáre týkajúce sa varianty modelu, atď. Tieto riadky začínajú znakom #, či \$, sú interpretované ako karty komentáre, ich obsah program ignoruje. Podstatná časť z hľadiska softvéru začína riadiacou kartou, ktorá zahŕňa požiadavky na výpočet a na uloženie výsledkov simulácie.

```
% Project: HEFI-
% Description: component model of rear door handle-
% Responsible: Jan Korous, jan.korous@skoda-auto.cz, Skoda TX/4-
%
% Modification history:-
%
In SK371_28T_001-
!f component model-
!c 12.1.2012-
!a Peter Raffai, Skoda TX/4-
% - source: SE275_188_left_rear_door_001_2008.inc-
% component test of the rear door handle model-
% single bend load-
% added 2 supports and 1 impactor-
% load created by translational movement of the impactor-
% boundary conditions defined on supports's SS_OOQ (123456) and impactor's SS_OOQ (123456)-
% component's middle surface aligned with global frame's XY plane-
% - creating an independent model for component test-
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
$)
$
$
INPUTVERSION 2004
SOLVER CRASH
ANALYSIS EXPLICIT
$
SOLIDM YES
SHELDCHECK NO
SOLIDCHECK NO
PROFILE_TMP $
$
DATACHECK YES
$
RESTARTFILERS -1
MERGEOP 0.01
UNIT MM KG MS KELVIN
$
TITLE / SK371_28T_001(Bend - 2 supp 1 impact - trans. movement)
$
FINISH/
TIME 100.01
END_HURDRO
$
OCTRL /
THRCUTPUT INTERVAL 0.1
DEVCUTPUT CURVE 720002
RATCUTPUT INTERVAL 200.
PRINCUTPUT CYCLE 100
PRINT NO
PREFILTER ALL
GLBTRF ANXV AVXY AVUZ BA06 BA09 CNTE CNTP DLOC DMAS INTS KINS
GLBTRF RACC RANG RVEL RVLE RVLF SBCF SBEM STEP TONT TOMP TEXT THSL TOTL
GLBTRF TRNL TRPL TRQL MINT MKIN MRSH MRSP SPRL SELD SSMI
GLBTRF MINT MKIN TRSL
GLBTRF DFIL BIGH BRST
GLBTRF PCMT PACH CRUP
SULFLOT IMSC DINT DEKL ESLE
SHEFLOT IMSC SBPM EKMA ESMK ERME STPA DMC DINT DEKL NEMS GSOC
DEAFLOT ALL
MPFCUTPUT WRITE KEEP
END_OCTRL
$
TCREL /
INITIAL 0.0
STIFFNESS_SCALE 0.001 0.1
INIT_MASS_SCALE 0.00105
MODAL YES
DTNA_MASS_SCALE 0.001 20. 0
SHELL THINSTEP SMALL BEND
END_TITV
```

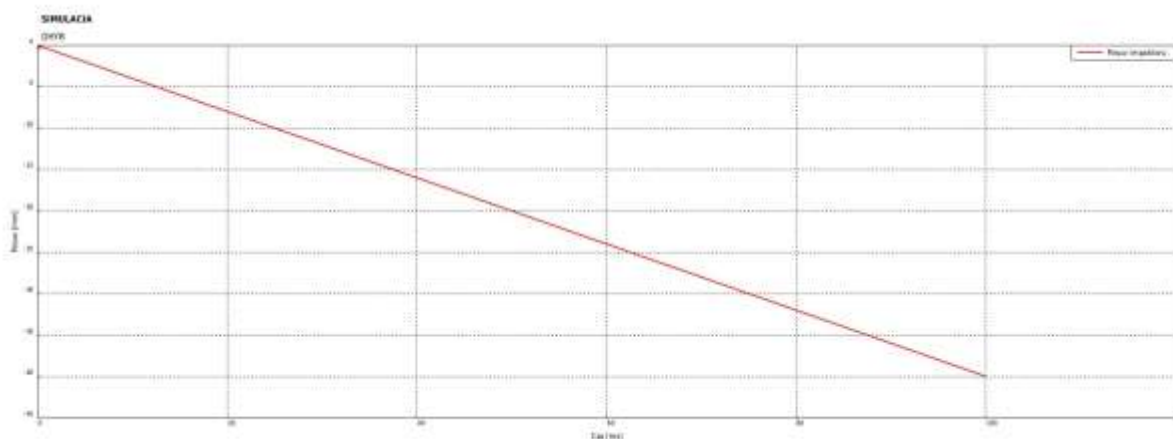
Obrázok 73: Riadiaca karta solveru PAM-CRASH

Výpočet sa spúšťa príkazom príslušného aliasu verzie solveru. Pred samotným počítaním softvér vykoná tzv. datacheck, kde skontroluje správnosť modelu, a v prípade nálezu zapíše všetky chyby a prípadné zdroje problémov do výstupného súboru. Po dobehnutí kontroly dát bez nájdených chýb sa spustí výpočet záťažného stavu. Časový parameter na výstup podľa nastavení je 100 ms, pri zápise dát v každej druhej milisekunde. Výstupom úspešného dobehnutia výpočtu na jednom procesore sú štyri súbory. Do súboru s príponou .msg sa zachytia informácie a varovania z priebehu výpočtu, charakteristické dĺžky elementov, nález počiatočných deformácií, atď. Súbor s príponou .OUT zahrňuje výsledky výpočtu v jednotlivých časových krokoch v ASCII formáte, kým súbory .DSY a .THP majú v sebe uložené deformácie elementov, resp. krivky hodnôt výstupných veličín, ako napr. sily v kontaktoch, posuvy v jednotlivých smeroch, či energie systému.

9.4. Výsledky simulácie sústavy zatťaženia na ohyb

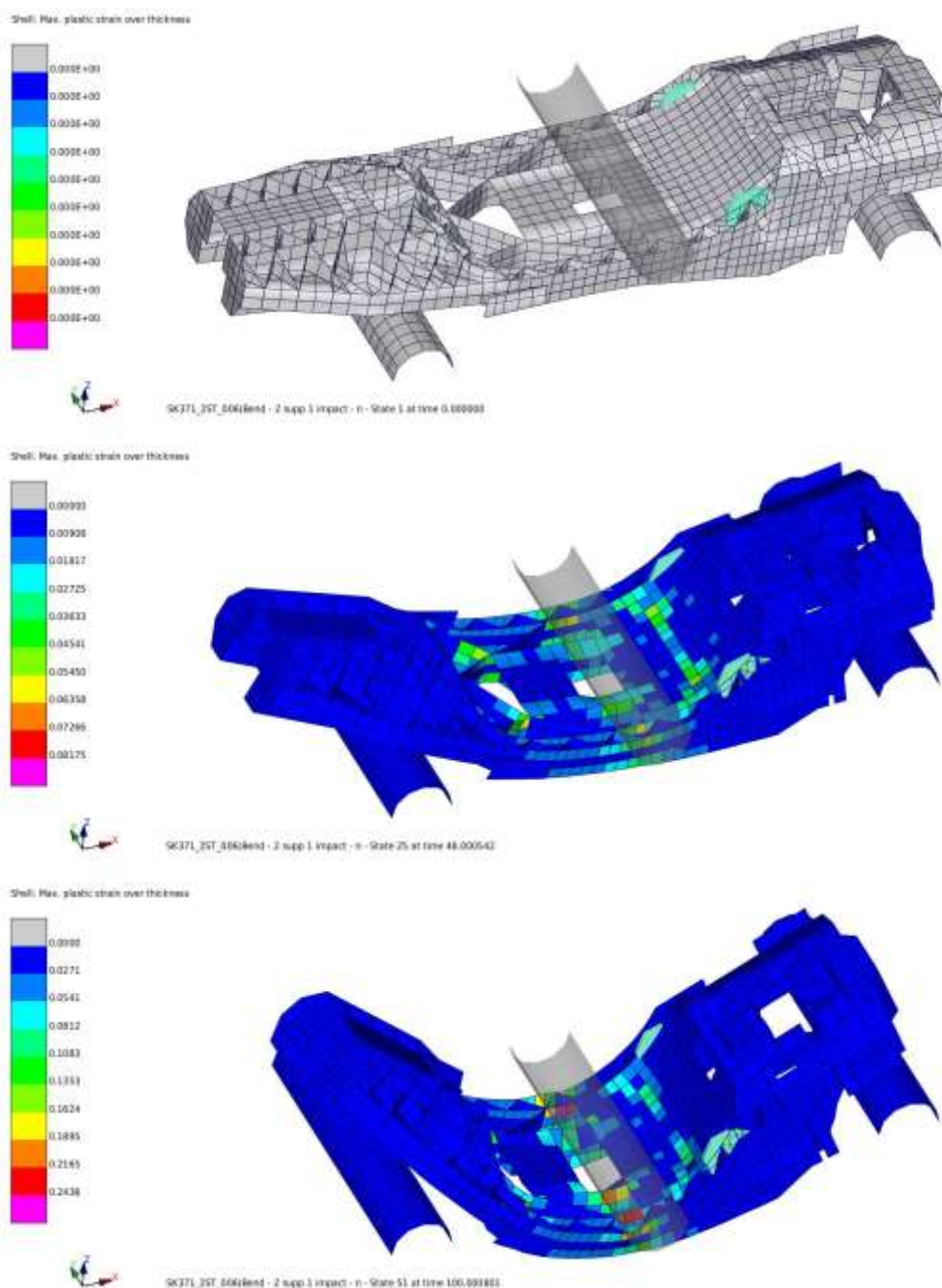
Výsledky simulácie záťažného stavu na ohyb sa spracováva postprocesorom, čo je program na vykreslenie dát uložených v súboroch s príponami .DSY a .THP. Vlastnosti programu ponúkajú širokú škálu možností vizualizácie výsledného deformovaného modelu k dosiahnutiu najvhodnejšej podoby prezentácie obdržaných výsledkov. Použitý softvér na tieto účely je Animator 4 verzie 1.4.6.

Podľa nastavení sa úloha počíta do 100 ms so vzorkovacím intervalom 2 ms. To znamená, že výstupom bude 51 štádií deformácie začínajúce od počiatočného nezatťažného stavu do maximálnej deformácie súčiastky. Miera najväčšej deformácie je závislá na dráhe pohybu impaktoru, ktorá je podľa počiatočnej definície v časovom okamihu 100 ms presne 40 mm.

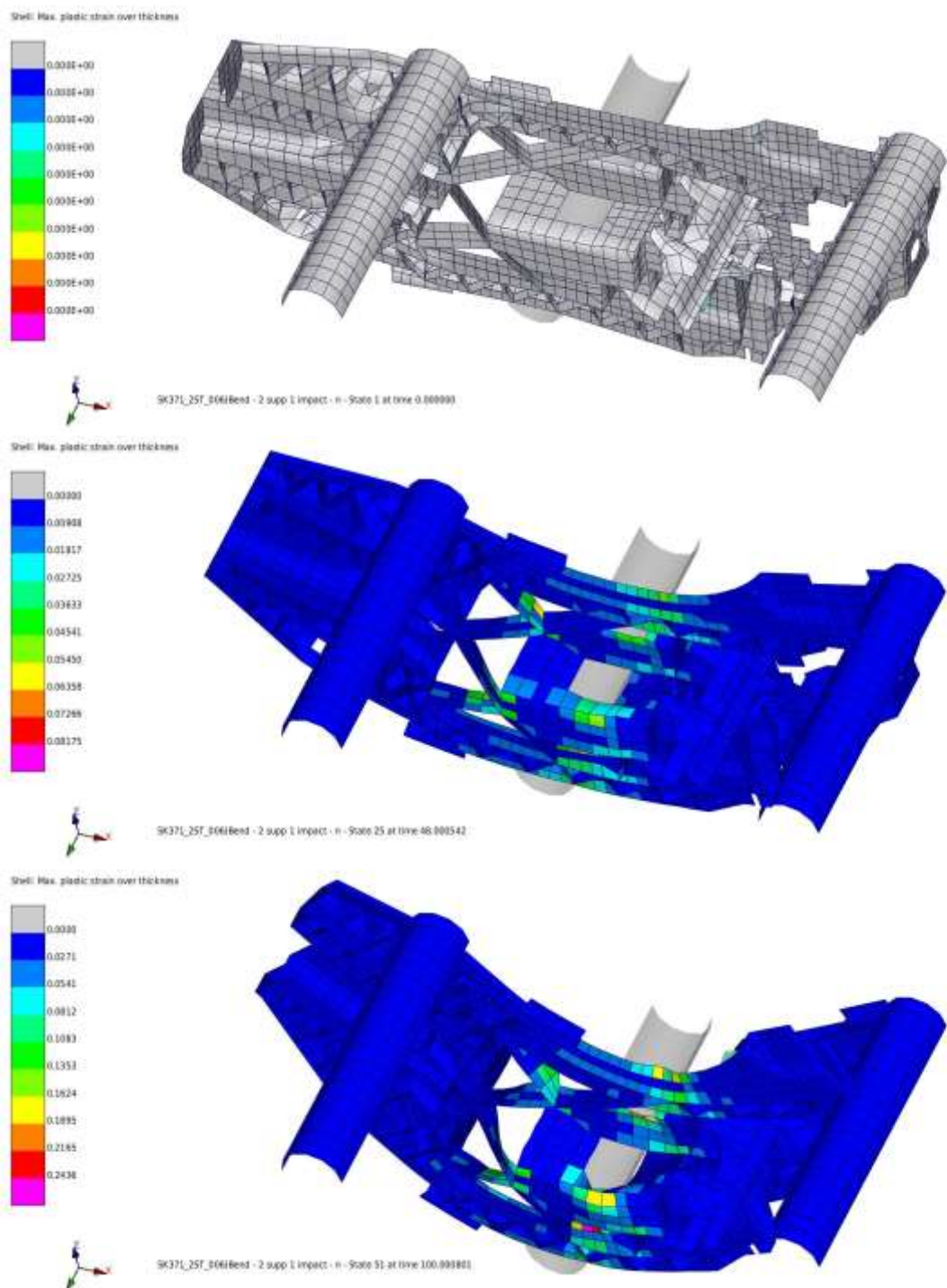


Obrázok 74: Grafikon závislosti posuvu impaktoru na čase simulácie

Stupnica plastickej deformácie jednotlivých elementov modelu pri zobrazení je nastavená na dynamické odstupňovanie, takže jej maximálna hodnota zodpovedá najväčšej plastickej deformácii cez všetky elementy modelu.

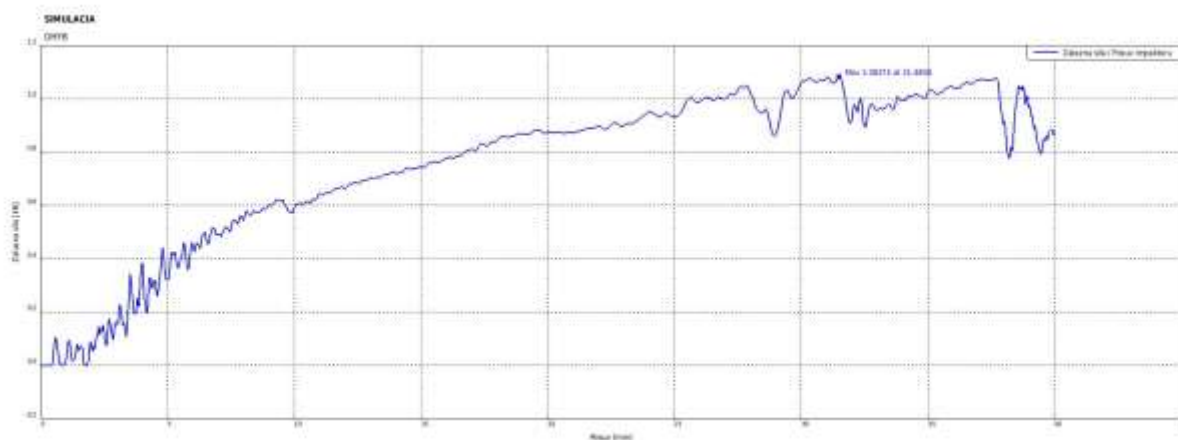


Obrázok 75: Všeobecný pohľad zhora na výsledky simulácie záťažného stavu na ohyb v čase 0 ms, 48 ms a 100 ms



Obrázok 76: Všeobecný pohľad zdola na výsledky simulácie záťažného stavu na ohyb v čase 0 ms, 48 ms a 100 ms

Dôležitým výstupom simulácie je závislosť záťažnej sily na dráhe impaktoru, nakoľko táto charakteristika sa meria aj pri reálnej komponentnej skúške. Tlakovú silu impaktoru získame z kontaktnej sily telesa impaktoru a multivýstuhu v Z-ovom smere.

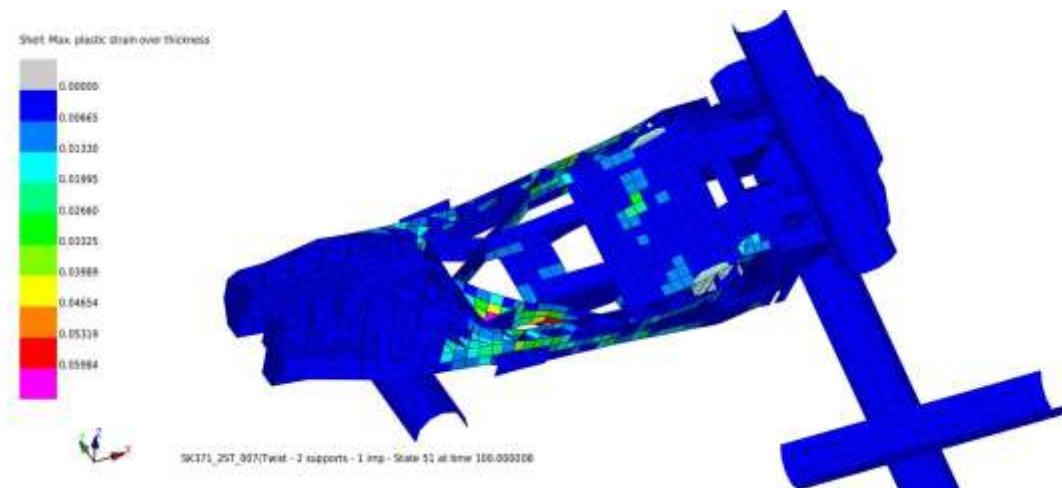
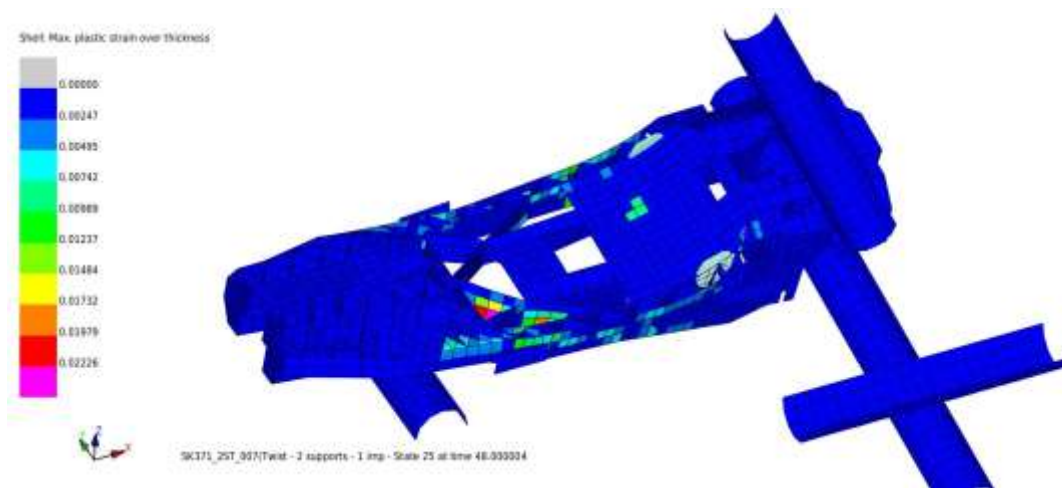
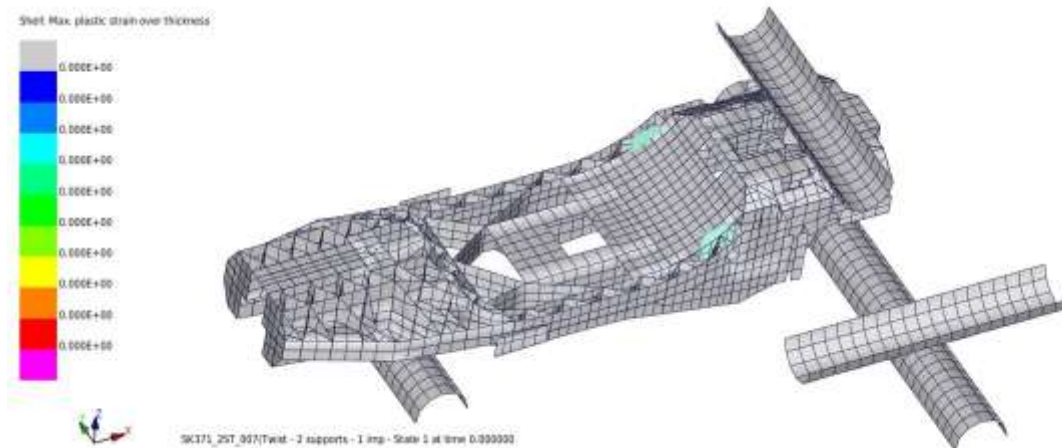


Obrázok 77: Grafikon závislosti záťažnej sily na dráhe impaktoru pri ohýbaní

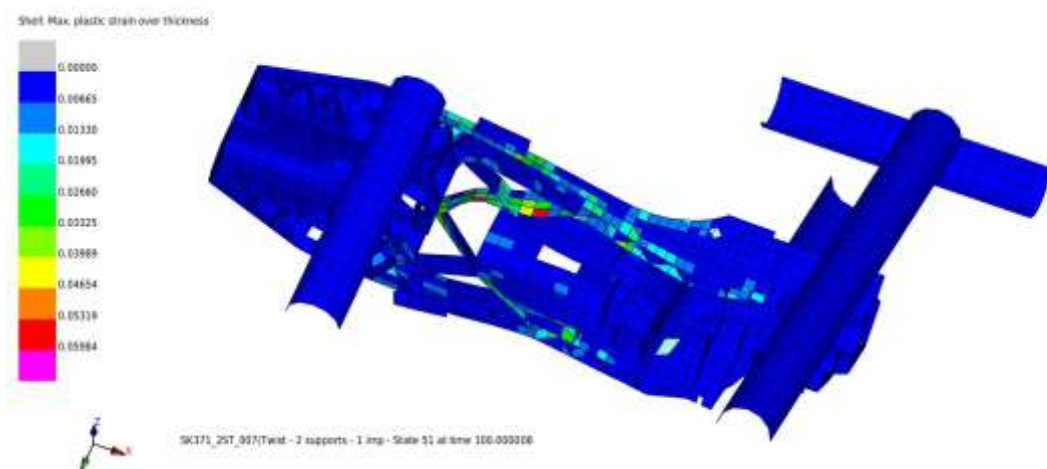
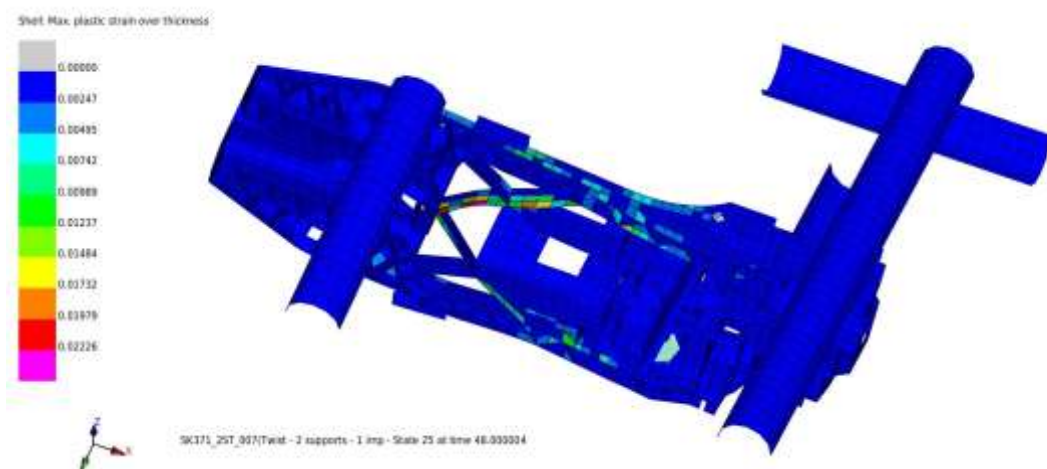
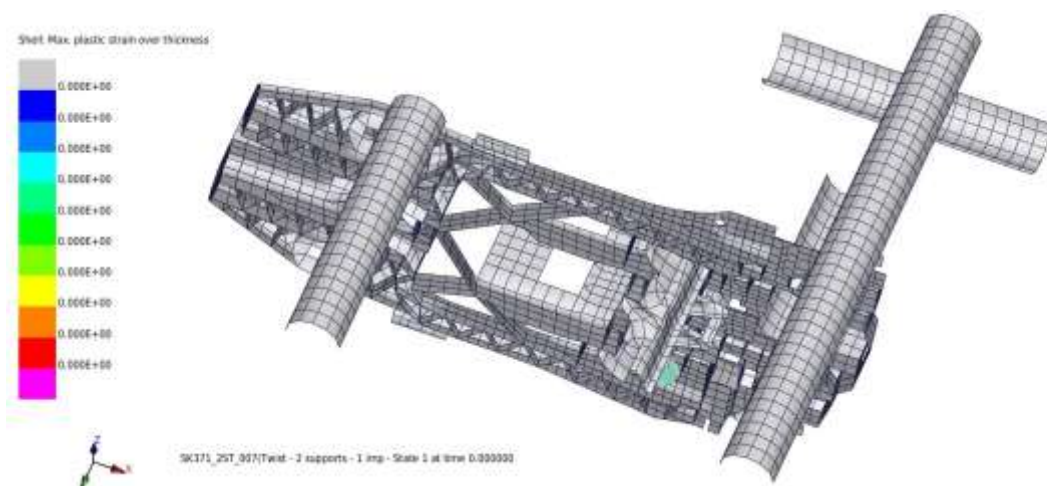
9.5. Výsledky simulácie sústavy zaťaženia na krútenie

Výpočet záťažného stavu na krútenie sa spustí s rovnakými parametrami ako v prípade ohybu. Obdržané výsledky sú prezentované podobným spôsobom kvôli jednoznačnosti a prehľadnosti.

Posuv impaktoru je opäť lineárnou závislosťou na čase, vyzerá identicky ako vyššie uvedené pri ohybe, najvyššiu hodnotu dosiahne v časovom okamihu 100 ms, a vtedy presne 40 mm.

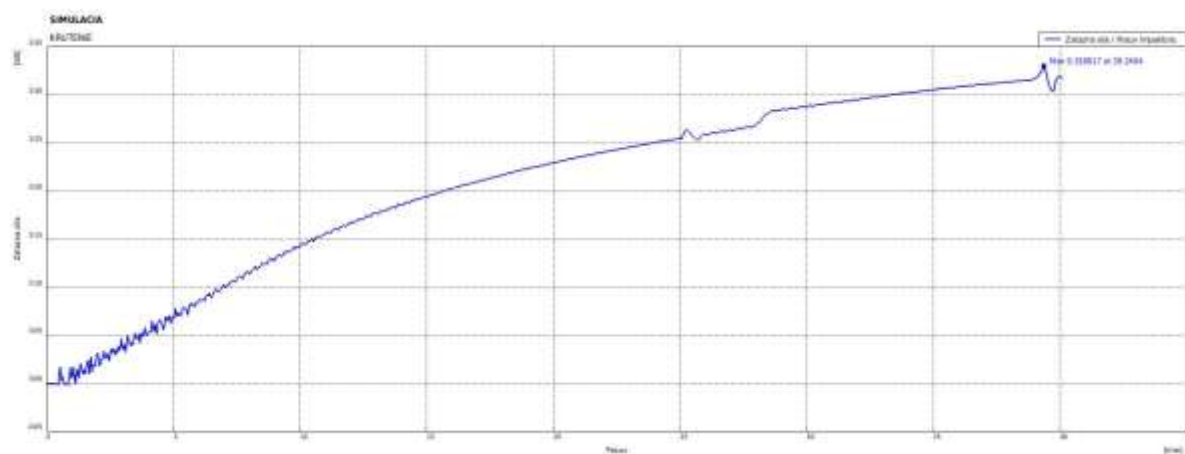


Obrázok 78: Všeobecný pohľad zhora na výsledky simulácie záťažného stavu na krútenie v čase 0 ms, 48 ms a 100 ms



Obrázok 79: Všeobecný pohľad zdola na výsledky simulácie záťažného stavu na krútenie v čase 0 ms, 48 ms a 100 ms

Odlišný je spôsob obdržania záťažnej sily, ktorá sa v tomto prípade určí ako integrálny súčet kontaktnej sily zadnej podpory a impaktoru stroje v Z-ovom smere.



Obrázok 80: Grafikon závislosti záťažnej sily na dráhe impaktoru pri krútení

10. Validácia výpočtového modelu

Overenie správneho chovania výpočtového modelu sa uskutoční vykonaním reálneho experimentu v spolupráci s oddelením „Organizace a provádění zkoušek“, ktoré má k dispozícii vhodne vybavenú skúšobňu k tomuto účelu. Návrh použitých strojov, meradiel a pomocných súčiastok k uskutočneniu skúšky a záznamu jej výsledkov nie je súčasťou diplomovej práce, zaisťuje ich výše uvedené oddelenie automobilky.

10.1. Usporiadanie experimentu na ohyb

Usporiadanie experimentu na ohyb sa riadi požiadavkami na priebeh vykonania skúšky a na výstupné parametre. Základná koncepcia experimentu spočíva v ohýbaní multivýstuhy impaktorom valcového tvaru o priemere 20 mm. Pritom samotná multivýstuha je uložená na dvoch identických valcových tyčiach.



Obrázok 81: Uloženie multivýstuhy pri experimente na ohyb

Zámerom skúšky popri validácii výpočtového modelu je aj overenie nežiadaného otvorenia dverí pri poškodení multivýstuhu. Tomu je potrebné snímať zatiahnutie bowdenu zámkového mechanizmu, takže do sústavy sa pridá zámok dverí a oceľové lanko s „massensperre“. Pohyb konca lanka sa sníma priečnym snímačom polohy s meracou aparaturou Spider 8 od firmy Hottinger HBM v bode spojenia so zámkom.



Obrázok 82: Zámok dverí so snímačom pohybu konca oceľového lanka

Usporiadanie experimentu z rozmerového hľadiska súhlasí simulačným modelom, rýchlosť zaťaženia sa volí štandardná hodnota kvazi-statických skúšok, 50 mm/min. Nastavenie nulovej hodnoty posuvu impaktoru sa uskutoční pred každým pokusom predzaťažením vzorku na 1 N. Očakávané výstupné hodnoty z testu je závislosť záťažnej sily na dráhe impaktoru a maximálne zatiahnutie lanka, čiže posuv konca v zámku dverí. Závislosť sily na posuvu impaktoru je snímaná integrovaným meracím zariadením trhacieho stroja typu Zwick / Roell BXZ020/SN3A 02-01. Merací rozsah silomera XForce je do 20 kN.

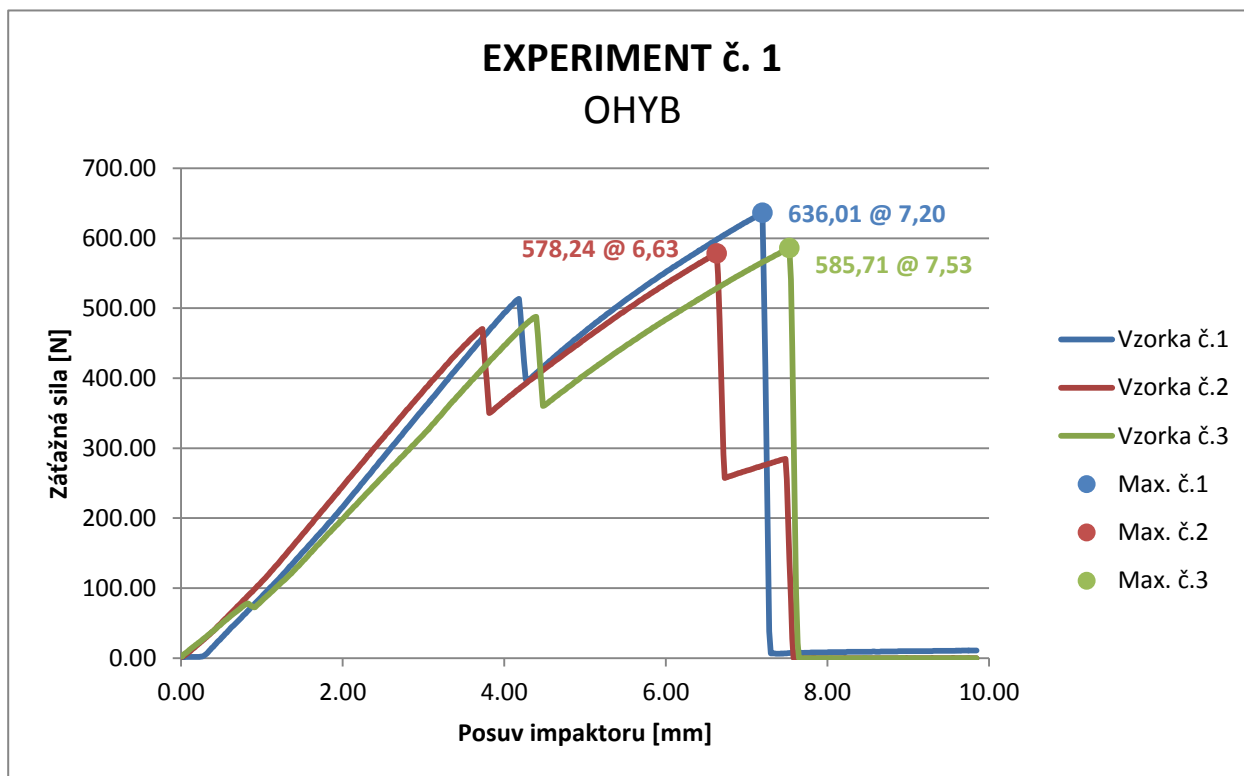


Obrázok 83: Usporiadanie experimentu na ohyb

10.2. Výsledky experimentu na ohyb

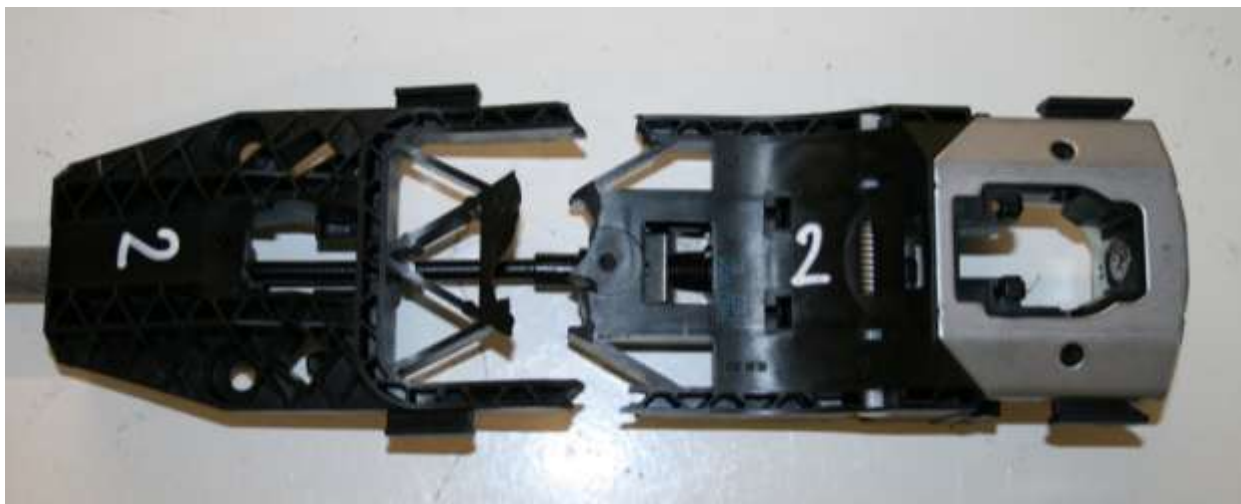
Z dôvodu znížšenia chyby výsledkov merania sa experiment vykoná na troch vzorkách za rovnakých podmienok. Výstupná charakteristika zo skúšobného trhacieho stroja, resp. z jeho príslušného softvéru je závislosť záťažnej sily na dráhe impaktoru.

Hodnoty všetkých troch meraní sú prezentované na grafikone nižšie (obr. č. 84). Priebehy závislostí sú veľmi podobné, prvé skokové znížšenie sily nastáva pri ruptúre výstužných rebier v strede multivýstuhy. Po následnom náraste záťaže potom skolabuje aj štruktúra výstužného rámu na okraji súčiastky.



Obrázok 84: Výsledky experimentu na ohyb – závislosti záťažnej sily na dráhe impaktoru

Porušenie na všetkých vzorkách nastáva na rovnakom mieste, má štruktúru krehkého lomu, znaky plastickej deformácie voľnými očami nie sú pozorovateľné.



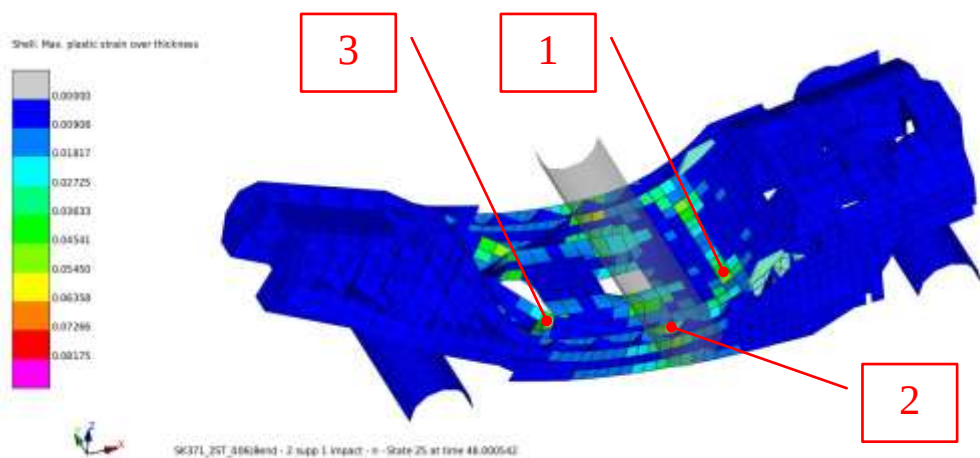
Obrázok 85: Porušená multivýstuha po vykonaní experimentu na ohyb

Úvahy v podkapitole 6.2.3. riešia možnosť neplánovaného otvorenia dverí vplyvom rozlomenia multivýstuhy. Ako už bolo naznačené, vykonaný experiment slúži aj na potvrdenie, či vyvrátenie týchto úvah. Výsledky zo snímače polohy konca oceľového lanka ukázali, že pri rozlomení multivýstuhy v mieste inom než medzi závažím a „massensperre“ nespôsobí žiadny nežiadany vedľajší účinok. Posuv konca bowdenu činí rádovo tisíce milimetrov, čo ďaleko zaostáva pod minimálnou hodnotou ohrozenia otvorenia zámku dverí.

10.3. Porovnanie výsledkov simulácie a experimentu na ohyb

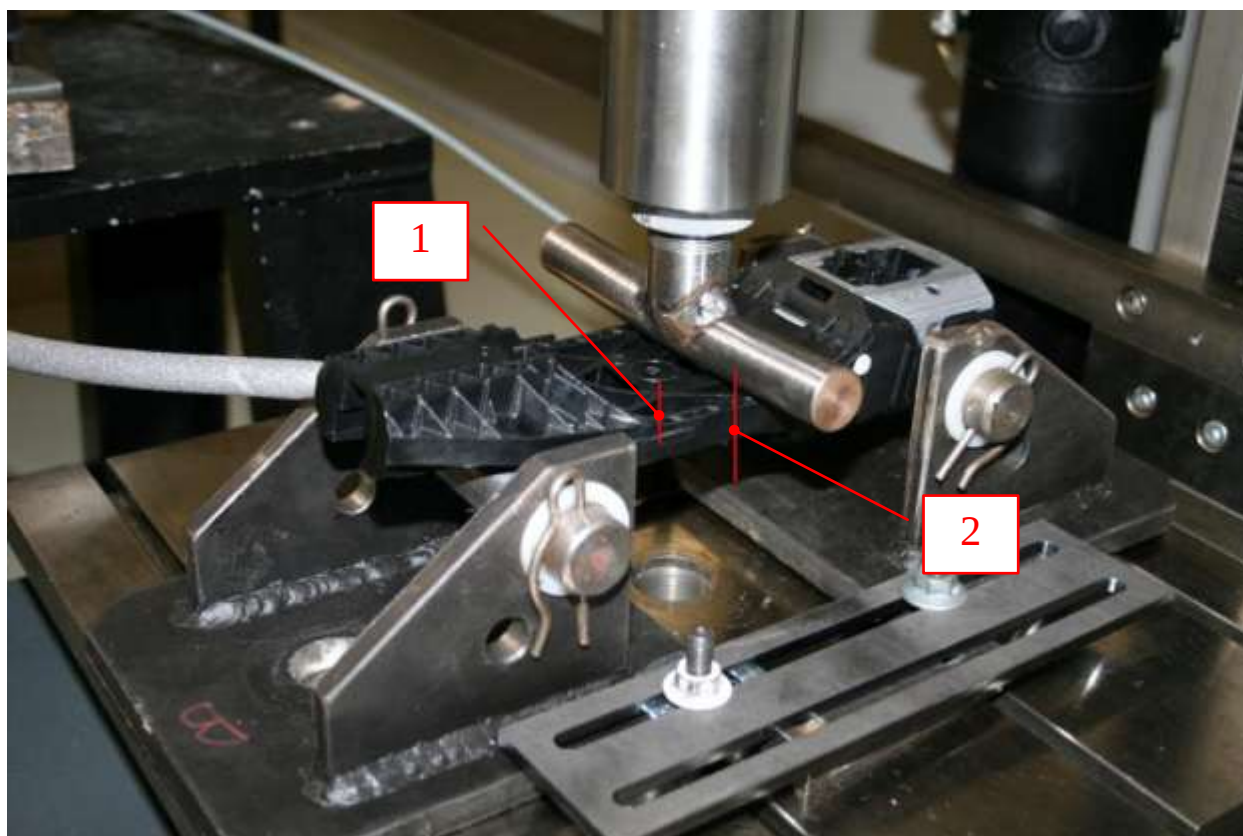
Porovnanie výsledkov simulácie a experimentu sa uskutoční z hľadiska priebehu deformácie a z hľadiska číselnej hodnoty obdržaného parametra.

Materiálový model simulácie neobsahuje mechanizmus porušenia, takže porovná sa miesto najväčšej plastickej deformácie na simulačnom modeli s miestami postupného porušenia súčiastky reálneho experimentu. Z vizualizácie výsledkov simulácie je zrejmé, že najvyššie hodnoty plastickej deformácie sa vyskytujú na elementoch pod impaktorom (poz. č. 1 na obr. č. 86), na zakrivenej ploche multivýstuhy v blízkosti miesta pôsobenia impaktora (poz. č. 2 na obr. č. 86), ďalej na horných elementoch vnútorných rebier (poz. č. 3 na obr. č. 86).



Obrázok 86: Miesta najväčšej plastickej deformácie simulačného modelu na ohyb

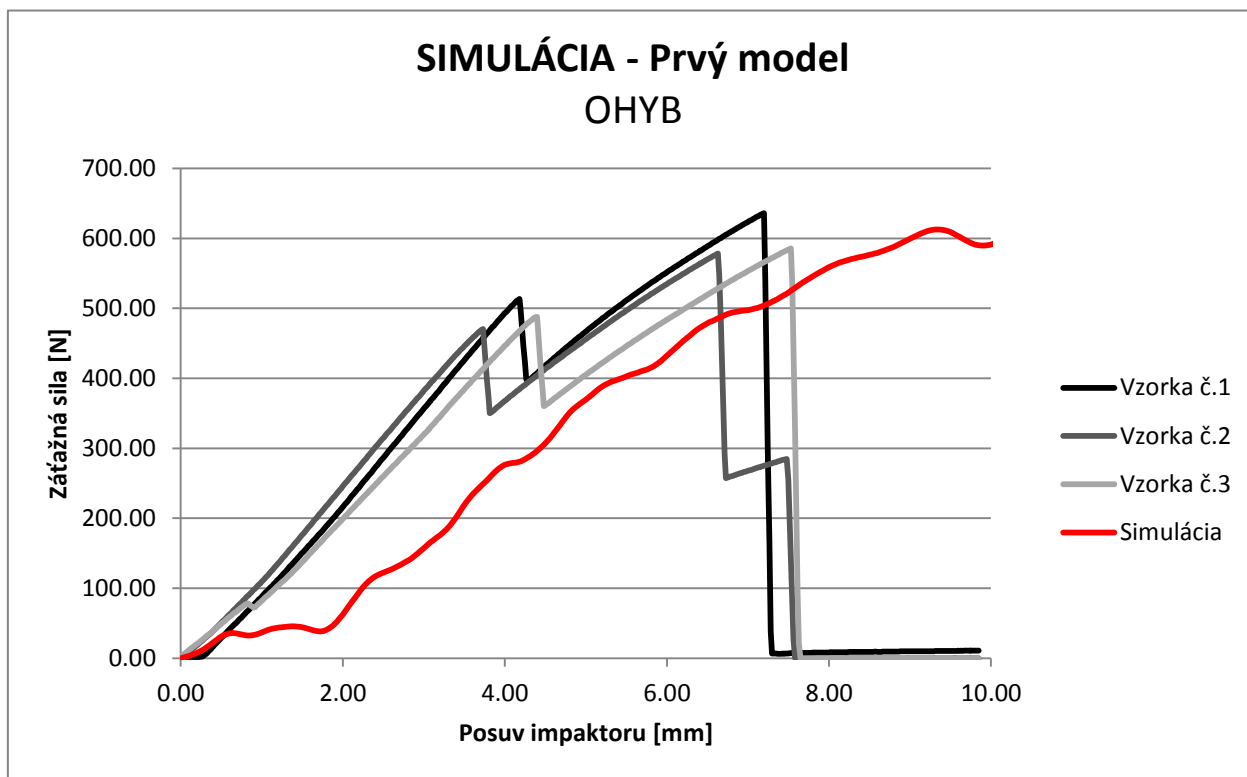
Priebeh porušenia štruktúry multivýstuhy v reálnom experimentu však vypadá inak. Prvé porušenie pri zaťažení multivýstuhy nastáva na dolnej strane stredných výstužných rebier (poz. č. 1 na obr. č. 87) a nie pod impaktorom, ani na hladkej ploche vedľa neho. Nasledovne sa rozlomí okraj multivýstuhy pred miestom spojenia s vnútorným rebrom vystuženia (poz. č. 2 na obr. č. 87).



Obrázok 87: Miesta porušenia reálneho experimentu na ohyb

Nezhody priebehu porušenia vyplývajú z nesprávnej tuhosti súčiastky z dôvodu odchýlok siete od geometrie, hlavne na miestach očakávaných porušení a v ich blízkosti. Tieto odchýlky vznikli pri naladení siete podľa interného návodu na tvorbu FEM siete, ktorý pripúšťa až 1 mm odchýlky od pôvodnej geometrie z dôvodu zaistenia minimálnej dĺžky elementov. Odchýlka 1 mm však pri výstužných rebrách o dĺžke okolo 3 mm pôsobí značný rozdiel v deformačnom chovaní.

Číselné hodnoty záťažnej sily v závislosti na posuvu impaktoru síce vychádzajú podobne, ich zhoda v tomto prípade ale nie je smerodajná, nakoľko použitý materiál v simulácii je odlišný od špecifikácie z výkresovej dokumentácie. Tieto nedostatky modelu sa budú upravovať v nasledujúcej časti diplomovej práce podľa znení jej zadania. Zámerom úprav je naladiť komponentný model tak, aby svojím simulačným chovaním odpovedal dopadu reálneho experimentu.

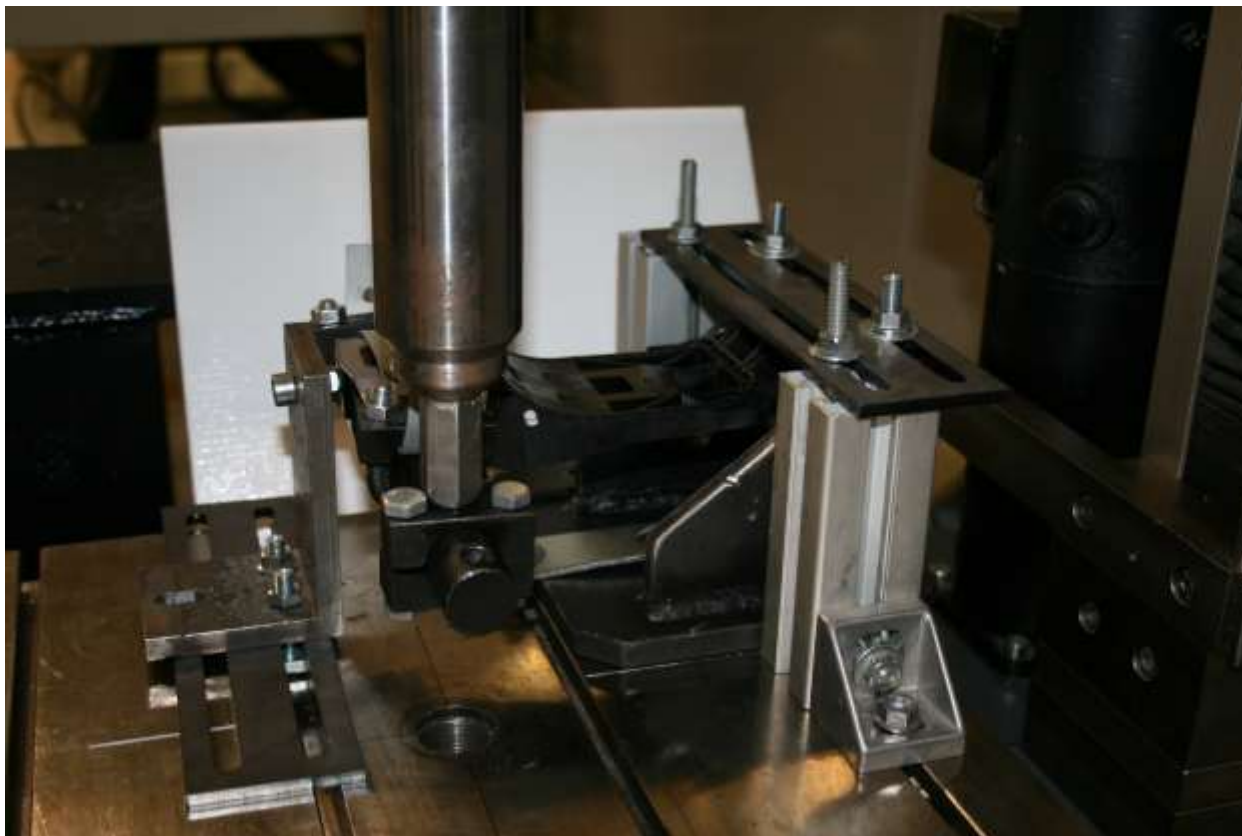


Obrázok 88: Porovnanie výsledkov simulácie a experimentov na ohyb (prvý model)

10.4. Usporiadanie experimentu na krútenie

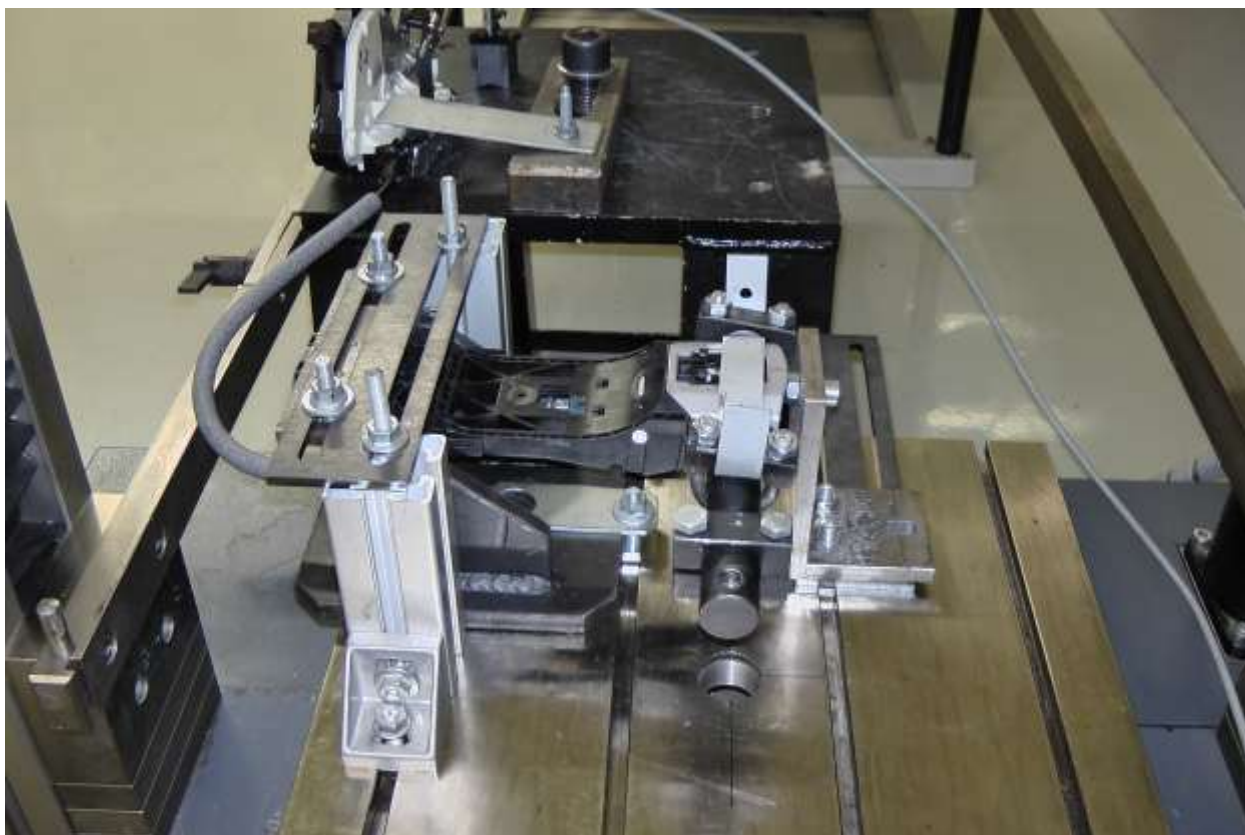
Sústava jednotlivých súčiastok experimentu na krútenie multivýstuhy sa opäť usporiada podľa teoretického návrhu komponentnej skúšky. Predná časť súčiastky sa pevne zafixuje dotiahnutím štyroch skrutiek medzi oceľovú dosku a podporu z oceľovej tyče o priemere 20 mm. Zadná strana multivýstuhy sa uloží otočne pomocou jednej skrutky, ktorá zamedzí všetky stupne voľnosti okrem rotácie okolo X-ovej osi. Skrutka uloženia zadnej časti je výškovo polohovaná podľa návrhu tak, aby stredná plocha multivýstuhy bola opäť vo vodorovnej polohe. Na zadnú časť multivýstuhy sa pripevní oceľová tyčka o priemere 20 mm kolmo na vyššie zmienenú X-ovú osu podľa simulačného modelu

znázornený v kapitole 9.2. Na túto tyč bude tlačiť impaktor skúšobného trhacieho stroja, ktorý je v tomto prípade šesťhranná tyč, v počiatočnej vzdialenosti 100 mm od osi otáčania.



Obrázok 89: Uloženie multivýstuhy pri experimente na krútenie

Do sústavy samozrejme aj v tomto prípade sa pridá zámkový mechanizmus, na ktorom bude sledovaný posuv konca ocelového lanka s meracím zariadením použitý pri ohybovej skúške, Spider 8 od firmy Hottinger HBM. Nezmenený ostáva aj trhací stroj so zabudovaným silomerom, Zwick / Roell BXZ020/SN3A 02-01. Rýchlosť zaťaženia sa volí aj v tomto prípade štandardná rýchlosť kvazi-statických skúšok, 50 mm/min. Kalibrácia nulovej polohy impaktoru stroja pred každým pokusom sa uskutoční predzaťažením skúšobného telesa so silou 1 N.

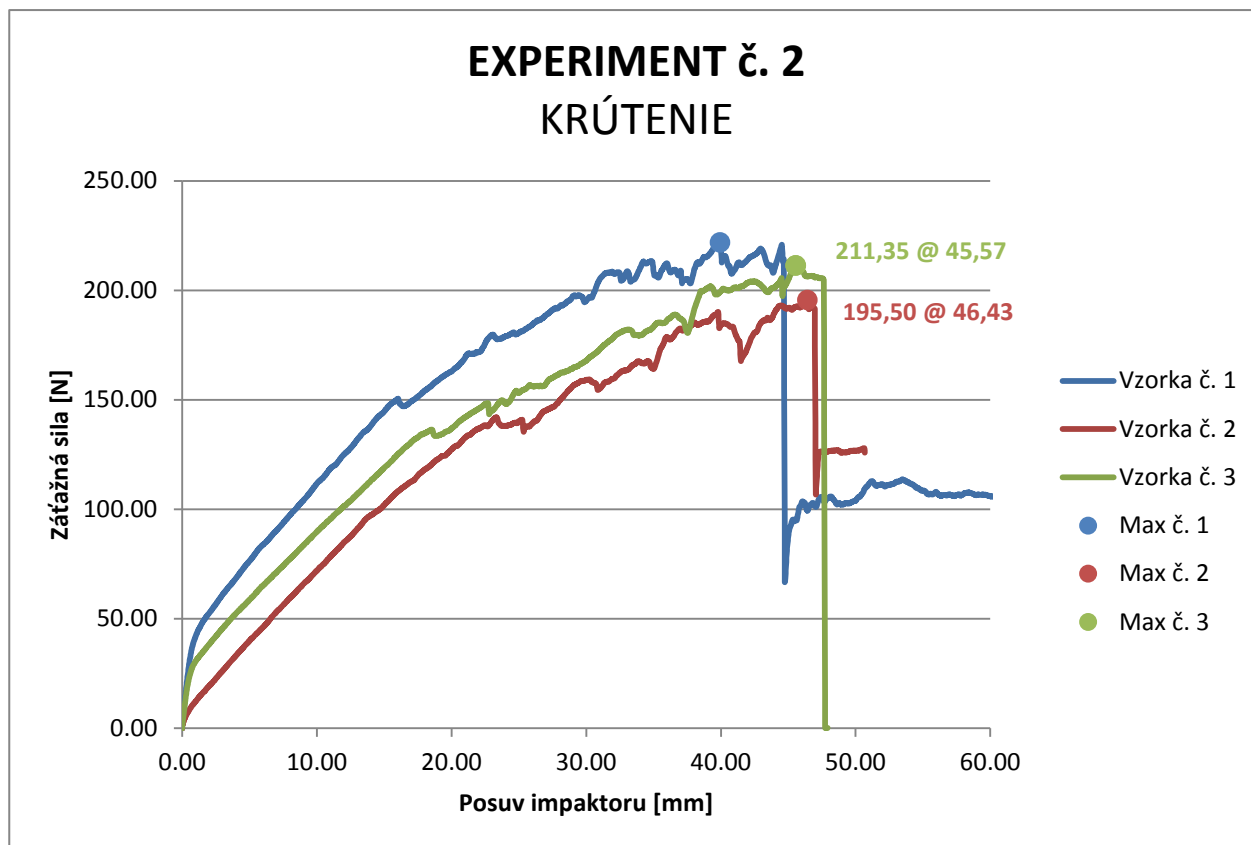


Obrázok 90: Usporiadanie experimentu na krútenie

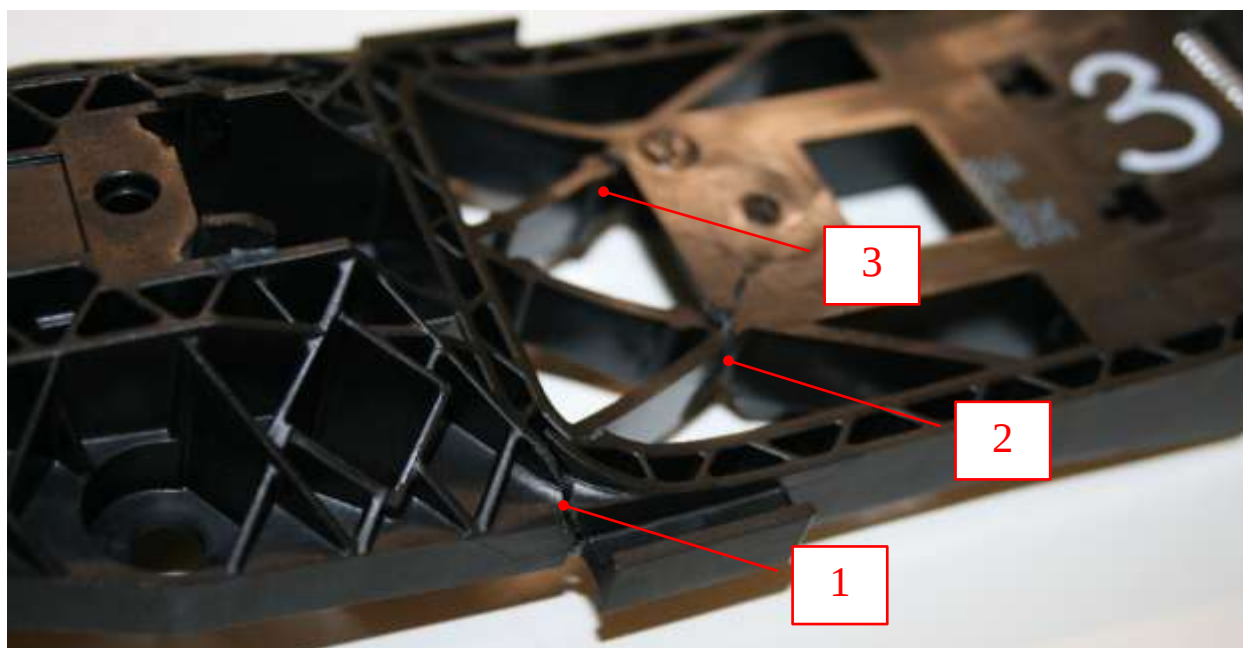
10.5. Výsledky experimentu na krútenie

Výsledky experimentu sú prezentované na obdržanej závislosti zo snímačov skúšobného stroja, na závislosti záťažnej sily na posuvu impaktoru. Rovnako, ako pri experimentu na ohyb, aj v tomto prípade sa skúšali tri súčiastky. Priebehy záťažných síl na dráhe impaktoru sú vo všetkých prípadoch veľmi podobné, výsledky sa ale líšia mierou porušenia multivýstuhy. Pri prvom pokuse sa porušila na troch miestach (obr. č. 92), druhá výstuha sa poškodila len na dvoch miestach (obr. č. 93), kým pri tretom pokuse sa celá súčiastka rozlomila naraz v strede aj na okrajoch (obr. č. 94).

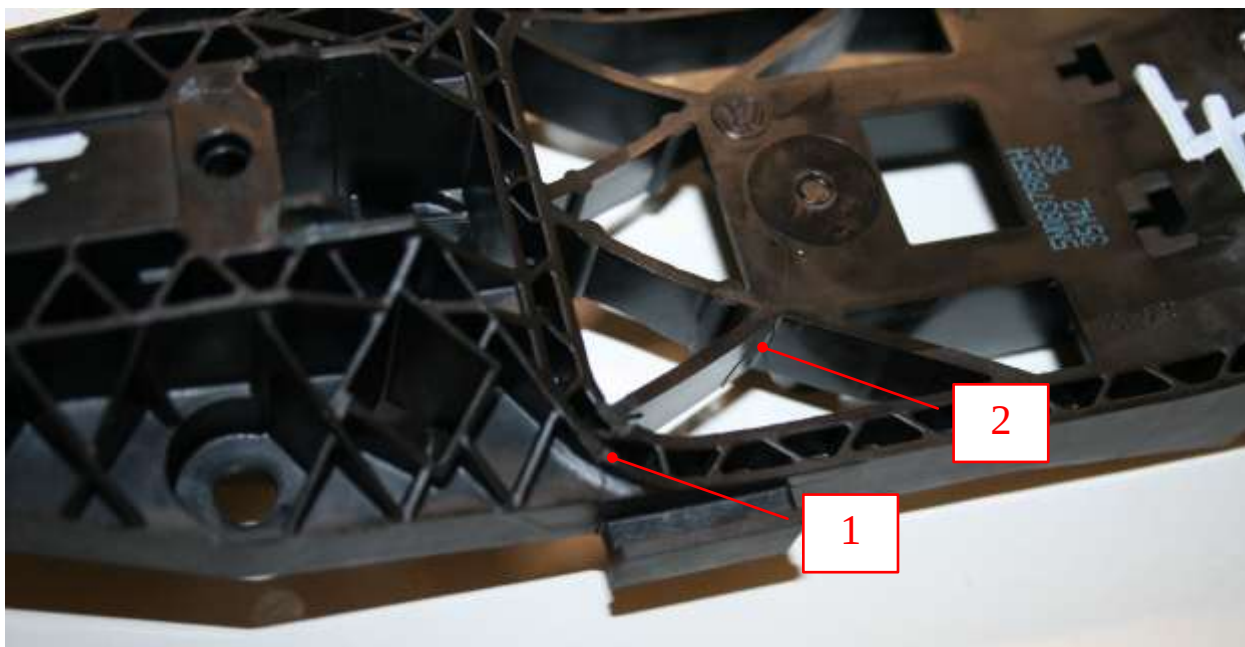
Podľa úvahy v podkapitole 6.2.3. riziko zatiahnutia bowdenu nehrozilo ani pri týchto skúškach z dôvodu pozície poškodenia testovanej súčiastky. Predpoklad vo vyššie uvedenej podkapitole potvrdili aj údaje zo snímača posuvu konca lanka, ktoré sa v priebehu skúšky vychýlili od počiatočnej polohy v ráde tisícín milimetrov.



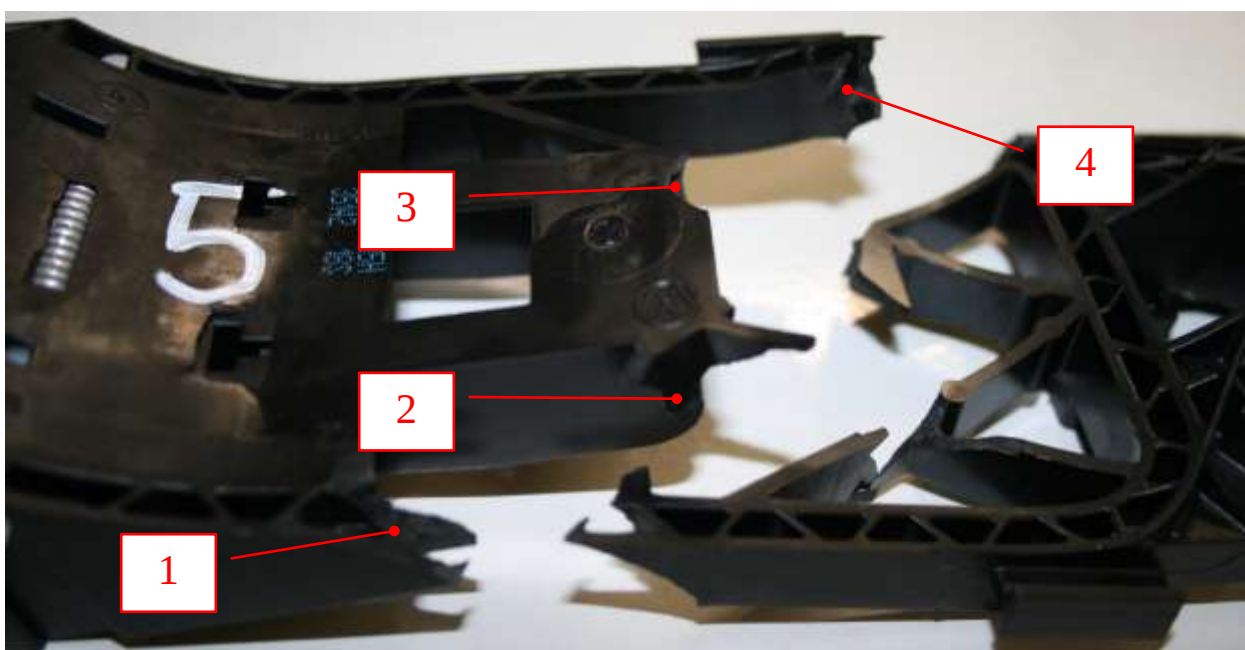
Obrázok 91: Výsledky experimentu na krútenie – závislosti záťažnej sily na dráhe impaktoru



Obrázok 92: Miesta porušenia multivýstuhy pri experimentu na krútenie – vzorka č. 1



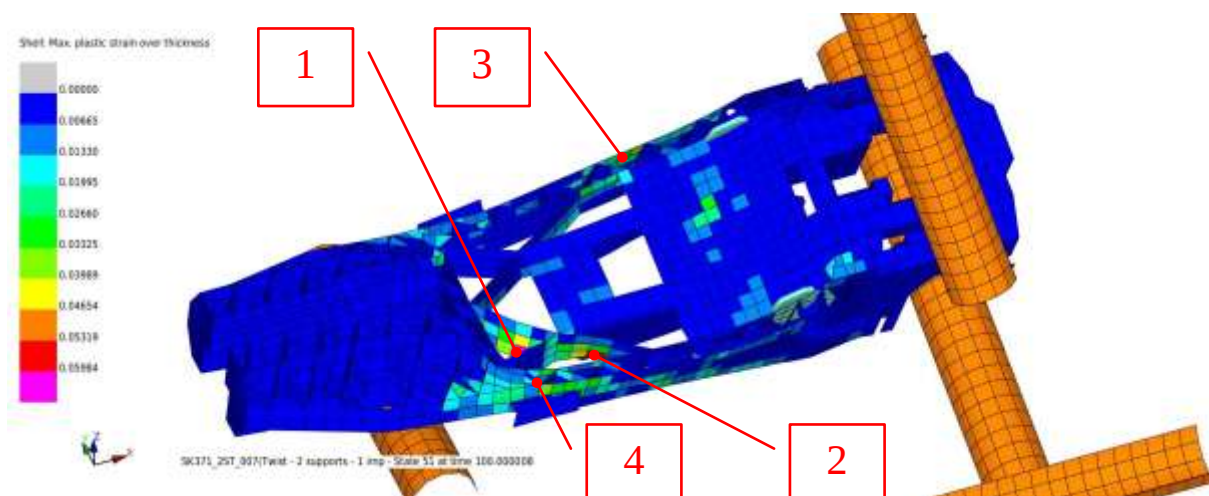
Obrázok 93: Miesta porušenia multivýstuhy pri experimentu na krútenie – vzorka č. 2



Obrázok 94: Miesta porušenia multivýstuhy pri experimentu na krútenie – vzorka č. 3

10.6. Porovnanie výsledkov simulácie a experimentu na krútenie

Na obrázku nižšie je uvedený koncový stav simulácie pri posuve impaktoru 40 mm. Na zdeformovanej multivýstuhe sú vyznačené miesta najväčších plastických deformácií, kde by sa predpokladalo porušenie materiálu.

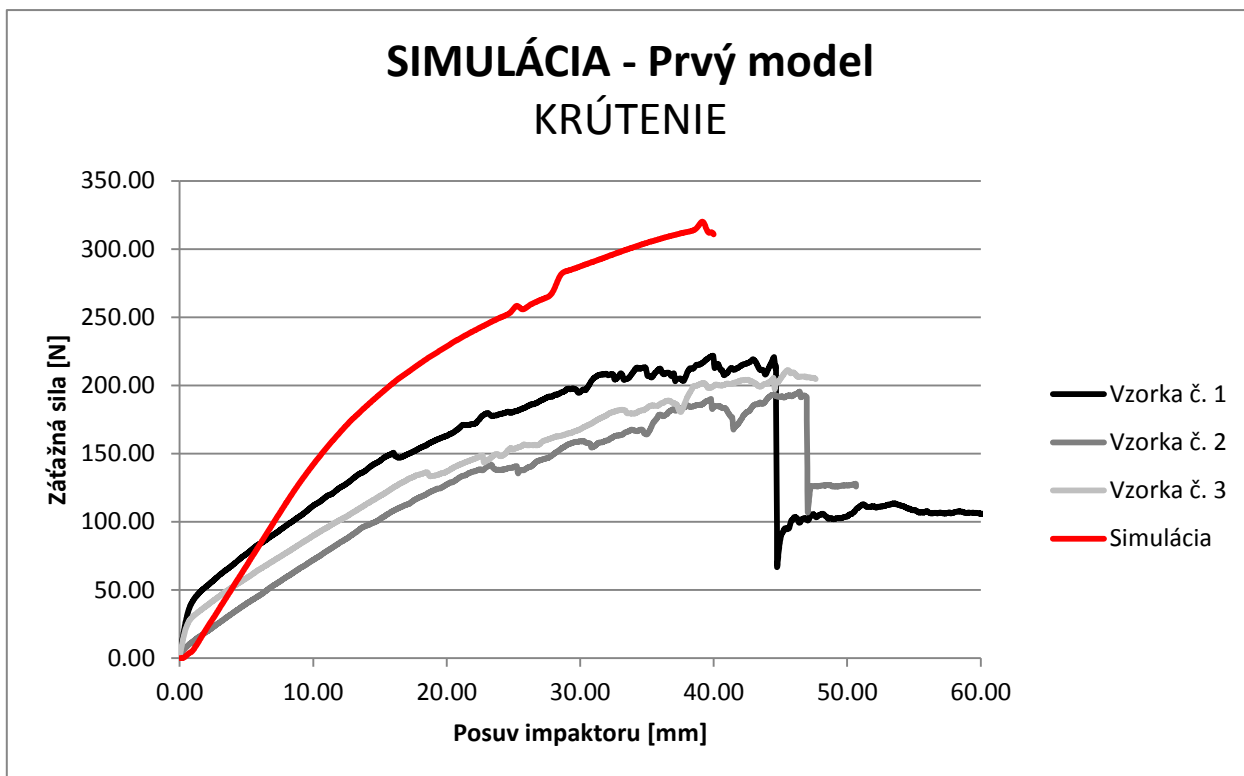


Obrázok 95: Miesta najväčšej plastickej deformácie simulačného modelu na krútenie

Plastické deformácie na simulačnom modeli dosahujú najväčšie hodnoty na vnútornom výstužnom rebre (pozícia č. 1 a 2 na obr. č. 95), na strane, na ktorú sa krúti. Plastické deformácie sú vyššie aj v bodoch s označením 3 a 4, takže tiež sa hodnotia ako rizikové z hľadiska porušenia.

Porovnaním bodov č. 1 až 4 na obr. č. 95 s bodmi č. 1 až 4 na obrázku reálneho porušenia č. 94 môžeme skonštatovať nezhodu miest porušenia simulačného modelu a reálneho experimentu. Body č. 3 a 4 na simulácii síce odpovedajú bodom č. 1 a 4 na obr. č. 95, ale deformácia strednej časti má iný charakter v oboch prípadoch.

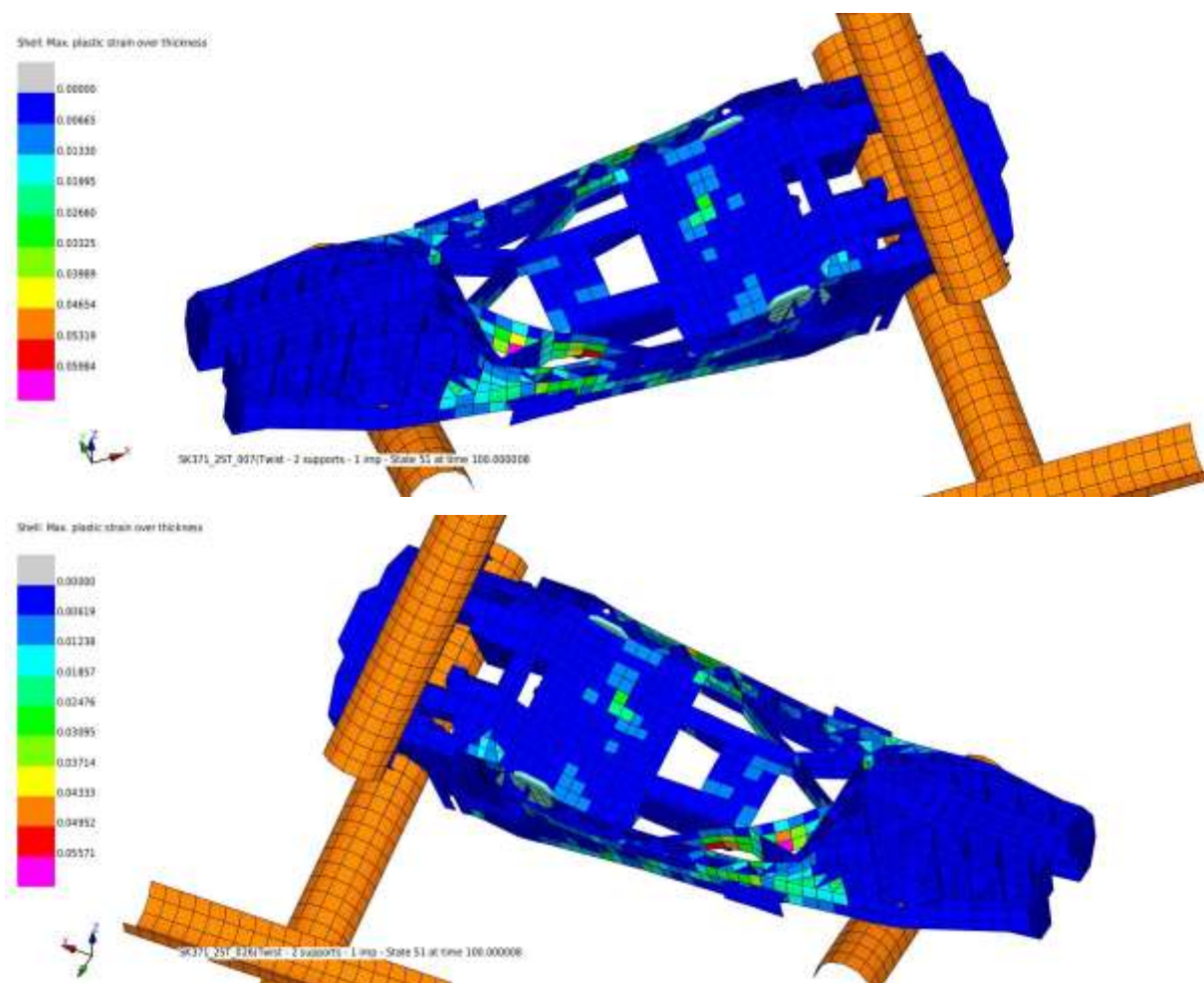
Porovnanie číselných hodnôt a priebehov záťažných charakteristík potvrdzuje nevhodnosť použitého materiálového modelu z hľadiska skúmania porušenia súčiastky. Ďalším problémom v porovnaní obdržaných závislostí je odlišnosť použitých materiálových charakteristík pri výpočte. Ako bolo naznačené v kapitole 10.3. tieto nedostatky modelu sa v ďalšom priebehu budú upravovať.



Obrázok 96: Porovnanie výsledkov simulácie a experimentov na krútenie (prvý model)

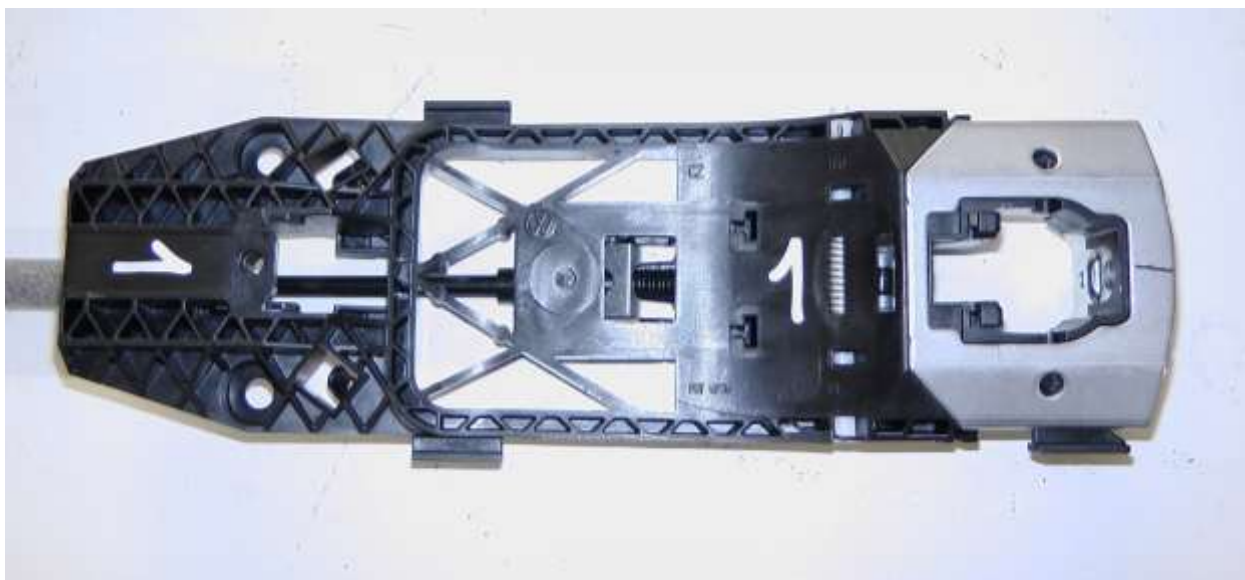
10.7. Overenie symetrického chovania

V kapitole 7.2. je predstavený CAD model multivýstuhy, ktorý slúžil základom pre tvorbu FEM siete komponentného modelu. Nakoľko zmienený model je v celej miere symetrický podľa základnej roviny X-Z, aj jeho sieť konečných prvkov bol vytvorený podľa tohto predpokladu. Preto sa zvolila metóda úpravy siete rozrezaním súčiastky, modifikáciou mriežky na jednej polovici, a následným zrkadlením upravenej strany. Z týchto predpokladov sa očakáva symetrické chovanie pri simulácii záťažného stavu na krútenie na jednu a na druhú stranu. Vytvorením symetrického komponentného modelu so záťažou na druhú stranu sa tento predpoklad overí. Výsledky výpočtu očakávaného dopadu hypotézu potvrdili, elementy s najväčšou mierou plastickej deformácie na nižšie uvedenom porovnaní sa zhodujú na oboch modeloch.



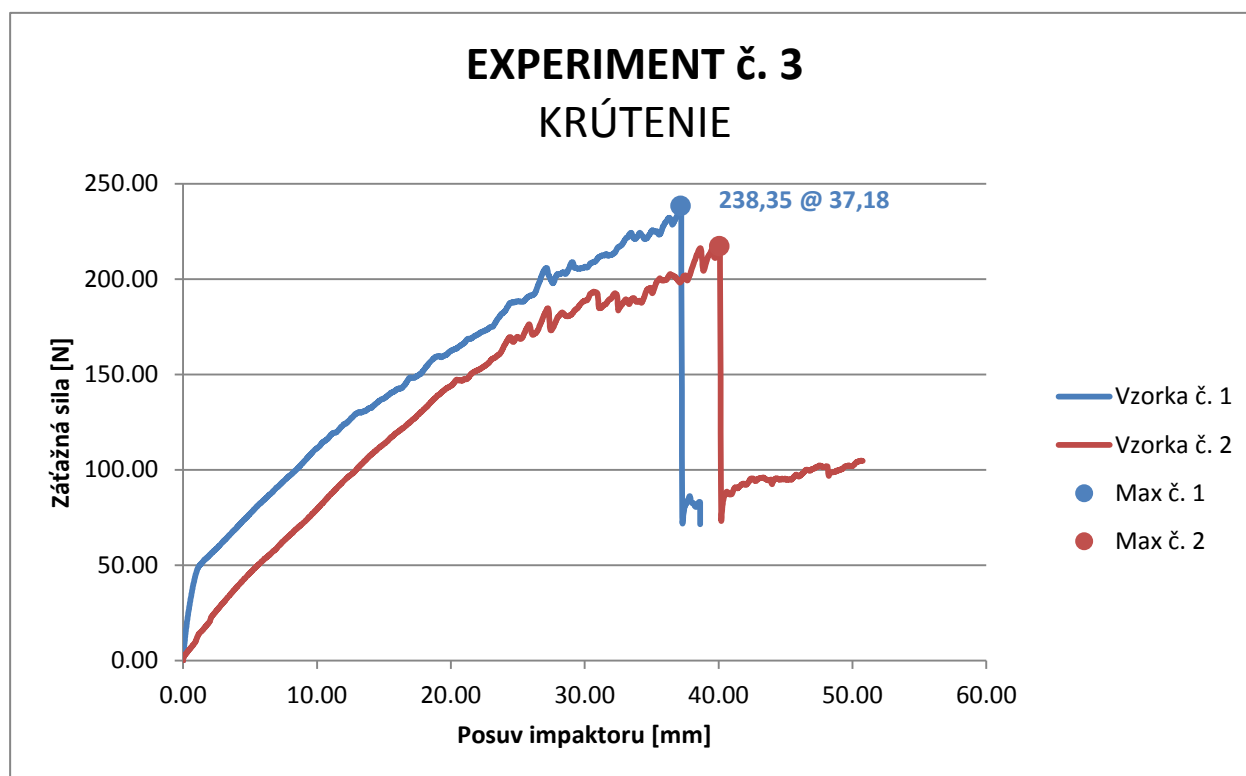
Obrázok 97: Porovnanie miest s najväčšími plastickými deformáciami pri krútení na obe strany

Kvôli potvrdeniu tejto hypotézy reálnymi výsledkami sa experiment krútenia vykonával na opačnú stranu na dvoch vzorkách. Trhací stroj, rýchlosť zaťaženia, meracie zariadenie, usporiadanie experimentu ostalo nezmenené v porovnaní s predchádzajúcim testom. Výsledky porušení tejto skúšky však ukázali, že súčiastka v reálu nie je symetricky vyrobená. Na obrázkových záznamoch skúšaných dielov sú viditeľné odlišné miesta porušení multivýstuhu oproti miest zo skúšky krútenia na opačnú stranu.



Obrázok 98: Výsledky experimentu krútenia na opačnú stranu

Rozdiel medzi dvoma stranami multivýstuhy je malý vrub s polomerom 2 mm na okraji výstuhy, ktorý nie je prítomný ani na výkrese, ani na 3D modeli. Počas krútenia sa chová ako koncentrátor napätia, ktorý spôsobí porušenie výstužného rámu práve v mieste medzi závažím a „massensperre“. Toto miesto rozlomenia výstuhy je podľa úvah v podkapitole 6.2.3. hodnotené ako rizikové z hľadiska nežiadaného otvorenia dverí. Výsledky zatiahnutia ocelového lanka počas skúšky síce neukazovali významné posuvy, rádovo opäť iba tisíciny milimetra, ale je to kvôli malej dráhe impaktoru, pri ktorej štruktúra multivýstuhy sa neporušila cez celú šírku a nedošlo k oddialeniu týchto dvoch podstatných častí výstuhy (závažia a „massensperre“). Závislosť sily impaktoru na jeho posuvu je znázornená na grafikonu nižšie.



Obrázok 99: Výsledky experimentu krútenia na opačnú stranu – závislosti záťažnej sily na dráhe impaktoru

11. Spresnenie výpočtového modelu

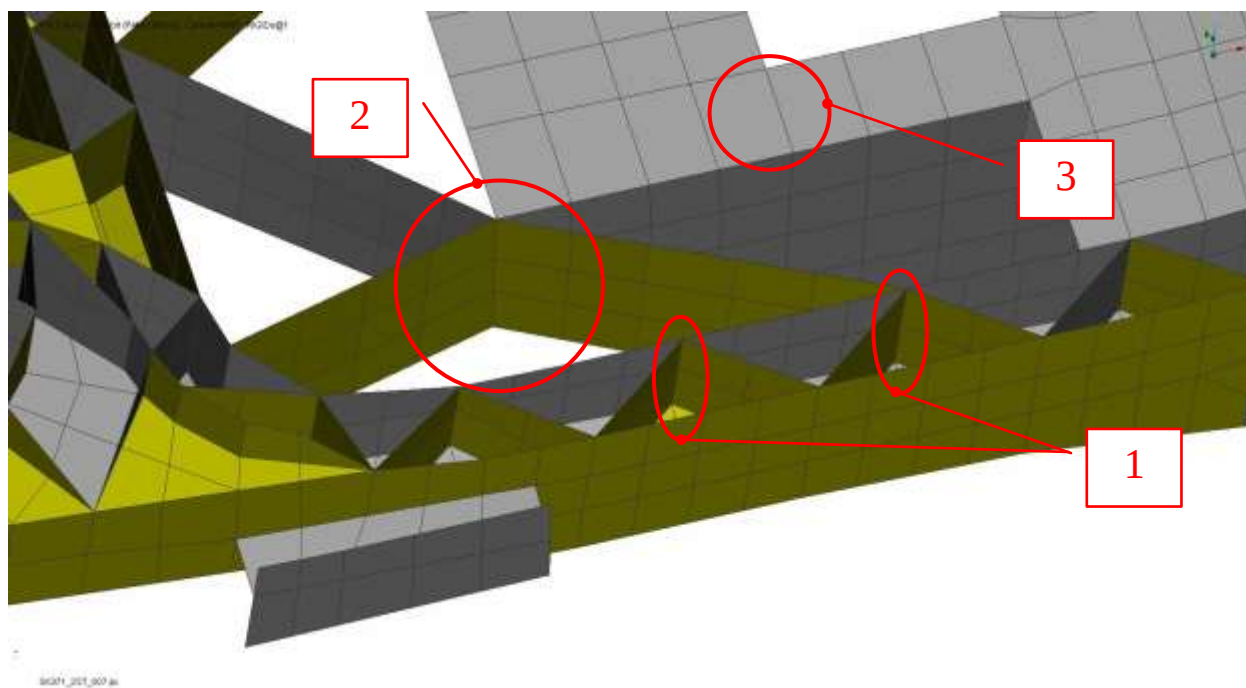
Cieľom diplomovej práce po validácii simulačného modelu je jeho úprava tak, aby simulačné chovanie odpovedalo reálnemu tak z hľadiska priebehu, ako aj z hľadiska číselného. Proces úpravy sa uskutoční spresnením geometrie siete simulačného modelu, a prepracovaním materiálového modelu s použitím dostupných hodnôt výkresovou dokumentáciou predpísaného materiálu.

11.1. Zdokonalenie FEM siete

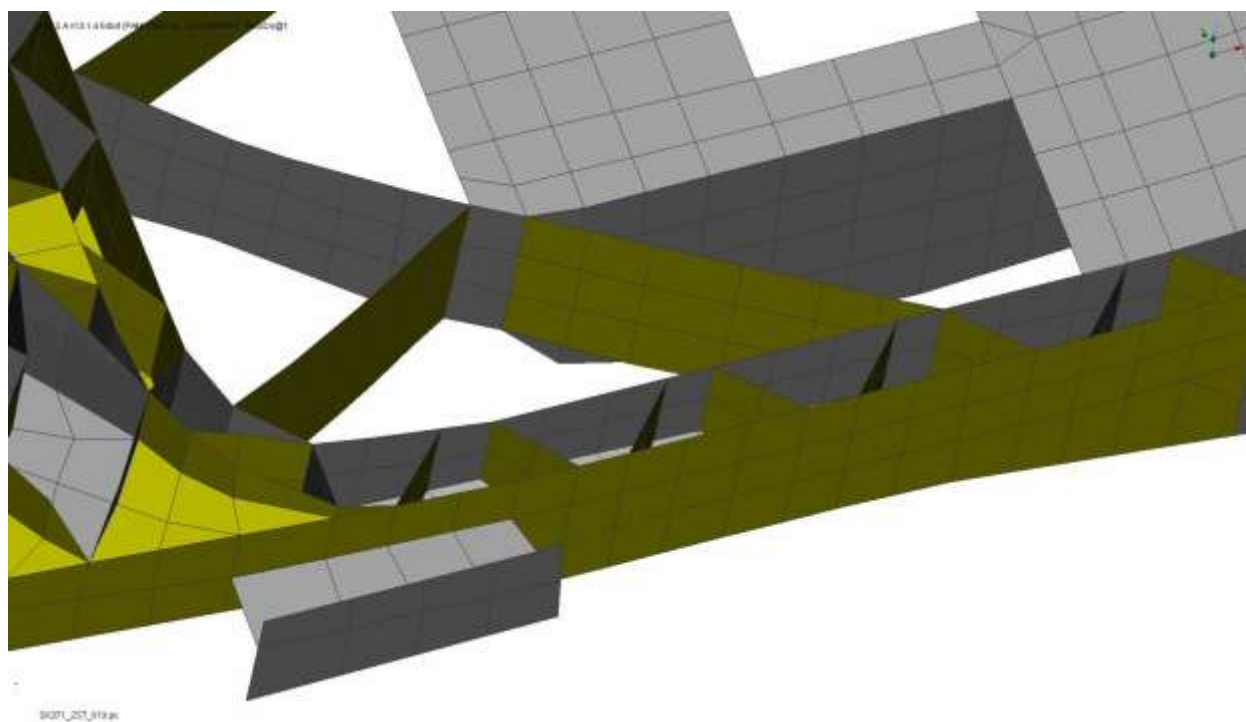
Úprava existujúcej siete pri procese tvorby FEM siete prebiehala na základe pokynov internej smernice na jej kvalitu. Z dôvodu zaistenia časového kroku výpočtu sa však sieť miestami zjednodušila, aby sa mohli použiť elementy s minimálnou dĺžkou hrany 3,3 mm. V prípade multivýstuhy tieto zjednodušenia mali za následok odlišný tvar siete od geometrie. Odchýlky síce boli malé, nepresiahli smernicou stanovené limity, ale v značnej miere ovplyvnili deformačné chovanie súčiastky, hlavne na miestach, kde došlo k porušeniu štruktúry.

Čiastočne sa jedná o okraj strednej časti multivýstuhy (pozícia č. 1 na obr. č. 100), ktorý je vystužený malými rebami s hrúbkou stien 1 mm. Spojenie týchto rebier s plastovým rámom sa z dôvodu malej vzdialenosti modelovali zo spoločnej hrany dvoch susedných výstužných rebier. Po úprave už kopírujú skutočnú podobu, kde jednotlivé rebrá sa nestýkajú, s rámom sú spojené v určitej vzdialenosti od seba.

Ďalšie problémové miesto z dôvodu zjednodušenia siete bolo riešenie styčných hrán výstužných rebier strednej časti výstuhy (pozícia č. 2 na obr. č. 100). Spresnená sieť vyžadovala aj zjemnenie elementov na ploche miesta uloženia „massensperre“ (pozícia č. 3 na obr. č. 100).



Obrázok 100: Miesta ďalšieho spresnenia výpočtového modelu

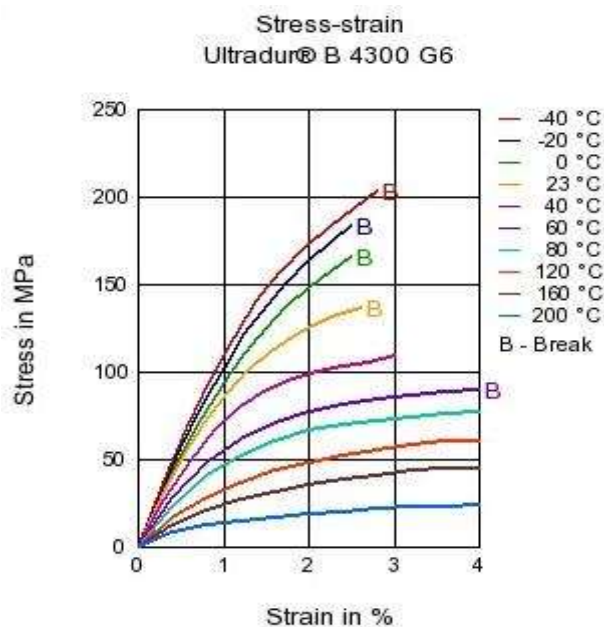


Obrázok 101: Nová, presnejšia sieť multivýstupy

11.2. Náhrada materiálu

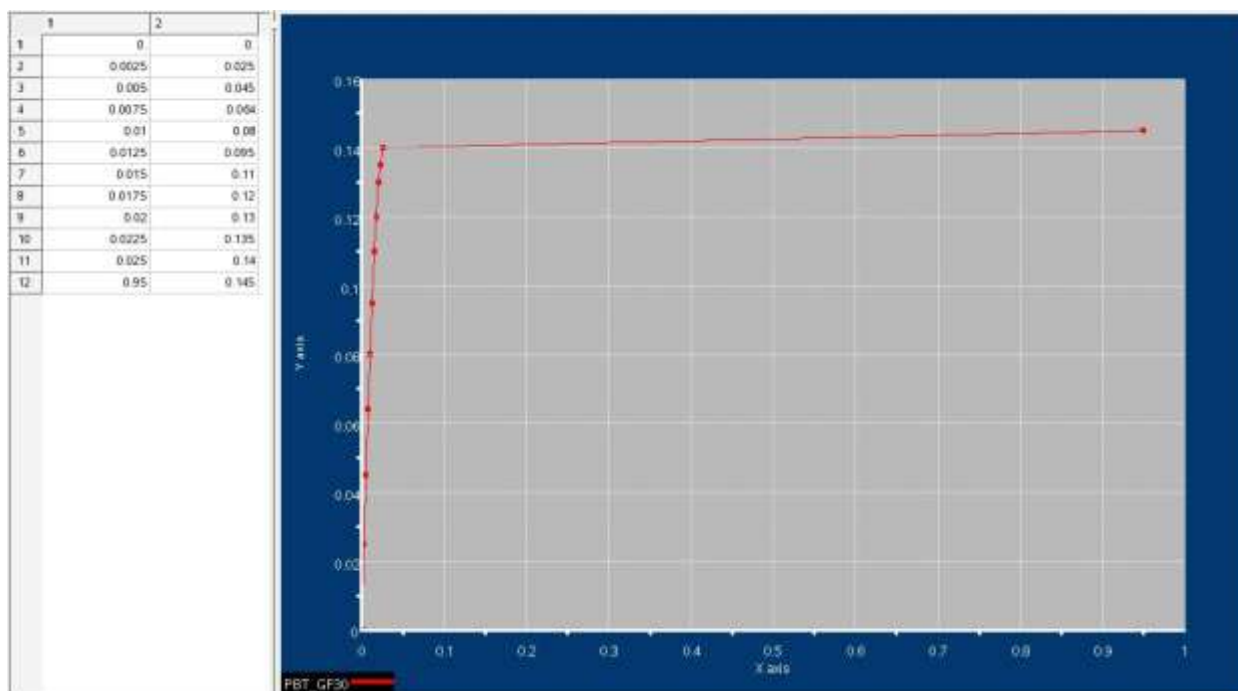
Pri vytvorení FEM siete nejakej súčiastky sa k hotovému modelu priradí príslušný materiál z materiálovej databázy automobilky Škoda. V prípade, že sa konkrétny materiál nenachádza v tejto databáze, použije sa materiálová karta podobného materiálu na základe odporúčenia interného zoznamu, tzv. „whitelistu“. To je prípad aj multivýstuhy, ktorá sa vyrába tlakovým liatím do príslušných foriem z termoplastu polybutylén-tereftalát vystužený s 30% podielom sklenených vlákien (PBT GF30). V existujúcom modeli sa namiesto tohto materiálu používala charakteristika obyčajného polyamidu Durethan (PA 6).

Na zistenie správnych materiálových vlastností sa oslovil výrobca, WITTE Automotive, ktorý dané súčiastky dodáva do mladoboleslavskej továrne Škody Auto. Z vývojového oddelenia vyše menovanej firmy sme obdržali iba jediný grafikon závislosti napätia na deformácii, ku ktorému sme dostali pokyn určiť konkrétne hodnoty odčítaním z poskytnutej závislosti. Zaslanie konkrétnych výsledkov ťahových, či ohybových skúšok na daný typ materiálu bolo odmietnuté. Preto sa musela použiť kombinácia dostupnej závislosti s údajmi od nemeckej firmy špecializovaná na výrobu plastov, BASF. Ich verzia tohto termoplastu s označením Ultradur B 4300 G6 sa zdala byť najvhodnejšia na použitie, datasheet materiálu viz. príloha A.



Obrázok 102: Závislosť napätia na deformácii materiálu PBT GF30, zdroj: [WITTE Automotive]

Ako prvé sa zvolil vhodný materiálový model na simuláciu porušenia elasticko-plastického materiálu, akým je aj PBT GF30. Z možností softvéru PAM-CRASH sa zvolil model typu 143, ktorý umožní elimináciu prvkov na základe maximálnej celkovej deformácie, ktorá sa buď určí konkrétnou hodnotou, alebo krivkou v závislosti na rýchlosti zaťaženia. Informácie o type deformácie a type napätia znázornené na výrobcom danej závislosti nie sú známe. Napriek tomuto fakt, z dôvodu nedostatku informácií sa použije táto závislosť na určenie priebehu závislosti skutočného napätia na skutočnej (logaritmickej) deformácii. Vytvorí sa funkcia zmienenej závislosti, na ktorú odkážeme pri vyplňovaní materiálovej karty.



Obrázok 103: Funkcia závislosti skutočného napätia a skutočnej deformácie materiálu PBT GF30 v solveru PAM-CRASH

Závislosť sa definuje do deformácie 2,5 %, kde dosiahne hodnotu 140 MPa. Po maximálnej deformácii sa hodnota lineárne extrapoluje, aby sa zabránilo kolapsu výpočtu pri prekročení hodnoty 2,5 %.

Ďalej sa pokračuje vo vyplnení ostatných hodnôt materiálovej karty podľa spôsobu popísaný v kapitole 7.3.

PAM SHELL Material 143 [PAM SHELL Material 143]

Name: MATERIAL_PBT_GF30

FROZEN_ID: NO / FROZEN_DELETE: NO / DEFINED: YES /

IDMAT	MATYP	r	NINT	ISHG	ISTRAT	IFROZ	
8601650	+	1.55E-6	0	4	0	0	
AVP1	AVP2	AVP3	AVP4	AVP5	AVP6	QVM	TDN
0	0	0	0	0	0	1.	0
ni		HGM	HGW	HGQ	As		
0.4		0.01	0.01	0.01	0.833333		
LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	LC7	LC8
8601651							
e.1	e.2	e.3	e.4	e.5	e.6	e.7	e.8
0							
etmax	STRAT1	STRAT2	REL_THIN	REL_THIC	LC2elim	IFAIL	
0.025	0	0				X-Y /	
STRAT3		STRAT4	STRAT5	STRAT6	ksi	10	
0		0	0	0	0.3	0	
GRUC	value						
COLOR_R	COLOR_G	COLOR_B	TRANSPARENCY				
193	120	29	0				

MATERIAL_PBT_GF30

OK ColorEdit Cancel

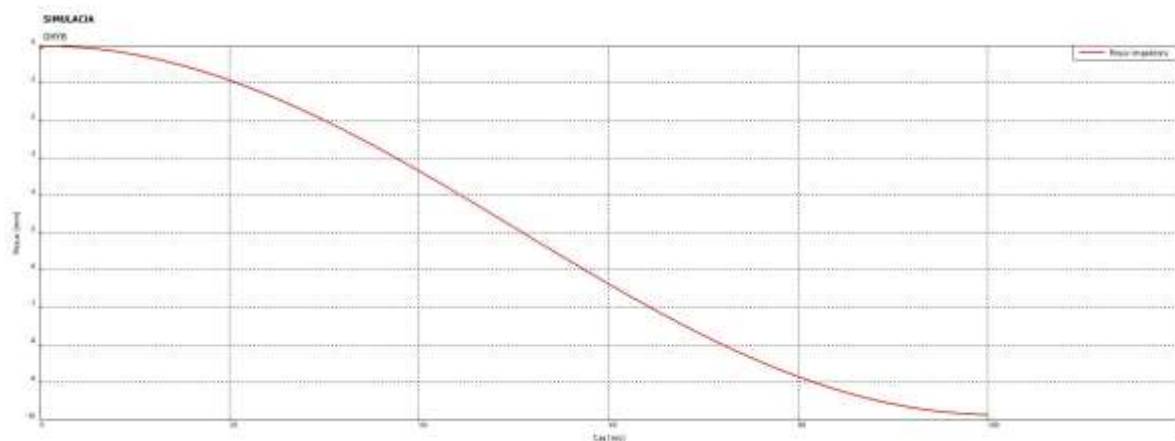
Obrázok 104: Materiálová karta nového materiálu (PBT GF30) v solveru PAM-CRASH

Následkom toho, že simulujeme kvazi-statickú skúšku je, že stačí jedna závislosť priebehu skutočného napätia na skutočnej deformácii v závislosti na rýchlosti deformácie. Zmienenou krivkou charakterizujeme statickú skúšku, $\dot{\epsilon}_1 = 0 \text{ ms}^{-1}$.

11.3. Zmena priebehu záťaž

Ďalšie zlepšenie výpočtu sa očakáva od zámény lineárneho priebehu zaťaženia na modifikovaný sínusový. Lineárny priebeh posuvu na čase totiž spôsobil rozkmitanie multivýstuhy po dosadnutí impaktoru pri ohybovej skúške. Simulácia záťaž na krútenie podobným problémom nedisponuje, tam sa priebeh záťaž nemení. Nový záťažový pohyb

je definovaný do 101 ms s hladkým nábehom a dobehom. Nakoľko experiment ukázal, že multivýstuha sa rozlomí pri priemernom posuve 7,09 mm (viz. príloha B), definovať najväčšiu hodnotu záťažného pohybu do 40 mm by bol zbytočný, jeho hodnota sa zmenší na 10 mm.



Obrázok 105: Grafikon závislosti nového posuvu impaktoru na čase simulácie

Simuláciu spresnenej siete s novými materiálovými parametrami spustíme so zvýšenou frekvenciou zápisu dát z 2 ms na 1 ms, aby mechanizmus porušenia, resp. eliminácia elementov bola zaznamenaná častejšie, tým pádom bola názornejšia. Ostatné parametre a konfigurácie na ohyb a na krútenie sú zhodné s popísanými v kapitole 9.3. Obdržané výsledky opäť porovnáme s výsledkami experimentov.

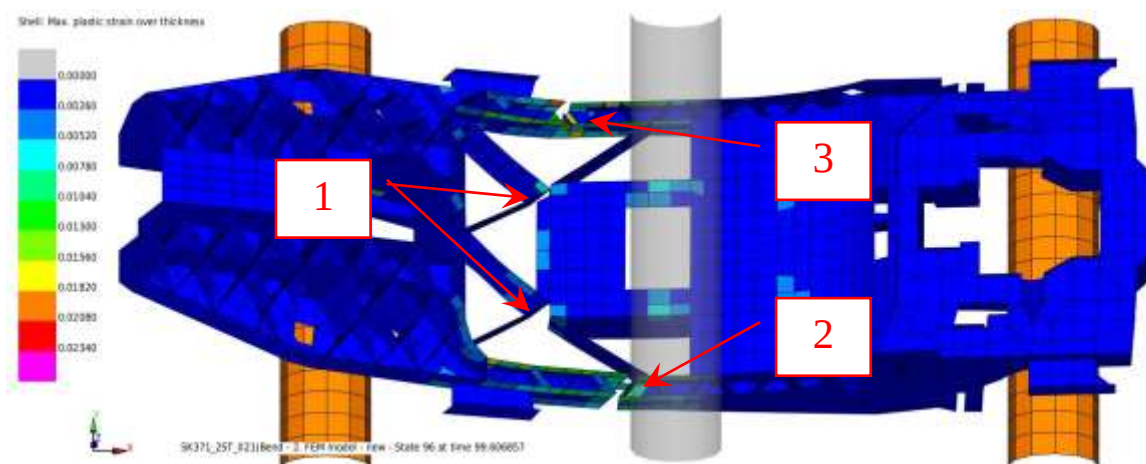
11.4. Posúdenie zhody simulácie s experimentom

Pri posúdení zhody simulácie s výsledkami experimentov sa porovná:

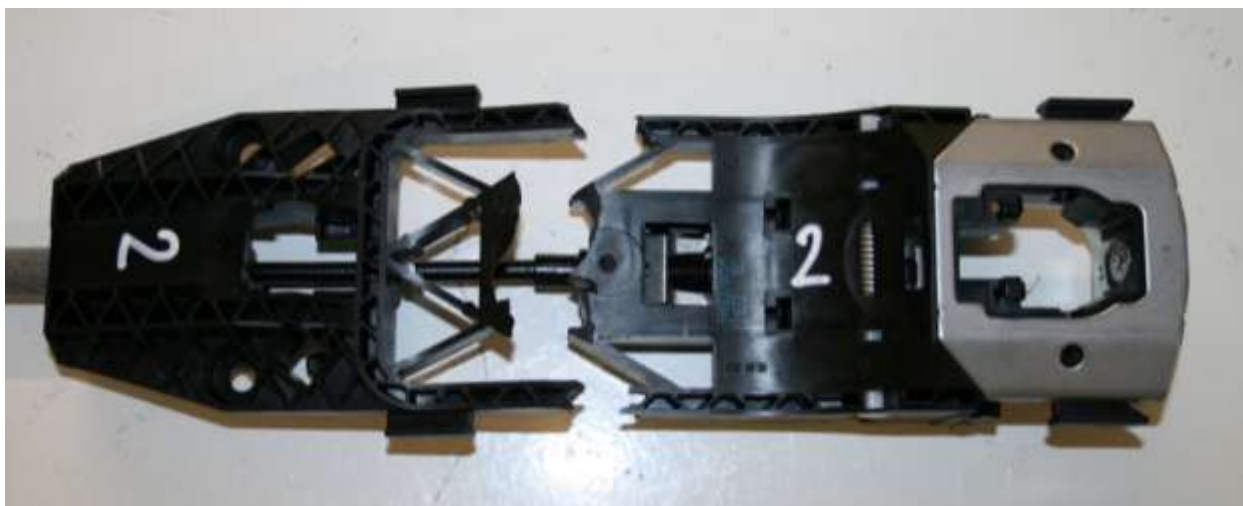
- priebeh a hodnota záťažnej sily v závislosti na posuvu impaktoru
- miesta a poradie výskytu porušenia multivýstuhy

Porovnaním týchto číselných hodnôt a priebehov sa zistí nutnosť ďalších úprav, či spresnení simulačného modelu.

11.4.1. Simulácia zát'aže na ohyb

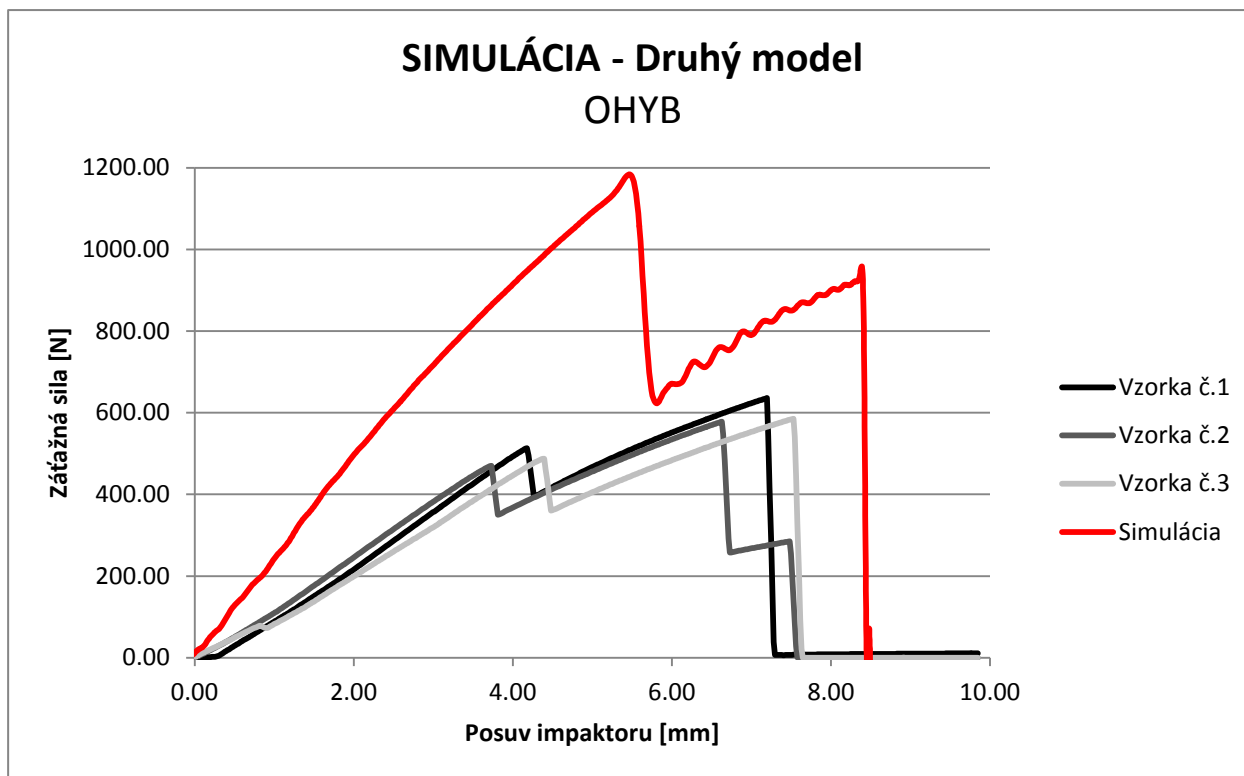


Obrázok 106: Miesta porušenia simulačného modelu pri zaťažení na ohyb



Obrázok 107: Miesta porušenia reálneho experimentu pri zaťažení na ohyb

Z obrázku porušeného simulačného modelu sú viditeľné miesta porušenia. Ich pozícia v strede (poz. č. 1 na obr. č. 107) zodpovedá reálnemu experimentu, takisto aj na spodnom okraji (poz. č. 2 na obr. č. 107). Porušenie na hornom okraji (poz. č. 3 na obr. č. 107) nastala o jednu dutinu pred očakávaným miestom. Priebeh ruptúr simulácie je však súhlasný s experimentom, najprv sa rozlomí stred, potom okraje, obe strany naraz. Rozdiel porušení stredu a okrajov v závislosti na posuvu impaktoru je názorný z nasledujúceho grafikonu.

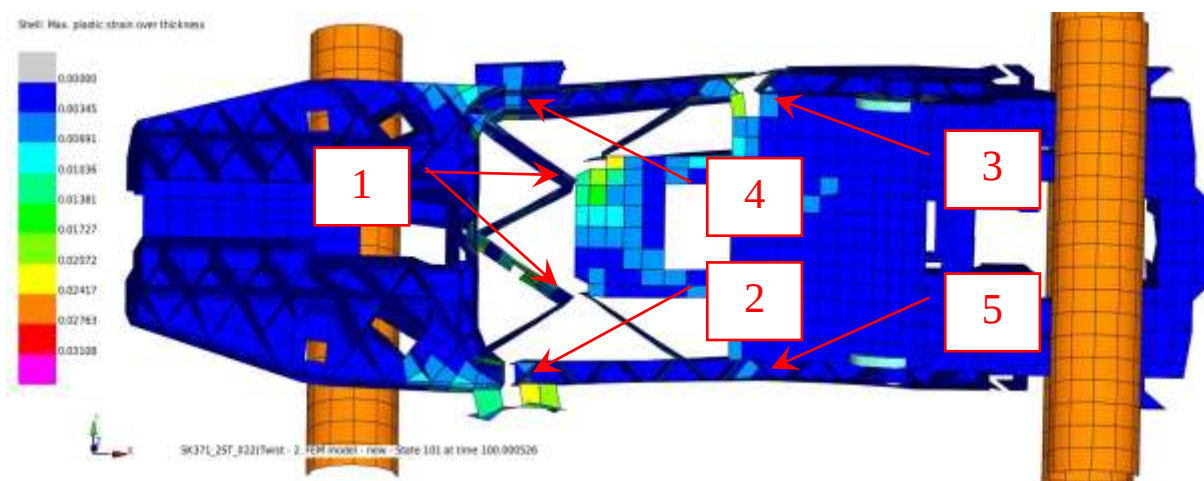


Obrázok 108: Porovnanie výsledkov simulácie a experimentov na ohyb (druhý model)

Zo závislosti záťažnej sily na posuvu impactoru simulácie je viditeľné, že model simulácie je dvakrát tuhší, ako reálna súčiastka, pritom jeho deformačné chovanie má podobný charakter.

11.4.2. Simulácia záťaže na krútenie

Zo simulácie záťažného stavu na krútenie z hľadiska miest porušení súčiastky sme obdržali identické výsledky s experimentom. Ku všetkým 4 kolapsom materiálu (pozície č. 1 až č. 3 na obrázku č. 107) totiž došlo na súhlasných miestach, ako je viditeľné na porovnaní vyšie. Porovnanie poradia výskytu jednotlivých miest porušení v tomto prípade nie je možné, nakoľko k rozlomeniu multivýstuhy tak pri experimentu, ako aj pri simulácii došlo v jednom časovom okamihu.



Obrázok 109: Miesta porušenia simulačného modelu pri zaťažení na krútenie

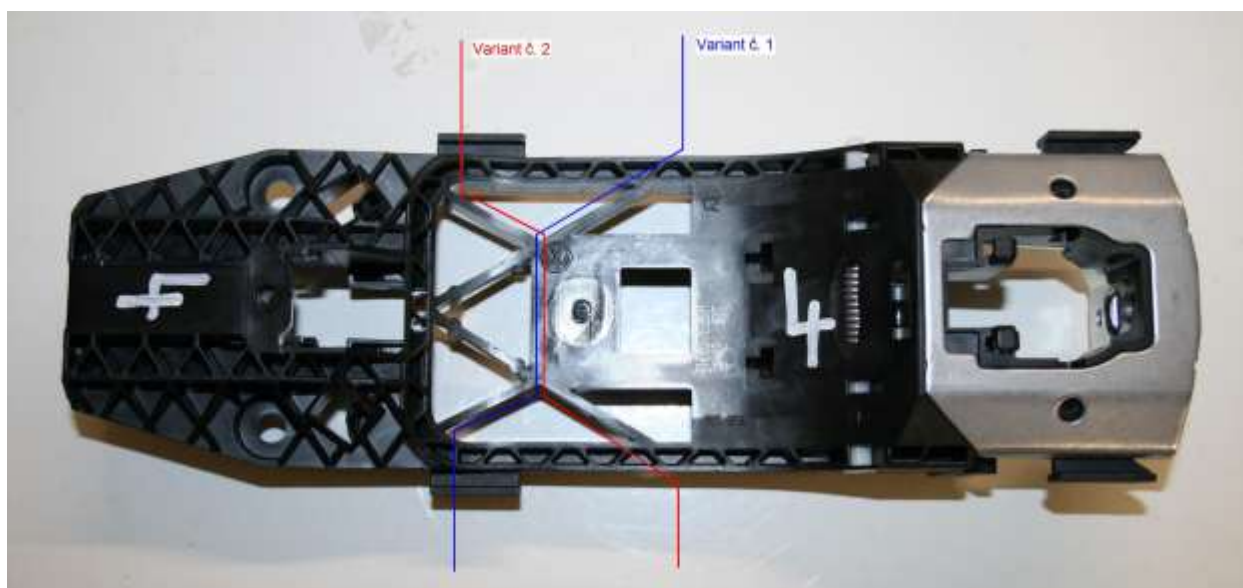


Obrázok 110: Miesta porušenia reálneho experimentu pri zaťažení na krútenie

Miesto č. 4 na simulačnom modeli je ďalšie rizikové miesto z hľadiska porušenia, nakoľko aj v tomto mieste dôjde k eliminácii elementov z dôvodu prekročenia maximálnej hodnoty kritéria plastickej deformácie. Simulačný model však nedokáže zahrnúť nehomogenitu mechanických vlastností tohto materiálu z dôvodu prítomnosti výstužných sklenených vlákien. Táto prísada sa totiž počas procesu tlakového liatia po každej inak orientuje vo forme, čím môže pôsobiť odlišné správanie, hlavne v kritických miestach súčiastky. Takýmito miestami sú body č. 2 a 4, kde súčasne dochádza k dosiahnutiu limitných hodnôt napätí. Odlišná orientácia sklenených vlákien potom môže mať za následok iné miesto vzniku prvotného porušenia, ktoré zas ovplyvňuje nasledovnú zmenu rozloženia napätia v súčiastke, tým pádom aj nasledovné miesta porušenia. Túto

hypotézu potvrdzujú aj výsledky experimentu na krútenie, kde síce nedošlo k inicializácii trhliny na opačnom okraji multivýstuhy, ale napriek rovnakým umiestnení a zaťažení skúšobných vzoriek vo všetkých prípadoch sme obdržali odlišné miesta a tvary porušení (viz. obr. č. 92 – 94).

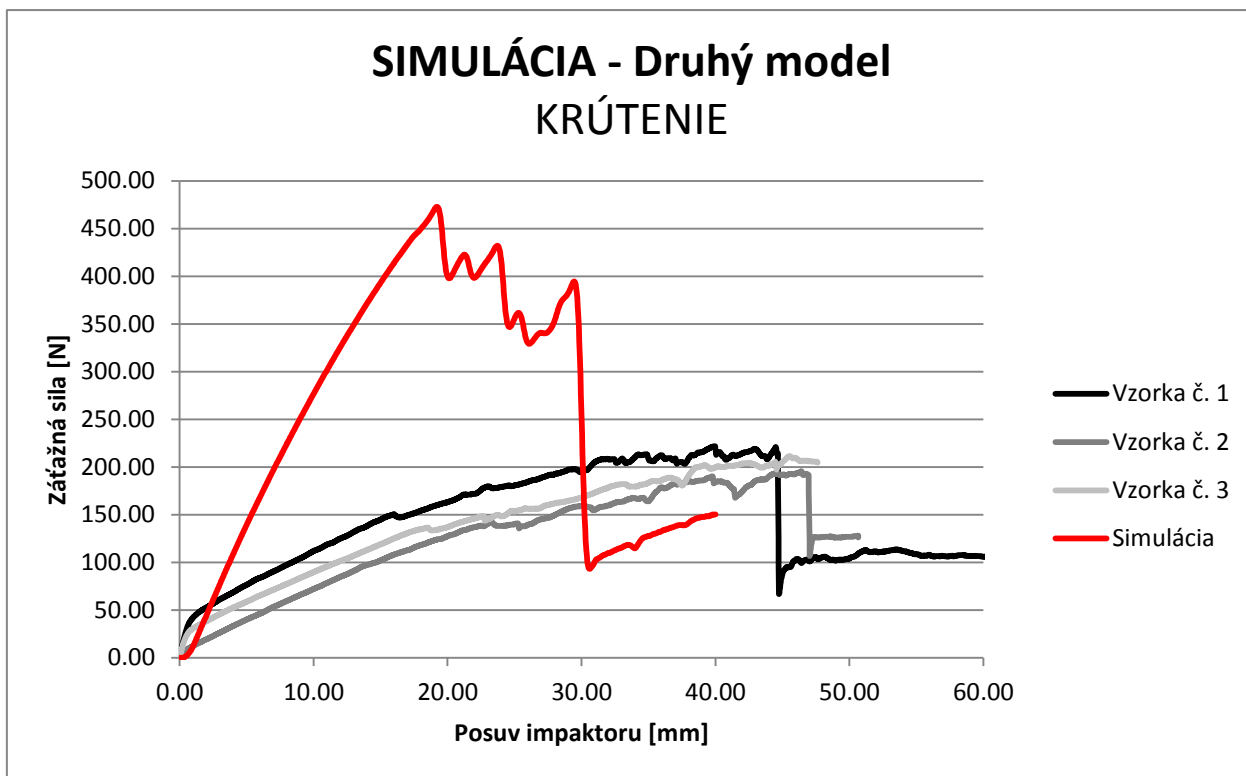
Výsledky simulácie a anizotropná vlastnosť materiálu preto dáva priestor predpokladu, že dopad reálnej skúšky by mohla byť symetrická podľa základnej roviny X-Z. Pri rozlomení slabšej strany z bodov č. 2 a 4 sa odľahčí zvyšok porušeného okraje, zároveň multivýstuha sa natočí tak, že deformácia prekročí limitnú hodnotu v bode č. 3 alebo 5. Porušenie stredu multivýstuhy, čiže body č. 1 sú v oboch prípadoch rovnaké. Variant č. 1 na obrázku nižšie je kombináciou bodov rozlomenia č. 2 a 3, kým variant č. 2 znázorňuje prípad porušenia v bodoch č. 4 a 5.



Obrázok 111: Varianty miest porušení pri reálnom experimentu na krútenie

V prípade záťažného stavu na ohyb sa takýto problém vyskytnúť nemôže, totiž tam sú body s najväčšou mierou deformácie a najväčším napätím jednoznačné, vplyv odlišnej orientácie vlákien miesta porušenia neovplyvní, líši sa iba tvar vzniknutého porušenia.

Číselné hodnoty závislosti záťažnej sily na posuvu impaktoru opäť potvrdili vyššiu tuhosť simulačného modelu oproti reálnej súčiastky. Grafikon zmienenej závislosti je uvedená nižšie.



Obrázok 112: Porovnanie výsledkov simulácie a experimentov na krútenie (druhý model)

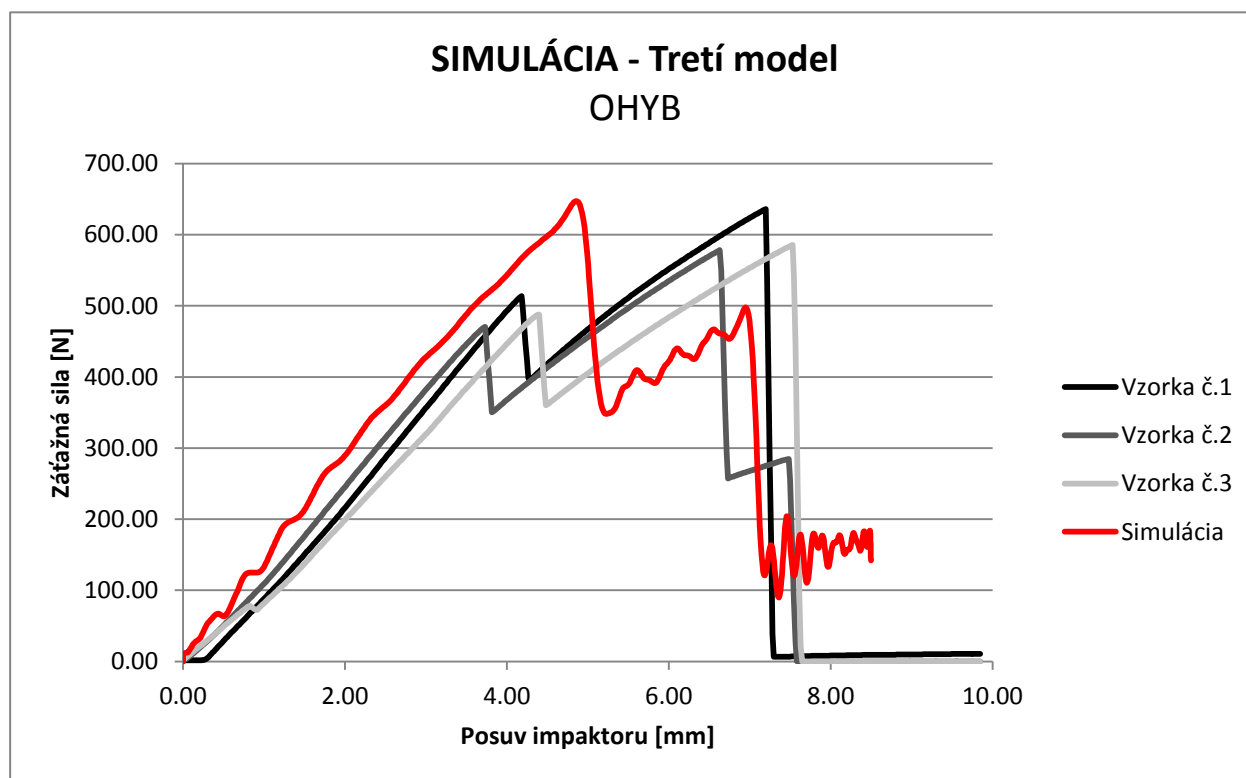
Pri návrhu modifikácie modelu vychádzame z predpokladu, že FEM sieť simulačného modelu je dostatočne presná, jej modifikáciou by sme sa odchyľili od skutočnej geometrie, čo nie je prípustné. K dosiahnutiu cieľu diplomovej práce, čiže k vytvoreniu funkčného komponentného modelu multivýstuhy sa preto v ďalšej fáze navrhuje úprava materiálovej charakteristiky a parametra kritéria porušenia.

11.5. Ladenie materiálových vlastností

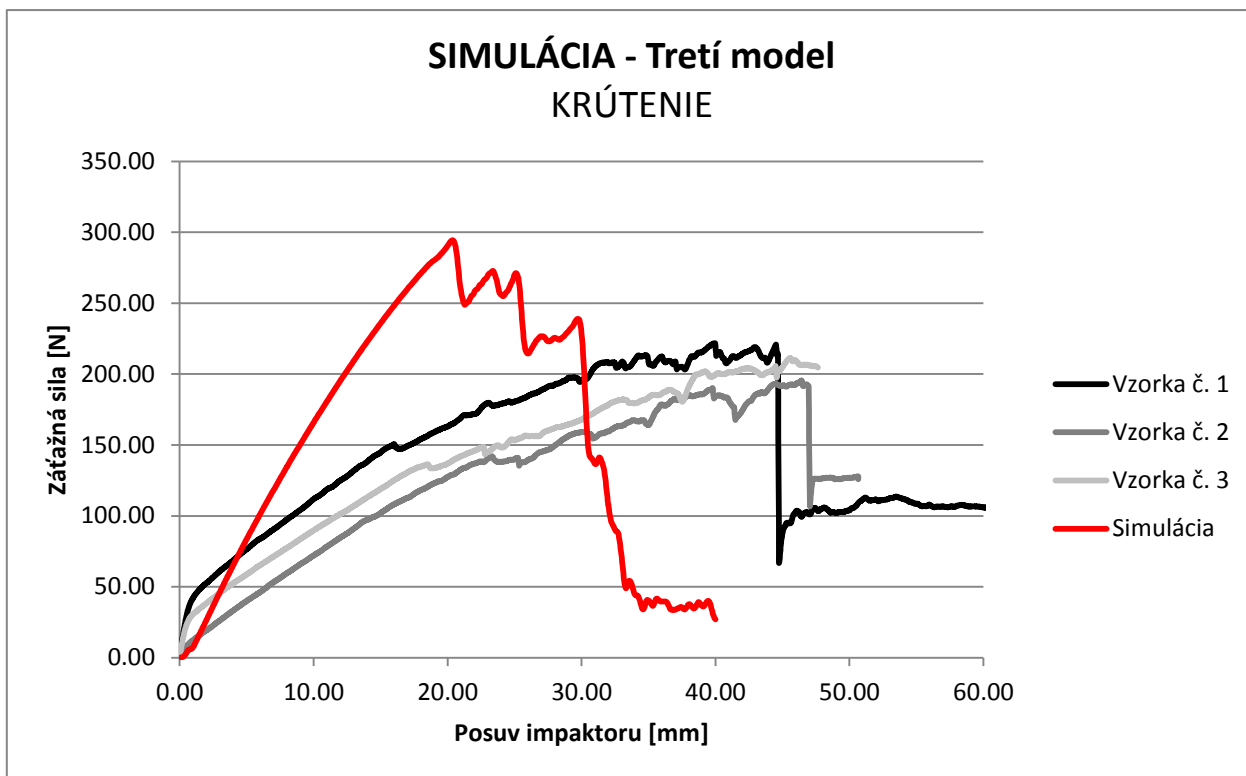
Miesta porušenia pri zaťažení na ohyb a krútenie sú zhodné v prípade simulácie a reálneho experimentu. Výsledky sa líšia v číselných hodnotách, čo naznačuje rozdiel v tuhosti dvoch súčiastok. Jedna možnosť zmeny tuhosti by zaistila zmena hrúbky stien vhodných častí diela, ale z dôvodu odchýlenia od pôvodnej geometrie toto riešenie nie je vhodné. Vyberie sa cesta druhá, pri ktorej sa budú ladiť materiálové vlastnosti, presnejšie krivka závislosti skutočného napätia na skutočnej deformácii a limitná hodnota kritéria porušenia.

Samotné zníženie tuhosti sa vykoná znížením napätia v závislosti na deformácii. Cieľom je najviac sa priblížiť ku skutočným hodnotám experimentu pri zachovaní miest porušení. Najvhodnejšou mierou úpravy číselných hodnôt materiálovej charakteristiky z výsledkov overovacích simulácií je zníženie napätia v závislosti na deformácii na 60 % tabuľkovej hodnoty pri súčasnom zvýšení hodnoty kritéria porušenia na 2,8 %. Výsledky simulácií naladeného modelu v porovnaní s hodnotami experimentu sú uvedené nižšie.

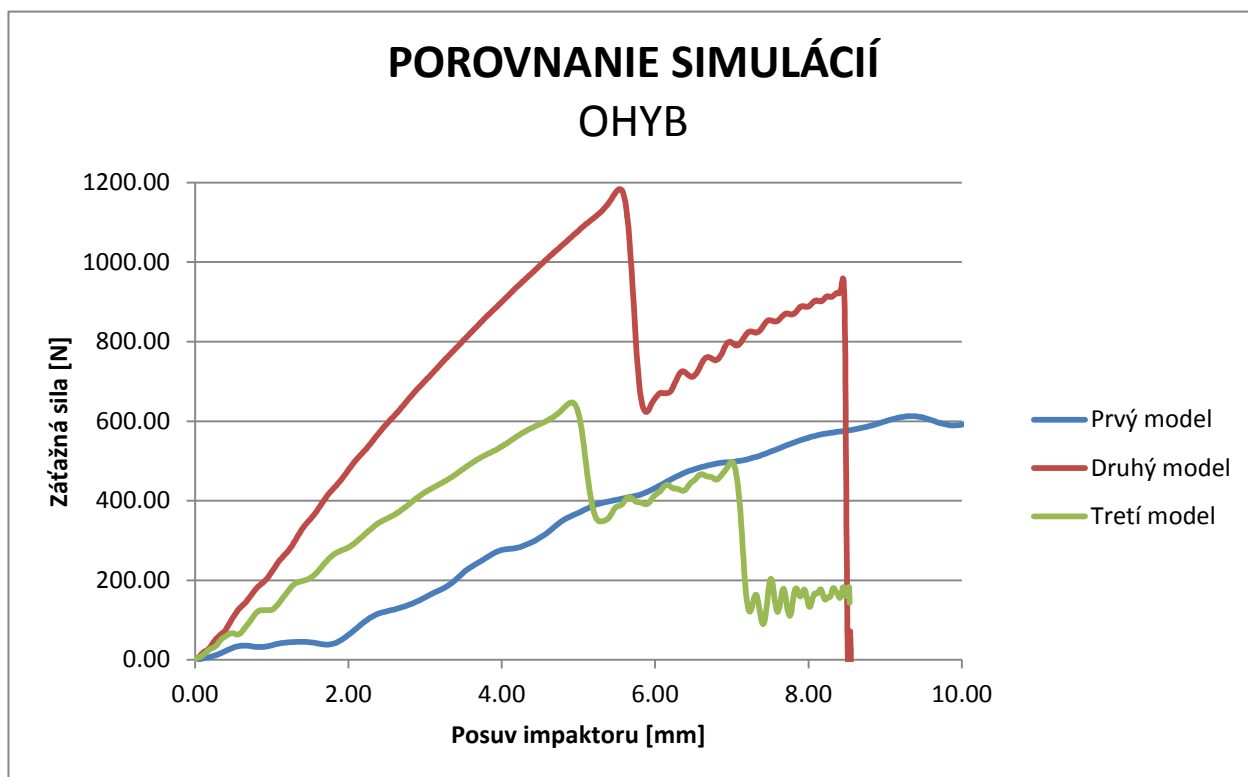
V ďalšej fáze vyhodnotenia sa výsledky jednotlivých simulácií porovnávajú na jednom grafikone kvôli znázorneniu prínosov jednotlivých úprav modelu.



Obrázok 113: Porovnanie výsledkov simulácie a experimentov na ohyb (tretí model)

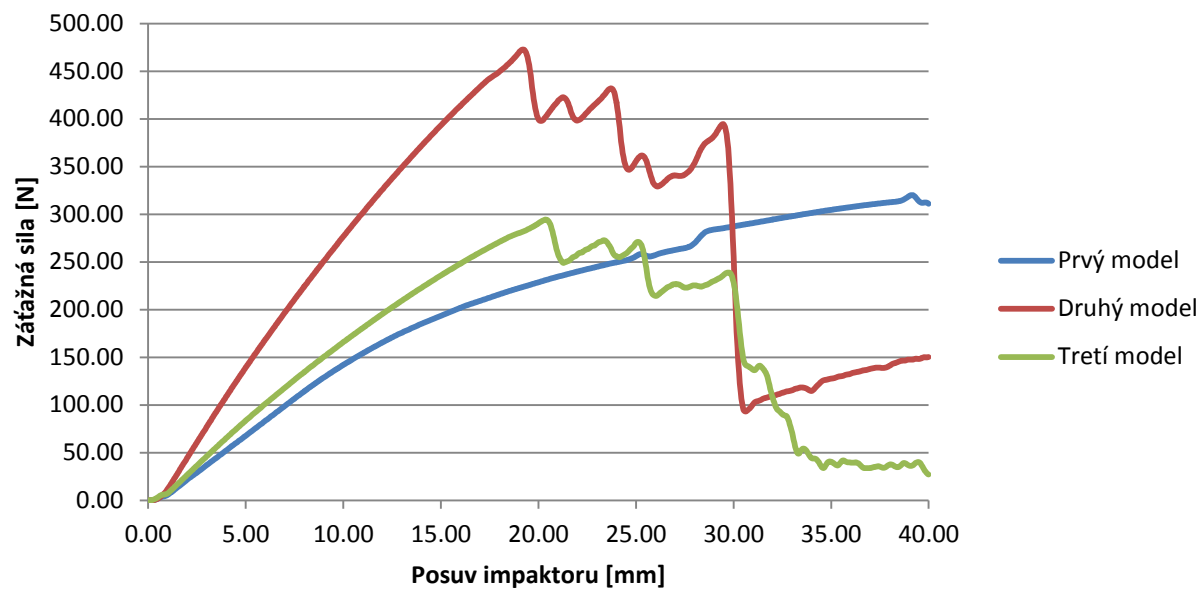


Obrázok 114: Porovnanie výsledkov simulácie a experimentov na krútenie (tretí model)



Obrázok 115: Porovnanie výsledkov simulácií jednotlivých FEM modelov na ohyb

POROVNANIE SIMULÁCIÍ KRÚTENIE



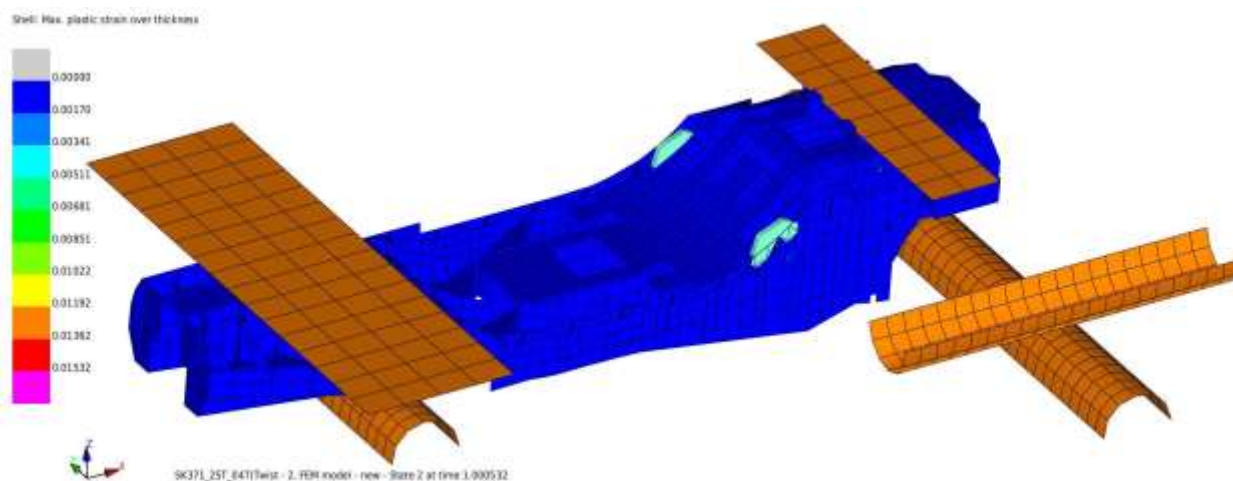
Obrázok 116: Porovnanie výsledkov simulácií jednotlivých FEM modelov na krútenie

12. Zhrnutie výsledkov

Na porovnávacích grafikonov sú viditeľné priebehy a hodnoty záťažnej sily na dráhe impaktoru reálneho experimentu a simulácie. Výsledky simulácie záťažného stavu na ohyb s naladenou materiálovou charakteristikou sú prezentované na obrázku č. 113. Priebeh nárastu záťažnej sily je zhodný s výsledkami experimentu, súhlasný sklon kriviek svedčí o správne nastavených materiálových vlastnostiach. Prvé porušenie v simulácii nastáva pri väčšom posuve impaktoru (zhruba o 0,7 mm), čomu zodpovedá aj väčšia záťažná sila (o 160 N). Po porušení strednej časti výstuhy sila klesne viac, ako pri reálnom experimente, čo znamená, že stred simulačného modelu multivýstuhy vykazuje väčšiu pevnosť, ako skutočná súčiastka. Sklon ďalšieho nárastu sily na impaktore je opäť zhodný s experimentom, až do úplného porušenia dielu cez celú jeho šírku. Rozlomenie v oboch prípadoch nastáva pri rovnakom posuvu impaktoru, odchýlka v silách sa rovná predchádzajúcej, s nižšou hladinou v simulácii. Rozdiely v tuhosti stredu a okraja multivýstuhy vyplývajú zrejme z veľkosti elementov siete, ktorá je pri týchto malých rozmerov výstuhy príliš veľká na podanie absolútne presných výsledkov. Hladina maximálnej sily počas zaťaženia, miesta porušenia v závislosti na dráhe impaktoru a priebeh nárastu záťažnej sily simulácie sú však súhlasné s výsledkami experimentu. Tieto výsledky komponentného modelu sú dostačujúce na podanie reálneho obrazu správania súčiastky, pri súčasnom splnení požiadaviek na použiteľnosť modelu vo veľkých komplexných simuláciach, aké sú nárazové skúšky celého vozidla.

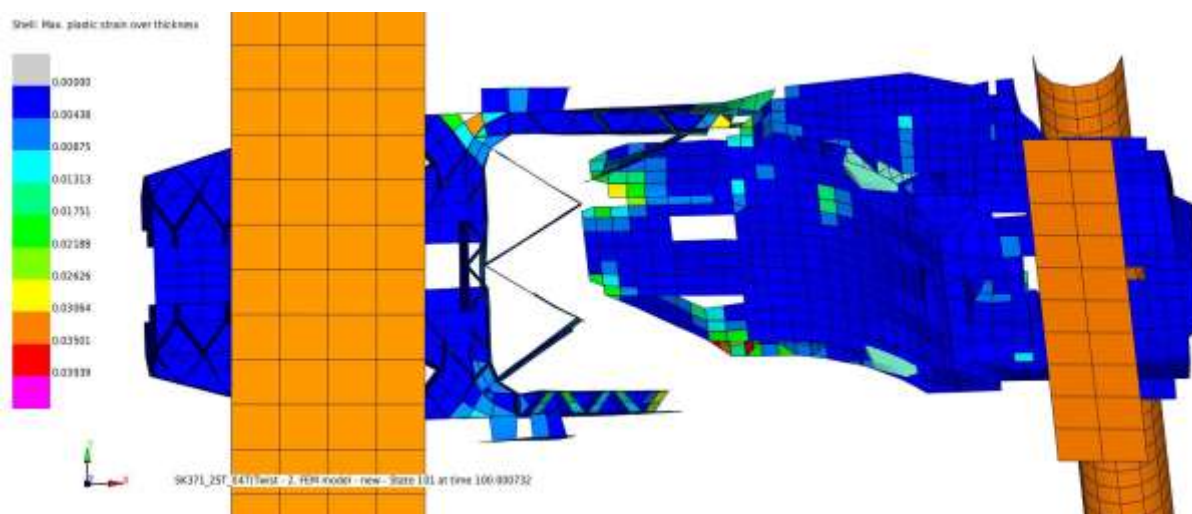
Výsledky simulácie záťažného stavu na krútenie s naladenými materiálovými vlastnosťami však nedopadli podľa očakávania. Síce miesta porušenia sú zhodné so vzorkami experimentálnej skúšky, ale silové závislosti na dráhe impaktoru sú ešte stále značne odlišné. Nakoľko sieť multivýstuhy s novým materiálom funguje dostatočne dobre na ohyb, príčiny rozdielov sa majú hľadať v odlišnosti uskutočnení experimentu a modelovaní simulácie. Simulačný model záťažného stavu na krútenie je popísaný v kapitole 9.2, jeho predné a zadné uloženie s okrajovými podmienkami sa vytvorili za predpoklad ideálneho stavu, pri ktorom nedochádza ani k najmenšiemu posunutí, či natočení multivýstuhy v uloženiach pri experimentu. Počas sledovania reálnej skúšky voľným okom k takýmto dejom ani nedochádzalo, porovnanie výsledkov však ich výskyt naznačuje. Priebeh nárastu záťažnej sily simulačného modelu je totiž oveľa strmší ako výsledky experimentu, s čím súvisí aj skorší okamih porušenia multivýstuhy. Na overenie tejto úvahy sa predné a zadné uloženie premodelovalo na základe vykonaného experimentu, t.j. predné uloženie pomocou tuhého telesa sa vymenilo za spojenie tyče a oceľovej dosky, kým zadné uloženie sa nahradilo spojením oceľovej pásky s excentricky uloženou tyčou. Do miesta zámku sa pridalo tuhé teleso, na ktoré sa nadefinovali okrajové podmienky podobné skutočnej skúšky. Simulácia takto upraveného modelu sa spustila s parametrami

použitými pri predchádzajúcich výpočtoch. Na nasledujúcom obrázku je znázornený model s novým uložením vpred a vzadu.



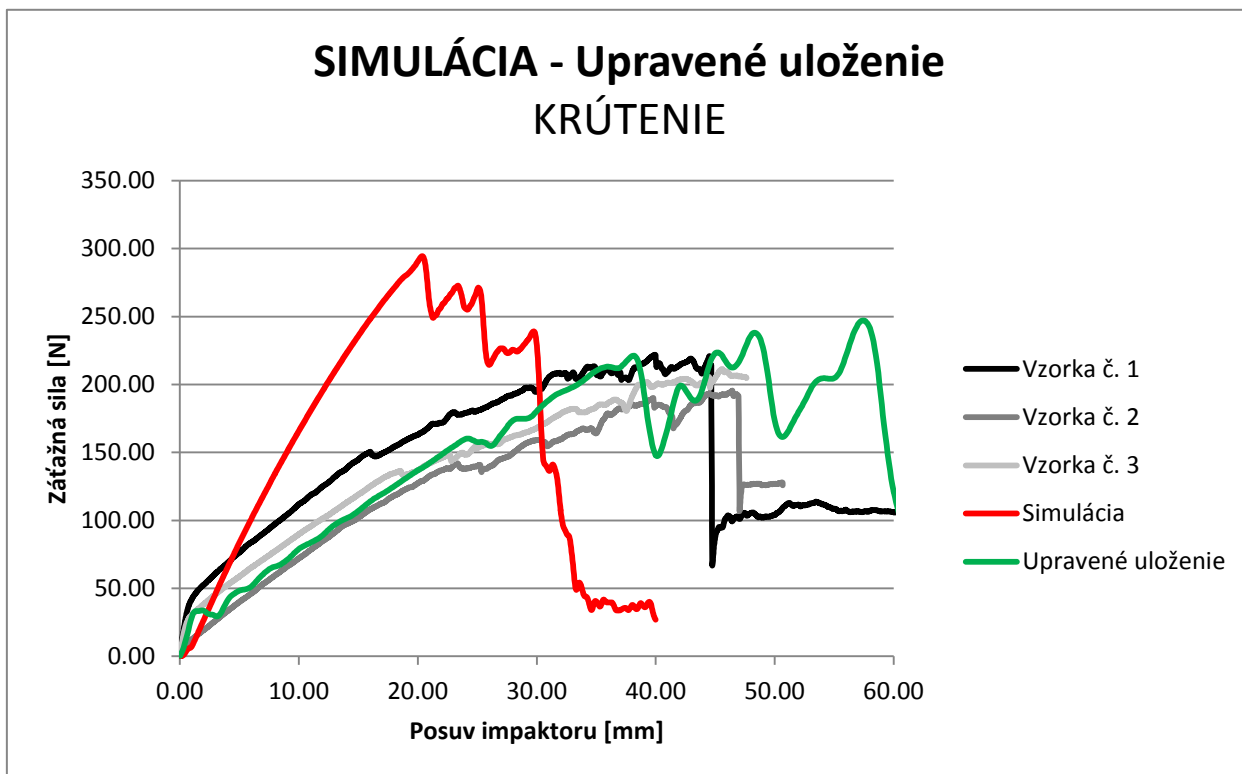
Obrázok 117: Všeobecný pohľad na nedeformovaný komponentný model s upraveným uložením

Nižšie na obrázku sú znázornené miesta porušenia multivýstuhu po úprave predného a zadného uloženia podľa predošlého popisu. Elementy s nadmernou plastickou deformáciou sa opäť objavili na miestach zhodných s výsledkami experimentu a s úvahou popísanou v podkapitole 11.4.2. Zámerom tejto úpravy bolo overenie vplyv modelovania uloženia simulačného modelu na priebeh záťažnej sily impaktoru v závislosti na jeho dráhe.



Obrázok 118: Miesta porušenia simulačného modelu s upraveným uložením

Na nasledujúcom grafikone (obr. č. 119) je porovnaný výsledok predchádzajúcej a novej simulácie s priebehmi síl z experimentov.



Obrázok 219: Porovnanie výsledkov simulácie s pôvodným a s upraveným uložením

Závislosť výsledkov simulácie s upraveným uložením jednoznačne potvrdzuje príčinu predchádzajúcich odchýlok simulačných a experimentálnych závislostí. Idealizované uloženie oboch koncov multivýstuhy spojením uzlových bodov súčasti s telesami podpôr do jedného tuhého telesa spôsobilo veľkú tuhosť telesa pri simulačnom namáhaní. Pri reálnej skúške však napriek pevnému uloženiu došlo k nejakému natočeniu skúšobného telesa, čo mal za následok zdanlivo menšiu tuhosť výstuhy. Potvrdním úvahy o nezhode v uložení sa opäť potvrdilo aj správne naladenie modelu tak z hľadiska geometrie, ako aj z hľadiska materiálových vlastností.

Pri ďalšej snahe o spresnenie tohto komponentného modelu by sme narazili na problémy, ktorých riešenie presahuje možnosti a rozsah zadania tejto diplomovej práce. Jedná sa napríklad o schopnosť FEM siete s relatívne veľkými shellovými elementami presne určiť mieru plastickej deformácie, čím je úzko spojený aj mechanizmus porušenia. Na riešenie tohto problému sa používa prístup, ktorý v miestach limitných plastických deformácií 2D shellový model presieťuje na veľmi malé 3D solidové elementy, s ktorými je možné presnejšie vypočítať a popísať inicializáciu a šírenie trhliny v materiálu. Táto metóda je však veľmi náročná na výpočet, a práve preto nie je vhodné pre náš prípad, kde

snahou je nájsť rozumný kompromis medzi presnosťou výsledkov, zaťažením hardvéru a výpočtovým časom.

Ďalšou rozsiahlou oblasťou pri zahrnutí mechanizmu porušenia do výpočtu sú rôzne kritéria porušenia, ktoré používa aj explicitný PAM-CRASH. S porovnaním týchto kritérií použité v solveru MKP sa na FSI VUT v Brně zaoberal napr. Ing. Bořkovec, Ph.D vo svojej dizertačnej práci [26].

Materiálová charakteristika použitého termoplastu je v našom prípade takisto zjednodušená, nakoľko sa jedná o anizotropný materiál, ktorého chovanie v značnej miere ovplyvňuje orientácia výstužných sklenených vlákien. Do výpočtu vstupujúce materiálové vlastnosti predpokladajú izotropné chovanie, mimo iné zanedbalo sa aj deformačné spevnenie vplyvom rýchlosti zaťaženia.

V prípade ďalšieho záujmu automobilky Škoda o zdokonalenie vytvoreného modelu možnosti na naviazanie v rámci inej VŠKP by som navrhol už v predtým spomenutých oblastiach.

13. Záver

Hlavným zámerom diplomovej práce bolo vytvoriť funkčný komponentný model súčiastky kľúčkového mechanizmu dverí, ktorý je vhodný na použitie v simulácii bočnej nárazovej skúšky celého vozidla. Téma práce vychádzala z aktuálnych požiadaviek firmy Škoda Auto, a.s., kde je zámerom zachytiť každý negatívny dopad nárazovej skúšky už v simulačnej fáze vývoja nového modelu.

Pri zpracovaní projektu sa použili softvéry na pracovných staniciach Škoda Auto, ktoré sú určené na simuláciu nárazov metódou konečných prvkov. V prvom kroku sa v preprocesore ANSA vytvorila sieť konečných prvkov na základe geometrie súčiastky. Samotná tvorba sa riadila internými požiadavkami na kvalitu FEM siete, aby komponentný model bol použiteľný vo veľkom modeli automobilu bez toho, aby generovalo výpočtové chyby, či spôsobilo zbytočné predĺženie výpočtového času.

Ďalším cieľom práce bola validácia novo vytvoreného komponentného modelu vhodne zvolenými komponentnými skúškami. Experimentálne testy sa navrhovali na základe skutočných namáhání oblasti dverí, kde je multivýstuha uložená. Volili sa dva záťažné stavy, jeden na prostý ohyb a jeden na krútenie. Na základe navrhnutých uložení a zaťažení sa vykonali experimenty a namodelovali sa simulačné modely v solveru PAM-CRASH. V ďalšej fáze sa upravovali vlastnosti FEM siete multivýstuhy, snahou bolo čo najviac priblížiť výsledky výpočtov k reálnym hodnotám experimentov. Pritomto postupu sa spresnila sieť, nadefinoval sa nový materiálový model, ktorý zahrňuje mechanizmus porušenia a použili sa nové materiálové vlastnosti, ktoré popisujú skutočný materiál, z čoho sa súčiastka vyrába.

Prínosom diplomovej práce popri získanej zručnosti v použitých softvéroch je komponentný model koncernovej multivýstuhy kľúčky dverí, ktorého chovanie je experimentálne validované. V rámci obmedzení vyplývajúcich z požiadaviek na kvalitu siete sa podarilo vytvoriť simulačnú súčiastku, ktorá svojimi výsledkami dôveryhodne reprezentuje svoju reálnu podobu v simuláciách nárazovej skúšky ľubovoľného modelu automobilky Škoda.

Zoznam použitej literatúry

[1] History. *Euro NCAP* [online]. © 2012 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/history.aspx>

[2] Vision And Mission. *Euro NCAP* [online]. © 2012 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/Content-Web-Page/60c0772f-99e6-4afa-bdb9-c147f9505706/vision-and-mission.aspx>

[3] Car Specification, Sponsorship, Testing And Retesting Protocol. *Euro NCAP* [online]. Version 2.5. June 2011 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/files/Euro-NCAP-CSSTR-Protocol---v2.5---0-7cb6c318-718d-4dcc-82fd-4242c61a8528.pdf>

[4] Euro NCAP Assessment Protocol – Overall Rating. *Euro NCAP* [online]. Version 5.1. June 2011 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/files/Euro-NCAP-Assessment-Protocol---Overall-Rating---v5.1---0-54bc8adf-7af5-467a-8caa-1096ef86cc02.pdf>

[5] Euro NCAP Assessment Protocol – Adult Occupant Protection. *Euro NCAP* [online]. Version 5.4. November 2011 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/files/Euro-NCAP-Assessment-Protocol---AOP---v5.4---0-e34e41c4-355b-43e9-8781-72f700b1ff6b.pdf>

[6] Frontal Impact Testing Protocol. *Euro NCAP* [online]. Version 5.2. November 2011 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/files/Euro-NCAP-Frontal-Protocol-Version-5.2---0-42a56f65-76cc-4989-b3c0-518546300c2d.pdf>

[7] Side Impact Testing Protocol. *Euro NCAP* [online]. Version 5.2. November 2011 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/files/Euro-NCAP-Side-Protocol-Version-5.2---0-b7469d8d-cc7d-4426-9ecc-42313cd2d13c.pdf>

[8] Pole Side Impact Testing Protocol. *Euro NCAP* [online]. Version 5.2. November 2011 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/files/Euro-NCAP-Pole-Protocol-Version-5.2---0-8d65ac64-eceb-43c5-a15e-c881853f1e9e.pdf>

[9] The Dynamic Assessment Of Car Seats For Neck Injury Protection Testing Protocol. *Euro NCAP* [online]. Version 3.1. June 2011 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/files/Euro%20NCAP%20Whiplash%20test%20protocol%20V2.8---84367b14-dec6-4e22-82e1-da212c9e2ba5.pdf>

[10] ROUSSARIE, Marie-Laure, Richard ZEITOUNI a Céline ADALIAN. *Enhancement of side impact protection using an improved test procedure*. In: 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles [online]. Lyon, France, 2007 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv20/07-0245-O.pdf>

[11] Euro NCAP Whiplash: 80 % testovaných sedadel potřebuje vylepšení. *Auto.cz* [online]. 14. 2. 2009 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/ncap-euro-whiplash-testy-ochrany-krci-patere-evropske-metodiky-5451>

[12] New Active Head Restraint System from TRW. *In Auto News* [online]. 16. 1. 2009 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www.inautonews.com/active-head-restraint-system-from-trw>

[13] *Safety Companion 2012*. Alzenau, Germany: cars.training GmbH, 2011.

[14] History of Crash Test Dummies. *Humanetics Innovative Solutions* [online]. © 2010 [cit. 2012-02-06]. Dostupné z: <http://www.humaneticsatd.com/about-us/dummy-history>

[15] *Side Impact Moving Barrier According to ECE R95 Regulations*. Krailling, Germany: MESSRING Systembau MSG GmbH, 2006. Dostupné z: http://www.messring.de/wp-content/uploads/2HB-A1_VD_E1.pdf

[16] *Development and Evaluation of the Advanced European Mobile Deformable Barrier (AE-MDB) Test Procedure*. Integrated Project on Advanced Protection Systems (APROSYS), 2006. Dostupné z: <http://www.aprosys.com/Documents/deliverables/FinalDeliverables/AP%20SP11%200083%20D111B%20-%20July%202006.pdf>

[17] ROBERTS, A. K. a M. R. VAN RATINGEN. *Progress on the Development of the Advanced European Mobile Deformable Barrier Face (AE-MDB)*. Nagoya, Japan, 2003. 18th ESV Conference. Dostupné z: <http://eevc.org/publicdocs/publicdocs.htm>

[18] Mapa světa. *Obrázky, kliparty* [online]. © 2010 [cit. 2012-02-14]. Dostupné z: http://obrazky.superia.cz/mapy/mapa_sveta.php

[19] ANSA Product Brochure. *BETA CAE Systems USA, Inc.* [online]. © 2009 [cit. 2012-02-22]. Dostupné z: <http://www.ansa-usa.com/products/ansa>

[20] SMEJKAL, ING., Josef. *Tvorba a organizace FE modelů*. 3. verze. Mladá Boleslav: Škoda Auto a.s., 2010.

[21] Virtual Performance Solution 2010: EXPLICIT SOLVER REFERENCE MANUAL. Paris: ESI Group, 2010.

[22] Virtual Performance Solution 2010: SOLVER NOTES MANUAL. Paris: ESI Group, 2010.

[23] BANÍK, Ivan, Marcela CHOVANCOVÁ a Jozef ZÁMEČNÍK. *Mechanika a hydromechanika: Pružnosť a pevnosť*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2006.

[24] LIŠKA, Radek. *Metody nárazových zkoušek pasivní bezpečnosti a jejich srovnání*. Praha, 2007. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kovanda, CSc.

[25] Product, Design & Development. *Crash Course In Data Management Speeds Up Huge Simulation Task* [online]. 2010 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <http://www.pddnet.com>

[26] BOŘKOVEC, Jan. *Výpočtová simulace procesu dělení materiálu*. Brno, 2008. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.

Zoznam použitých skratiek a symbolov

$\dot{\varepsilon}_1$	rýchlosť deformácie
4WD	Pohon štyroch kolies (<i>4 Wheel Drive</i>)
a_{3ms}	Zrýchlenie hlavy počas nárazu po dobu 3 ms
ACI	Automobilový klub Talianska (<i>Automobile Club d'Italia</i>)
ADAC	Automobilový klub Nemecka (<i>Allgemeiner Deutscher Automobil Club</i>)
AE-MDB	Zdokonalená mobilná deformovateľná bariéra (<i>Advanced European – Mobile Deformable Barrier</i>)
$A_{res,peak}$	Hodnota špičky zrýchlenia hlavy počas nárazu
ASCII	Americký štandardný kód pre výmenu informácií (<i>American Standard Code for Information Interchange</i>)
CAD	Počítačom podporované konštruovanie (<i>Computer Aided Design</i>)
CAE	Počítačom podporovaný vývoj (<i>Computer Aided Engineering</i>)
COG	Ťažisko (<i>Center Of Gravity</i>)
EEVC	Európsky výbor pre experimentálne vozidlá (<i>European Experimental Vehicles Committee</i>)
ESC	Systém elektronické kontroly stability (<i>Electronic Stability Control</i>)
EU-27	Oblasť súčasných členských štátov Európskej únie
EuroSID-2	Testovacia figurína reprezentujúca 50% dospelého muža (<i>Side Impact Dummy</i>)
FEM	Metoda konečných prvkov (<i>Finite Element Method</i>)
FIA	Medzinárodná automobilová federácia (<i>Fédération Internationale de l'Automobile</i>)
HIC	Kritérium poranenia hlavy (<i>Head Injury Criterion</i>)

HRMD	Prístroj na meranie geometrie hlavovej opierky (<i>Head Restraint Measuring Device</i>)
IIHS	Poist'ovací inštitút pre bezpečnosť cestovnej premávky (<i>Insurance Institute for Highway Safety</i>)
IIWPG	Medzinárodná poisťovacia skupina ochrany poranenia hyperextenziou krku (<i>International Insurance Whiplash Protection Group</i>)
MDB	Mobilná deformovateľná bariéra (<i>Mobile Deformable Barrier</i>)
MKP	Metoda konečných prvkov
$M_{y,extension}$	Moment pôsobiaci na krk počas nárazu okolo y-ovej osi
NCAP	Program na hodnotenie bezpečnosti nových vozidiel (<i>New Car Assessment Programme</i>)
P 1½	Testovacia figurína reprezentujúca 18 mesačného dieťaťa
P 3	Testovacia figurína reprezentujúca 3 ročného dieťaťa
PA 6	Polyamid-6
PBT GF30	Polybutyl-tereftalát s 30% obsahom sklenených vlákien
PID	Identifikačné číslo objektu (<i>Property Identification</i>)
R-bod	Stred nárazu deformovateľnej bariéry do vozidla pri bočnom náraze
SNRA	Švédska národná správa ciest (<i>Swedish National Road Administration, a.k.a. SRA</i>)
SUV	Športovné úžitkové vozidlo (<i>Sport Utility Vehicle</i>)
T12	Oblasť spojenia hrudníka a brucha testovacej figuríny
TI	Index rizika zlomenia holennej kosti (<i>Tibia Index</i>)
VC	Viskózne kritérium poranenia hrudníka počas nárazu (<i>Viscous Criterion</i>)

Zoznam príloh

Príloha A	Data sheet materiálu BASF Ultradur B 4300 G6
Príloha B	Merací protokol z experimentu na ohyb
Príloha C	Merací protokol z experimentu na krútenie I
Príloha D	Merací protokol z experimentu na krútenie II

Ultradur® B 4300 G6 **PBT (Polybutylene Terephthalate)**



Product Description

Ultradur B 4300 G6 is an easy flowing injection molding PBT with 30% glass fiber reinforcement for rigid, tough, and dimensionally stable parts.

Applications

Typical applications include windshield wiper arms, printed circuit boards, housings, consoles, contact carriers, and covers.

PHYSICAL	ISO Test Method	Property Value
Density, g/cm	1183	1.53
Viscosity Number, cm/g	1628	102
Mold Shrinkage, parallel, %	294-4	0.34
Mold Shrinkage, normal, %	294-4	1.07
Moisture, %	62	
(50% RH)		0.2
(Saturation)		0.4
RHEOLOGICAL	ISO Test Method	Property Value
Melt Volume Rate (250 C/2.16 Kg), cc/10min.	1133	11
MECHANICAL	ISO Test Method	Property Value
Tensile Modulus, MPa	527	
23C		10,000
Tensile stress at break, MPa	527	
-40C		204
23C		135
Tensile strain at break, %	527	
23C		2.5
Flexural Strength, MPa	178	
23C		200
Flexural Modulus, MPa	178	
23C		8,800
Tensile Creep Modulus (1000h), MPa	899	7,500
IMPACT	ISO Test Method	Property Value
Charpy Notched, kJ/m ²	179	
23C		11
Charpy Unnotched, kJ/m ²	179	
23C		67
-30C		74
THERMAL	ISO Test Method	Property Value
Melting Point, C	3146	223
HDT A, C	75	215
HDT B, C	75	220
Coef. of Linear Thermal Expansion, Parallel, mm/mm C		0.25 X10-4

ELECTRICAL	ISO Test Method	Property Value
Comparative Tracking Index	IEC 60112	375
Volume Resistivity	IEC 60093	>1E13
Surface Resistivity	IEC 60093	1E13
Dielectric Constant (100 Hz)	IEC 60250	4
Dielectric Constant (1 MHz)	IEC 60250	3.8
Dissipation Factor (100 Hz)	IEC 60250	25
Dissipation Factor (1 MHz)	IEC 60250	170
UL RATINGS	UL Test Method	Property Value
Flammability Rating, 1.5mm	UL94	HB
Relative Temperature Index, 1.5mm	UL746B	
Mechanical w/ Impact, C		105
Electrical, C		130

Processing Guidelines

Material Handling

Max. Water content: 0.04%

To ensure optimum part performance, this product must be dried prior to molding and maintained at a moisture level of less than 0.04%. Dehumidifying or desiccant dryers operating at 100-120 degC for 4 hours drying time are recommended. Further information concerning safe handling procedures can be obtained from the Material Safety Data Sheet. Alternatively, please contact your BASF representative.

Typical Profile

Melt Temperature 250-270 degC (482-518 degF)

Mold Temperature 60-100 degC (140-212 degF)

Injection and Packing Pressure 35-125 bar (500-1500 psi)

Mold Temperatures

This product can be processed over mold temperatures of 60-100 degC (140-212 degF); however, for optimizing surface appearance, dimensional stability and part performance, mold surface temperatures of at least 80 degC (176 degF) are preferred.

Pressures

Injection pressure controls the filling of the part and should be applied for 90% of ram travel.

Packing pressure affects the final part and can be used effectively in controlling sink marks and shrinkage. It should be applied and maintained until the gate area is completely frozen off.

Back pressure can be utilized to provide uniform melt consistency and reduce trapped air and gas. A maximum of 10 bar (145 psi) is recommended due to the risk of excessive shear.

Fill Rate

Fast fill rates are recommended to ensure uniform melt delivery to the cavity and prevent premature freezing. Surface appearance is directly affected by injection rate.

Note

Although all statements and information in this publication are believed to be accurate and reliable, they are presented gratis and for guidance only, and risks and liability for results obtained by use of the products or application of the suggestions described are assumed by the user. NO WARRANTIES OF ANY KIND, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE MADE REGARDING PRODUCTS DESCRIBED OR DESIGNS, DATA OR INFORMATION SET FORTH. Statements or suggestions concerning possible use of the products are made without representation or warranty that any such use is free of patent infringement and are not recommendations to infringe any patent. The user should not assume that toxicity data and safety measures are indicated or that other measures may not be required.

Parametry:

Zákazník : TKF/3 - Jan Korous
Zkoušel(a) : TK/2 - Martin Fridrich
Norma : -
Číslo objednávky : -
Šarže :

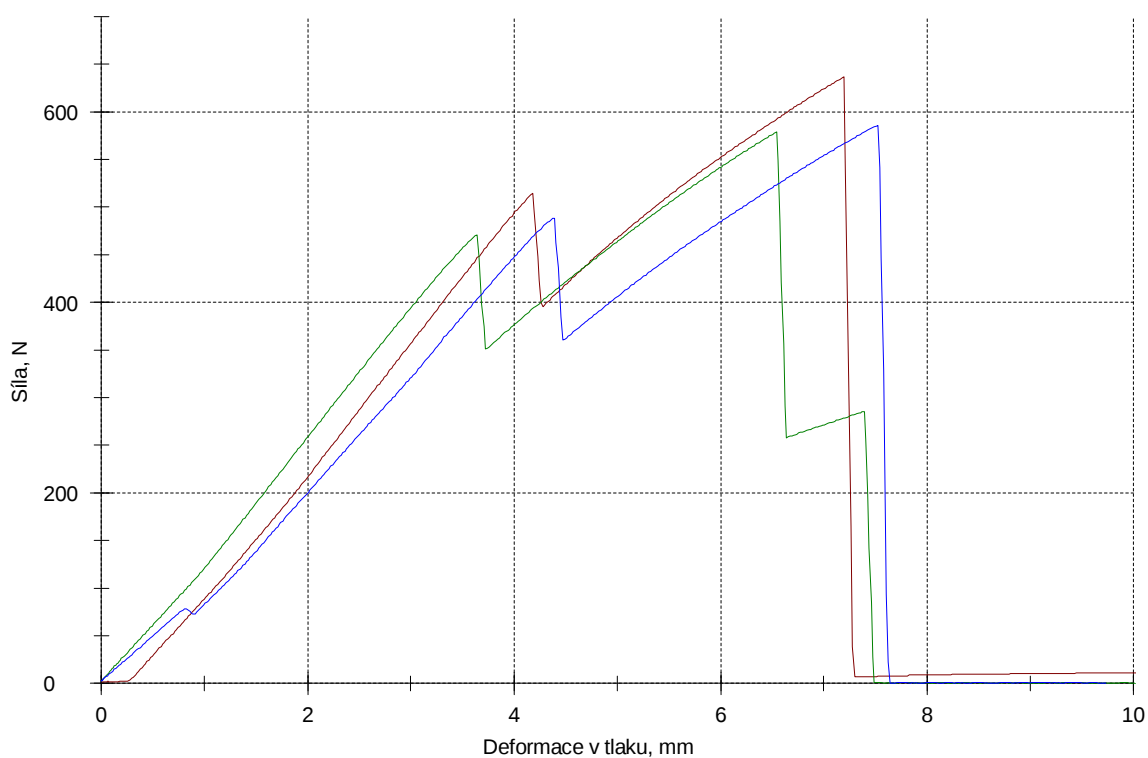
Snímač síly : GTM 20 kN, S/N:41038
Průtahoměr, snímač dráhy: ZWICK Pricnik
Materiál : SK 371_Multivystuha dveri_ohyb

Předzatížení : 1 N
Rychlost předzatížování : 5 mm/min
Rychlost zkoušky, øídicí parametr : 50 mm/min

Výsledky:

Legenda	Nr	Síla N	Dráha mm
	1	636,01	7,20
	2	578,24	6,54
	3	585,71	7,53
	4	498,41	4,08

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:

Série n = 3	Síla N	Dráha mm
$\bar{x}$	599,99	7,09
s	31,42	0,50
v	5,24	7,06

Parametry:

Zákazník : TKF/3 - Jan Korous
 Zkoušel(a) : TK/2 - Martin Fridrich
 Norma : -
 Číslo objednávky : -
 Šarže : -

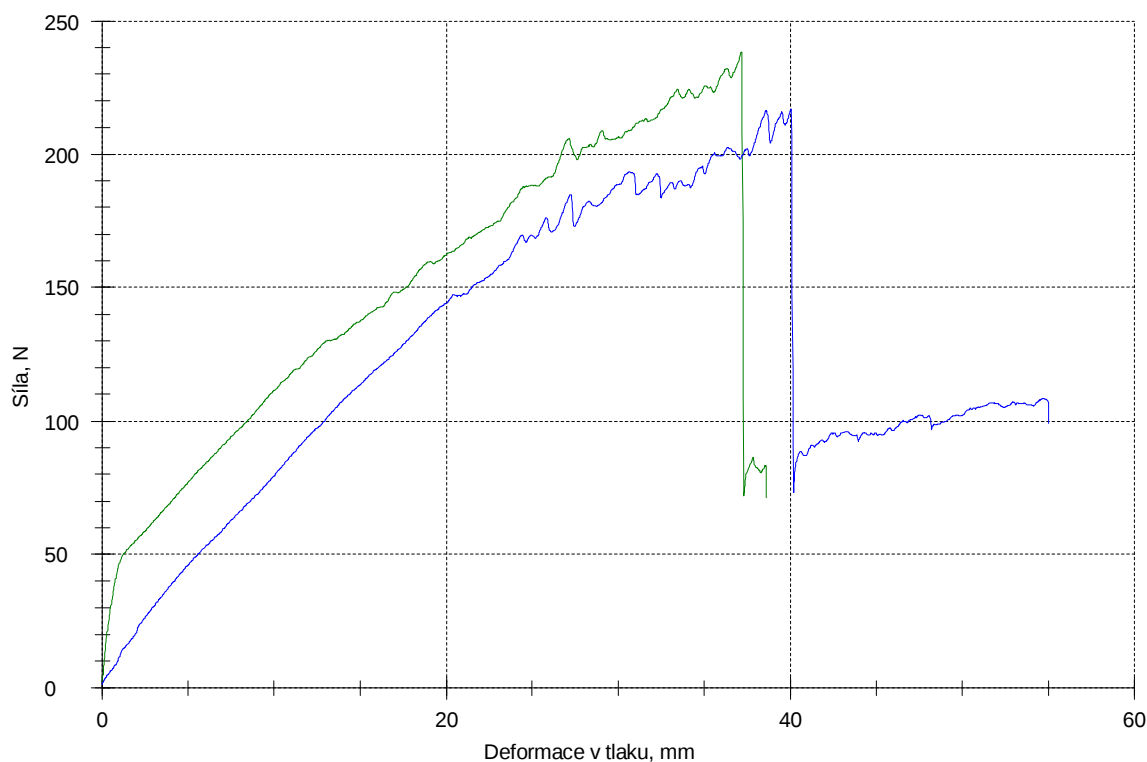
Snímač síly : GTM 20 kN, S/N:41038
 Průtahoměr, snímač dráhy: ZWICK Pricnik
 Materiál : SK 371_Multivystuha dveri_krut

Předzatížení : 1 N
 Rychlost předzatížování : 5 mm/min
 Rychlost zkoušky, øídicí parametr : 50 mm/min

Výsledky:

Legenda	Nr	Síla N	Dráha mm
	1	575,91	41,71
	2	238,35	37,18
	3	217,10	40,08

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:

Série n = 2	Síla N	Dráha mm
$\bar{x}$	227,72	38,63
s	15,02	2,05
v	6,60	5,30

Parametry:

Zákazník : TKF/3 - Jan Korous
 Zkoušel(a) : TK/2 - Martin Fridrich
 Norma : -
 Číslo objednávky : -
 Šarže : -

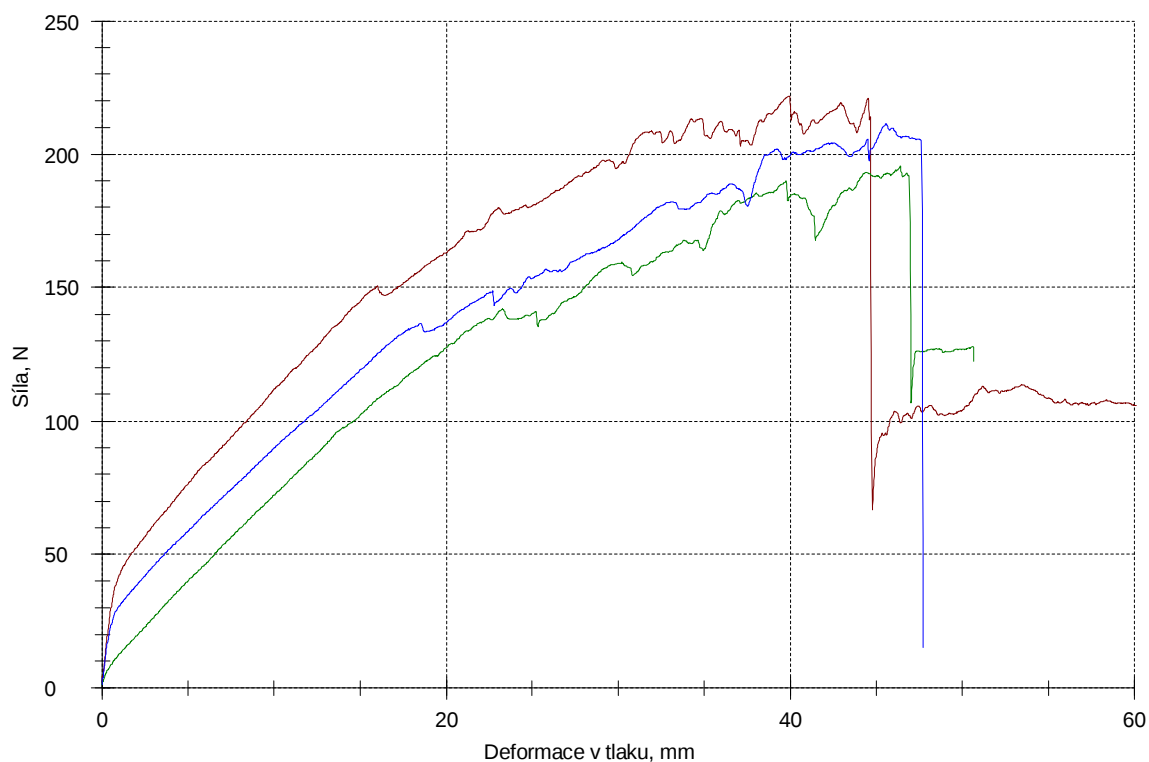
Snímač síly : GTM 20 kN, S/N:41038
 Průtahoměr, snímač dráhy: ZWICK Pricnik
 Materiál : SK 371_Multivystuha dveri_krut II

Předzatížení : 1 N
 Rychlost předzatížování : 5 mm/min
 Rychlost zkoušky, øídicí parametr : 50 mm/min

Výsledky:

Legenda	Nr	Síla N	Dráha mm
	4	221,83	39,95
	5	195,51	46,43
	6	211,36	45,55

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:

Série n = 3	Síla N	Dráha mm
$\bar{x}$	209,56	43,98
s	13,25	3,52
v	6,32	8,00