

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

HOMOGENNÍ KAPOTA - CHOVÁNÍ PŘI NÁRAZECH IMPAKTOREM HLAVY

HOMOGENEOUS BONNET - BEHAVIOR AT HEAD IMPACTOR IMPACTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LUKÁŠ KADRMAS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL RAMÍK

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Kadrmas Lukáš, Bc.

který/která studuje v **magisterském 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:

Homogenní kapota - chování při nárazech impaktorem hlavy

v anglickém jazyce:

Homogeneous Bonnet - Behavior at Head Impactor Impacts

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte simulaci chování kapoty osobního automobilu při nárazech impaktorem hlavy s cílem dosažení homogenity kapoty z hlediska kritérií pro posuzování ochrany chodců.

Cíle diplomové práce:

1. Proveďte rešerši současného stavu problematiky ochrany chodců při střetu s vozidlem se zaměřením na nárazy hlavy na přední kapotu.
2. Pro účely počítačových simulací vytvořte dle požadavků příslušných norem model impaktoru dětské hlavy a proveďte jeho certifikaci.
3. Na základě dodaných podkladů připravte výpočtový model pro simulaci nárazu hlavy na kapotu (odstranění přebytečných dílů karoserie, definice materiálů, definice dopadových míst, odstranění penetrací atd.).
4. Připravte model pro určení statické tuhosti kapoty s použitím FEM a proveďte její výpočet ve vybraných zátěžných stavech.
5. Proveďte simulaci nárazu hlavy na původní provedení kapoty a stanovte hodnoty HIC v dopadových místech.
6. Proveďte úpravu kapoty s cílem dosáhnout rovnoměrnějšího rozložení HIC po jejím povrchu (homogenní kapota) úpravou vnitřního plechu a dalších dílů při zachování vnějšího designu a globálních statických charakteristik. Proveďte simulační výpočet statické tuhosti a nárazu hlavy a dosažené výsledky srovnajte s původní variantou. Uvedený postup podle potřeby opakujte s cílem dosažení lepší homogenity kapoty při maximálním povoleném snížení její celkové tuhosti o 20%.
7. Zhodnoťte dosažené výsledky a vyslovte se k vhodnosti navrhovaných variant z hlediska hodnot HIC při nárazu, statické tuhosti a případně dalších relevantních kritérií.

Seznam odborné literatury:

- [1] Euro NCAP Online Documentation [online], 2008, poslední revize 3.10.2008. Dostupné z: <<http://www.euroncap.com>>
- [2] JANÍČEK, P., ONDRÁČEK, E., VRBKA, J. Pružnost a pevnost I, VUT Brno, 1992.
- [3] PAM-CRASH/SAFE 2005. Solver Reference Manual. ESI-Group, Paris, France, 2005.
- [4] PAM-CRASH/SAFE 2005. Solver Notes Manual. ESI-Group, Paris, France, 2005.
- [5] Release 11.0 Documentation for ANSYS, ANSYS Inc., USA 2008.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Ramík

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 20.11.2008



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Homogenní kapota – chování při nárazech impaktorem hlavy
DP, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2009, str. 140, obr. 159

Diplomová práce se zabývá problematikou nárazových zkoušek dle předpisů Euro NCAP, konkrétně zkouškou nárazu impaktoru dětské hlavy na kapotu automobilu. Cílem je vytvoření homogenní kapoty, kde tuhá místa budou odstraněna a zároveň nedojde ke zhoršení globální tuhosti kapoty. Kapota musí ovšem splňovat limity pro ochranu chodců.

Klíčová slova

Ochrana chodců, impaktor hlavy, HIC, tuhost, kapota

Anotation

Homogeneous bonnet – behavior at head impactor impacts
DP, Institute of Automotive Engineering, 2009, p. 140, fig. 159

This thesis deals with the subject of crash tests Euro NCAP, concretely child-head impact test to the car bonnet. Object of thesis is make homogeneous car bonnet, where will remove stiffness places and also the bonnet global stiffness won't be worst. The bonnet must carry out limits for pedestrian protection.

Key words

Pedestrian protection, head impactor, HIC, stiffness, bonnet

Bibliografická citace:

KADRMAS, L. *Homogenní kapota – chování při nárazech impaktorem hlavy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 140s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Ramík

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Homogenní kapota – chování při nárazech impaktorem hlavy“ vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu na konci práce.

V Brně dne 28. května 2009

.....
(podpis autora)

Poděkování

Děkuji tímto panu Ing. Pavlu Ramíkovi za vedení mé diplomové práce, dále velice děkuji panu Ing. Janu Holcovi a dalším pracovníkům výpočtového oddělení technického vývoje firmy ŠKODA AUTO a.s., kteří mi byli při zpracovávání práce nápomocni, za velmi cenné rady a připomínky při praktickém vypracovávání tohoto tématu.

V Brně dne 28. května 2009

.....
(podpis autora)



Obsah

Úvod.....	10
1 Ochrana účastníků silničního provozu	11
1.1 Bezpečnost	11
1.1.1 Aktivní bezpečnost.....	11
1.1.2 Pasivní bezpečnost.....	12
1.2 Srážka vozidla s chodcem	12
1.3 Současné trendy v bezpečnosti chodců	14
2 Spotřebitelský test Euro NCAP.....	18
2.1 Druhy testů	18
2.1.1 Čelní náraz.....	18
2.1.2 Boční náraz	19
2.1.3 Náraz na sloup	19
2.1.4 Střed auta s chodcem	20
2.2 Náraz impaktoru hlavy na kapotu.....	21
2.2.1 Příprava zkušebního auta.....	21
2.2.2 Tvorba sítě dopadových bodů	22
2.2.3 Nominace dopadových bodů	24
2.2.4 Přesné určení prvního kontaktního bodu	25
2.2.5 Vystřelovací zařízení	27
2.2.6 Typy impaktorů hlavy.....	28
2.2.7 Certifikace makety hlavy.....	30
2.2.8 Vyhodnocení.....	31
3 Obecné informace o řešené problematice.....	32
3.1 SK250 – Škoda Fabia II.....	32
3.2 Počítačové simulace nárazových zkoušek pomocí MKP	33
4 Vytvoření výpočtového modelu impaktoru hlavy.....	36
4.1 Konstrukční požadavky na impaktor dětské hlavy.....	36
4.2 Konstrukce 3D modelu.....	37
4.3 Tvorba výpočtového modelu.....	40
4.3.1 Výpočtová síť.....	40
4.3.2 Materiály	42



4.3.3	Definice tuhého tělesa – Rigid Body	45
4.3.4	Kontakty	46
4.3.5	Počáteční podmínky	48
4.4	Porovnání vlastností s impaktorem firmy Škoda Auto.....	50
4.5	Certifikační zkouška impaktoru	52
5	Příprava výpočtového modelu auta.....	54
5.1	Odstranění nepotřebných dílů	55
5.2	Úprava zjednodušeného modelu.....	57
5.3	Definování materiálů	58
5.3.1	Materiál plastových dílů.....	59
5.3.2	Materiál oceli ZSTE220.....	59
5.3.3	Materiál oceli ZSTE340.....	60
5.3.4	Materiál pevnostního lepidla	61
5.3.5	Materiál těsnícího lepidla.....	62
5.4	Nastavení simulačního modelu pro PamCrash.....	64
6	Původní varianta modelu přední části vozu.....	66
6.1	Simulace nárazu dětským impaktorem hlavy.....	67
6.2	Vyhodnocení HIC kritéria	69
6.3	Výpočet celkové tuhosti kapoty	73
6.3.1	Zatěžovací stav torzní tuhosti.....	74
6.3.2	Zatěžovací stav ohybu v zámku	75
6.3.3	Zatěžovací stav ohybu zleva	76
6.3.4	Zatěžovací stav ohybu zprava.....	77
6.4	Výsledky výpočtu celkové tuhosti kapoty	78
6.4.1	Torzní tuhost	78
6.4.2	Ohyb v zámku	78
6.4.3	Ohyb zleva	79
6.4.4	Ohyb zprava.....	79
7	Vlastní konstrukční řešení	80
7.1	Optimalizace původní varianty	81
7.1.1	Modifikace kapoty	82
7.1.2	Zhodnocení navrhovaných řešení.....	100
7.2	Kapota s vloženým pěnovým dílem	101
7.2.1	Modifikace kapoty	101



7.2.2	Zhodnocení navrhovaných variant	111
7.3	Kapota s vloženým plastovým dílem.....	112
7.3.1	Modifikace kapoty	112
7.3.2	Zhodnocení navrhovaných variant	120
7.4	Plastový vnitřní díl kapoty	121
7.4.1	Modifikace kapoty	121
7.4.2	Zhodnocení navrhovaných variant	125
7.5	Kapota s odlišnou strukturou vnitřního plechu	126
7.5.1	Modifikace kapoty	126
7.5.2	Zhodnocení navrhovaných variant	134
	Závěr	135
	Seznam použité literatury	136
	Seznam použitých zkratk a symbolů	138
	Seznam použitých veličin.....	140



Úvod

V současné době velkého rozvoje automobilového odvětví a nárůstu počtu vozidel na silnicích se zároveň zvyšují i negativní stránky osobní automobilové dopravy. Se stoupajícím počtem aut na silnicích rostou i rizika zvýšeného střetu s ostatními účastníky silničního provozu, přičemž nejvíce ohroženými jsou nechránění chodci a cyklisté. Z tohoto důvodu je v poslední době téma ochrany chodců při střetech s automobily velice diskutované a sledované. Reaguje na něj i legislativa – část tzv. homologace (uvolnění do provozu na veřejných komunikacích) zaměřené na pasivní bezpečnost, která byla doplněna o ochranu chodců. Požadavky plynoucí z homologace jsou pro výrobce závazné a musí je zohlednit při vývoji nových vozů. Dále existují nepovinné tzv. spotřebitelské testy, mezi něž patří např. Euro NCAP, který rovněž obsahuje požadavky na ochranu chodců. Z marketingového hlediska se výrobci automobilů snaží o co nejlepší hodnocení v těchto spotřebitelských testech, které jsou mnohem přísnější než testy homologační.

Předložená diplomová práce se zabývá právě touto problematikou. Je zaměřena na simulaci zkoušky určené pro ohodnocení chování vozu při střetu osobního automobilu s chodcem. Konkrétně jde o zkoušku maketou hlavy dítěte (z hlediska vzniku smrtelného poranění při střetu s autem je nejvíce ohrožena právě hlava) dle platného předpisu spotřebitelského testu Euro NCAP. Zkušební zóna pro dětský impaktor hlavy leží v přední části vozu a z povrchových dílů do ní patří především kapota vozidla. Na hodnocení mohou mít samozřejmě vliv i další díly např. z motorového prostoru. Pro splnění požadavků je nutné jednak zajistit dostatečný odstup těchto, v porovnání s kapotou, velmi tuhých dílů a zamezit tak průrazům na ně a dále pak naladit tuhost povrchových dílů (kapoty, ...) tak, aby nebyly překročeny předpisem dané limity kritéria poranění. Problém je složitější o to více, že díly musí plnit několik rozdílných, mnohdy protichůdných požadavků. Například právě kapota musí splňovat pasivní bezpečnost, celkovou tuhost, aerodynamiku, kvalitu, hmotnost, ...

Cíl této diplomové práce je navržení tzv. „homogenní kapoty“, která by měla mít rovnoměrné rozložení tuhosti, z důvodu plnění požadavků na ochranu chodců v co největší oblasti. Obvykle jí tvoří dva hlavní díly – vnitřní a vnější plech. Tuhost je dána jejich tvarem a propojením. Vzhledem k tomu, že tvar vnějšího plechu kapoty je dopředu limitován designem vozu, lze homogennosti dosáhnout pouze úpravou vnitřního plechu a jeho propojením s plechem vnějším. Tento postup chci aplikovat ve své diplomové práci v rámci spolupráce se ŠKODA AUTO a.s.. Je zde uveden jen výběr nejdůležitějších variant vnitřního plechu. Jde zejména o různé úpravy originálního vnitřního plechu nebo použití vloženého deformačního dílu. Vhodnost konstrukční úpravy je hodnocena jak z hlediska ochrany chodců, tak z hlediska změny statické tuhosti (ta nesmí poklesnout pod zadanou mez).



1 Ochrana účastníků silničního provozu

Doprava je jistě jedním z klíčových odvětví našeho současného života. Nutno také dodat, že silniční doprava je jedním z nejnebezpečnějších míst z hlediska zmařených lidských životů. Ročně v České republice zemře při dopravních nehodách velké množství lidí a další lidé utrpí vážná zranění. Proto se musí bezpečnost a bezpečnostní předpisy neodmyslitelně vyvíjet spolu s rozvojem dopravy.

1.1 Bezpečnost

Bezpečnost v automobilové dopravě můžeme rozdělit do dvou skupin. Aktivní a pasivní bezpečnost.

1.1.1 Aktivní bezpečnost

Pojem aktivní bezpečnost zahrnuje veškeré systémy a zařízení automobilu, které aktivně zabraňují vzniku nebezpečných situací a nehod.

Můžeme ji rozdělit do těchto kategorií:

- Viditelnost z vozidla
 - Sklon a velikost palubní desky
 - Dostatečně velká a vyhřívaná zpětná zrcátka s eliminací „mrtvého“ úhlu a ochranou proti oslnění
 - Kvalitní stírací a ostřikovací systémy
 - Různé typy kamer a senzorů na vozidle umožňující kontrolovat kritická místa kolem automobilu
 - Světlomety a jejich adaptivní funkce v rozdílných režimech jízdy
- Ovladatelnost vozidla
 - Řízení a podvozek, zajišťující ovládání vozidla v jakékoli situaci
 - Brzdový systém s přídatnými prostředky proti zablokování kol při brzdění (ABS) a protiskluzovými asistenty (ASR, ESP)
 - Snadno dosažitelné, intuitivně umístěné a přehledné ovládací prvky vozidla
- Komfort obsluhy
 - Zajištění tepelné pohody posádky a optimálního proudění vzduchu v kabině
 - Dobré odpružení tlumící nepříjemné vibrace ze silnice
 - Odhlučnění interiéru zejména od motorového prostoru a od okolního hluku



1.1.2 Pasivní bezpečnost

Pasivní bezpečnost zmírňuje následky poranění při nehodě. Rozdělujeme ji:

1.1.2.1 Vnější bezpečnost

Provedení vnějšího designu vozidla takovým způsobem, aby při nastalé nehodě bylo zranění účastníků dopravy co nejmenší. Zejména sem patří:

- Zaoblení vnějších hran
- Nárazníky
- Deformační vlastnosti přední části vozu
- Absorbéry nárazové energie
- Ochranné systémy při srážce s chodcem

1.1.2.2 Vnitřní bezpečnost

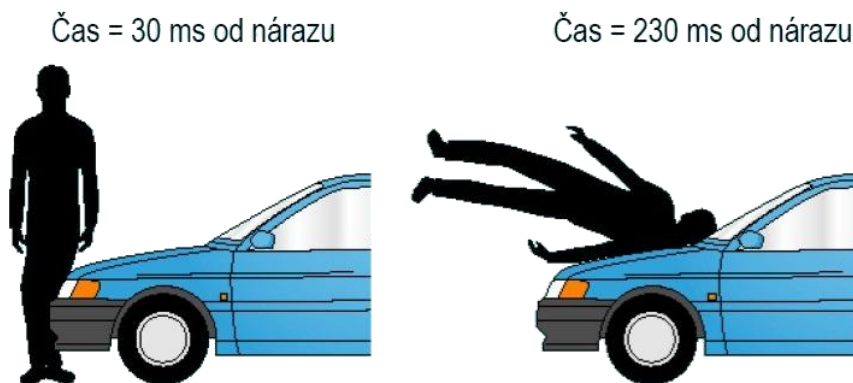
Zahrnuje opatření proti nebo ke zmenšení zranění posádky vozidla.

- Deformovatelná přední část vozu, ovšem se zamezením posunu motoru do vnitřního prostoru osádky
- Ochrana proti dalšímu nárazu
- Zachování prostoru pro přežití tvořeného vhodnou strukturou kostry automobilu s odpovídajícími materiály a tvary profilů
- Ochrana proti vymrštění osob tvořená zádržnými systémy s implementací přitahovačů bezpečnostních pásů a aktivními opěrkami hlavy
- Ochrana proti požáru

1.2 Srážka vozidla s chodcem

Jedny z nejnebezpečnějších druhů zranění vznikají při srážce vozidla s chodcem (obr. 1). Při podobných nehodách jde většinou o nerovný střet plechového vozidla s bezbranným člověkem. Právě v těchto případech je pak bezpodmínečně ohrožen život sraženého chodce. V relativně krátkém čase totiž dojde k velkým změnám zrychlení na částech lidského těla, které mohou způsobit vážná zranění. Mezi velmi náchylné části lidského těla na tyto změny zrychlení patří bezpochyby hlava člověka.

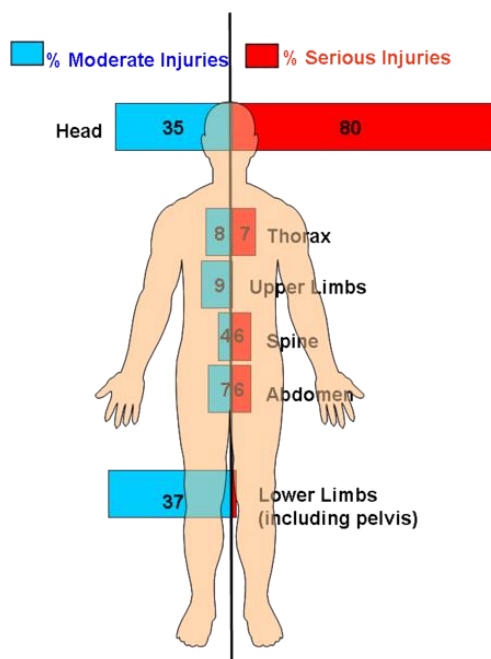
Při takových nehodách většinou podléhá chodec mnohočetným zraněním na mnoha místech. Poranění odpovídá průběhu srážky automobilu s člověkem. Z jeho pohybu je patrné, že v první fázi střetu se dostává do kontaktu noha s předním nárazníkem. Po překonání prvotního dotyku nastává strhnutí těla na kapotu vozidla. Zde je v největším ohrožení kontakt hlavy sraženého s ostatními díly karoserie. Podle výšky člověka a ostatních parametrů může dojít k nárazu hlavy na kapotu nebo dokonce až na přední sklo.



Obr. 1 Pohyb těla člověka při srážce s automobilem [1]

Z uvedeného průběhu pohybu těla při střetu je názorně vidět, že lehká poranění jsou tvořena z 37% zraněním dolní končetiny a z 35% zraněním hlavy. V případě vážných zranění se poranění týká v naprosté většině případů (80%) zraněním hlavy (obr. 2).

S těmito znalostmi lze jednoduše určit nebezpečná místa na automobilu, která velkou měrou ovlivňují velikost zranění při střetu s chodcem. Jsou to především místa předního nárazníku, kde dochází k již zmiňovanému prvnímu kontaktu s nohou, dále kapoty a předního skla při kontaktech s horní částí těla. Tyto díly dnešních automobilů mohou být velmi užitečnými deformačními členy, které velkou částí přispívají k pohlcování nárazové energie a mohou tímto i zásadně ovlivnit šance na přežití sraženého. Důmyslnou konstrukcí zmiňovaných dílů lze výrazně zmírnit následky podobných nehod.



Obr. 2 Zranění při srážce s chodcem [2]



Požadavky na automobily z hlediska ochrany chodců

Z hlediska nárazových zkoušek, které jsou na vozidlech prováděny k zjištění míry nebezpečí při střetu, můžeme sestavit požadavky na celkovou koncepci auta, která z velké části všeobecně ovlivňuje bezpečnost při střetu s chodcem.

Jsou to především:

- Při střetu s chodcem je postup kontaktu částí těla s autem převážně: Nohy – pánev – hrudník – hlava
- Doba kontaktu automobilu s tělem co nejdelší, pro dostatečně dlouhou dobu pohlcení energie
- Zajištění dopadu hlavy na dostatečně dlouhou kapotu, nikoli na A-sloupek nebo na přechod karoserie-sklo
- Zamezení odhození těla před automobil

Z toho plynoucí požadavky na celkovou koncepci:

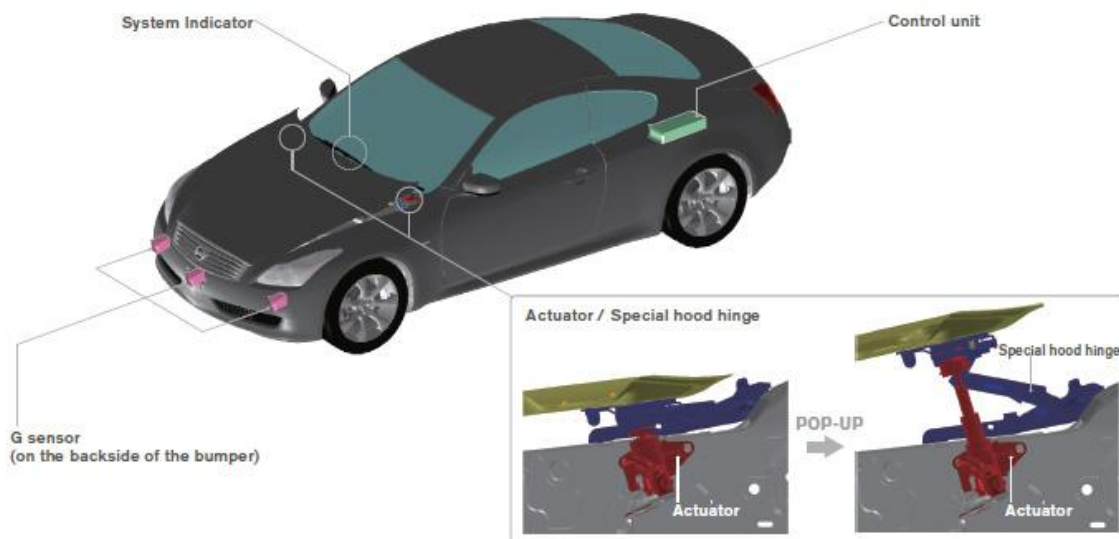
- Nárazník by měl být ve vhodně zvolené výšce
- Sklon kapoty je vhodný mírně zvyšující
- Minimalizace ostrých hran a přechodů na celé přední části
- Délku kapoty je nejvhodnější volit dostatečně dlouhou tak, aby zóna dopadu hlavy byla na kapotě automobilu
- Tuhosti míst v dopadových zónách je důležité volit tak, aby nepřekračovali biomechanické limity, ovšem s ohledem na to, aby naopak nedocházelo v důsledku nízké tuhosti ke kontaktu s okolními díly (například motorem)

1.3 Současné trendy v bezpečnosti chodců

Trendy bezpečnosti v odvětví automobilové techniky se postupem času neustále vyvíjejí a automobilky často přicházejí s novými nápady ke zlepšení a zvýšení ochrany. Do nových aut se instalují nejrozmanitější systémy prvků aktivní a pasivní bezpečnosti. Výrobci hledají nové směry, kterými se mohou v této oblasti výrazně posunout a které budou zároveň také ekonomicky únosné. Proto jsou vyhledávány prvky, které znamenají jen minimální finanční náklady navíc, jdou implementovat do stávajících konstrukcí, pokud možno snadno bez velkých konstrukčních úprav a s co největší účinností eliminace daného problému.

Aktivní kapota

Znamená prvek pasivní bezpečnosti, který vyniká pro svoji jednoduchost, relativně malou finanční náročnost a snadnou začlenitelnost do konstrukce automobilu. Nejčastěji je to konstrukce závěsu kapoty. Která je napojena na pyrotechnickou patronu řízenou senzory z předního nárazníku. Když dojde ke kontaktu předního nárazníku s chodcem, vydá senzor signál řídicí jednotce, která aktivuje patronu a tím nadzvedne kapotu v místech závěsů. V tuto chvíli získáváme navíc deformační prostor mezi kapotou a díly motorového prostoru, který je velmi užitečný pro pohlcení dopadové energie a zmenšení rizik poranění.



Obr. 3 Systém aktivní kapoty [3]

Na obr. 4 je vidět průběh střetu zkušební figuríny s vozidlem Nissan vybaveným aktivní kapotou. Je zde názorně znatelné, jak už při prvním střetu s nohou figuríny je aktivován vystřelovací mechanismus. Při dopadu těla jsou již závěsy plně nadzvednuty a tím je už kapota připravena pohltit dopadovou energii.

Příkladem konstrukce mechanismu aktivní kapoty může být obr. 3. Je zde dobře patrné rozmístění snímačů v předním nárazníku a pozice aktuátorů vystřelovací kapoty. Obecně je možné vystřelovací mechanismus zkonstruovat mnoha způsoby, nejčastěji pracuje na pyrotechnickém, elektromechanickém, hydraulickém, mechanickém (akumulační element, např. pružina) nebo pneumatickém principu.

Celý proces aktivace kapoty do úplného nadzvednutí trvá velmi malou dobu (cca 86ms).



Obr. 4 Srážka chodce s aktivní kapotou [3]

Vnější airbagy pro chodce

Obecně můžeme říci, že potřebujeme na některých místech karoserie spojit dva protichůdné záměry. Jako příklad uvedu A-sloupek karoserie osobního automobilu. Hlavním účelem sloupku a jeho navazujících částí je velká role v torzní tuhosti celé karoserie. Tím podporuje tuhost karoserie nezbytnou pro pasivní bezpečnost, kde je nutné zajistit potřebný prostor pro přežití v případě střetu, například s jiným vozidlem. Opačným směrem ale můžeme A-sloupek klasifikovat za významně ovlivňující faktor při střetu s chodcem, kdy je velice reálný střet hlavy s tímto sloupkem. Z tohoto hlediska bychom potřebovali mít sloupek relativně poddajný tak, aby pokud možno výrazně nezhoršoval biomechanické limity pro

přežití. Shrneme-li tyto dva protichůdné požadavky, je jednou z nabízených možností použití nějakého přídavného prvku, který by svoji přítomností pomáhal plnit některý z výše uvedených požadavků. Na toto místo můžeme aplikovat například přídavný vzduchový vak (obr. 5), který výrazně snižuje nebezpečí vážného poranění hlavy při dopadu na A-sloupek a zároveň umožňuje ponechat sloupek dostatečně tuhý pro splnění celkové tuhosti karoserie.



Obr. 5 Airbag pro chodce implementovaný v aktivní kapotě [4]

Airbagy pro chodce je velice vhodné použít v interakci s aktivní kapotou. Touto kombinací umožníme schovat airbag pod kapotu. S nadzvednutím a současnou aktivací této ochrany chodců zvyšujeme bezpečnost použitím hned dvou systémů. V tomto případě airbagem chráníme hlavu zároveň před přechodem karoserie-sklo a před A-sloupkou vozidla. Příklad vnější airbagové můžeme vidět na obr. 6.



Obr. 6 Systémy airbagové ochrany [5]

Noční vidění

Pod tímto pojmem se skrývá systém, který plní funkci převážně preventivní. Skládá se hlavně z citlivé kamery umístěné v přední části vozu, která snímá prostor před automobilem (obr. 7). Obraz se promítá do prostoru řidiče (obr. 8), který na něm může vidět aktuální situaci před vozidlem. Tento systém se nejvíce uplatní při jízdě v noci, kdy nemáme čistý výhled. Například při míjení automobilů, kdy jsme dočasně oslněni světly protijedoucího vozidla, nebo při potkání chodců, kteří jsou laxní k vlastní bezpečnosti a mají na sobě tmavé oblečení, popřípadě nejsou mimo obec nijak osvětleni. Tento systém je rozezná a podá včasné varování řidiči, který má tak více času nenadálou situaci řešit. Toto řešení nabízí poměrně jednoduchým způsobem určité zvýšení bezpečnosti vůči chodcům v nepříznivých situacích.



Obr. 7 Princip činnosti kamery [6]



Obr. 8 Obraz zobrazovaný řidiči [7]

2 Spotřebitelský test Euro NCAP

Zdroj informací [8]

V současnosti, více než kdykoli předtím, platí pravidlo, že bezpečnost prodává automobily. Pro kupce nových vozidel je klíčovým prvkem správné rozhodování. Je velmi důležité, aby motoristé mohli dostávat spolehlivé a přesné srovnávací informace týkající se bezpečnosti jednotlivých modelů automobilů.

Podle zákona jsou všechny nové modely aut podrobovány povinným homologačním zkouškám tak, aby se mohly prodávat. Tyto právní předpisy stanovují minimální bezpečnostní hranici. Cílem Euro NCAP je povzbudit výrobce, aby překračovali tyto stanovená minima.

2.1 Druhy testů

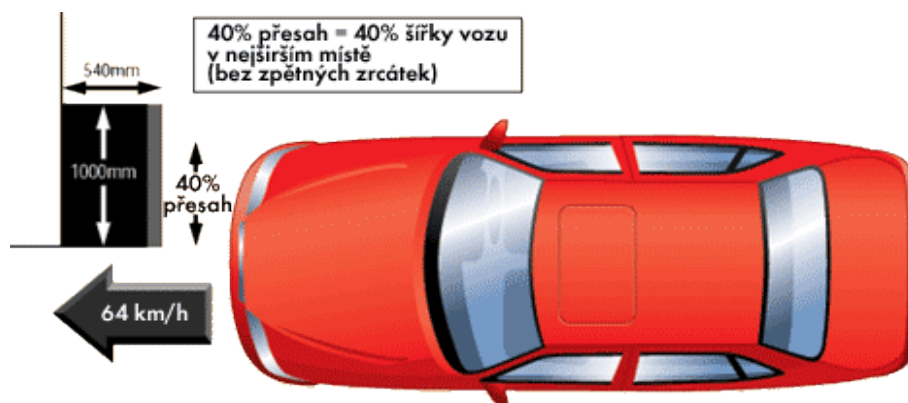
Nárazové zkoušky jsou členěny do těchto kategorií:

2.1.1 Čelní náraz

Tento typ nárazu simuluje nejčastější typ silniční havárie, která vede k vážným poraněním a zraněním. Zkouška simuluje náraz dvou protijedoucích automobilů do sebe s vzájemným přesazením. Bariéra je tvořena hliníkovými deformovatelnými vrstvami, které nahrazují před protijedoucího vozidla. Tato zkouška dokazuje schopnost výrobců automobilů vyvíjet karoserii tak, aby zajistili v první řadě prostor pro přežití posádky a zamezení vážných poranění.

Důležitým aspektem nárazu je předejít nebezpečnému kontaktu cestujících s díly vnitřního prostoru. V tomto testu je náležitě vyzkoušena činnost pasivní bezpečnosti, zejména pak systémů airbagové ochrany. Celá energie nárazu je na figurínu přenášena hlavně přes zádržný systém. To klade přísnější požadavky na použité bezpečnostní prvky, zejména například přitahovače pásů s omezovači zatížení, aktivní opěrky hlavy a již zmiňované airbagy, především pro zabránění nárazu hrudníku na volant.

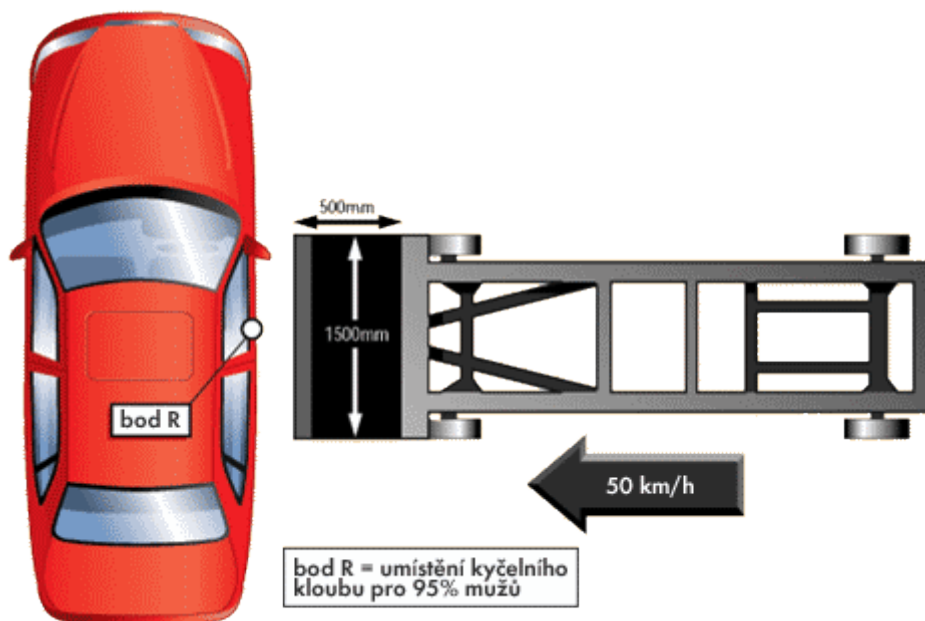
Automobil v této zkoušce (obr. 9) nárazí rychlostí 64 km/h do zkušební deformovatelné bariéry. Rychlost je zvýšena oproti zákonným předpisům o 8 km/h. Při tomto typu zkoušky je vozidlo vybaveno figurínami, na kterých jsou měřeny biomechanické limity.



Obr. 9 Čelní náraz dle Euro NCAP [9]

2.1.2 Boční náraz

Tento test (obr. 10) je prováděn nárazem zkušební vozíku s deformovatelnou bariérou rychlostí 50 km/h do stojícího automobilu. Střed vozíku je směřován do oblasti kyčelního kloubu zkušební figuríny. Míra ochrany při bočním nárazu se posuzuje na dané zkušební figuríně.



Obr. 10 Boční náraz dle Euro NCAP [9]

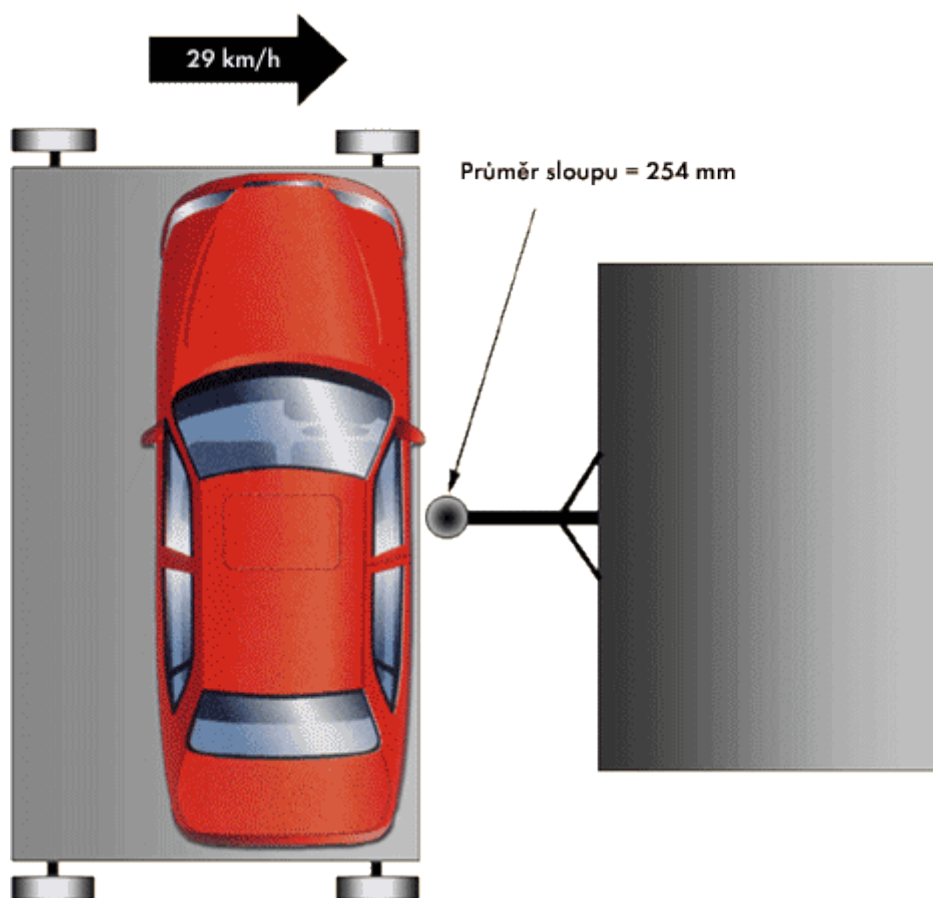
2.1.3 Náraz na sloup

V Evropských zemích se asi čtvrtina vážných zranění stane při nehodách s bočním nárazem na pevnou překážku. Nejčastěji je to střet se stromem nebo se sloupem. V této simulaci nehody se testuje ochrana cestujících při bočním nárazu, zejména pak funkce ochrany hlavy pomocí airbagů.

Při testu (obr. 11) je vůz na vozíku rychlostí 29 km/h nasměřován na pevný sloup. Sloup je poměrně malého průměru, proto dochází ke značnému proniknutí do vnitřního prostoru karoserie.

Při tomto nárazu bez hlavových airbagů je typická hodnota HIC (Head Injury Criterion) až 5000, což je až 5 krát více, než je normou povolená hranice. Při ochraně posádky bočními hlavovými airbagy je hodnota HIC snížena na cca 100 až 300, to je dostatečně nízko pod zákonnou normou. Z toho vyplývá, že hlavové airbagy při tomto typu havárie významnou měrou chrání život posádky.

V počátku byl tento nárazový test vyhodnocován jen na biomechanických limitech hlavy. Od roku 2009 jsou monitorovány i ostatní části lidského těla, které by mohli být ovlivněny, jako je hrud' nebo břicho.



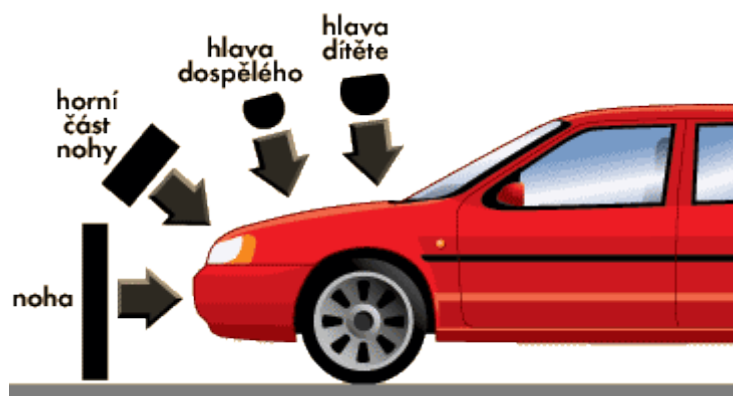
Obr. 11 Náraz na sloup dle Euro NCAP [9]

2.1.4 Střed auta s chodcem

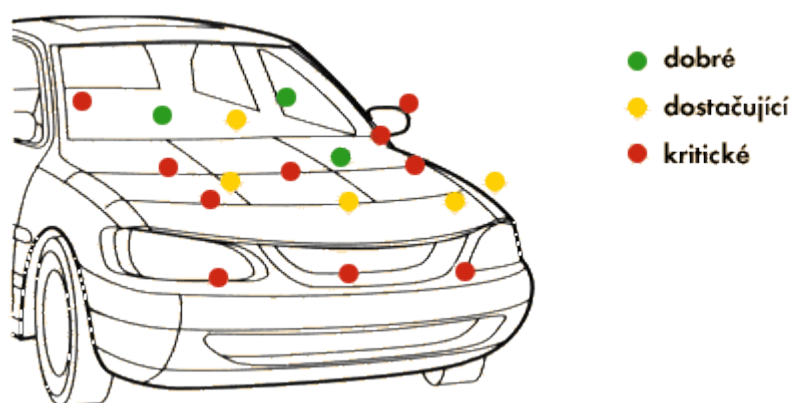
Tento nejzákladnější typ testu je prováděn z důvodu obrovského množství nehod automobilů s chodci. Replikuje náraz dětského a dospělého chodce do přední části vozu při rychlosti 40 km/h. Zkoušená místa jsou po testu označena třemi hodnotami - dobré, dostačující nebo kritické (obr. 13). Jako i u ostatních typů jsou tyto testy založeny na směrnicích EEVC.

Bylo by velmi obtížné hodnotit tuto ochranu s použitím jednotné figuríny. Ačkoliv by bylo možné určit bod dopadu impaktoru nohy, je nemožné poté ovládat, kam má hlava figuríny následně dopadnout. Z tohoto důvodu jsou používány jednotlivé komponenty náhrady lidského těla (obr. 12). Maketa nohy ohodnocuje ochranu při střetu s nárazníkem, maketa stehna hodnotí ochranu při kontaktu s přední referenční hranou kapoty a impaktory dětské a dospělé hlavy posuzují míru jejich vlastní ochrany.

Ochrana nohy může být zlepšena vhodnými nárazníky, které odstraní kontakt nárazníku přímo s kolenem, a umožní rozložit reakční síly do větší délky nohy. To může být docíleno například odstraněním nepotřebných tuhých struktur kontaktních částí. Pro zlepšení ochrany hlavy před tuhými místy horních částí automobilové kapoty je vhodné uzpůsobit strukturu vnitřních výztuh tak, aby se snížila lokální tuhost a tím se zmírnily rizika poranění hlavy.



Obr. 12 Střed auta s chodcem dle Euro NCAP [9]



Obr. 13 Označování výsledků střetu s chodcem [9]

2.2 Náraz impaktoru hlavy na kapotu

Výtah z normy Euro NCAP – testovací předpisy ochrany chodců [8] a [10]

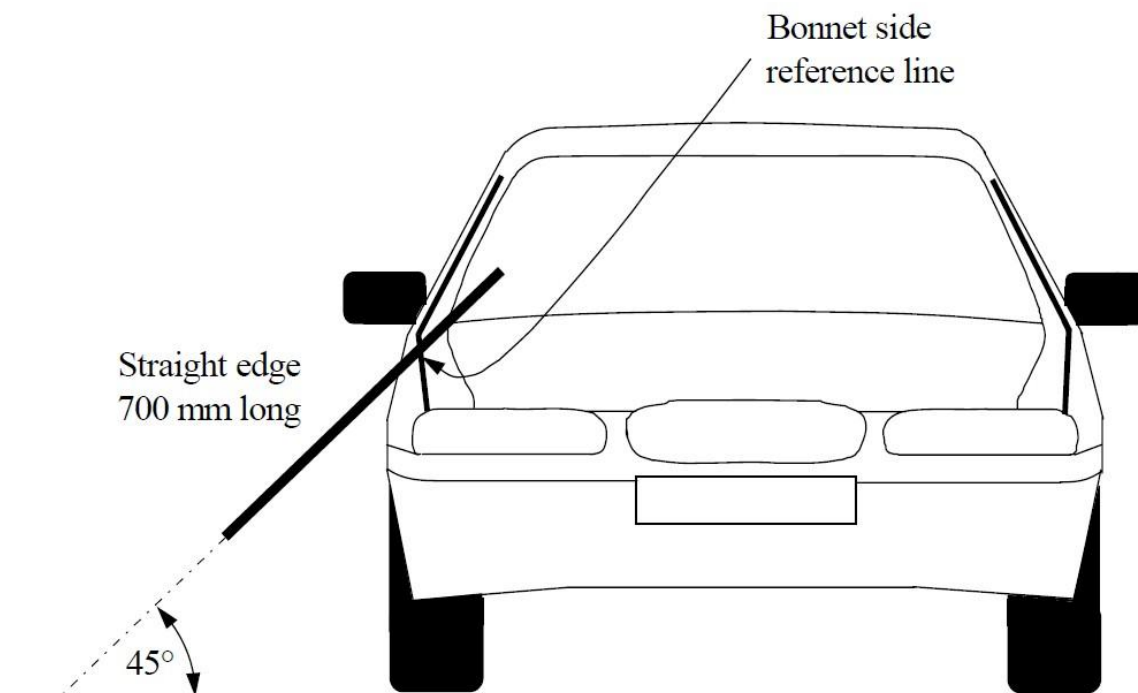
Oblastí zájmů mé diplomové práce je nárazový spotřebitelský test dle platných předpisů Evropské organizace Euro NCAP pro testování nových vozidel. Konkrétní oblastí diplomové práce je test střetu vozidla s chodcem. Pro úplnou představu a přiblížení problematiky je nutné seznámení se s předpisy. V následující části uvádím výtah z norem v takovém postupu, jaký je i při sestavování reálného testu.

2.2.1 Příprava zkušebního auta

Před samotným testováním je zapotřebí se ujistit, zda je vozidlo připraveno v klidu na rovné podložce. Zkoušky se provádějí při ustálené teplotě $20^{\circ} \pm 4^{\circ}\text{C}$. Provozní kapaliny musí být doplněny na stanovené množství. Pneumatiky se kontrolují na tlak předepsaný výrobcem pro poloviční zatížení. Na sedadlo řidiče a spolujezdce se umístí závaží, každé o hmotnosti 75 kg, které nahrazují tuto posádku. Přední kola musí být natočena v přímém směru jízdy.

2.2.2 Tvorba sítě dopadových bodů

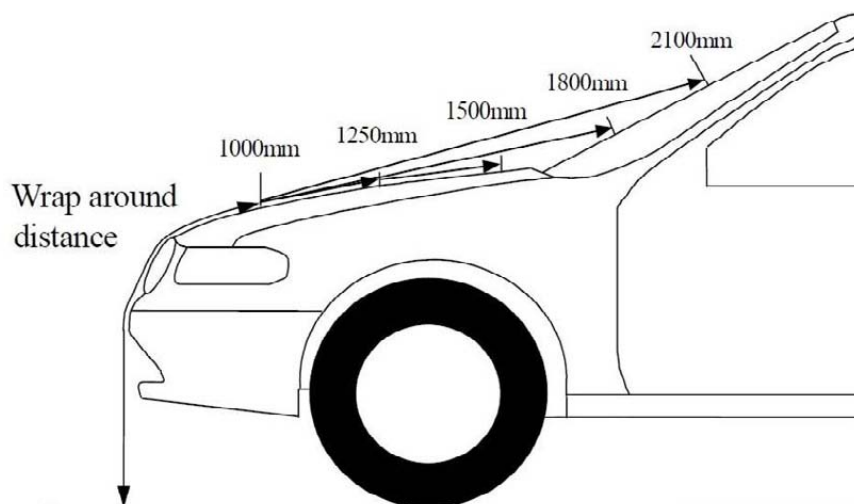
Pro tento test bezpečnosti nových vozidel je nutné specifickým způsobem vytyčit oblasti, které se budou dále dělit na menší zóny rozdělující dopadová místa pro dětskou a dospělé hlavu. V první řadě je nutné určit boční referenční hranu kapoty („Bonnet side reference line“). Vyměření se provádí pomocí 700 mm dlouhého pravítka, které přiložíme na boční hranu kapoty skloněné směrem k vozidlu o úhel 45° od vozovky. Pravítko se posunuje směrem k zadní části vozu od spodní hrany kapoty přes oblast A-sloupku karoserie, až do prvního kontaktu se střechou (viz obr. 14). Zopakujeme stejný postup i na opačné straně karoserie.



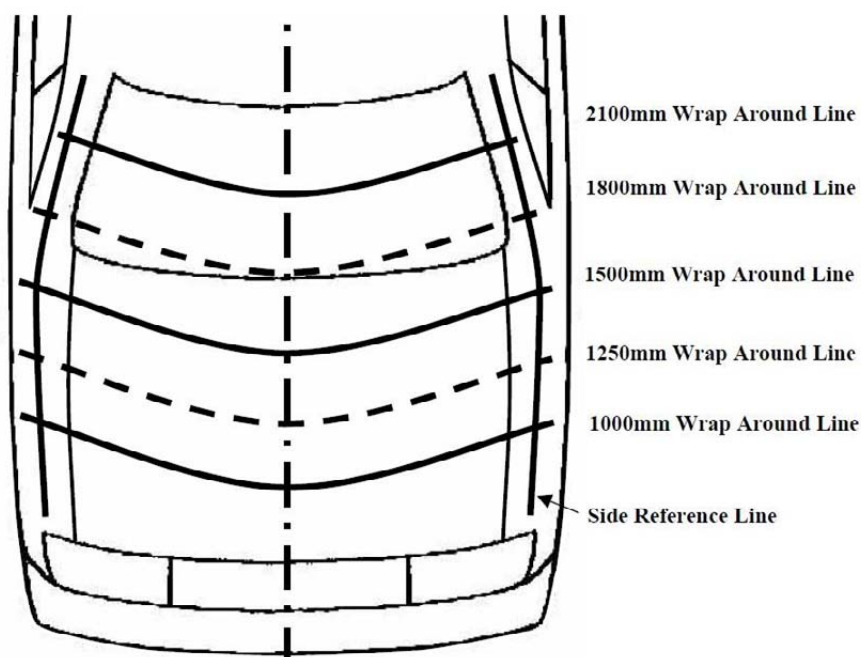
Obr. 14 Boční referenční hrana kapoty [8]

V druhé fázi přípravy sítě se vyměřuje pomocí pružného měřidla (např. pásmo) příčné dělicí hranice oblastí („Wrap around line“) ve směru podélné roviny vozidla. Počátek měřidla se dotýká plochy představující vozovku, dále je svisle vedeno k prvnímu kontaktu s přední částí, nejčastěji hraně nárazníku (viz obr. 15). Od tohoto kontaktu měřidlo kopíruje tvar karoserie, až do vzdálenosti 1000 mm (údaj na měřidle). Tento postup provedeme po celé šířce a získáme tak spodní referenční hranu dopadové sítě. Stejným postupem provedeme další odměření, tentokrát pro délku měřidla 1250, 1500, 1800 a 2100 mm. Získáme tímto rozdělení zóny na jednotlivé oblasti.

V úseku referenčních hran 1000 mm až 1500 mm je označována zóna pro dopad impaktoru dětské hlavy a v navazujícím úseku mezi hranami 1500 mm až 2100 mm je oblast pro dopad impaktoru dospělé hlavy (obr. 17).

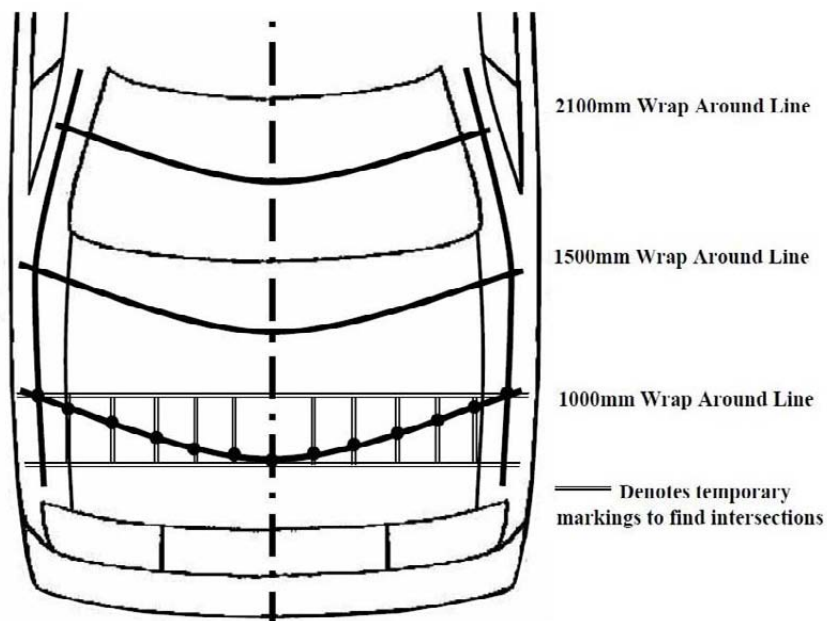


Obr. 15 Označení vrstev kapoty [8]

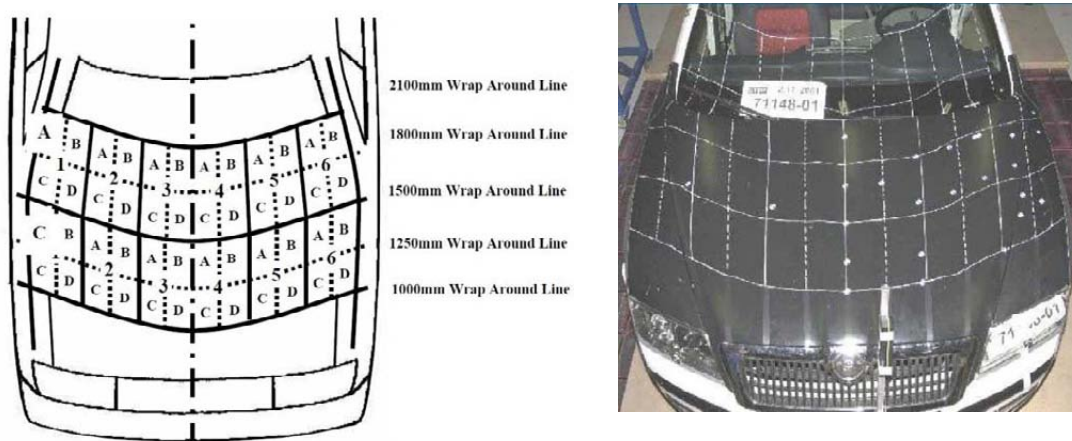


Obr. 16 Dopadové zóny pro dětský a dospělý impactor [8]

Po zaměření těchto referenčních hran nárazových oblastí je dále nutné tyto plochy rozdělit i ve směru podélné roviny vozidla. Rozdělení provádí zkušební inženýr (dle obr. 18) na šestiny. Každou z referenčních hran rozdělí tímto způsobem a body dělení podélně spojí. Zóny se označí číslicemi 1 až 6 zleva doprava a každá vzniklá očíslovaná plocha se rozdělí na čtvrtiny (obr. 19). Vznikne tak specifická síť dopadových oblastí rozdělující se na část dopadu pro dětskou maketu hlavy a na dopad makety hlavy dospělého člověka s přesným označením jednotlivých míst.



Obr. 17 Podélné dělení dopadových zón kapoty [8]



Obr. 18 Finální síť dopadových oblastí [8]

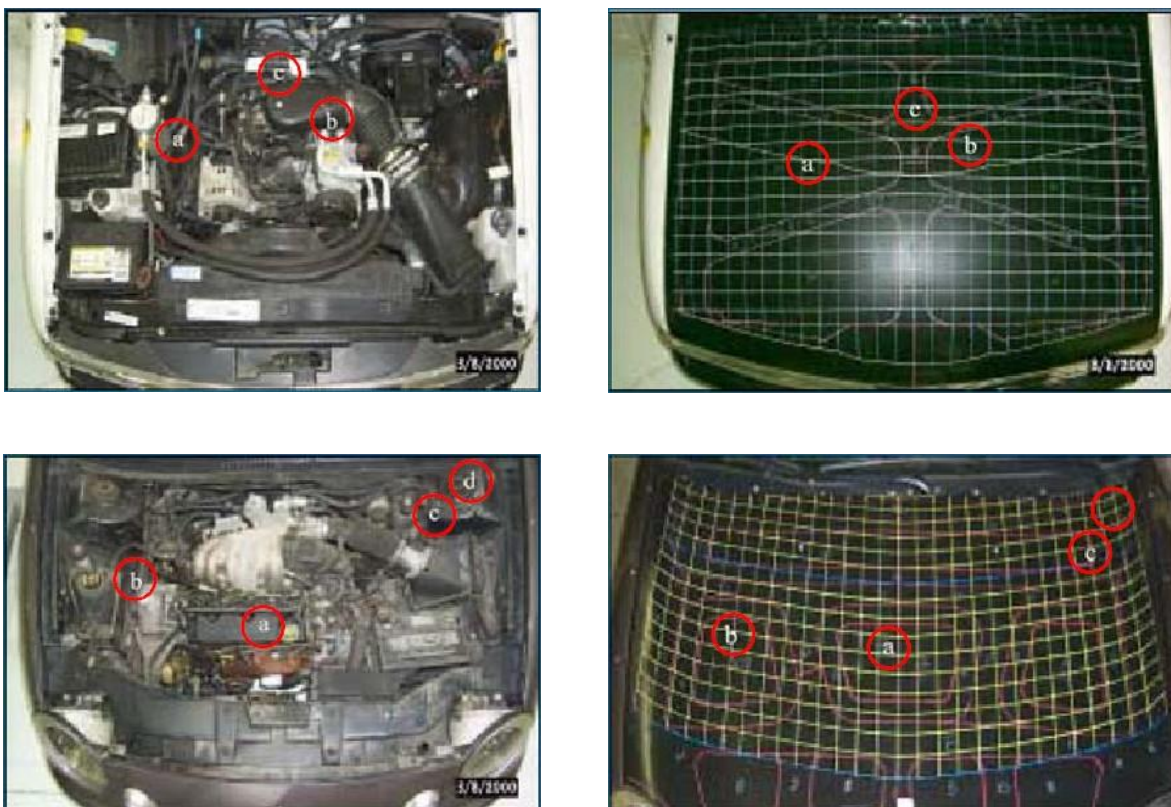
2.2.3 Nominace dopadových bodů

Další velice důležitou částí přípravy spotřebitelského testu je vlastní nominace dopadových bodů. Volba dopadových bodů není zcela náhodná, ale je předem pečlivě připravená a jsou vybírány převážně nejnebezpečnější body. Tyto nominace představují především místa, pod kterými se skrývají vyčnívající hrany a části motorového prostoru (obr. 19), místa viditelně vyztužená, nebo místa, kde zjevně hrozí nebezpečí větší míry poranění a tím i hodnotící parametr HIC (Head Injury Criterion) kritéria přesahující normou danou hranici 1000.

Tyto nominovaná místa se označí a následně je na těchto bodech prováděn vlastní testovací proces. Výběr dopadových oblastí není nijak striktně dán předpisy, vychází výhradně ze zkušeností zkušebních komisařů. Jediným určujícím parametrem nárazové zkoušky je počet testů. Je povoleno šest zkoušek, každá pro oblast dětské hlavy a pro oblast dospělé hlavy, celkem maximálně dvanáct.

Pravidla:

- Bod v oblasti pro náraz impaktorem dětské hlavy musí být minimálně vzdálený od boční referenční hrany 65 mm, zároveň žádný další bod nesmí ležet blíže než 130 mm a nesmí ležet ve stejné šestině
- Bod v oblasti pro náraz impaktorem dospělé hlavy musí být minimálně vzdálený od boční referenční hrany 82.5 mm, zároveň žádný další bod nesmí ležet blíže než 130 mm a nesmí ležet ve stejné šestině
-

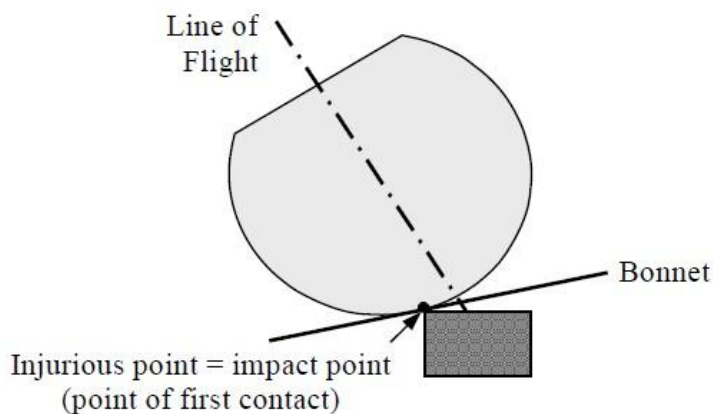


Obr. 19 Příklad nominace kritických míst [1]

2.2.4 Přesné určení prvního kontaktního bodu

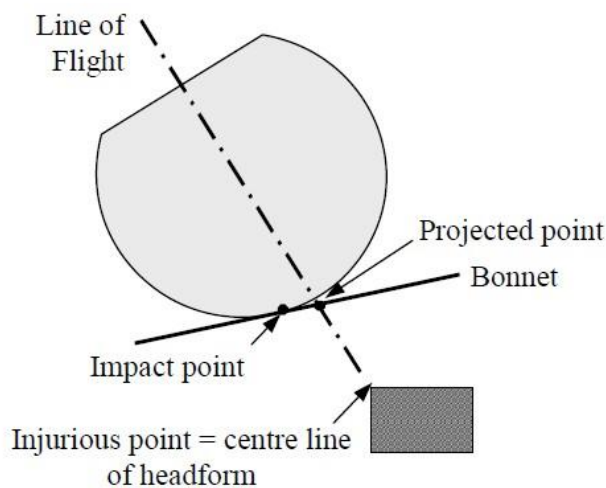
Při určení kontaktního bodu na nebezpečné místo je třeba brát na vědomí fakt, že bod prvního kontaktu zpravidla neleží v ose zmiňovaného impaktoru. Dle pravidel je určován první kontaktní bod následujícími způsoby

1. V případě, že testované nebezpečné místo leží přímo na kapotě nebo v její bezprostřední blízkosti, stanovuje se bod kontaktu impaktoru totožný s bodem potenciálního zranění (viz obr. 20)



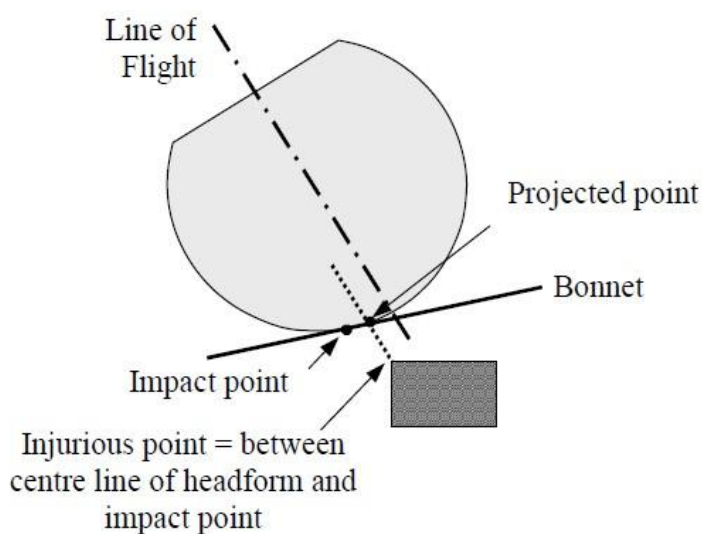
Obr. 20 Určení místa kontaktu – první případ [8]

2. V případě, že testované nebezpečné místo leží hluboko pod povrchem vnější plochy kapoty, stanovuje se bod kontaktu impaktoru totožný osou volného letu, která směřuje přímo na nebezpečné nominované místo (viz obr. 21)



Obr. 21 Určení místa kontaktu – druhý případ [8]

3. V případě, že testované nebezpečné místo leží mezi předchozími stavy, stanovuje se bod pro zjištění zranění ležící mezi osou letu a bodem prvního kontaktu (viz obr. 22)



Obr. 22 Určení místa kontaktu – třetí případ [8]

2.2.5 Vystřelovací zařízení

Vystřelovací zařízení je specifický mechanický systém sloužící k potřebám zkušebních středisek Euro NCAP. Tento panel zajišťuje prvotní impuls pro impaktory, udávající jim počáteční rychlost a směr na požadovaný dopadový bod při potřebném počátečním úhlu osy makety od roviny vozovky. Zařízení může být mechanické, hydraulické nebo pneumatické.



Obr. 23 Vystřelovací zařízení impaktoru [11]

Po vystřelení makety hlavy z odpalovacího zařízení je nutné udržovat nepřetržitý sběr dat z akcelerometru umístěného v místě těžiště nárazejícího impaktoru. Spojení zajišťuje svazek drátů (obr. 24). Po rozpohybování zkušebního tělesa na předepsanou rychlost směrem na dopadový bod je nutné, aby maketa prošla fází tzv. „volného letu“, kdy už není nadále urychlována odpalovacím zařízením a ještě nedošlo ke kontaktu s kapotou (obr. 24).



Obr. 24 Spojení a fáze volného letu impaktoru [1] a [8]

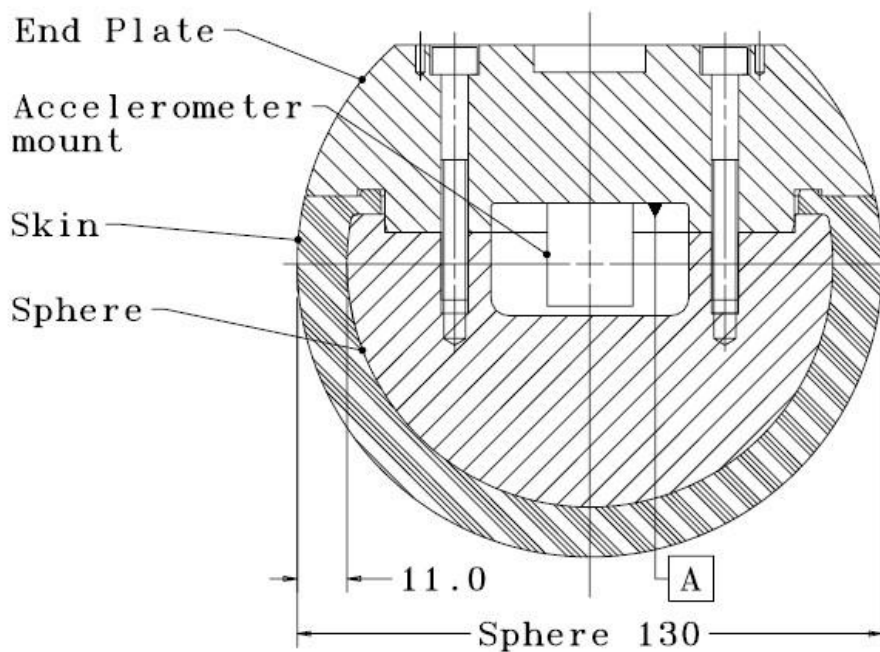
2.2.6 Typy impaktorů hlavy

V současné době pro potřeby testů Euro NCAP se používají dva typy modelů. Impaktory dětské a dospělé hlavy člověka. Oba tyto modely jsou podobné konstrukce. Jde o kulovité těleso složené z vnitřního jádra vyrobeného z hliníku, pokryté vinylovou kůží a z vrchu zakryto hliníkovým krytem. Uvnitř je pro potřeby snímání celkového zrychlení těžiště umístěn jeden tříosý akcelerometr, popřípadě tři jednoosé akcelerometry.

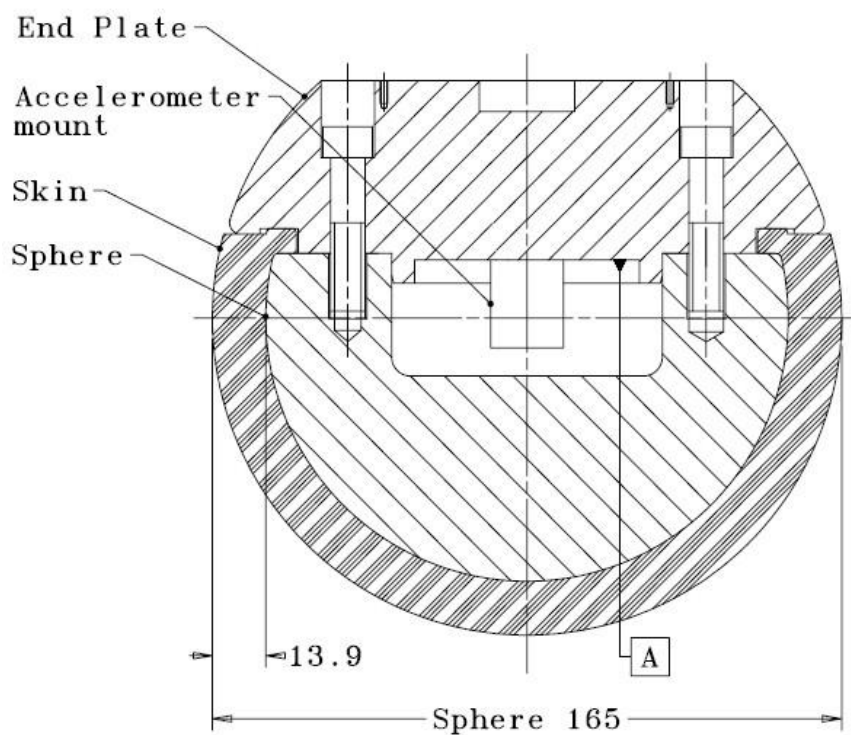
Tyto impaktory se od sebe liší především hmotnostmi a rozměry. Přesné rozdíly jsou ve fyzikálních vlastnostech. (tab. 1)

Tab. 1 Specifikace jednotlivých impaktorů

	Impaktor dětské hlavy	Impaktor dospělé hlavy
Hmotnost [kg]	2.5±0.05	4.8±0.1
Průměr [mm]	130±1	165±1
Moment setrvačnosti [kg.m²]	0.0036±0.0003	0.0125±0.001
Tloušťka kůže [mm]	11±0.5	13.9±0.5
Dopadová energie [kJ]	154	295
Počáteční rychlost [m.s⁻¹]	11.1±0.2	11.1±0.2
Úhel [°]	50±2	65±2



Obr. 25 Rozměry pro impaktor dětské hlavy dle specifikace EEVC WG17 [12]



Obr. 26 Rozměry pro impaktor dospělé hlavy dle specifikace EEVC WG17 [12]

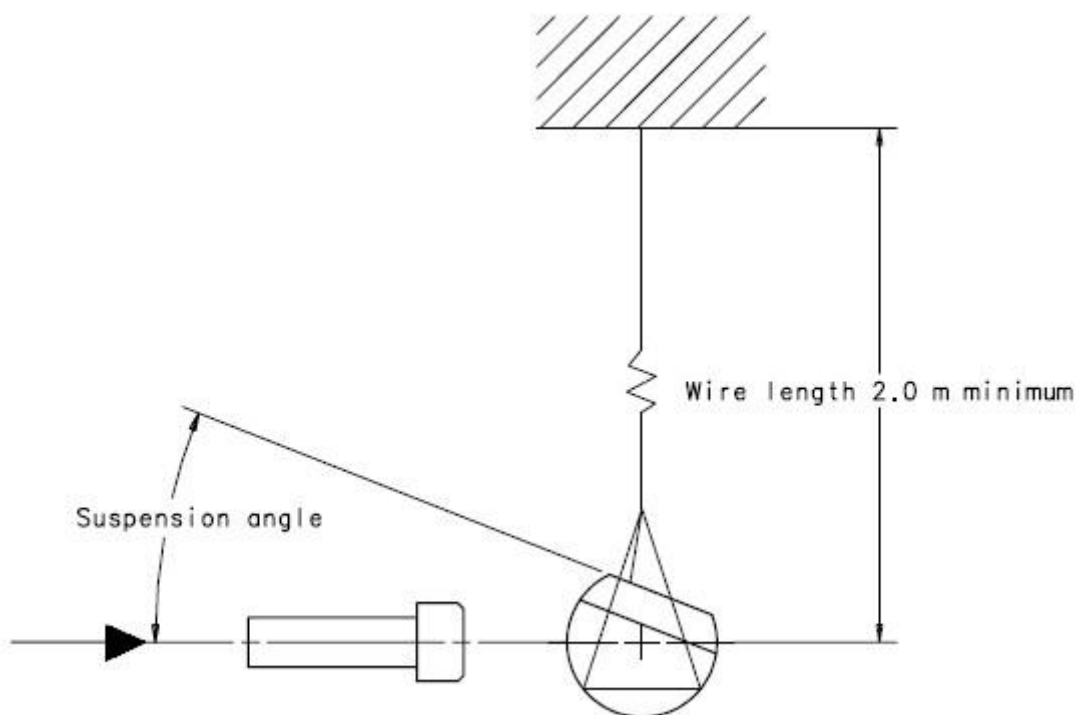
2.2.7 Certifikace makety hlavy

Tento dynamický certifikační test určuje, zda je příslušný impaktor hlavy v souladu s požadavky norem. Certifikace se provádí nárazem pomocí příslušného předepsaného certifikačního tělíska na hlavový impaktor. Maketa hlavy je zavěšena na závěsu dlouhém minimálně dva metry. Úhel natočení makety je v rozmezí 25° až 90° . Schéma certifikačního testu je zobrazeno na obr. 27.

Certifikační tělísko je vyrobeno z hliníku a jeho hmotnost je dle předpisů 1 ± 0.01 kg. Jeho čelní kontaktní plocha má průměr 70 ± 1 mm a vnější hrany musí být zaobleny na radius 5 ± 0.05 mm. Vnější plochy jsou obrobena na předepsanou drsnost povrchu. Počáteční rychlost tělíska je při nárazu na statický dětský impaktor stanovena na 7 ± 0.1 m.s⁻¹ a v případě impaktoru dospělé hlavy je rychlost 10 ± 0.1 m.s⁻¹. Osa zkušebního tělesa a zároveň osa letu prochází těžištěm testované makety s tolerancí 5 mm.

Vyhodnocením zkoušky (dle zdroje [12]) je celkové zrychlení v těžišti jednotlivých impaktorů. U dětské hlavy musí být celkové zrychlení v těžišti v rozmezí 405g – 495g (3973 – 4856) m.s⁻² a u dospělé hlavy 337.5g – 412.5g (3311 – 4047) m.s⁻².

Vlastní certifikace zkušebních těles by měla být dle [8] prováděna před každým testem nebo po maximálně dvaceti provedených testech. Certifikace by dále měla být provedena, pokud od poslední certifikace uplynul jeden rok, a to bez závislosti na počtu provedených testů. Maketa nesplňující tyto požadavky je zbavena certifikace zkušebního tělesa.



Obr. 27 Schéma certifikační zkoušky impaktoru [8]



2.2.8 Vyhodnocení

K vyhodnocování celkového biomechanického zatížení hlavy se používá funkce HIC (Head Injury Criterion). Pro oblast ochrany chodců je hraniční hodnota pro kritické poranění hlavy stanovena na 1000. V případě, že náraz impaktoru na některé dopadové místo vykáže průběh celkového zrychlení v těžišti takový, že po uplatnění funkce HIC bude výsledná hodnota větší než 1000, je tomto případě bod střetu označen oranžově (HIC 1000-1350) nebo červeně s přívlaskem „nevyhověl“ (HIC > 1350).

Vzorec pro HIC kritérium [12]:

$$HIC = \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a \cdot dt \right]^{2,5} \cdot (t_2 - t_1) \quad (1)$$

kde:

- | | | |
|-------|---|---|
| t_1 | - | Doba počátku intervalu pro vyhodnocování kritéria |
| t_2 | - | Doba konce intervalu pro vyhodnocování kritéria |
| a | - | Celkové zrychlení těžiště impaktoru |

Pro potřeby této diplomové práce zpracované v problematice ochrany chodců, konkrétně ochrany hlavy, je nutné postupovat dle postupu, který odpovídá procesu vyhodnocování při reálných zkouškách.

- Výsledný průběh celkového zrychlení se z výpočetního programu PamCrash zapisuje do souboru s příponou .THP
- Pro vykreslení průběhu zrychlení během nárazu musíme otevřít tento soubor v některém z postprocessorů
- Po načtení je nutné křivku filtrovat funkcí odezvy CFC 1000 jako je tomu i u reálných zkoušek
- Po filtraci křivky můžeme s respektováním příslušných jednotek použít implementovanou funkci HIC. Pro naše potřeby se používá HIC v intervalu 15 ms (HIC 15)

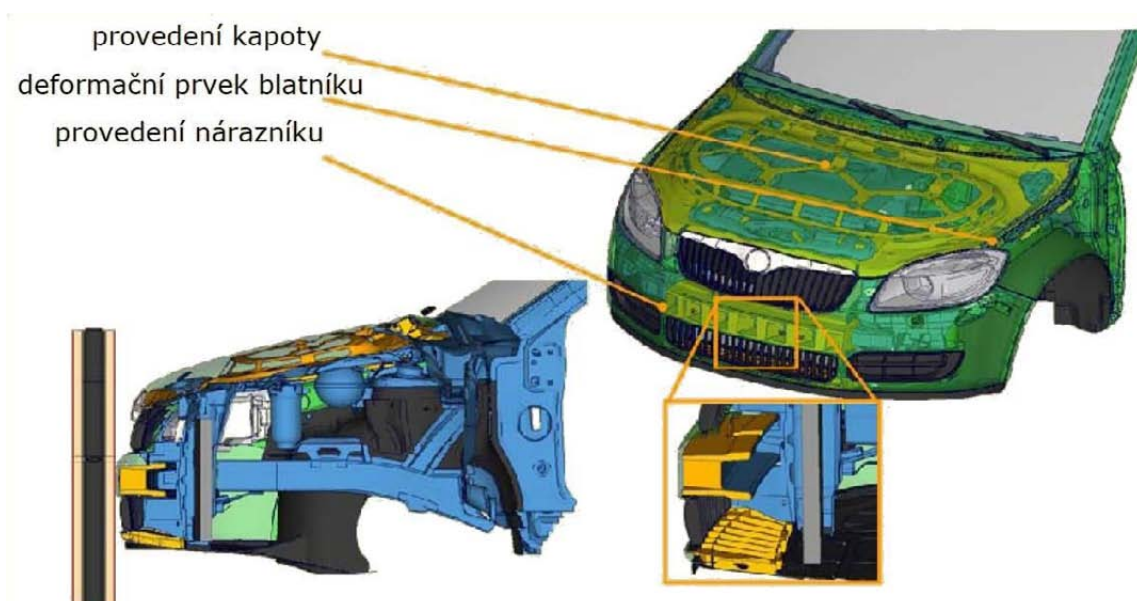
Po aplikaci funkce HIC na takto připravené průběhy zrychlení lze zjistit výsledné biomechanické zatížení v daném dopadovém bodě.

3 Obecné informace o řešení problematice

3.1 SK250 – Škoda Fabia II

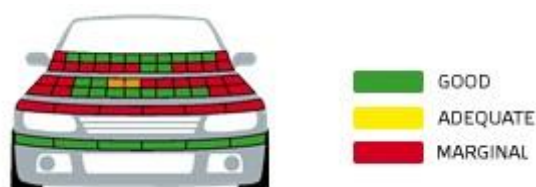
Škoda Fabia je vůz vyráběný firmou ŠKODA AUTO a.s. Druhá generace Škody Fabia byla oficiálně představena na ženevském autosalonu v březnu 2007. Tento model je až po A-sloupek karoserie shodný s vozem Roomster a je postaven na stejné platformě jako první generace.

V roce 2007 prošel vůz crash testem Euro NCAP se ziskem čtyř hvězdiček.



Obr. 28 Simulační model přední části vozu pro potřeby ochrany chodců [13]

Výsledky ochrany chodců dle Euro NCAP provedené na voze Škoda Fabia jsou uvedeny na obr. 29. Z výsledků spotřebitelského testu je zřejmé výborné plnění požadavků pro impaktor nohy. V místě kapoty vozu je vidět poněkud nevyrovnaných výsledků na přechodu kapota-sklo. To je všeobecně problematické místo, kde je nutné vyhovět zejména homologačním předpisům a poté v co nejlepší míře i předpisům zkoušek Euro NCAP. Případné nevyrovnané výsledky na ploše kapoty u některých vozidel mohou být zapříčiněny několika důvody. Jedním z nich může být nevhodné rozmístění dílů pod kapotou, volba nevhodných materiálů nebo i neoptimalizovanou strukturou vnitřního plechu kapoty.

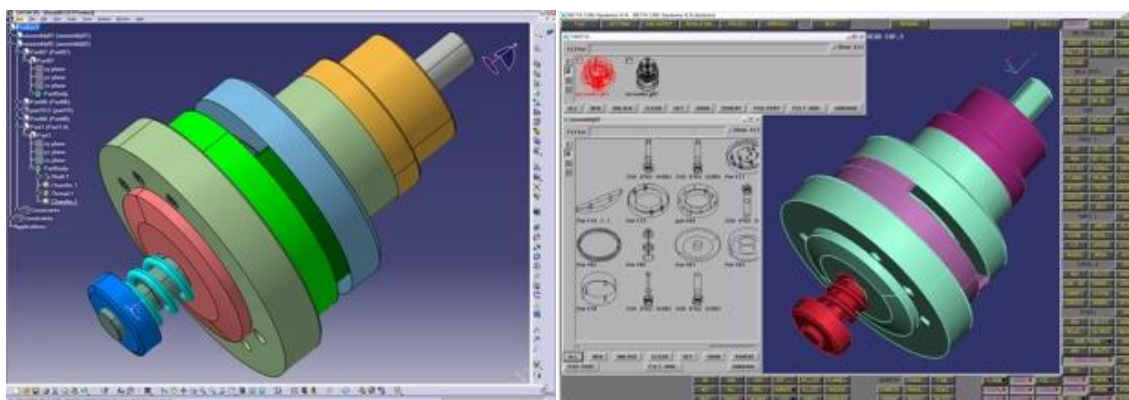


Obr. 29 Hodnocení SK250 v ochraně chodců dle Euro NCAP [8]

3.2 Počítačové simulace nárazových zkoušek pomocí MKP

V oblasti pasivní bezpečnosti se v dnešní době velice hojně používají počítačové simulace nárazových zkušebních testů. Automobilky mají vytvořeny podrobné simulační modely svých automobilů už od samotné CAD konstrukce. Konstrukční CAD modely slouží k vlastní optimalizaci dílů, podkladům k výrobě prototypů a ve finální fázi k samotné sériové výrobě. Zároveň s kompletací prvních modelů je také možné paralelně využívat CAD data také pro simulační procedury, které velice vysokou měrou šetří finanční prostředky automobilek. Například pro potřeby vývoje pasivní bezpečnosti si specializovaná pracoviště vývojového centra přebírají CAD modely a pomocí speciálních programů pro přípravu simulačních modelů si připravují vlastní výpočtové modely. Výpočty pomocí MKP simulací se rozdělují do několika základních oblastí.

Počáteční krok je ve vytvoření **CAD modelu** sestavy, která se poté převedou do **preprocessoru**, který slouží pro přípravu modelu pro daný typ úlohy, konkrétně pro daný výpočetní program (viz obr. 30). Někdy se může také stát, že MKP model předchází CAD modelu, protože pomocí sofistikovaných funkcí pro tvorbu geometrie lze modelovat součásti i v samotném preprocesoru (Ansa).



Obr. 30 Převod CAD modelu do preprocessoru Ansa [14]

V této fázi jde především o vytvoření odpovídající výpočtové sítě, která reprezentuje daný tvar součásti. Je zde prostor pro volbu velikostí elementů, které pak ovlivňují výpočtový čas a chování modelu. Při síťování se musí dodržovat přesné postupy, které vznikají z předešlých zkušeností, a každá firma si vytváří nebo dodržuje pravidla pro tuto operaci. Další důležitou funkcí preprocessorů je sestavení samotného výpočtu. Obsahuje všechny přípravné funkce pro konkrétní výpočetní program. Definiuje síly, vazby, kontakty, počáteční zrychlení, gravitaci, atd. Takto podrobně připravený model se exportuje pomocí textově čitelného souboru pro daný program.

Další fází je samotný výpočet pomocí **solveru**. V této části dojde k načtení vstupního souboru do programu a pomocí matematicky popsaných operací dochází k sestavení rovnic, které se výpočetně řeší daným programem. V oblasti rychlých dějů se používá pro výpočet explicitních metod. Tyto metody jsou konvergentně nepodmíněné. To znamená, že výsledek nemusí konvergovat k dané hodnotě, ale je do následujícího kroku převzat. Ovšem je zde podmínka dodržení minimálního výpočtového kroku. Pokud by nebyl dodržen, docházelo by o odchýlení od správné hodnoty. Nevýhodou přesně daného výpočtového kroku v případě dlouhého simulačního děje je nárůst možné chyby. Výstupem ze solveru jsou soubory, které vyjadřují a popisují samotný výpočtový děj.

Poslední částí MKP simulace je nasazení **postprocessoru**. Ten slouží pro konečné prohlížení simulovaného děje spolu s možností animace průběhů, vykreslování a zobrazování důležitých hodnot, jako jsou napětí, deformace, zrychlení, atd.



Obr. 31 Zdeformovaný tvar vozu při čelním nárazu dle předpisů Euro NCAP [8]



Obr. 32 Výpočtový model automobilu při simulaci čelního nárazu dle předpisů Euro NCAP [15]



Obr. 33 Zdeformovaný tvar vozu při bočním nárazu dle předpisů Euro NCAP [8]



Obr. 34 Výpočtový model automobilu při simulaci bočního nárazu dle předpisů Euro NCAP [15]

Na obr. 31 a 32 je porovnání reálné zkoušky a simulačního výpočtu při čelním nárazu a na obr. 33 a 34 bočního nárazu dle směrnic spotřebitelského testu Euro NCAP.

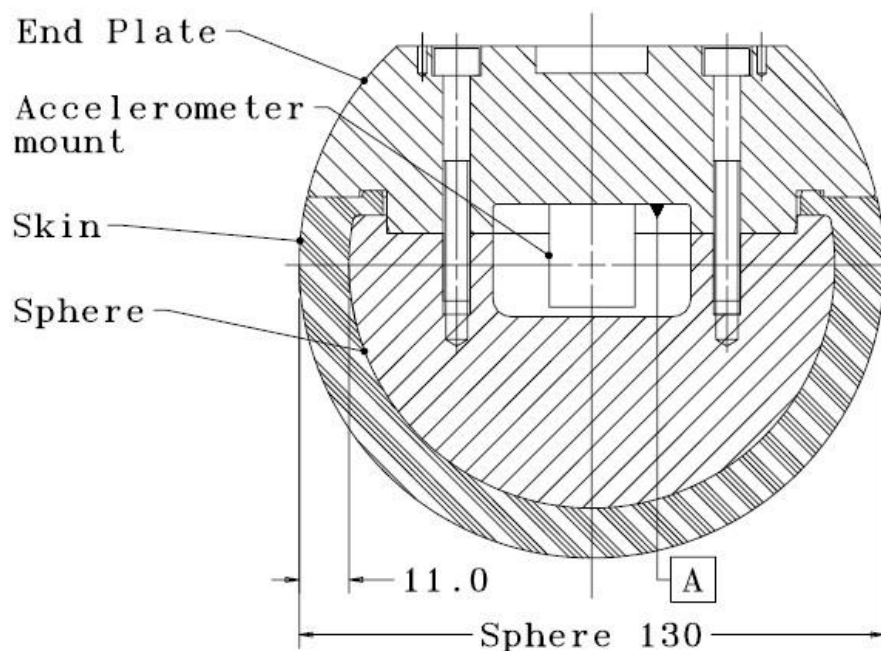
Můžeme si na těchto příkladech povšimnout podobnosti reálných zkoušek se zkouškami simulačními. Ovšem nic není dokonalé a ani tyto simulace na 100% neodpovídají realitě, protože nelze zatím podchytit veškeré fyzikální, mechanické a materiálové vlastnosti. U všech výpočtových simulací proto musíme brát zřetel na určitou toleranci výstupních výsledků. Zpřesnění a přiblížení k požadované limitní hranici lze dosáhnout třeba zpřísněním výpočetních požadavků a tím získat větší jistotu na celkové výsledky. Je nutné připomenout, že reálné zkoušky komponentů i celých částí je prozatím nutné doprovázet skutečnými zkouškami.

4 Vytvoření výpočtového modelu impaktoru hlavy

Jelikož se daná diplomová práce zabývá tématem nárazových zkoušek impaktorem dětské hlavy na kapotu osobního automobilu, je jedním z mých prvních úkolů vytvoření tohoto simulačního modelu hlavy, který se používá při spotřebitelských testech dle směrnic Euro NCAP.

4.1 Konstrukční požadavky na impaktor dětské hlavy

Tento druh impaktoru jsem obecně popisoval již výše. Pro připomenutí a zpřesnění přikládám popis z příslušných norem [12].



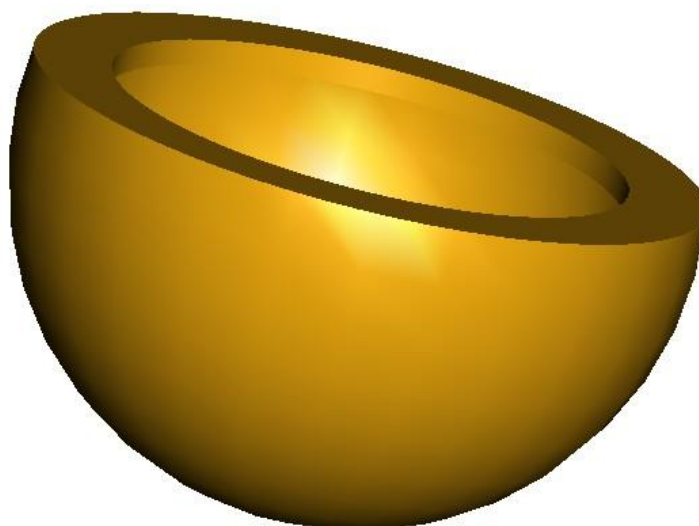
Obr. 35 Konstrukční uspořádání impaktoru dětské hlavy [12]

- Model je tvořen kulovitým tělesem o průměru 130 ± 1 mm
- Jeho celková hmotnost je stanovena na 2.5 ± 0.05 kg
- Vnitřní část a horní kryt je vyroben z hliníku
- Těleso je na povrchu dle obr. 35 pokryto vinylovou kůží tlustou 11 ± 0.5 mm
- Celkové těžiště leží s přesností 5 mm v geometrickém středu kulového tělesa
- V těžišti je umístěn tříosý akcelerometr (případně tři jednoosé akcelerometry)
- Moment setrvačnosti v ose letu je 0.0036 ± 0.0003 kg.m²

4.2 Konstrukce 3D modelu

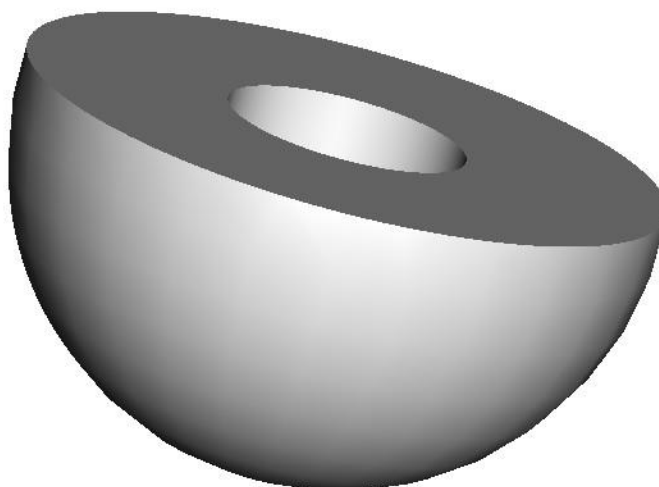
Dle výše uvedených konstrukčních požadavků na příslušný zkušební model hlavy jsem v CAD modeláři ProEngineer vytvořil jednotlivé 3-D díly.

V první fázi jsem vymodeloval díl kůže o tloušťce 11 mm a o průměru 130 mm (obr. 36). V horní části dílu kůže je vytvořen zámek, který fixuje kůži na hliníkovém jádře.



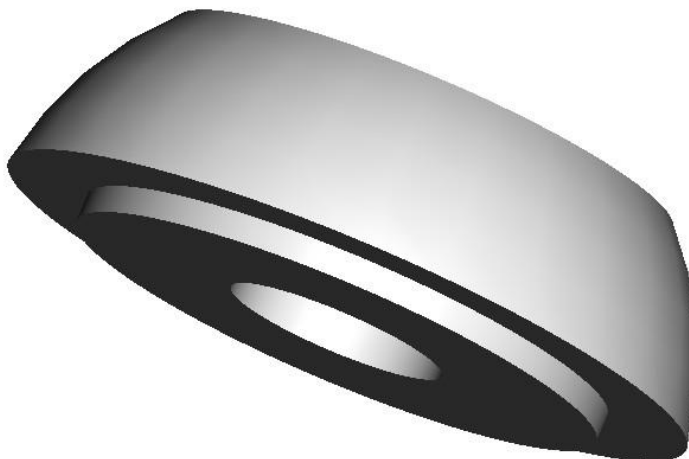
Obr. 36 CAD model vinylové kůže

Jako další jsem vytvořil model vnitřního jádra (obr. 37). Díl je vytvořený dle rozměrů specifikace s vybráním pro snímač zrychlení. Přiřadil jsem tomuto dílu materiál hliník.



Obr. 37 CAD model vnitřního jádra

Vnitřní jádro potažené vinylovou kůží je uzavřeno vrchním hliníkovým krytem (obr. 38). Na přiléhající ploše krytu je odsazení, které slouží ke spojení s vnitřním jádrem a vybrání pro umístění akcelerometru (obr. 39).



Obr. 38 CAD model krytu jádra

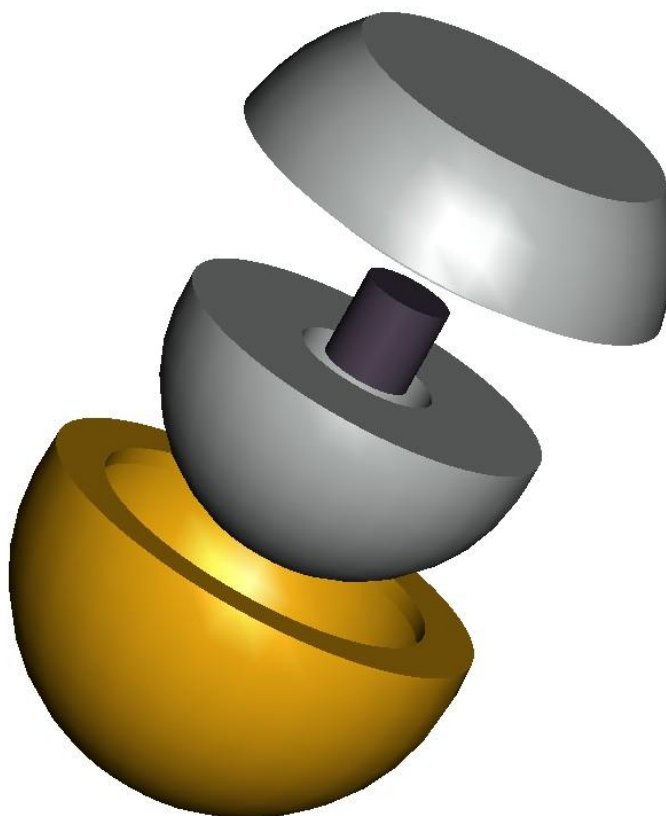


Obr. 39 CAD model snímače zrychlení

Model impaktoru je zjednodušený. Jsou zde vynechány šrouby sloužící pro spojení vnitřního jádra a horního krytu. Toto spojení zajistím v přípravě pro výpočet jinými dostupnými prostředky.

Jednotlivým dílům jsem přiřadil odpovídající materiály ze získaných materiálových dat firmy Škoda Auto. Blíže se k těmto materiálům vrátím při přípravě výpočtového modelu.

V programu ProEngineer lze funkcemi pro analýzu hmotnostních vlastností také zkontrolovat, zda daný konstrukční prvek odpovídá stanoveným požadavkům. Za základní považuji hmotnost a moment setrvačnosti. Tyto údaje mohou být ještě změněny v přípravě modelu v preprocessoru Ansa. Pro předběžnou kontrolu údajů s možností snadné geometrické změny přímo v CAD modeláři bylo vhodné provést kontrolu již v této fázi (viz tab. 2).



Obr. 40 Rozložená sestava CAD modelu dětského impaktoru

Tab. 2 Analýza současného modelu

	Požadavek	Současný stav
Odchylka těžiště [mm]	±5	0.3
Hmotnost [kg]	2.5±0.05	2.45
Moment setrvačnosti [kg.m²]	0.0036±0.0003	0.0037

Dle provedené analýzy návrhu impaktoru vyplývá, že současný stav odpovídá požadavkům na uvedené zkušební těleso. Požadované sledované hodnoty leží v tolerančním poli normy EEVC WG17.

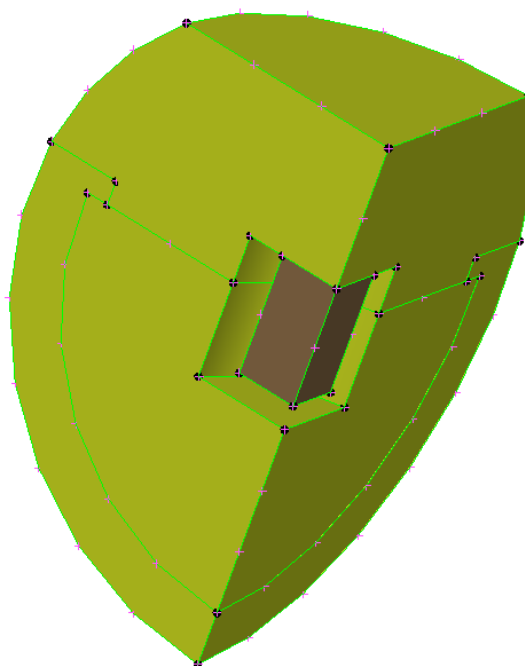
Takto připravenou sestavu exportuji jako formát „vda“.

4.3 Tvorba výpočtového modelu

Všechny potřebné přípravy nutné pro spuštění výpočtu v solveru PamCrash jsou provedeny v preprocesoru Ansa. Při importu dat do programu se nejvíce osvědčil formát „vda“. Mnou vytvořený 3-D model impaktoru jsem před uložením do tohoto formátu ořezal a ponechal pouze čtvrtinu. Touto operací se docílí jednodušší vytvoření sítě.

4.3.1 Výpočtová síť

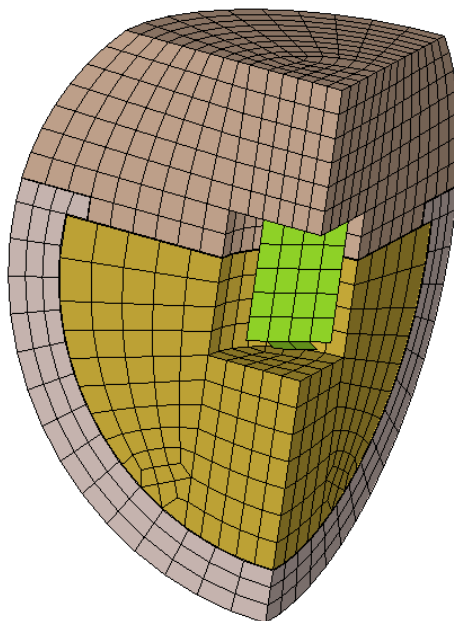
Pro načtení do Ansy importuji „vda“ formát uloženého modelu. Po převodu dat je vidět daná sestava, která je tvořena pouze z ploch (viz obr. 41)



Obr. 41 Importovaná geometrie ve formě ploch v preprocesoru Ansa

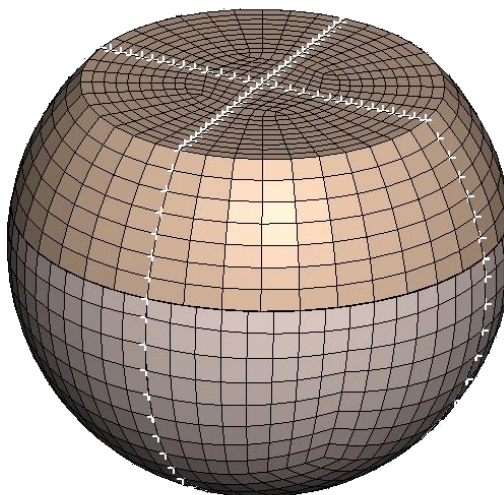
V první fázi je potřeba jednotlivé části (jádro, kůže, snímač zrychlení a vrchní deska) oddělit a uložit je samostatně. Po tomto kroku následuje spojení do společné sestavy pomocí příkazu „merge“. Tím vzniknou jednotlivé součásti s vlastními kartami vlastností (PID). Nyní nastává fáze vytvoření sítě (meshování). Výpočtová síť pro snímač zrychlení je tvořena plošnými elementy „shell“ a u ostatních dílů impaktoru jsou naopak použity objemové prvky „solid“. Ansa je velmi kvalitní nástroj zejména pro síťování, proto je tato přípravná fáze výpočtové sítě modelu poměrně snadná a rychlá.

Výpočtová síť na modelu impaktoru je tvořeno elementy o minimální délce hrany cca 5 mm (viz obr. 42).



Obr. 42 Výpočtová síť

Dokončená výpočtová síť čtvrtiny modelu je pomocí funkce „mirror“ zrcadlena až na kompletní těleso. Po aplikaci této procedury jsou na obr. 43 vidět hranice, které vznikly zrcadlením a na kterých jsou duplicitní uzly. Příkazem „APaste“ (automatické slepení) se duplicitní uzly v námi zadané vzdálenosti spojí.



Obr. 43 Použití funkce Auto Paste

Po předchozí kompletaci tělesa impaktoru je dokončena hlavní část přípravné části. Následuje příprava zkušebního tělesa přímo pro výpočet v daném výpočtovém programu. Znamená to přiřazení správných materiálových dat (MID), nadefinování kontaktů, definice gravitačního zrychlení a počáteční rychlosti.

4.3.2 Materiály

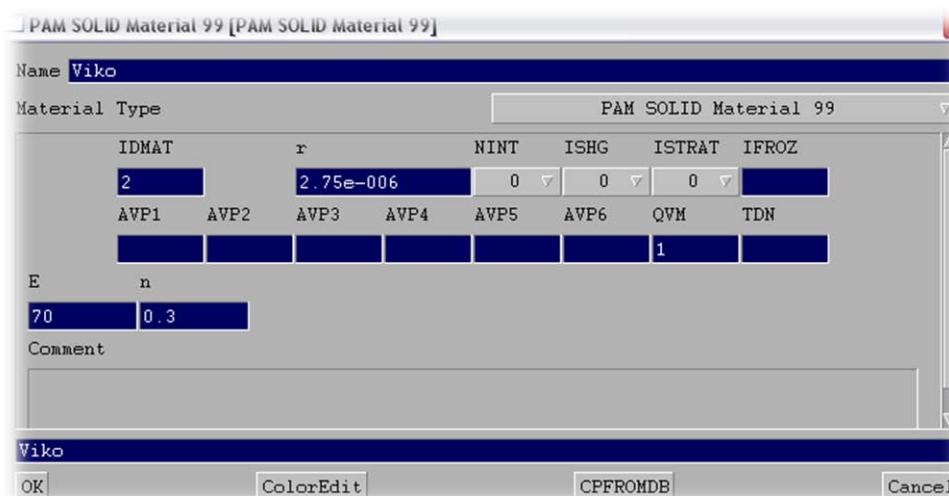
V příslušných normách pro dětský impaktor jsou uvedeny i požadavky na materiály jednotlivých dílů. Jako materiál vnitřního jádra a víka impaktoru je předepsán hliník. Snímač zrychlení je z plastu a pro kůži je v reálných modelech použit vinyl. Dané materiály je nutné ve výpočtových modelech správně nadefinovat. Materiálová data hliníku jsou poměrně snadno dostupná a hodnoty pro plast také. Naopak najít odpovídající materiálové charakteristiky vinylové kůže je problematické. Bylo proto nutné vycházet ze získaných dat od zadavatele.

Pro přiřazení materiálových dat pro jednotlivé díly slouží v programu Ansa tzv. materiálové karty. Tyto karty se mohou lišit z mnoha důvodů. Zprv je nutné rozlišit, zda se jedná o díl tvořený plošnými (shell) nebo objemovými (solid) elementy. Existují i řada dalších typů elementů, ale pro model impaktoru jsou použity pouze tyto dva. Dále je po vybrání typu příslušného elementu k dispozici celá skupina příslušných materiálových karet. Tyto karty se pak liší druhem použitého materiálu. Rozlišují se karty pro elasticko-plastické, visko-elastické, hyper-elastické, pěnové, atd.

V případě hliníkového dílu jádra a víka impaktoru je jako materiálová karta použita Pam Solid Material 99. Definují zde hlavně hustotu materiálu, modul pružnosti v tahu a Poissonovu konstantu (viz tab. 3).

Tab. 3 Materiálová data hliníku pro jádro a víko impaktoru

Materiál	Typ	Hustota ρ [kg/mm ³]	Modul pružnosti E [GPa]	Poissonova konstanta [-]
Hliníková slitina	Pam Solid 99	2.75 e-6	70	0.3

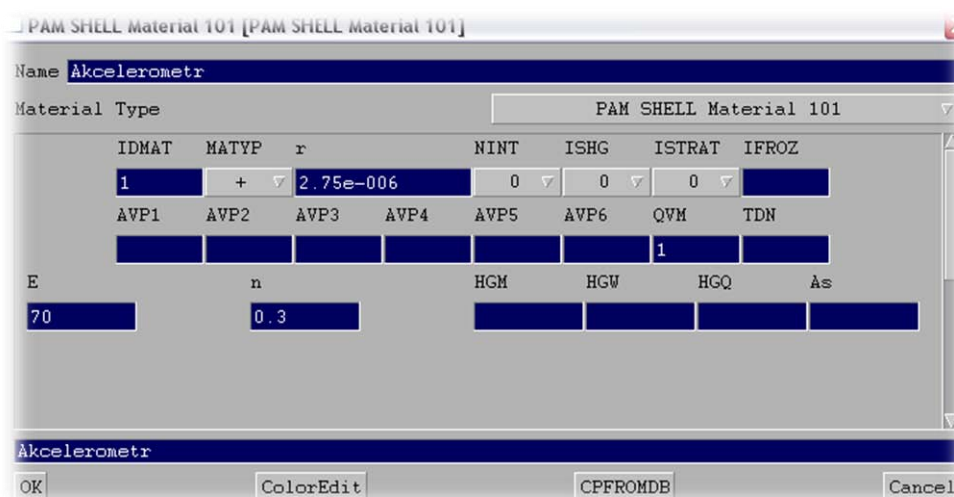


Obr. 44 Materiálová karta hliníkové slitiny jádra a víka impaktoru

Další dílem je snímač zrychlení. Jako reálná součást je vyrobena z plastu, ale po konzultaci s vedoucím a s přihlédnutím k celkové hmotnosti, jsem zvolil materiál hliníkové slitiny. Výpočtová síť je tvořena plošnými prvky (shell) s materiálovou kartou Pam Shell Material 101. (tab. 4)

Tab. 4 Materiálová data hliníku pro snímač zrychlení

Materiál	Typ	Hustota ρ [kg/mm ³]	Modul pružnosti E [GPa]	Poissonova konstanta [-]
Snímač zrychlení	Pam Shell 101	2.75 e-6	70	0.3

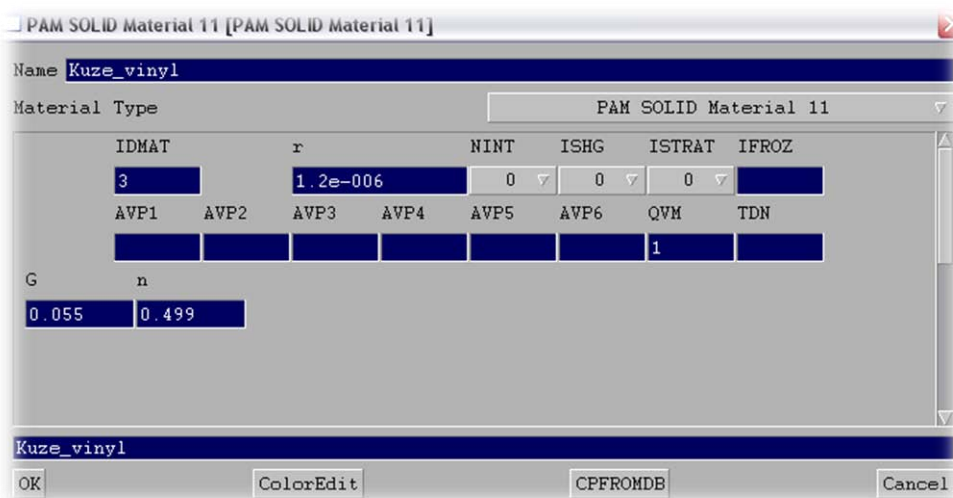


Obr. 45 Materiálová karta pro slitinu hliníku snímače zrychlení

Posledním a nejdůležitějším materiálem je kůže. V reálných modelech je použit vinyl. Protože kůže nejvíce ovlivňuje nárazové vlastnosti impaktoru, je nutné podrobně specifikovat její vlastnosti. Výpočtovou síť reprezentují objemové (solid) prvky a z důvodu specifických vlastností je zvolena karta Pam Solid Material 11.

Tab. 5 Materiál kůže impaktoru

Materiál	Typ	Hustota ρ [kg/mm ³]	Modul pružnosti G [GPa]	Poissonova konstanta [-]
Kůže	Pam Solid 11	1.2 e-6	0.055	0.499

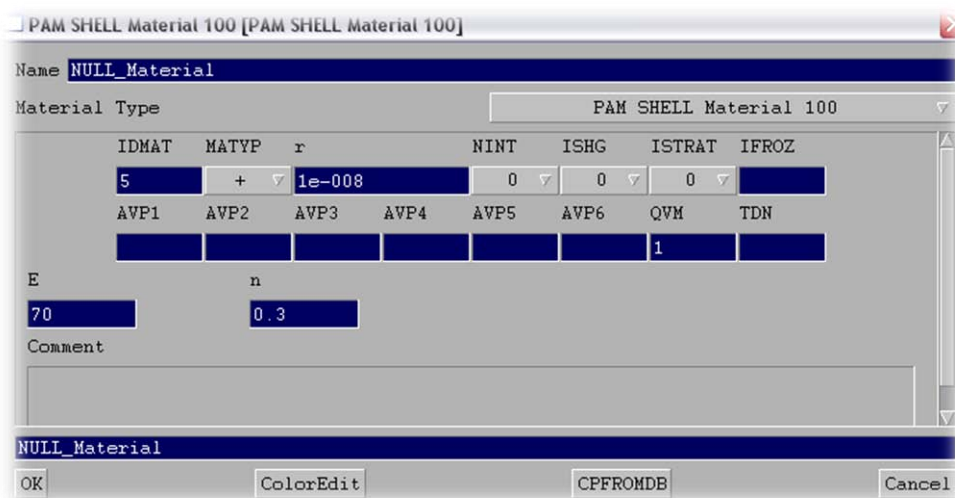


Obr. 46 Materiálová karta pro elastický materiál kůže impaktoru

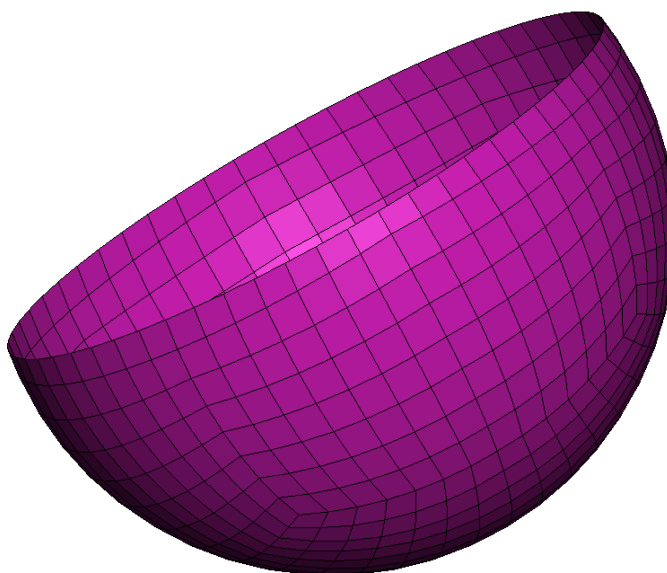
K zajištění kontaktu mezi shellovou plochou kapoty a solidovým objemem kůže je nutné vytvořit vnější shellovou plochu impaktoru (viz obr. 48). Ta zajistí, aby bylo možno vytvořit mezi těmito dvěma díly kontakt. Zavádí se proto tzv. nulový materiál, který nevnaší do modelu navíc žádné síly. Materiálová karta tohoto prvku se označuje Pam Shell Material 100. Tomuto výhradně pomocnému materiálu, který určuje počátek kontaktu a tím umožňuje stanovit správnou hodnotu HIC, definujeme zpravidla velmi malou hustotu (viz tab. 6).

Tab. 6 Nulový materiál vnější SHELL plochy

Materiál	Typ	Hustota ρ [kg/mm ³]	Modul pružnosti E [GPa]	Poissonova konstanta [-]
Nulový materiál	Pam Shell 100	1 e-8	70	0.3



Obr. 47 Materiálová karta nulového materiálu vnější shellové plochy



Obr. 48 Vnější shellová plocha kůže

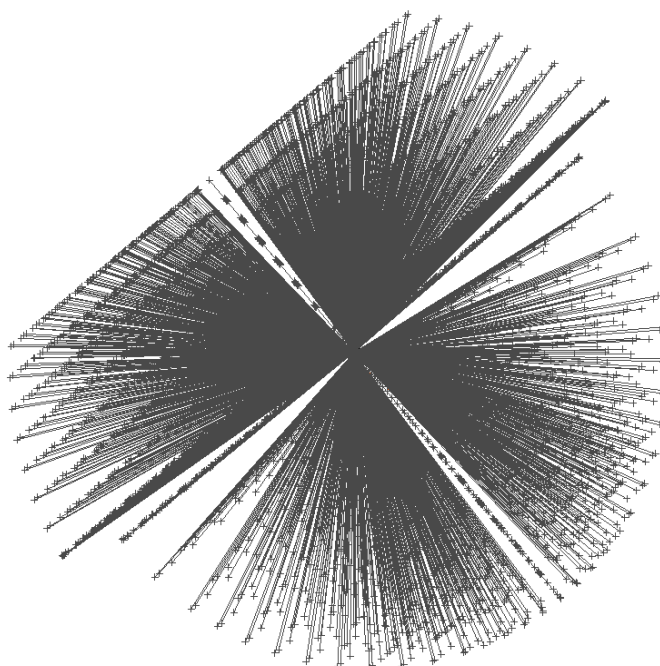
4.3.3 Definice tuhého tělesa – Rigid Body

Z hlediska použitelnosti impaktoru se některé jeho části definují s pomocí funkce RBody (Rigid Body – tuhé těleso). RBody je bráno jako těleso s nekonečně velkou tuhostí a vznikne svázáním příslušných uzlů výpočtové sítě modelu. Příslušnému tělesu určíme polohu těžiště, v kterém jsou popsány všechny jeho posuvy a rotace.

Jelikož jediným dílem, který přichází do kontaktu s částmi automobilu je vinylová kůže, proto se ostatní díly pro zjednodušení sváží zmiňovanou funkcí RBody a stane se z nich tzv. tuhé těleso s nekonečnou tuhostí (viz obr. 49).

Typy funkcí Rigid Body:

- **Rigid Body 0** – defaultní tuhé těleso, ve kterém je automaticky vypočítáváno těžiště a ostatní parametry svázaných uzlů
- **Rigid Body 1** – tuhé těleso nahrazující bodové svary s možností definice porušení
- **Rigid Body 2** – tuhé těleso nahrazující nýtové spoje
- **Rigid Body 3** – tuhé těleso, kterému můžeme zadat přesnou polohu těžiště, do něhož se pak vztahují další charakteristiky, jako je jeho hmotnost a momenty setrvačnosti



Obr. 49 Definice tuhého tělesa – RBody typu 3

Vybraným uzlům RBody typu 3 je třeba přiřadit potřebné vlastnosti. Jelikož RBody 3 plně nahrazuje tyto tělesa, je vhodné si nahrazované díly předem vybrat a analyzovat jejich hmotnost, polohu těžiště a momenty setrvačnosti. Získané hodnoty poté přesně definují specifické vlastnosti tuhého tělesa RBody. Po této úpravě získávám zjednodušenou náhradu příslušných dílů bez nutnosti zadávání kontaktů a dalších potřebných funkcí pro správnou interakci substituovaných těles.

4.3.4 Kontakty

Vybrané typy kontaktů:

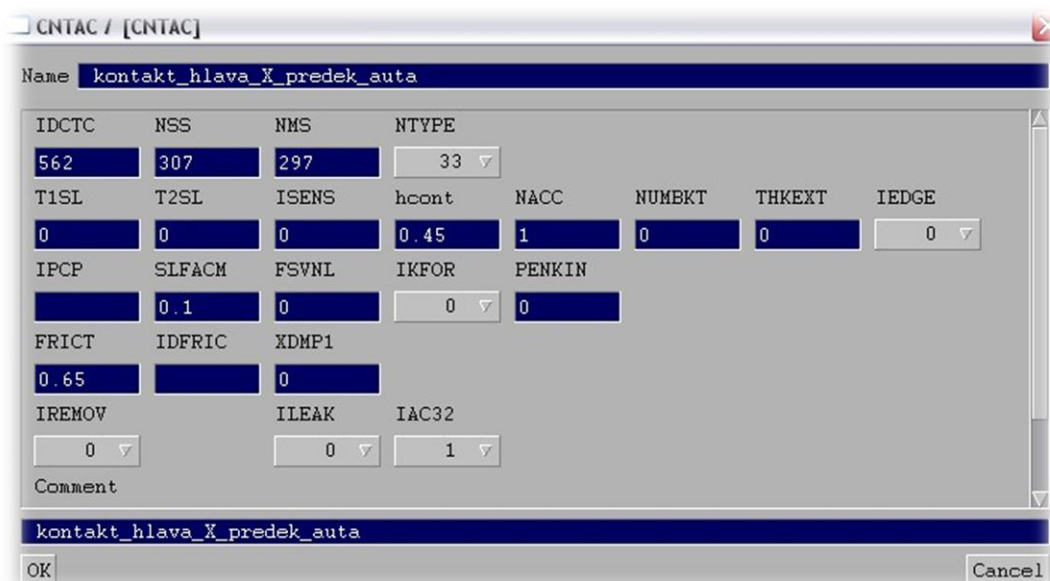
Kontakt 10 - vnitřní kontakt pro objemové prvky – slouží k zajištění ochrany proti vnitřnímu zborcení struktury objemu

- Kontakt 33 - definuje se na shellové plochy. Musíme určit Master a Slave plochu. Master plocha obecně označuje akční prvky kontaktu (shellová plocha impaktoru) a „klidová“ plocha se označuje Slave (kapota)
- Kontakt 36 - používá se jako „self-kontakt“ (nejnáročnější kontakt – kontrolují se vzájemně všechny vybrané uzly)

Jako první, a zároveň velmi důležitý, je kontakt mezi impaktorem a ostatními povrchovými díly přední části automobilu. Jak jsem již zmiňoval výše, je nutné vytvořit vnější shellovou plochu kůže, to především z důvodu možnosti nadefinování příslušného kontaktu typu shell – shell.

Prvním krokem vytvoření kontaktu je výběr elementů, například vnější shellové plochy impaktoru a vytvoření setu (skupiny elementů). Dále je nutné vybrat elementy druhých dílů, s kterými předpokládáme, že se impaktor bude střetávat. Výběrem těchto prvků a vytvořením dalšího setu dokončíme přípravu pro vytvoření kontaktu.

Vytvoříme nový kontakt a zároveň zvolíme, jaký typ požadujeme. V tomto případě se jedná o typ 33 (viz obr. 50).



The screenshot shows a dialog box titled 'CNTAC / [CNTAC]' with a close button in the top right corner. The 'Name' field contains 'kontakt_hlava_X_predek_auta'. Below the name field is a grid of input fields for various parameters:

IDCTC	NSS	NMS	NTYPE				
562	307	297	33				
T1SL	T2SL	ISENS	hcont	NACC	NUMBKT	THKEXT	IEDGE
0	0	0	0.45	1	0	0	0
IPCP	SIFACH	FSVNL	IKFOR	PENKIN			
	0.1	0	0	0			
FRICT	IDFRIC	XDMP1					
0.65		0					
IREMOVE		ILEAK	IAC32				
0		0	1				
Comment							
kontakt_hlava_X_predek_auta							
OK							
Cancel							

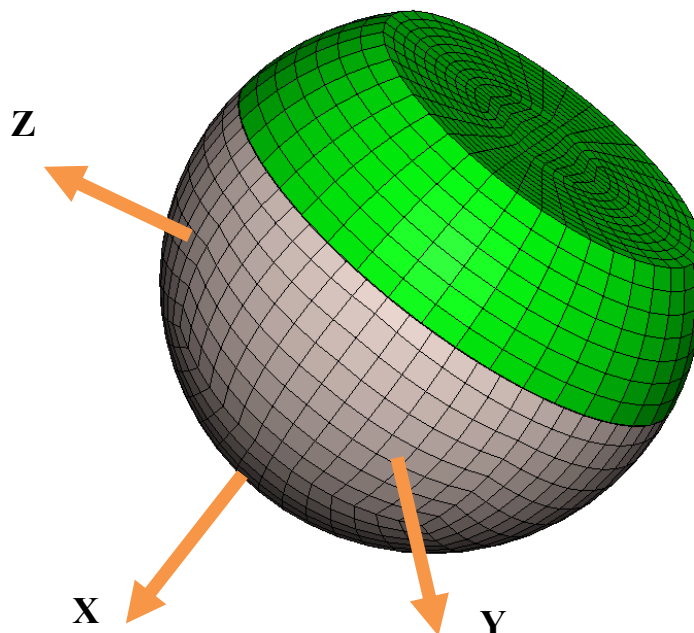
Obr. 50 Karta kontaktu impaktor vs. přední část vozu

Do karty kontaktu se vybere „master“ set (vnější shellová plocha impaktoru) a „slave“ set (elementy kapoty a přiléhajících dílů). Poté je ještě nutné vyplnit kontaktní tloušťku (vzdálenost, od které kontakt aktivuje silové účinky) a součinitel tření.

Jako druhý kontakt impaktoru je kontakt mezi vnitřní plochou kůže a vnější plochou jádra. Tento kontakt zamezuje proniknutí solidového objemu do tuhého tělesa jádra impaktoru. Tento kontakt je také typu 33.

4.3.5 Počáteční podmínky

Jelikož globální souřadnicový systém automobilu není shodný s osami impaktoru, zavádí se pro zjednodušení lokální souřadnicový systém. Ten je určen přesnou polohou a směry jeho hlavních os. Počátek souřadnicového systému je lokalizován do těžiště impaktoru a hlavní důležitá osa x je ve směru letu zkušebního tělesa (obr. 51).



Obr. 51 Pomocný lokální souřadnicový systém impaktoru

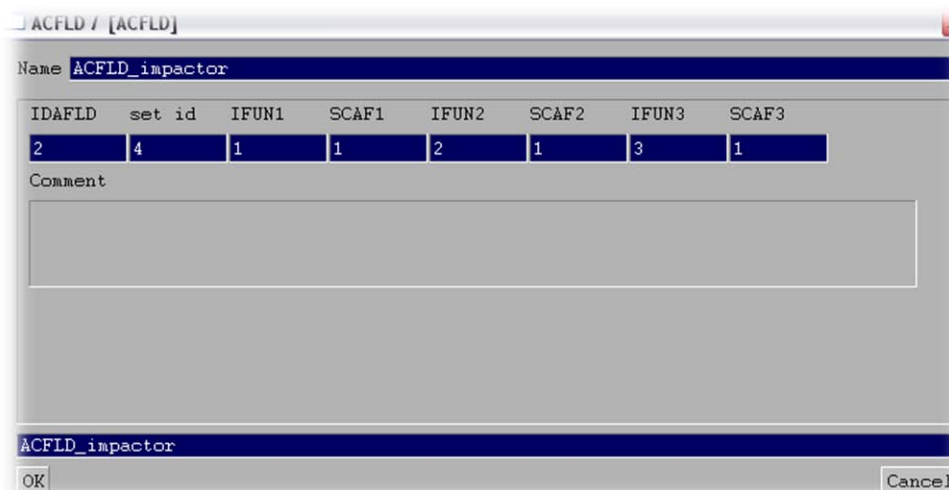
Po vytvoření lokálního souřadnicového systému můžeme přistoupit k dalšímu kroku, a to přiřazení impaktoru jeho počáteční rychlosti, která je v normě EEVC WG 17 předepsána. U makety dětské hlavy je rychlost stanovena na $11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Definice počáteční rychlosti v preprocesoru Ansa se provádí po výběru všech uzlů tělesa a přiřazení potřebné počáteční rychlosti.

V první řadě provedeme výběr všech uzlů tělesa a uložíme je pro zjednodušení jako samostatný set. Pomocí funkce „invel“ určíme počáteční rychlosti v daných směrech příslušného souřadnicového systému a vybereme daný set (viz obr. 52).

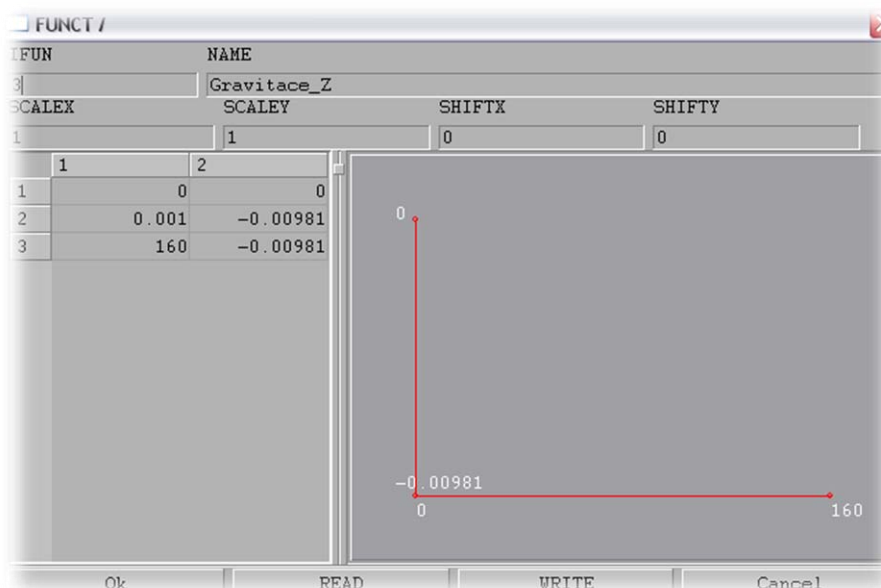


Obr. 52 Definice počáteční rychlosti

Jakmile máme definovanu počáteční rychlost, zbývá pro korektnost výpočtu přiřadit tělesu i gravitační zrychlení. Tato počáteční podmínka vyžaduje znovu výběr všech uzlů tělesa a definování jako nového setu. Po vytvoření setu vybereme funkci „acfld“ a podobně jako v případě počáteční rychlosti vyplníme tuto kartu (obr. 53). Pro vyplnění hodnot zrychlení v jednotlivých osách je nutné zadávat odkazy na předem připravené funkce průběhů (viz obr. 54).



Obr. 53 Definice gravitačního zrychlení tělesa



Obr. 54 Funkční zadání gravitačního zrychlení v ose Z

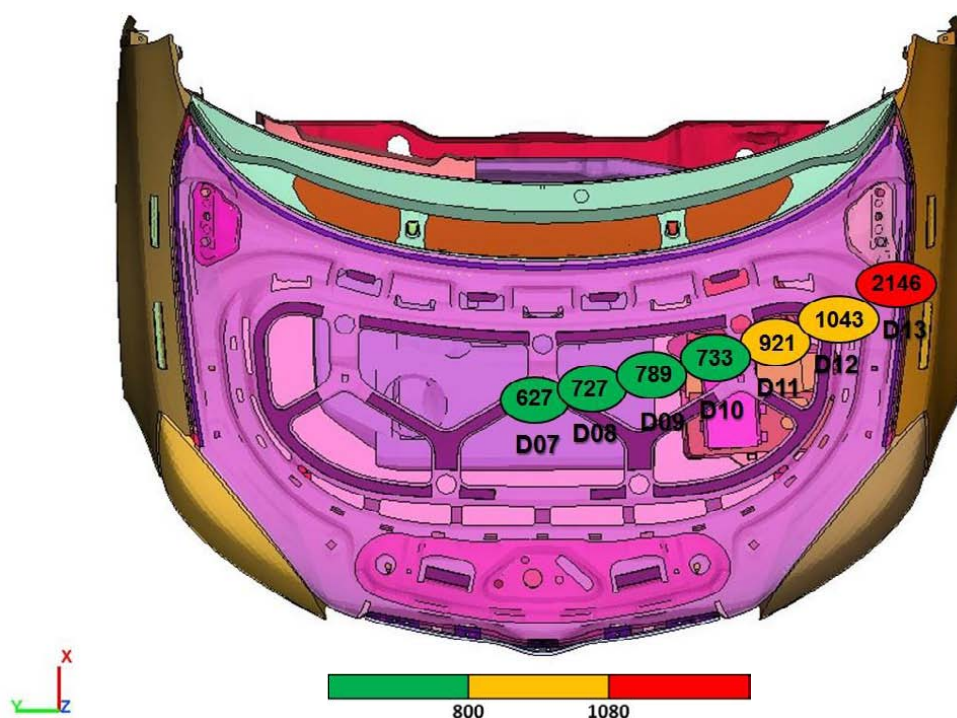
Posledním krokem k plnému charakterizování tělesa je označení uzlu, ve kterém budeme sledovat požadované průběhy veličin. Takto označený uzel se nazývá THLOC (Time History Plot). Tímto elementem nahrazujeme snímač zrychlení používaný v reálných modelech. THLOC pro snímání veličin se umísťuje, stejně jako u reálných modelů akcelerometr, do těžiště modelu hlavy.

Po tomto určení okrajových podmínek máme zkušební těleso plně charakterizováno. Zadáli jsme počáteční rychlost, gravitační zrychlení na těleso a označení snímaného uzlu pro stanovení HIC. Následuje certifikační zkouška, která prokáže reálné vlastnosti makety a prokáže, zda impaktor splňuje normou dané požadavky.

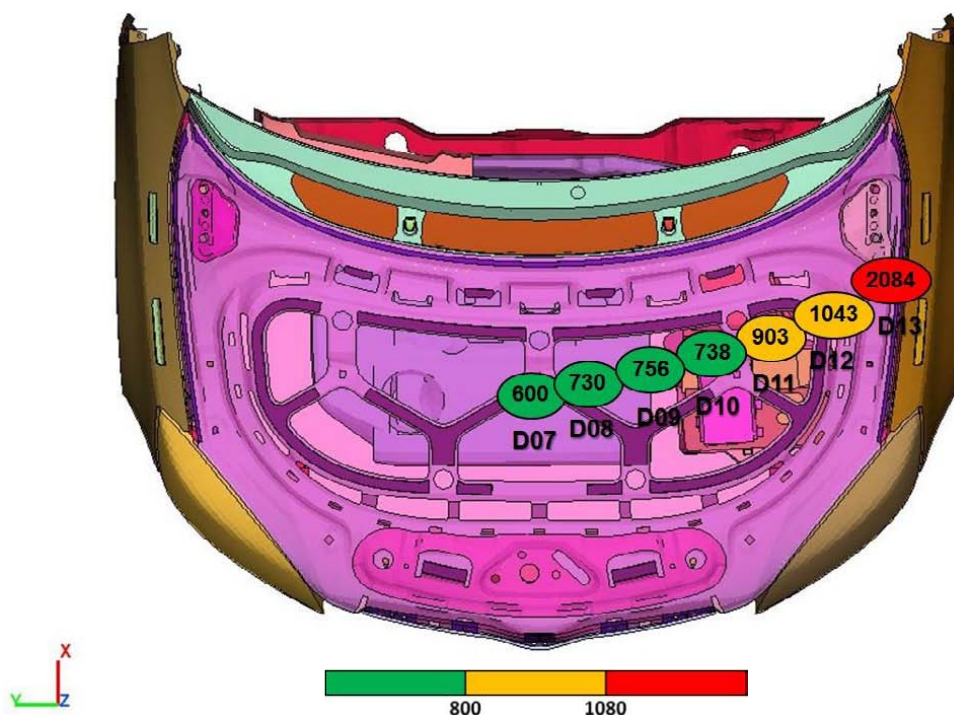
4.4 Porovnání vlastností s impaktorem firmy Škoda Auto

Z důvodu zjednodušeného zadání materiálového modelu kůže pro navrhovaný impaktor, bylo vhodné porovnat stávající výpočtovou maketu dětské hlavy, používanou ve výpočtovém oddělení technického vývoje firmy ŠKODA AUTO a.s. s tímto modelem. Validace měla za cíl porovnat výsledné průběhy celkového zrychlení v těžištích a tím vyjadřované HIC kritéria na dopadových bodech kapoty zadaného výpočtového modelu. „Ostrý“ impaktor firmy Škoda Auto má velice podrobně propracovanou materiálovou kartu kontaktního materiálu kůže. Vytvořený model, v rámci této diplomové práce, obsahuje o něco méně podrobnou definici elasticko-plastických materiálových charakteristik kůže. Jelikož tento materiál kůže přímo ovlivňuje HIC, je vhodné, pomocí porovnání jednotlivých modelů, přiblížit výstupní chování zmiňovaného materiálu.

Po úvodních porovnávacích výpočtech mezi těmito modely dětských impaktorů byly zpřesněny materiálové charakteristiky, a tím bylo dosaženo velice blízkých výsledků hodnot HIC (obr. 55 a 56).

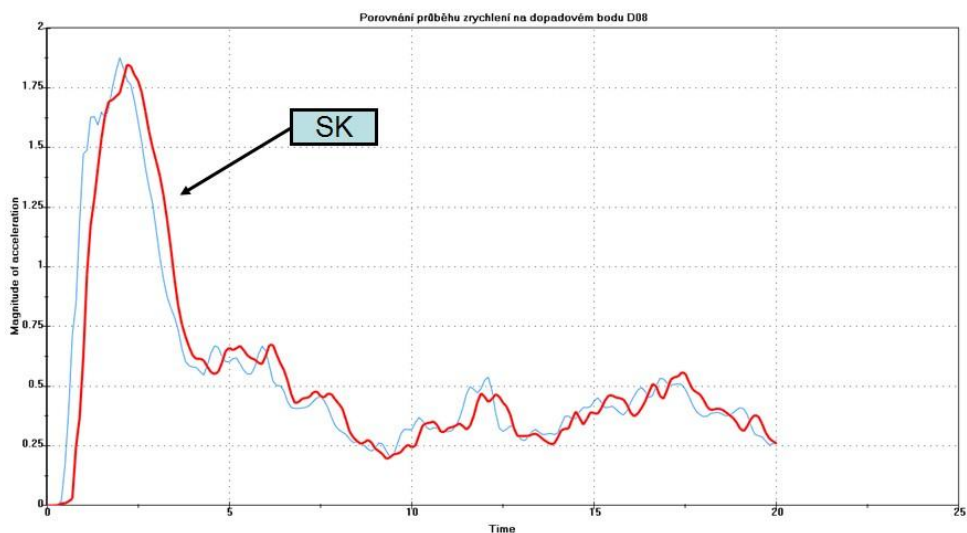


Obr. 55 Výsledky HIC při použití nového impaktoru

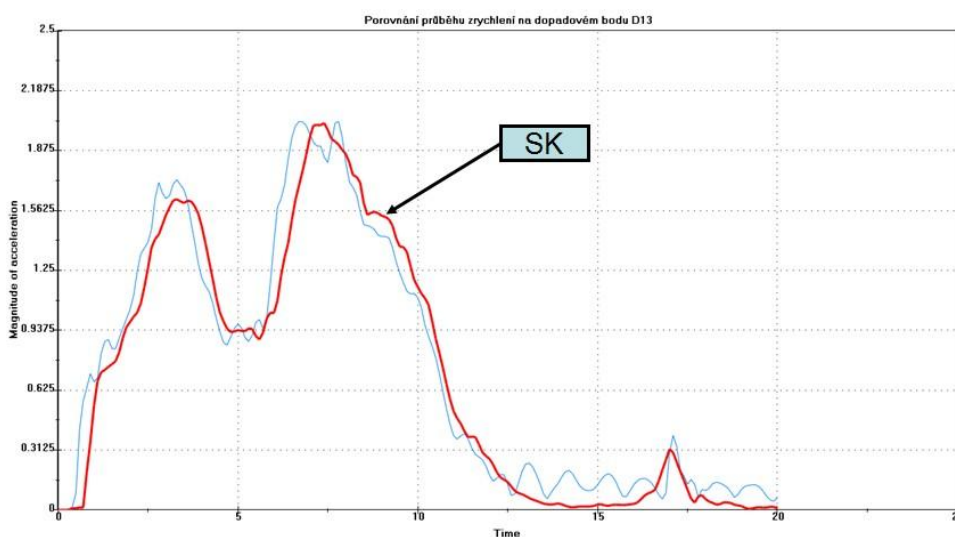


Obr. 56 Výsledky HIC při použití impaktoru ze ŠKODA AUTO a.s.

Společně s konečnými výsledky HIC kritérií na definovaných dopadových bodech, které jsou poměrně srovnatelné, je vhodné porovnání i přesných průběhů celkového zrychlení v THLOC (těžišti impaktoru). Výběr ze srovnání průběhů je ukázán na obr. 57 a 58.



Obr. 57 Porovnání zrychlení v těžišti na dopadovém bodu D08



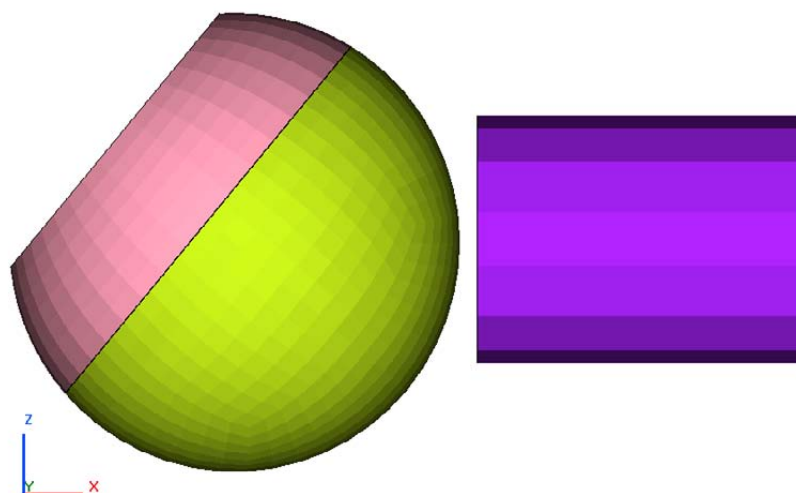
Obr. 58 Porovnání zrychlení v těžišti na dopadovém bodu D13

Z výsledných porovnávacích grafů zrychlení v těžišti modelů dětské hlavy je patrné dobré „odladění“ materiálových vlastností vinylové kůže. Průběhy jsou téměř totožné. V případě materiálové karty firemního impaktoru je znatelná určitá vyhlazenost křivky zrychlení. Mírné překrytí křivek je způsobeno zvětšenou počáteční mezerou mezi jednotlivými impaktory a kapotou (cca 1mm), v důsledku nepatrně odlišných vzdáleností těžiště - povrch. Tento malý rozdíl způsobuje drobné zpoždění ve vykreslování (řádově 0.5 ms). Na výsledky to ale nemá žádný vliv.

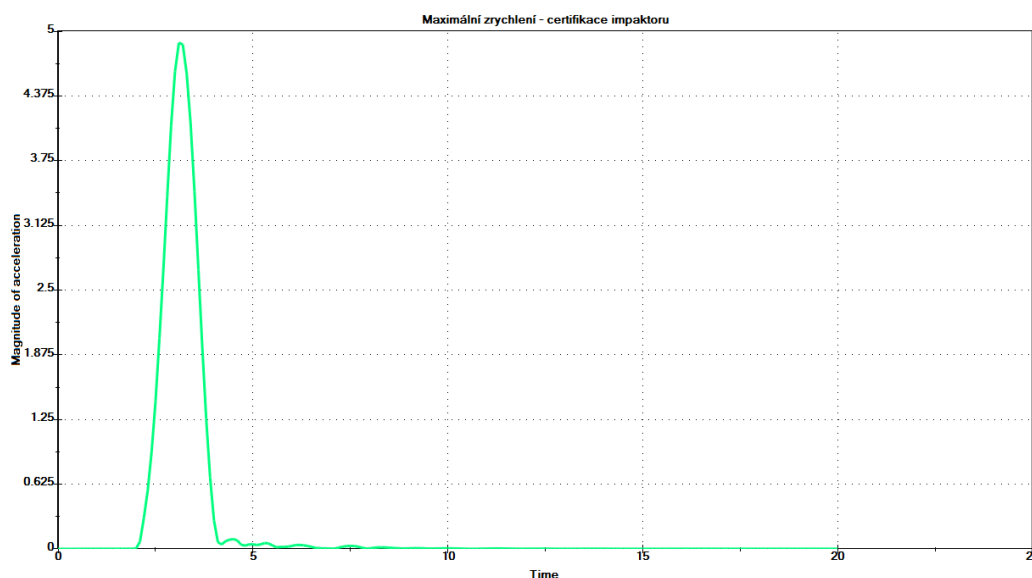
4.5 Certifikační zkouška impaktoru

Certifikační zkouška se provádí v případech, popsanych ve výše zmiňované normě EEVC WG17. V našem případě provedeme certifikaci nově vytvořeného výpočtového modelu impaktoru dětské hlavy, odpovídajícího konstrukčním požadavkům této normy. V předpisech se stanovují podmínky nutné pro zkoušku. Jsou to zejména zavěšení impaktoru na minimálně 2 metry dlouhý závěs, sklon modelu vůči ose tělíska, tvar a fyzikální vlastnosti zkušební tělíska. Po provedené certifikační zkoušce je nutné, aby výstupní hodnoty ze snímače umístěného v těžišti hlavy, odpovídali předepsanému rozmezí dané normou.

Pro potřebu certifikace bylo vytvořeno zkušební tělísko s materiálem hliníkové slitiny, splňující potřebné rozměrové a hmotnostní požadavky. Sestavu tělíska s impaktorem hlavy bylo nutné nejprve přesně nepolohovat (viz obr. 59) a poté byl proveden výpočet. Výsledné celkové zrychlení v těžišti impaktoru je zobrazeno v příslušném grafu (obr. 60).



Obr. 59 Certifikační zkouška impaktoru



Obr. 60 Celkové zrychlení v těžišti impaktoru

Použité jednotky:

Čas – [ms]

Zrychlení – [mm·ms⁻²]

Celkové zrychlení má maximální hodnotu:

$$A_M = 4.8135 \text{ mm} \cdot \text{ms}^{-2}$$

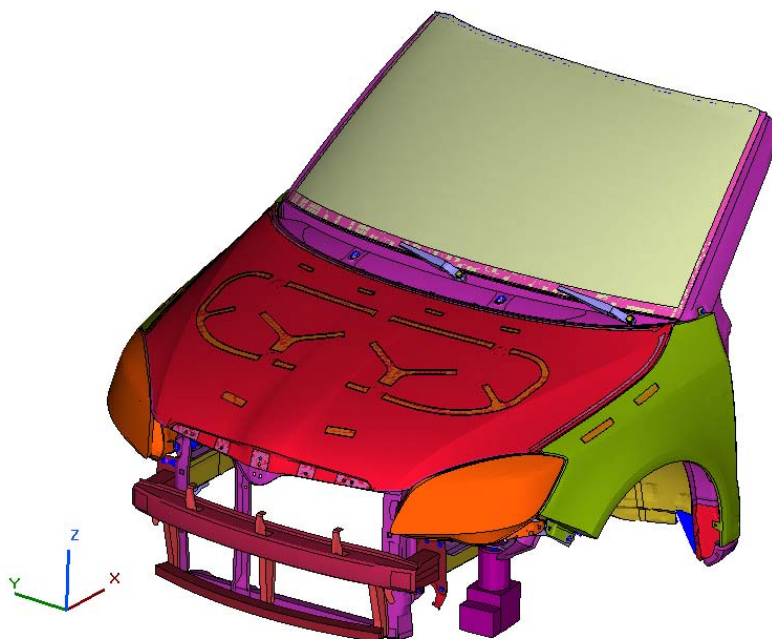
Po přepočítání na porovnávací jednotky:

$$A_M = 4813.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Zrychlení v těžišti **leží** v předepsaném rozmezí 3973 m·s⁻² – 4856 m·s⁻², a tedy navržený impaktor splňuje požadavky certifikace.

5 Příprava výpočtového modelu auta

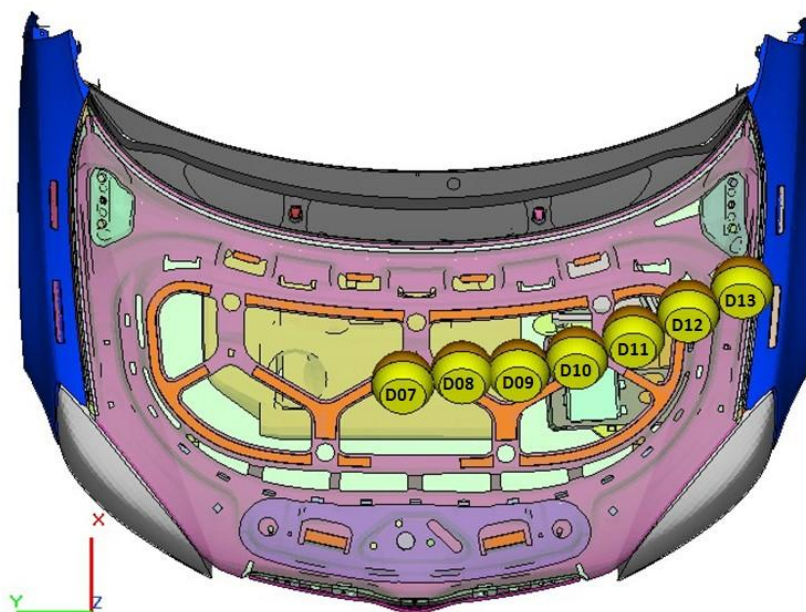
Pro potřeby splnění náplně této diplomové práce byl zadavatelem poskytnut model automobilu Škoda s typovým označením SK 250, neboli Škoda Fabia II. V praxi se používá pro tyto výpočty téměř celá přední část automobilu, až po díly A sloupků (viz obr. 61). Tato model je shodný i s přední částí vozu Škoda Roomster.



Obr. 61 Model přední části automobilu pro výpočty ochrany chodců

Takto veliký výpočtový model umožňuje provádět simulace nárazů impaktorem dětské hlavy a s přítomností předního skla, i nárazy impaktorem dospělé hlavy, kdy oblasti dopadových bodů pro dospělé hlavu zasahují, až do předního skla. Po přidání nárazníku a přilehlých dílů lze simulovat i náraz impaktorem nohy a také impaktorem stehna. Takto definovaný model zajišťuje interakci velkého počtu dílů, které mohou svojí přítomností ovlivňovat výsledné sledované parametry požadovaných simulací zkoušek.

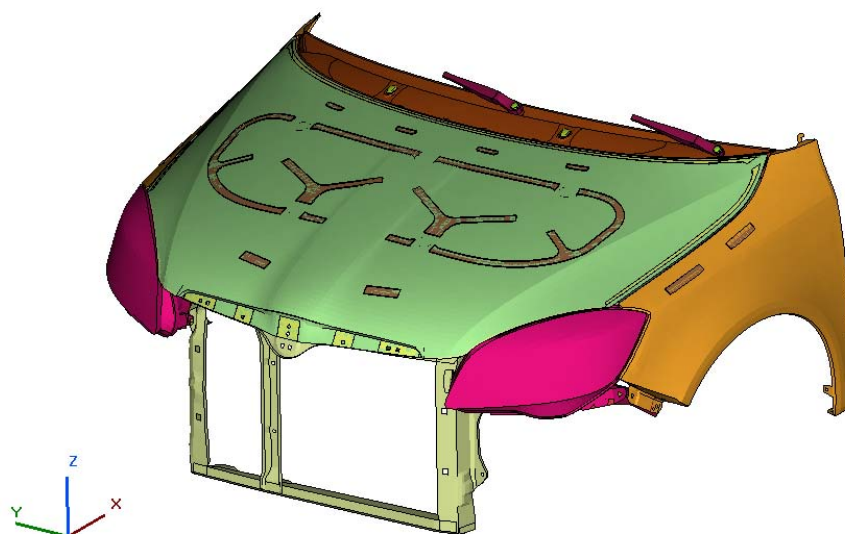
Pro účely zmapování homogenity navrhovaných variant kapot jsou zvoleny pouze některé dopadové body. Tyto místa jsou vybrána tak, aby poměrně efektivně mapovala HIC limity v příčném směru a tím dávala ucelenou představu o rovnoměrnosti rozložení tuhosti po celé ploše kapoty. Vnější i vnitřní plech kapoty je k podélné rovině vozidla téměř symetrický, tudíž není nutné mapovat takto celou oblast kapoty. Podle uvážení zadavatele, byla vybrána místa označená D07 až D13, která v přijatelné míře poskytují základní přehled o rozložení tuhosti na dané kapotě vozidla. Tyto vybrané dopadové body jsou zobrazeny na obr. 62.



Obr. 62 Nominované dopadové body

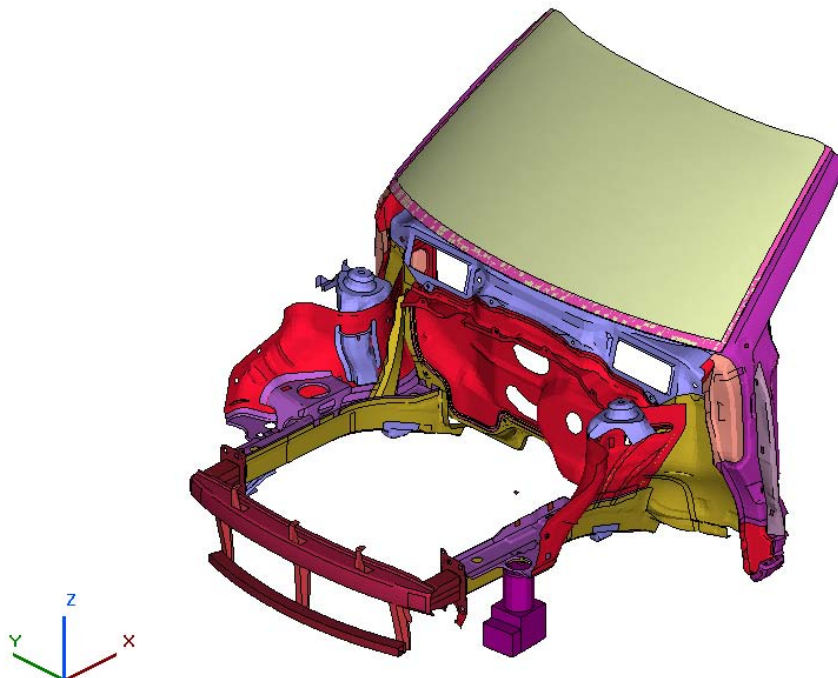
5.1 Odstranění nepotřebných dílů

Pro konkrétní cíle této diplomové práce a z hlediska snížení dlouhého výpočtového času, je vhodné daný model zredukovat. To se provede redukcí počtu dílů. Konkrétně těch, které výraznou měrou neovlivňují výpočet. Odstraněním některých částí vozu snížíme výpočtový čas, potřebný pro průběh simulace jednoho nárazového bodu. Pokud těchto bodů máme více, tak je ušetřený čas vzniklý zjednodušením modelu o to více znatelný. Tato úprava je především umožněna tím, že je potřebná pouze oblast pro dětskou hlavu a tudíž je v oblasti zájmu jen přední část zasahující po konec kapoty. Po zjednodušení původního modelu bude optimalizovaný model připraven pro potřeby simulace nárazu impaktorem dětské hlavy, (obr. 63).



Obr. 63 Optimalizovaný model přední části vozu

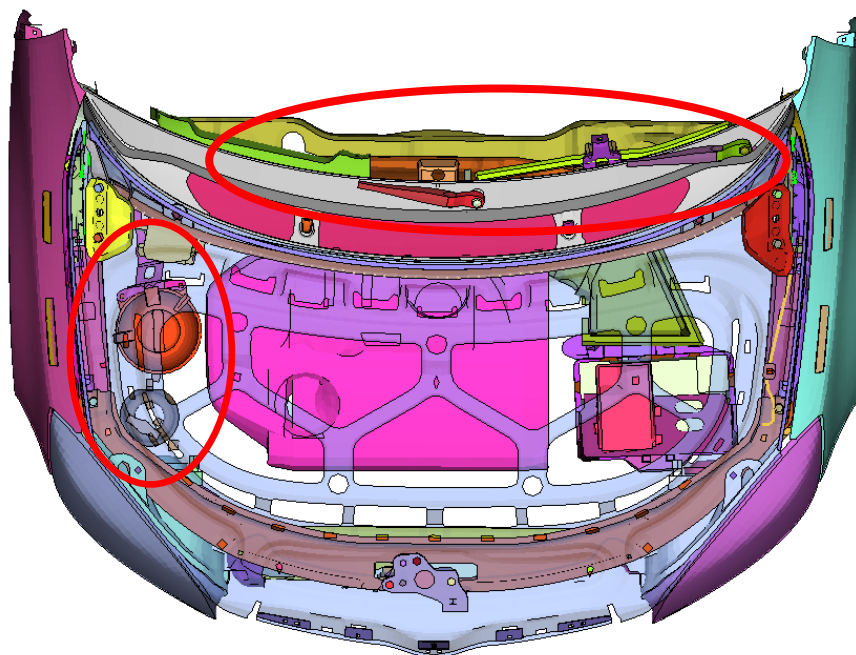
Odstraněné díly (obr. 64), které se výrazným způsobem nezapojovaly do výpočtu, byly odebrány a tím klesl počet elementů v modelu o cca 42%. Ve výsledku to znamená podstatnou úsporu času, potřebného k provedení simulace.



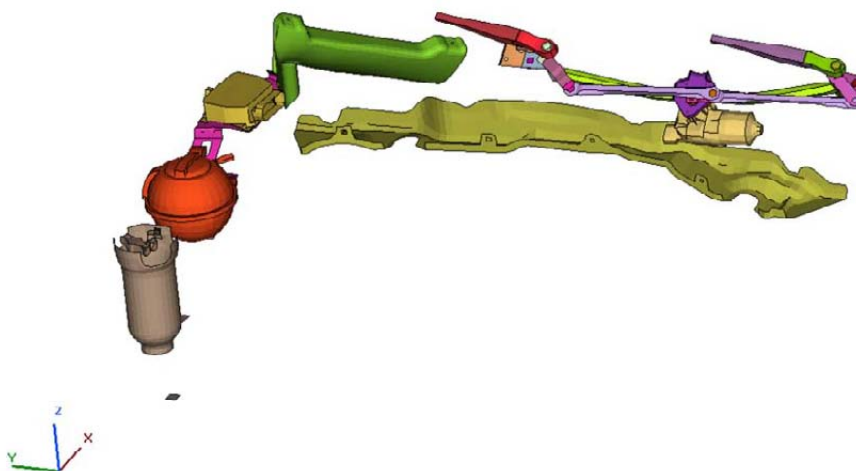
Obr. 64 Odstraněné díly

S přihlédnutím k požadovaným dopadovým bodům, bylo vhodné zkontrolovat model, zda by nešel dále simplifikovat. Jelikož je kapota k podélné rovině vozidla téměř symetrická, a zároveň z důvodu provádění simulačních výpočtů pouze na jedné straně modelu, je vhodné odebrat z modelu i některé díly z vnitřního prostoru motoru, u kterých nedochází ke kontaktu s deformujícími se díly. Zmiňovaná volba, pro odstranění dílů z pravé části motorového prostoru, byla ověřena několika simulačními výpočty. Výše zmiňovaná hypotéza se výpočetní zkouškou potvrdila. Nedošlo ke kontaktu mezi vybranými díly, i s uvažováním dostatečně velké deformační mezery.

Spolu s těmito díly v motorovém prostoru byly odebrány i další části, které pro dopadovou oblast dětské makety hlavy nepředstavují riziko, ani zároveň neovlivňují průběh deformace zmiňované struktury při nárazové zkoušce. Těmito díly jsou součástí stíracího mechanismu, který se nachází mimo zkoušenou oblast na okraji čelního skla, a dále některé přepážky mezi motorovým prostorem a interiérem. I u nich je nevýznamný vliv na celkové výsledky potvrzen výpočtem. Poloha těchto součástí v modelu je na obr. 65. Zmiňované dodatečně odstraněné díly jsou vyobrazeny na obr. 66.



Obr. 65 Polohy odstranitelných dílů

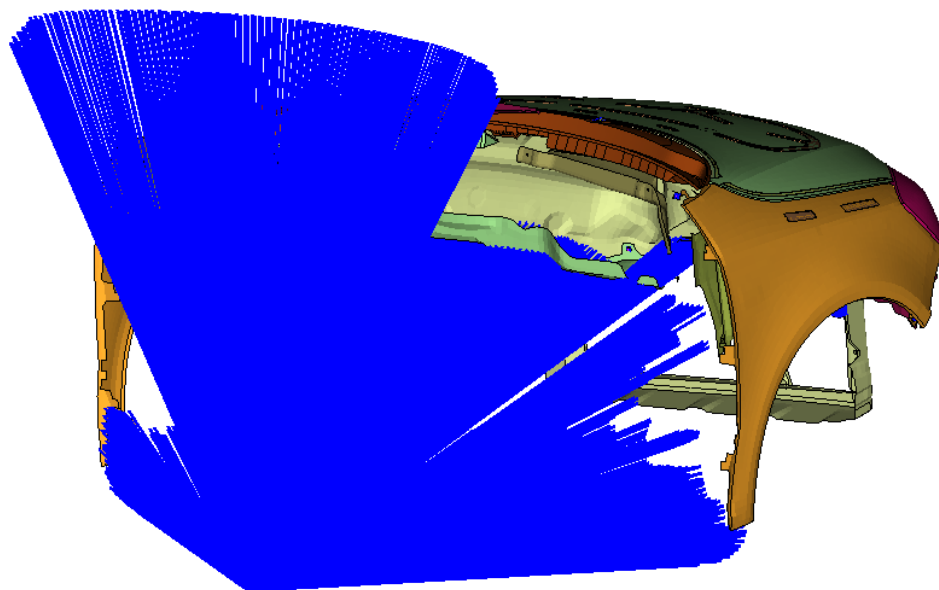


Obr. 66 Odstraněné díly, které nejsou ovlivněny zvolenými dopadovými body

5.2 Úprava zjednodušeného modelu

V předešlém kroku provedené odstranění některých dílů modelu, způsobilo změnu okrajových podmínek. K okrajovým dílům, kde by dále navazoval zbytek modelu, jsou vztaheny prvky Rigid Body (nedeformovatelné těleso). Pomocí entit Rigid Body se nahrazují chybějící tělesa. U původního modelu byly prvky Rigid Body vztaheny na okrajové uzly předního skla, předních podélníků a krytů blatníků. Jakmile se odebraly výše zmíněné díly modelu, na jejichž okrajových uzlech byly Rigid Body auta vztaheny, ztratil tím model korektní propojení s náhradou zbytku modelu. Zanecháním nekorektních entit by vedlo k velice nereálnému chování výpočtového modelu a hroucení dílů. Průběh simulace, by nebyl

odpovídající a výsledky by byly velice zkreslené. Proto je nezbytné upravit SET (skupinu uzlů) funkce Rigid Body tak, aby byly nahrazeny chybějící propojení mezi díly. Pokud bylo odstraněno například přední sklo s rámem a A-sloupky, je nutné spojit nově vytvořenou hranici krajních uzlů na přechodu přední část auta s odebraným sklem. To samé platí u odebrání podběhů. Jejich absenci nahradí přidané uzly Rigid Body v kontaktních spojích těchto dílů. Úprava SETU byla nutná zejména pro oblast mezi motorovým prostorem a interiérem. Protože v originálním modelu jsou obsaženy i díly podélníků a předního rámu chladiče, je jejich nepřítomnost nahrazena uzly ve šroubových spojích.



Obr. 67 Chybějící propojení Rigid Body s modelem po odebrání dílů

Po veškerých pečlivých úpravách Rigid Body vznikne nedeformovatelné těleso, které má těžiště ve zvoleném bodě. Tento bod pak pomyslně nahrazuje zbytek automobilu. Pomocí entity BOUNC jsou do zmiňovaného těžiště přiřazeny potřebné okrajové podmínky, to znamená omezení nebo povolení rotací a posuvů. Pro plnohodnotné nahrazení ostatních dílů modelu vozidla se používá především Rigid Body typu 3, ten umožňuje nastavit tomuto tuhému tělesu vlastní hmotnost a momenty setrvačnosti, které se vztahují k příslušnému souřadnicovému systému. Takto připravené a definované prvky Rigid Body a BOUNC nahrazují zbývající díly modelu auta.

5.3 Definování materiálů

Výpočtový model používaný při crash simulacích v technickém oddělení vývoje ŠKODA AUTO a.s., používá velice podrobné a realitě blízké fyzikální vlastnosti materiálů. Jelikož však tyto materiálová data podléhají firemnímu utajení a nelze je dále šířit, obsahuje proto tento model pouze data podobná. Tyto materiály jsou popsány základními materiálovými vlastnostmi a slouží například ke spolupráci s Vysokými školami.

Po konzultaci se zadavatelem jsem veškerá PID (karty vlastností) konkrétních dílů přiřadil k získaným materiálovým kartám (MID). Tyto materiály byly přiřazeny dílům, podle jejich materiálové blízkosti s originálními materiály. Dá se konstatovat, že touto úpravou

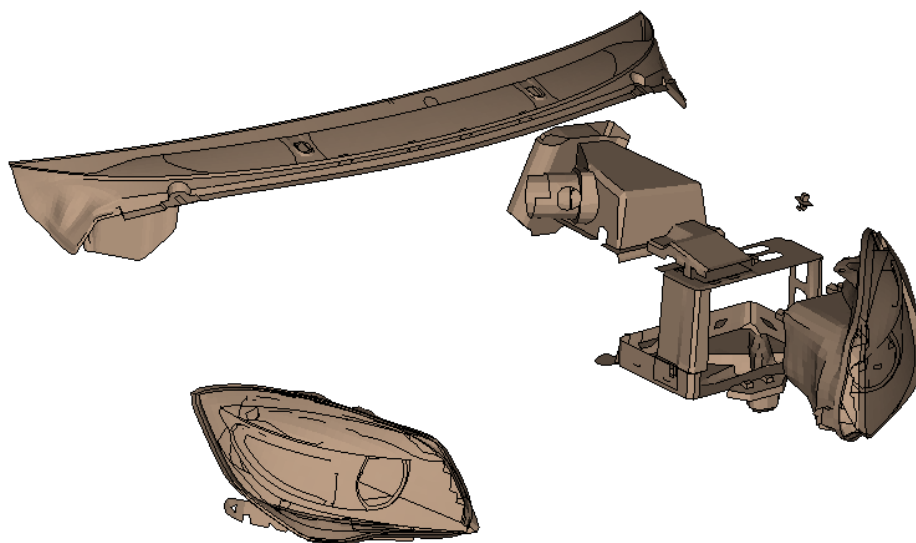
zůstal výpočtový model porovnatelný s originálním firemním modelem. Jediným zjednodušením bylo například přiřazení stejné materiálové karty pro všechny plastové díly této přední části auta. Protože však kontakt s těmito díly není primární, dá se toto zjednodušení tolerovat.

5.3.1 Materiál plastových dílů

Tento materiálový model reprezentující všechny plastové díly modelu byl získán z uvolněných materiálových dat zadavatele. Materiálové vlastnosti jsou popsány v tab. 7. Díly s přiřazeným materiálem plastu jsou vyobrazeny na obr. 68.

Tab. 7 Materiálové vlastnosti plastových dílů

Materiál	Hustota ρ [kg/mm ³]	Modul pružnosti E [GPa]	Poissonova konstanta ν [-]
Plast ABS	1.05 e-6	2.168	0.3



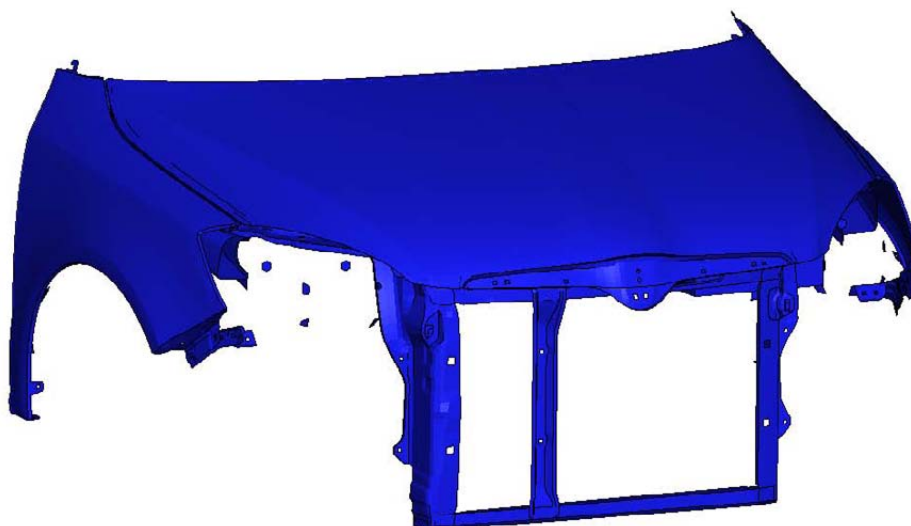
Obr. 68 Díly s přiřazeným materiálem plast – ABS

5.3.2 Materiál oceli ZSTE220

Tento typ materiálu pro ocelové díly je použitý u naprosté většiny součástí výpočtového modelu automobilu. Chování materiálu je definováno polylineárním zadáním pracovního diagramu pomocí funkcí (FUNCT/). Materiálové vlastnosti jsou popsány v tab. 8 a díly s tímto materiálem jsou vyobrazeny na obr. 69.

Tab. 8 Materiálové vlastnosti oceli ZSTE220

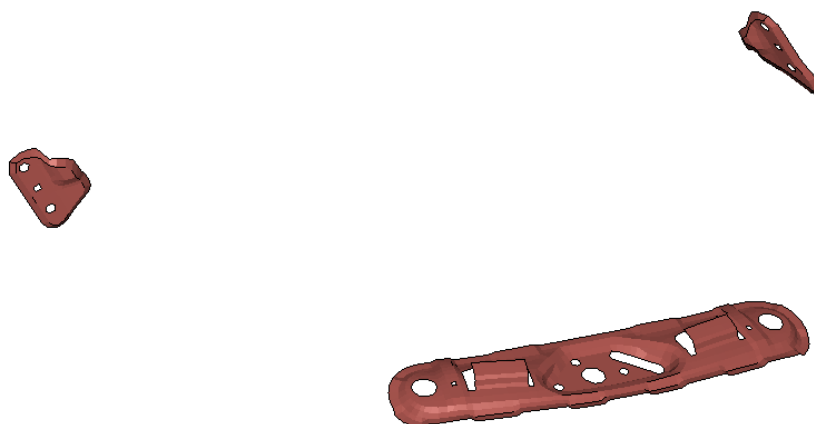
Materiál	Hustota ρ [kg/mm ³]	Modul pružnosti E [GPa]	Poissonova konstanta ν [-]
Ocel ZSTE220	7.85 e-6	210	0.3



Obr. 69 Díly s materiálem ZSTE220

5.3.3 Materiál oceli ZSTE340

Tato materiálová karta oceli je použita jen pro několik málo dílů, které vyžadují lepší vlastnosti. Jsou to zejména výztuhy závěsů a výztuha zámku. Chování materiálu je rovněž definováno polylineárním zadáním pracovního diagramu pomocí funkcí (FUNCT/). Základní materiálová data jsou popsána v tab. 9 a zmiňované díly s tímto materiálem jsou zobrazeny na obr. 70.



Obr. 70 Díly s materiálem ZSTE340



Tab. 9 Materiálové vlastnosti oceli ZSTE340

Materiál	Hustota ρ [kg/mm ³]	Modul pružnosti E [GPa]	Poissonova konstanta ν [-]
Ocel ZSTE340	7.85 e-6	210	0.3

5.3.4 Materiál pevnostního lepidla

Pevnostní lepidlo je v tomto modelu použito k pevnému spojení lemů vnějšího plechu kapoty s vnitřním plechem. Vlastnosti (tab. 10) jsou zadány hustotou, modulem pružnosti v tahu E a Poissonovou konstantou ν . Pro vytvoření správné materiálové karty (Pam Solid Material 1) objemových elementů, je zapotřebí zadat elasticko-plastické vlastnosti. Z tohoto důvodu je nutné přepočítat původní hodnoty na hodnoty modulu pružnosti ve smyku G a objemového modulu pružnosti K. Tento přepočet je proveden pomocí jednoduchých vztahů (2) a (3). Konečné elasticko-plastické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tab. 11. Rozmístění objemových elementů, které mají vlastnosti pevnostního lepidla, je zobrazeno na obr. 71.

Tab. 10 Materiálové vlastnosti pevnostního lepidla

Materiál	Hustota ρ [kg/mm ³]	Modul pružnosti E [GPa]	Poissonova konstanta ν [-]
Lepidlo pevnostní	1.5 e-6	0.99	0.35

Objemový modul pružnosti K:

$$K = \frac{E}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)} \quad [GPa] \quad (2)$$

$$K = \frac{0.99}{3 \cdot (1 - 2 \cdot 0.35)} \quad [GPa]$$

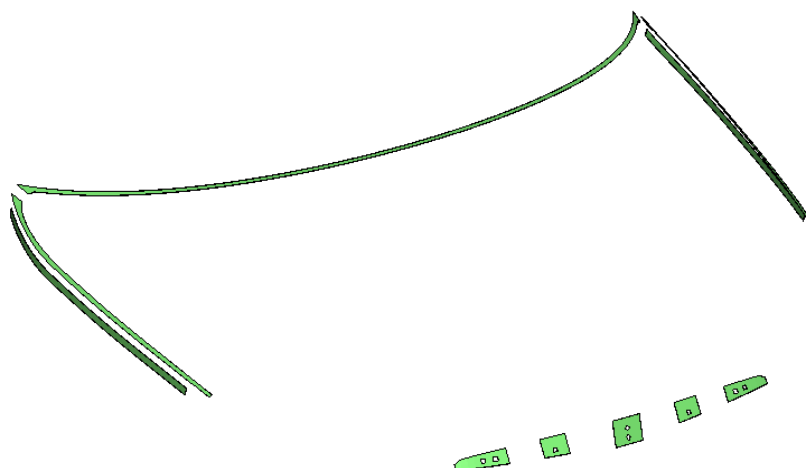
$$K = 1.1 \quad [GPa]$$

Modul pružnosti ve smyku G:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad [GPa] \quad (3)$$

$$G = \frac{0.99}{2 \cdot (1 + 0.35)} \quad [GPa]$$

$$G = 0.367 \quad [GPa]$$



Obr. 71 Díly s materiálem pevnostního lepidla

Tab. 11 Elasticko-plastické materiálové charakteristiky pevnostního lepidla

Materiál	Hustota ρ [kg/mm ³]	Modul pružnosti G [GPa]	Objemový modul K [GPa]
Lepidlo pevnostní	1.5 e-6	0.367	1.1

5.3.5 Materiál těsnícího lepidla

Tento materiál je použitý pro objemové elementy reprezentující vyplnění volné mezery mezi vnějším a vnitřním plechem kapoty. Těsnící lepidlo se používá ke spojení těchto dílů zejména ve střední části kapoty a pro mezeru velkou přibližně 3 mm. I zde je nutné přepočítat základní materiálové hodnoty (tab. 12) pro vyplnění karty elasticko-plastického materiálu – Pam Solid Material 1 (tab. 13). Přepočet byl proveden stejným postupem jako u pevnostních lepidel. Struktura prolepení mezi zmiňovanými díly je vyobrazena na obr. 72.

Tab. 12 Materiálové vlastnosti těsnícího lepidla

Materiál	Hustota ρ [kg/mm ³]	Modul pružnosti E [GPa]	Poissonova konstanta ν [-]
Lepidlo těsnící	1.5 e-6	0.0099	0.35

Objemový modul pružnosti K:

$$K = \frac{E}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)} \quad [GPa] \quad (4)$$

$$K = \frac{0.0099}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)} \quad [GPa]$$

$$K = 0.11 \quad [GPa]$$

Modul pružnosti ve smyku G:

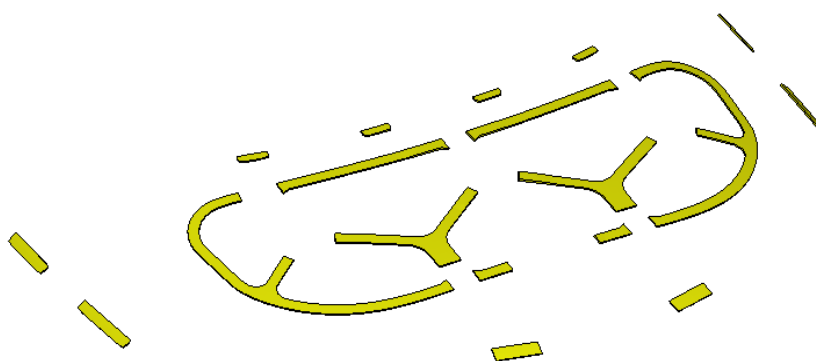
$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad [GPa] \quad (5)$$

$$G = \frac{0.0099}{2 \cdot (1 + 0.35)} \quad [GPa]$$

$$G = 0.00367 \quad [GPa]$$

Tab. 13 Elasticko-plastické materiálové charakteristiky těsnícího lepidla

Materiál	Hustota ρ [kg/mm ³]	Modul pružnosti G [GPa]	Objemový modul K [GPa]
Lepidlo těsnící	1.5 e-6	0.00367	0.11

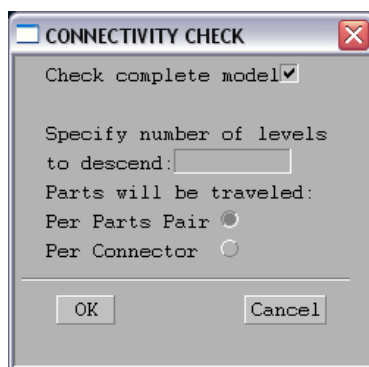


Obr. 72 Díly s materiálem těsnícího lepidlo

5.4 Nastavení simulačního modelu pro PamCrash

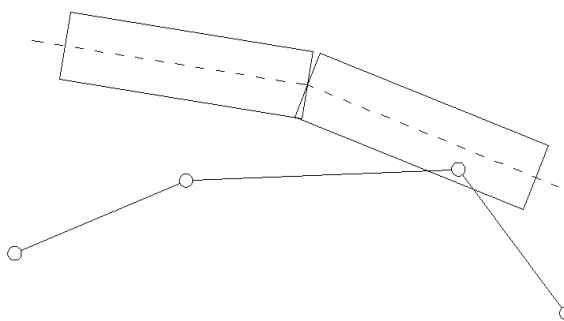
Dalším důsledkem zjednodušování výpočtového modelu odebráním některých součástí jsou prázdné sety (skupiny elementů, dílů, ...) nebo třeba volné uzly ponechané po chybějících součástech. Většinu těchto případů lze vyřešit použitím funkce CLEAR, kterou je Ansa standardně obsažena. Zmiňovanou funkcí se nejčastěji odstraňují zbylé „volné“ uzly, prázdné sety, nepoužívané PID (karty vlastností) a MID (materiálové karty).

Problémem taky bývá ztráta propojenosti dílů modelu. To může vzniknout odebráním některých částí nebo neúplným zadáním entit Rigid body. V tomto modelu, při kontrole propojení dílů, vynikly některé nesrovnalosti, jako chybějící šroubové spojení a nepropojené uzly sítě. Kontrola se provádí funkcí CONNECTIVITY - CHECK (obr. 73). Výsledkem je zobrazení dílů, které nemají žádnou referenci k propojení. Tyto prvky je nutné spojit s ostatními pomocí některých entit, které budou reprezentovat reálné spojení (svary, šroubové spojení, lepený spoj). Může nastat i případ, kdy díl není spojený s okolím, ale interakci mezi těmito díly zajišťuje nějaký druh kontaktu.



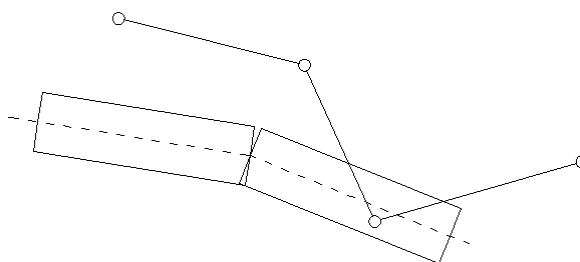
Obr. 73 Kontrolu spojení dílů modelu

Je také potřebné provést kontrolu, zda se některé elementy (s uvažováním jejich kontaktních tloušťek) neprotínají s jinými (tzv. PENETRACE viz obr. 74). V případě, že se v modelu nacházejí nějaké penetrace, pak v první fázi výpočtu solver provede oddělení těchto protknutých elementů posunutím jejich uzlů (tato funkce jde uživatelem vypnout). Velmi často se poté stává, že výpočtová síť je v tomto místě zdeformovaná, neboli neodpovídá reálnému tvaru. Pokud je penetrací v jednom místě více, nebo dokonce na mnoha místech, na kterých navíc v těsné blízkosti naráží zkušební těleso, pak dojde k většímu zkreslení výsledků. V případě, že solver zvolí pro odstranění penetrace nejsnazší nebo nejkratší vzdálenost posunutí uzlu, může dojít i k vytvoření takového tvaru, který vnáší do tohoto místa tuhost navíc. Jestliže to bude případ mnoha prvků (většinou je v penetraci více okolních elementů), dojde k výrazné změně vlastností v daném místě.



Obr. 74 Penetrace

Podobné problémy vznikají také, pokud model obsahuje tak nepřesnou síť, kde se jednotlivé vrstvy prolínají, neboli dochází k protknutí střednic jednotlivých entit. Tato situace se nazývá PERFORACE (viz obr. 75). Proto je vhodné volit odsazení prvků takové, aby nedocházelo k penetracím nebo dokonce k perforacím. Perforace jsou, stejně jako penetrace, odstraňovány v počátku výpočtu zvyšováním vzdálenosti mezi prvky.



Obr. 75 Perforace

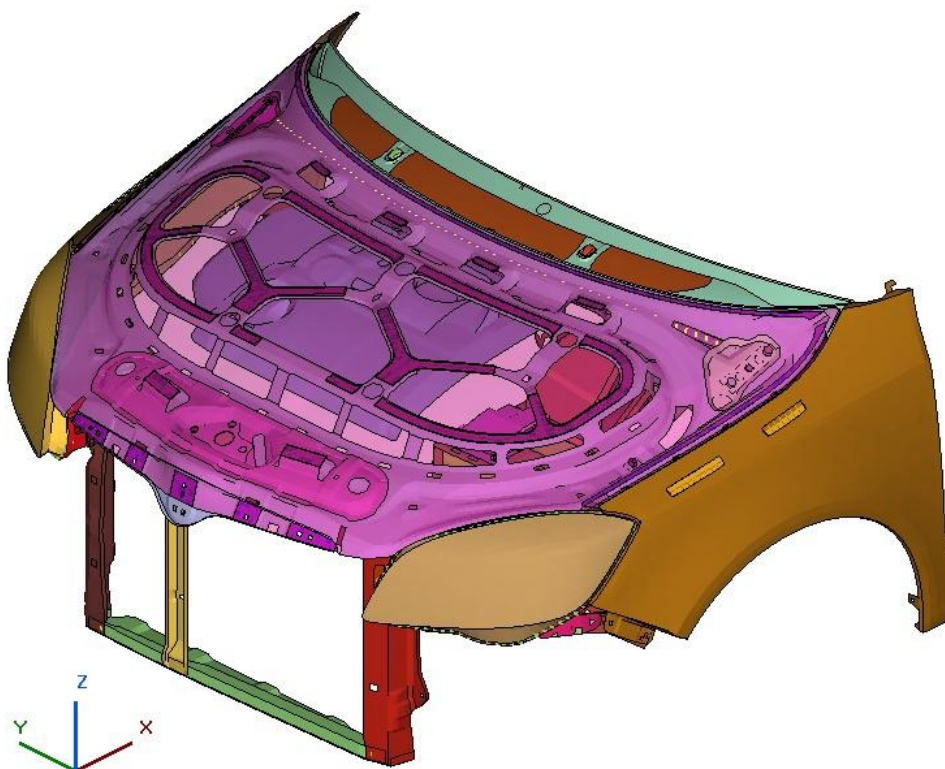
Konkrétní problémy, které v přípravné fázi tvorby modelu mohou být přehlednuty, se zjistí, až při prvním načtení modelu do výpočtového řešiče PamCrash. Pokud se objeví nějaká podmínka, která je nutná k správnému definování výpočtu, zastaví se výpočet a ve výstupním kontrolním souboru (.out) je na posledním řádku zobrazeno dané chybové hlášení. Po jejím odstranění může, při opětovném spuštění výpočtu, kontrola vstupních dat pokračovat.

Mezi nejčastější chyby, které se objevily při kontrole dat, byly zejména chybějící reference pro kontakty, chyby v zadávání kontaktů, nepoužívané lepené kontakty, nepoužívané NSMAS (navázení jednotlivých dílů), atd. Mimo těchto chybových hlášení, která zastaví kontrolu dat, se objevují i varovná hlášení. Ta oznamují jen drobné vady, jako například nepoužívané křivky. Úspěšná kontrola vstupních dat je signalizována spuštěním samotného výpočtu (v případě volby DATACHECK YES v řídicí hlavičce souboru), nebo ukončení kontroly a vypnutí solveru (v případě volby DATACHECK YES QUIT).

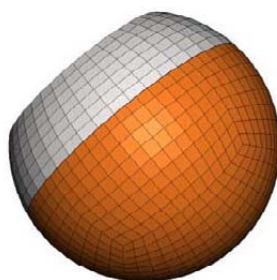
Pokud kontrola vstupních dat proběhne bez chyb nebo jsou-li chyby odstraněny, je výpočtový model plně připraven k simulaci. Ovšem je také zapotřebí, po prvním simulačním výpočtu, provést kontrolu, zda děje při simulaci odpovídají požadavkům a případně opravit i tyto nedostatky (například nehybný impaktor – znamená chybějící počáteční podmínku).

6 Původní varianta modelu přední části vozu

Po pečlivých přípravách modelu přední části automobilu SK250 – neboli Škoda Fabia II (obr. 76) a impaktoru (obr. 77) je zapotřebí provést jejich vzájemné polohování dle předem daných dopadových bodů.



Obr. 76 Přední část automobilu připravená pro výpočet



Obr. 77 Impaktor dětské hlavy

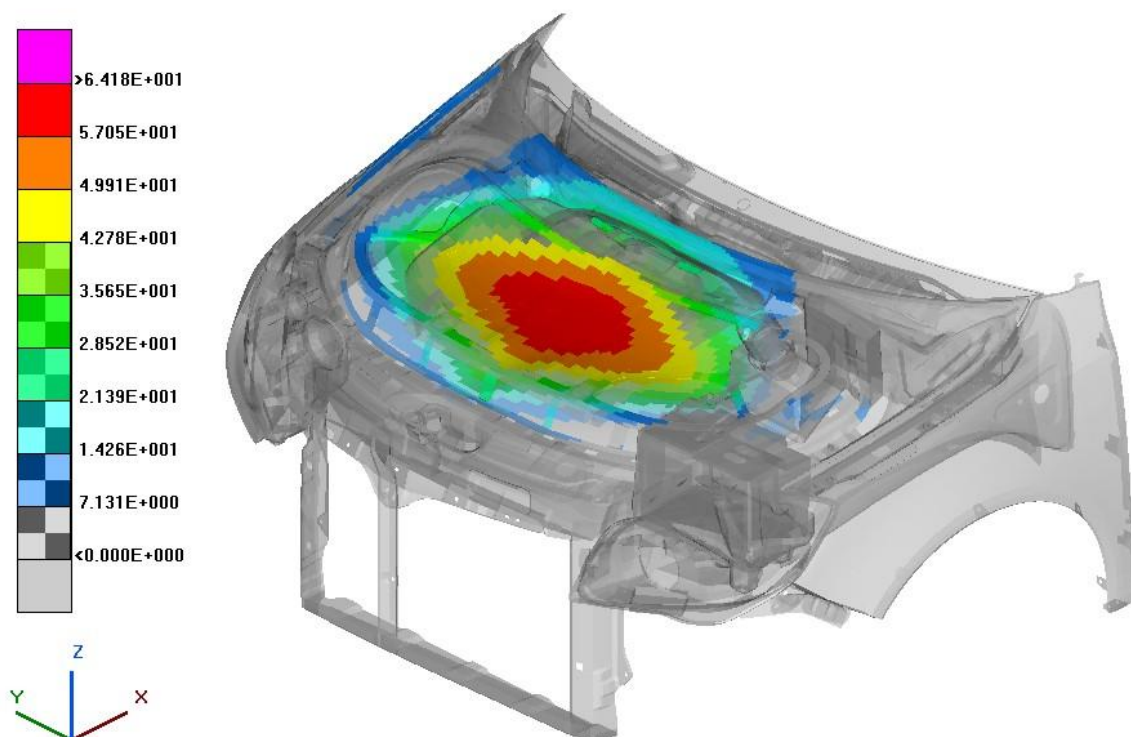
V první řadě je potřeba vytvořit řídicí soubor, který ovládá samotný výpočet (tzv. hlavička). Jsou to vlastně úvodní informace a pokyny pro výpočet v solveru PamCrash. Obsahuje informace týkající se verze solveru, definuje jednotky, ovládá počáteční kontrolu dat, atd. Informací v hlavičce je možno nastavit veliké množství, vše je podrobně popsáno v manuálu PamCrash [16]. Mimo těchto vlastností lze, v případě použití více vstupních modelů (tzv. INCLUDEs), použít tuto hlavičku souboru jako „slučovatele“ společných prvků. V případě této diplomové práce je používáno Include auta a Include makety hlavy. V první

fázi kompletace modelu se oba soubory modelů načítají do jednoho prostoru, právě díky příkazu v hlavičce. Mezi těmito načítanými modely ovšem musí existovat i spojení. Zaprvé je zapotřebí provést transformaci impaktoru na souřadnice obsažené v řídicím souboru. Po transformaci se musí nastavit kontakt mezi impaktorem a zvláště načteným souborem modelu auta. Jelikož se modely načítají do společného prostoru každý zvlášť, používá se v Anse pro definici kontaktu mezi jednotlivými include nadřazený PC soubor (obsahuje „hlavičku“ souboru). Kontakt se aktivuje pomocí specifického příkazu. S těmito informacemi a pokyny již máme kompletní sestavu načtenou společně a je možné zahájit samotný simulační výpočet nárazu makety dětské hlavy do jednoho z dopadových bodů na přední kapotu modelu přední části automobilu.

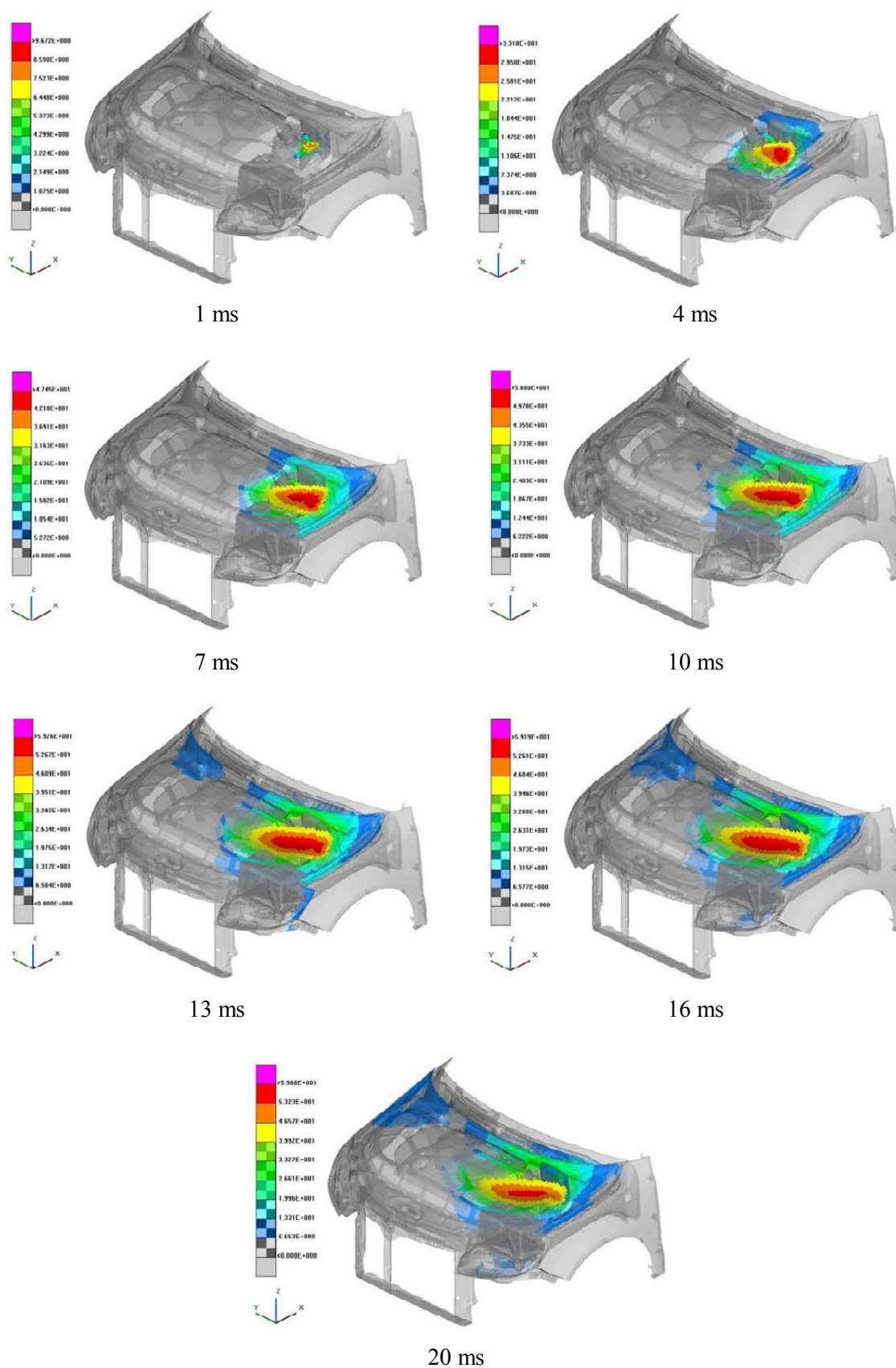
6.1 Simulace nárazu dětským impaktorem hlavy

Po provedení první série simulačních nárazů dětským impaktorem hlavy na danou kapotu v předem vytipovaných dopadových bodech, je možno si povšimnout některých význačných informací o dějích, které probíhají na dílech přední části vozu. Jako první údaj lze zjistit, jak velká deformace nastává při daném dopadu. Pro vyhodnocení celkového zrychlení v těžišti impaktoru má velký vliv i tzv. sekundární náraz, to je střet deformujícího se dílu s níže položenou strukturou během nárazového děje, který vyvolá další velký nárůst zrychlení a tím zhorší celkové HIC kritérium.

Na obr. 78 lze ověřit, jak se struktura kapoty deformuje. Vybrán je bod D07 a dle vyčíslení můžeme vidět, že největší deformace je pod impaktorem, a to cca 57 mm. Vzdálenost při nezátíženém stavu mezi prolisy vnitřního plechu kapoty a vnějšího plechu (v místě D07) je cca 76 mm, tudíž je mezi sekundárním nárazem rezerva asi 19mm deformačního prostoru. Tyto a další informace lze zjistit visuelně v postprocesoru Meta.



Obr. 78 Deformační stav v dopadovém bodu D07 při 10-té ms nárazu



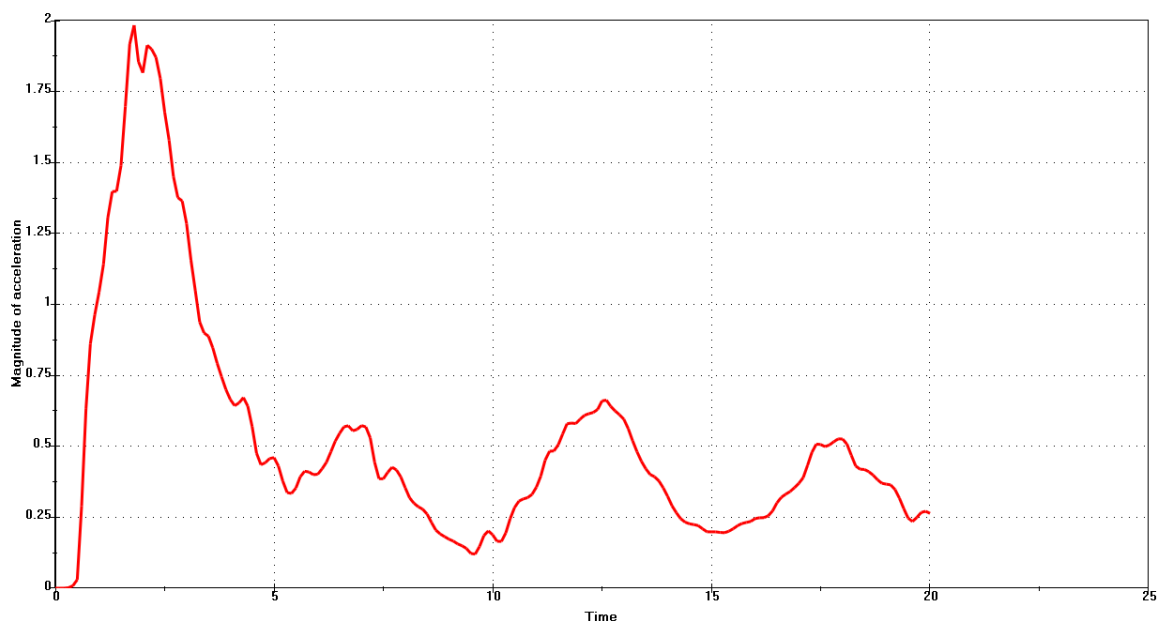
Obr. 79 Průběh deformační vlny během nárazu v dopadovém bodu D12

Na obr. 79 je názorně vidět, jak během jednoho nárazu impaktorem do kapoty postupuje deformační vlna, vyvolaná stlačením od makety hlavy do struktury dílů kapoty. Ukázka je na dopadovém bodu D12. Už po 1 ms je patrný počátek střetu. V dalších krocích deformace (při cca 10té ms) je už průhyb kapoty téměř ve svém maximu. Nárazová vlna, která je reprezentovaná postupující pomyslnou deformační „vlnou“ vnějšího plechu kapoty směrem do stran, se již znatelně rozšiřuje do krajů, zejména do protilehlé strany kapoty.

V některých případech může tato postupující „vlna“ výrazně ovlivnit i průběh celkového zrychlení v těžišti impaktoru. To se pak může negativně projevit na výsledné hodnotě HIC kritéria daného dopadového bodu.

6.2 Vyhodnocení HIC kritéria

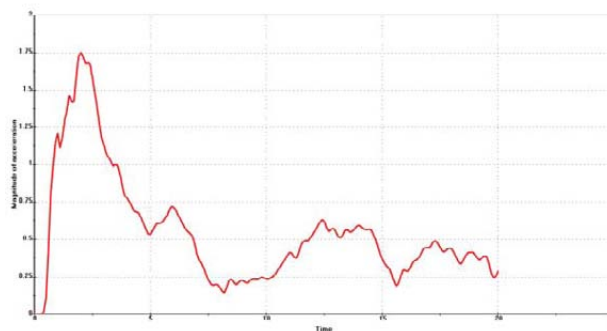
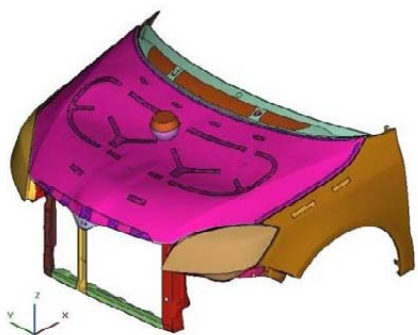
Pro vyhodnocování limitů ochrany chodců slouží křivka průběhu celkového zrychlení těžiště impaktoru dětské hlavy. Už z prvního pohledu na křivku lze získat mnoho informací o dějích, které probíhají při výpočtu a přímo se podílí na zrychlení impaktoru. Zmiňovaná křivka zrychlení může vypadat například takto (obr. 80):



Obr. 80 Příklad průběhu celkové zrychlení během nárazu

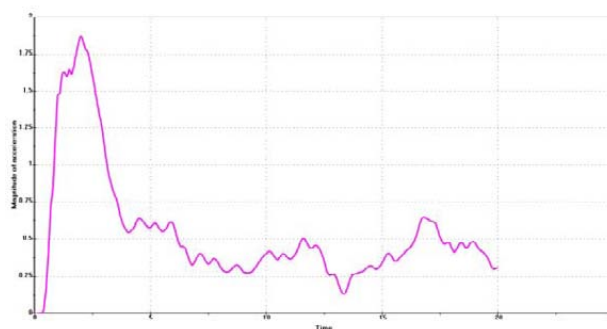
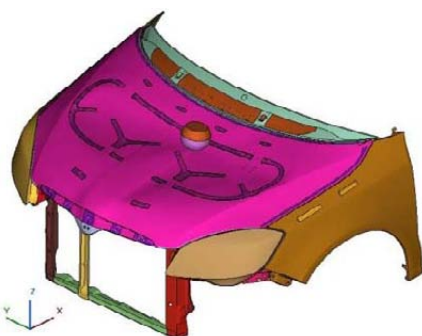
Typický je rychlý nárůst zrychlení v důsledku prvotního nárazu impaktoru do kapoty a poté pokles. Velice záleží na maximální hodnotě zrychlení a pak na šířce oblasti vyhodnocování, která je v těchto případech nárazu impaktorem maximálně 15ms (dobu vyhodnocování si sama určuje procedura měření HIC v postprocesoru Meta). Oblast a plochu rozšiřují sekundární nárazy (další nárůsty zrychlení) i pomalý pokles na nízké hodnoty.

Podrobný popis křivek průběhů zrychlení získaných výpočtem simulace nárazů na originální strukturu kapoty spolu s obrázky deformace kapoty je uveden zde:



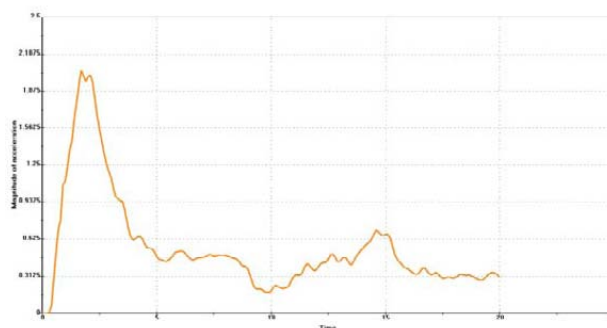
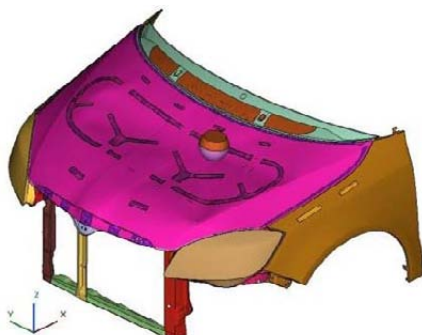
Dopadový bod D07

Z grafu celkového zrychlení v těžišti impaktoru na pravém obrázku lze usoudit téměř ideální stav, kdy dojde k rychlému nárůstu zrychlení a poté k rychlému poklesu. Mírné výkyvy ve zrychlení (po „hlavním“ vrcholu) HIC kritérium trochu zvyšují. Maximální zrychlení je cca $1.75 \text{ mm} \cdot \text{ms}^{-2}$ a pokles také poměrně strmý na vhodnou minimální hodnotu v krátkém čase. To znamená velice dobré HIC.



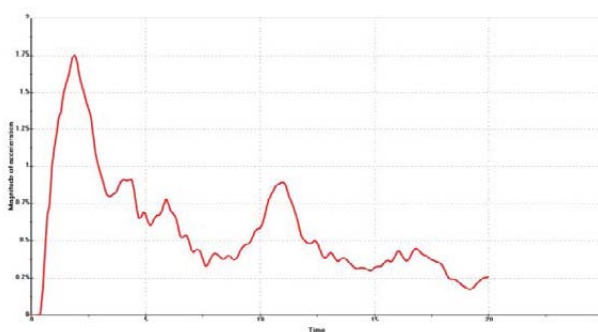
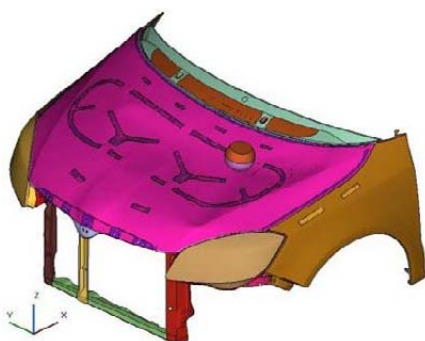
Dopadový bod D08

Náběh zrychlení těžiště makety dětské hlavy je opět poměrně strmý a v porovnání s D07 je pokles rychlejší. Klesá sice rovnoměrněji, ale nejde do takového minima, které by ukončilo oblast vyhodnocování HIC. Vzhledem k maximálnímu zrychlení (cca $1.85 \text{ mm} \cdot \text{ms}^{-2}$) a průběhu, bude HIC o něco větší, než v případě D07.



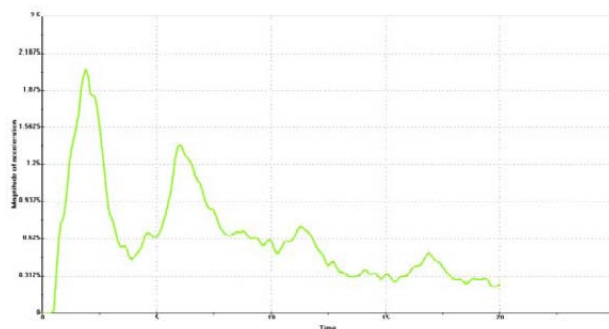
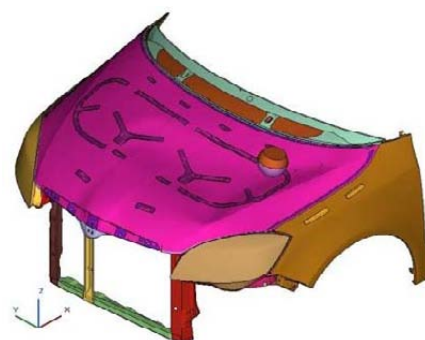
Dopadový bod D09

Maximální nárůst na vyšší hodnotu (cca $2 \text{ mm} \cdot \text{ms}^{-2}$) a pozvolný pokles, směřuje HIC, vzhledem k vyšší hodnotě maximálního zrychlení, o trochu výše než u D08.



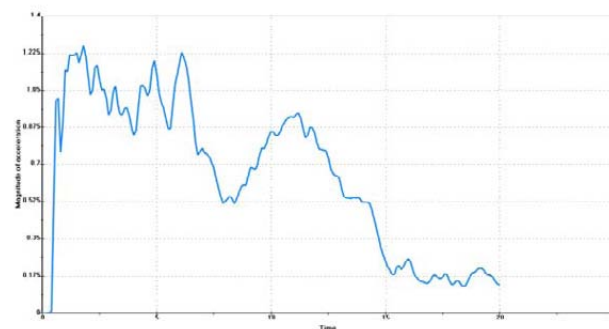
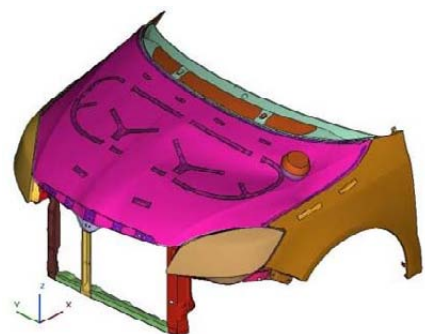
Dopadový bod D10

Téměř lineární nárůst zrychlení na poměrně dobrou hodnotu cca $1.75 \text{ mm}\cdot\text{ms}^{-2}$ a pozvolné klesání, doprovázené druhotným nárůstem v cca 10té ms, svědčí o podobném, možná vzhledem k nižšímu maximu, i menšímu HIC, než jaké je u dopadového bodu D09. HIC rozmezí bude končit až za druhým výraznějším vrcholem ve zrychlení.



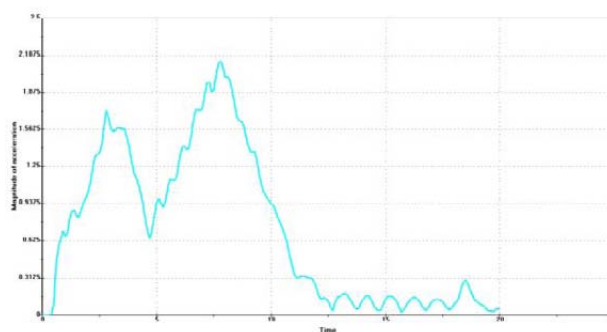
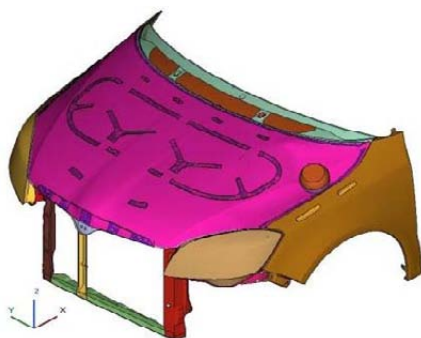
Dopadový bod D11

Maximální zrychlení je na hodnotě cca $2 \text{ mm}\cdot\text{ms}^{-2}$ a hned po krátkém poklesu následuje sekundární náraz, který opět zdvihá vrchol křivky. Následné pomalé klesání a poměrně vysoké úvodní zrychlení ukazuje na HIC o vyšší hodnotě.



Dopadový bod D12

Z grafu je, po celou maximální dobu vyhodnocování HIC (15 ms), patrný velice špatný průběh, který je udržované na téměř konstantní hodnotě. Pozitivní může být to, že maximum je velmi nízké (cca $1.25 \text{ mm}\cdot\text{ms}^{-2}$). Podle mého názoru bude HIC nevyhovující.



Dopadový bod D13

Tento průběh je typický pro sekundární nárazy s ostatními díly. V tomto případě první vrchol (o velikosti asi $1.7 \text{ mm}\cdot\text{ms}^{-2}$) při kontaktu se samotnou kapotou doprovází druhotný náraz do držáku blatníku, který zvedá maximální zrychlení do hodnot kolem $2.15 \text{ mm}\cdot\text{ms}^{-2}$ a který rozšiřuje oblast pro vyhodnocování. HIC bude v tomto případě zcela určitě (vzhledem k ploše) ve velice vysoké, nevyhovující hodnotě.

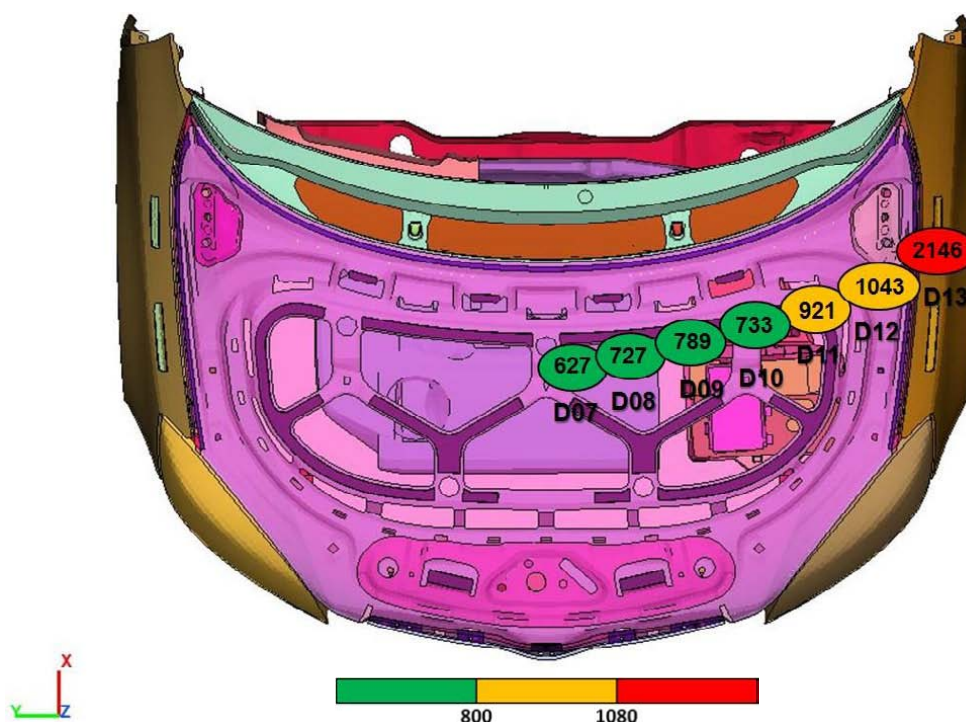
Vyhodnocení výsledků v postprocessoru

Pro animaci výsledků slouží soubor s příponou DSY. Tento výstupní soubor solveru se v postprocessoru používá pro animaci průběhu děje, vykreslení deformačního zdvihu, rozložení napětí, atd.

Pro zjištění HIC kritéria v definovaných vypočtených dopadových bodech slouží výhradně jeden z výstupních souborů solveru PamCrash (s příponou THP). Tento soubor, do kterého solver zapisuje údaje z THLOC umístěném v těžišti impaktoru, obsahuje výsledné křivky rychlosti, zrychlení, energie, a další. Pro určení HIC je důležitá křivka celkového zrychlení. Po načtení do postprocessoru se v grafickém prostředí ukáží podobné průběhy, jako jsou uvedeny výše. Ke konkrétnímu vyčíslení slouží v postprocessoru funkce HIC. Ještě před tímto krokem je ale zapotřebí na křivku aplikovat CFC filtr. Tento filtr se používá i v reálných podmínkách pro filtraci signálů ze snímačů zrychlení. K dispozici je několik druhů CFC filtrů, pro disciplínu ochrany chodců, konkrétně nárazy impaktory hlavy, se výhradně používá filtr CFC 1000. Funkce ve zjednodušení provede vyhlazení křivky (proloží hodnotami novou křivku, která je velice podobná původní, avšak má plynulejší průběh).

Jestliže je načtená křivka celkového zrychlení v daném dopadovém bodě podrobena této funkci (CFC 1000), zbývá už jen poslední krok k vyčíslení výsledků. Pro zjištění přesné hodnoty kritéria slouží funkce HIC. Ta ovšem obsahuje několik předvoleb. Týká se to zejména vyhodnocovaného intervalu. Je zde například možnost výběru intervalu 15 a 36 ms. Protože tyto konkrétní výpočty trvají 20ms, je nasnadě vybrat interval 15. Souhrnně se tedy pro tyto simulace používá vyhodnocovací kritérium HIC15.

Vyčíslené HIC z indikovaných průběhů zrychlení je vypsáno a s vyznačenou polohou na kapotě automobilu vykresleno na obr. 81. Obrázek prezentuje referenční hodnoty originálního modelu automobilu Škoda, na které se následně budu odkazovat při zhodnocování navrhovaných variant.



Obr. 81 Číselné výsledky HIC kritéria na originálním modelu

Pozn:

Pro výpočetní simulace těchto nárazových dějů se uvažuje, dle zvyklostí zadavatele, vždy **rezerva – 20%**. Proto jsou horní limitní hranice posunuty u „zelené“ (vyhovující) oblasti na HIC 800, u „oranžové“ (ucházející) na HIC 1080 a u „červené“ (kritické) na HIC 1080. Posunutí je provedeno z důvodu rezervy při virtuálních simulacích, kdy se mohou výsledky od reality mírně lišit v důsledku výpočtových chyb. Zároveň tato rezerva pokrývá i rozptyl výsledků při reálných zkouškách. Limitní hranice jsou proto posunuty do přísnějších hodnot, aby reálné výsledky (spolu s procedurou vybírání a hodnocení dopadových bodů ve vyznačených oblastech) byly s velkou pravděpodobností odpovídající výsledné „barevné“ skupině.

6.3 Výpočet celkové tuhosti kapoty

Pro potřeby porovnávání jednotlivých variant automobilové kapoty je nutné určit jednotný srovnávací postup, který bude zdrojem informací o zlepšení či zhoršení specifických vlastností. Za velmi vhodnou variantu byla zadavatelem zvolena celková statická tuhost kapoty. Souhrnné hledisko tohoto kritéria se skládá z jednotlivých částí. Tato měření byla odvozena od již zavedených standardů firmy ŠKODA AUTO a.s. Výpočty byly prováděny v CAE programu Ansys.

Zatěžovací stavy:

- Výpočet torzní tuhosti kapoty
- Výpočet ohybu v zámku
- Výpočet ohybu zleva
- Výpočet ohybu zprava

Zatěžovací stavy jsou převzaty z firemních směrnic. Po konzultaci byly mírně zjednodušeny na vyhodnocování pouze posuvů ve směru svislé osy „Z“ v předem daných uzlech struktury kapoty. Pro potřeby diplomové práce je tento způsob vyhodnocování, pro vzájemné porovnání variant, plně postačující.

6.3.1 Zatěžovací stav torzní tuhosti

Tento druh měření monitoruje celkovou ohybovou tuhost kapoty.

Uchycení (viz obr. 82):

- Kapota je uchycena v kloubovém mechanismu závěsů, konkrétně v místě vzdálenějšího čepu. Zde jsou zadány okrajové podmínky pro fixaci všech posuvů a fixaci rotací kolem osy X a Z. Jediný povolený pohyb je rotace kolem osy Y (jako pro otevírání kapoty)
- V přední části je uchycení umístěno v místě třmenu zámku. Zde jsou povoleny všechny rotace a posuvy v ose X a Y. Zakázán je pouze posuv v ose Z

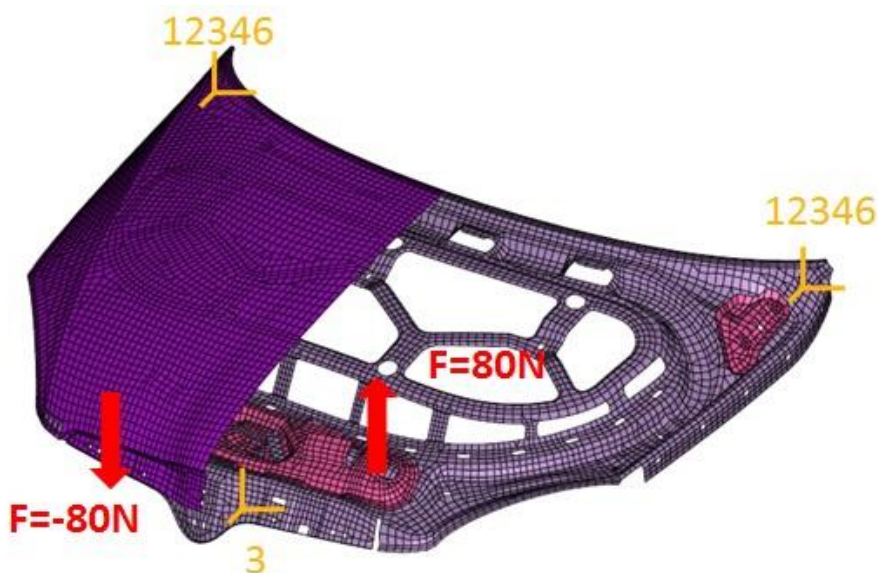
Zatížení (viz obr. 82):

- Silové působení je umístěno do dorazů kapoty v místě výztuhy zámku. Velikost sil orientovaných do osy Z je $\pm 80\text{N}$. V levém dorazu je síla v kladném směru osy Z a v pravém dorazu v záporném směru.

Hodnocení:

- Hodnoceny jsou posuvy v místech působení sil

Schéma:



Obr. 82 Schéma zatěžovacího stavu torzní tuhosti

6.3.2 Zatěžovací stav ohybu v zámku

Tento druh měření monitoruje tuhost kapoty při zatížení třmenem zámku.

Uchycení (viz obr. 83):

- Kapota je uchycena v kloubovém mechanismu závěsů, konkrétně v místě vzdálenějšího čepu. Zde jsou zadány okrajové podmínky pro fixaci všech posuvů a fixaci rotací kolem osy X a Z. Jediný povolený pohyb je rotace kolem osy Y (jako pro otevírání kapoty)
- V přední části je uchycení umístěno v místě dorazů kapoty. Povoleny jsou všechny rotace a posuvy v ose X a Y. Zakázán je pouze posuv v ose Z

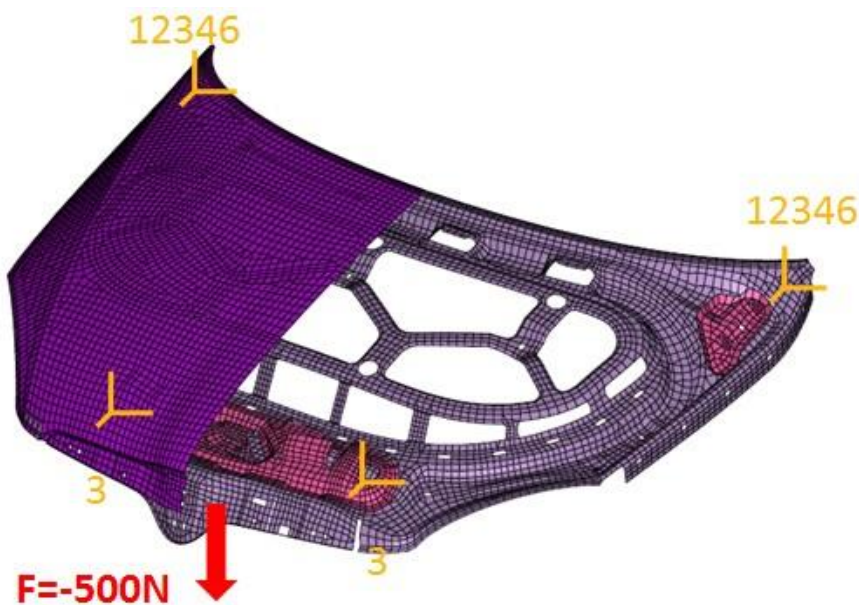
Zatížení (viz obr. 83):

- Silové působení je v místě třmenem zámku kapoty. Velikost síly orientované do osy Z je -500N.

Hodnocení:

- Hodnocen je posuv v místě působení síly

Schéma:



Obr. 83 Schéma zatěžovacího stavu ohybu v zámku

6.3.3 Zatěžovací stav ohybu zleva

Tento druh měření monitoruje tuhost kapoty při zatížení v levém dorazu.

Uchycení (viz obr. 84):

- Kapota je uchycena v kloubovém mechanismu závěsů, konkrétně v místě vzdálenějšího čepu. Zde jsou zadány okrajové podmínky pro fixaci všech posuvů a fixaci rotací kolem osy X a Z. Jediný povolený pohyb je rotace kolem osy Y (jako pro otevírání kapoty)
- V přední části je uchycení umístěno v místě třmenu zámku. Jsou zde zakázány posuvy ve všech osách a rotace kolem os Y a Z. Povolená je pouze rotace v ose X.
- Dále je zamezeno posuvu ve směru osy Z v pravém dorazu kapoty

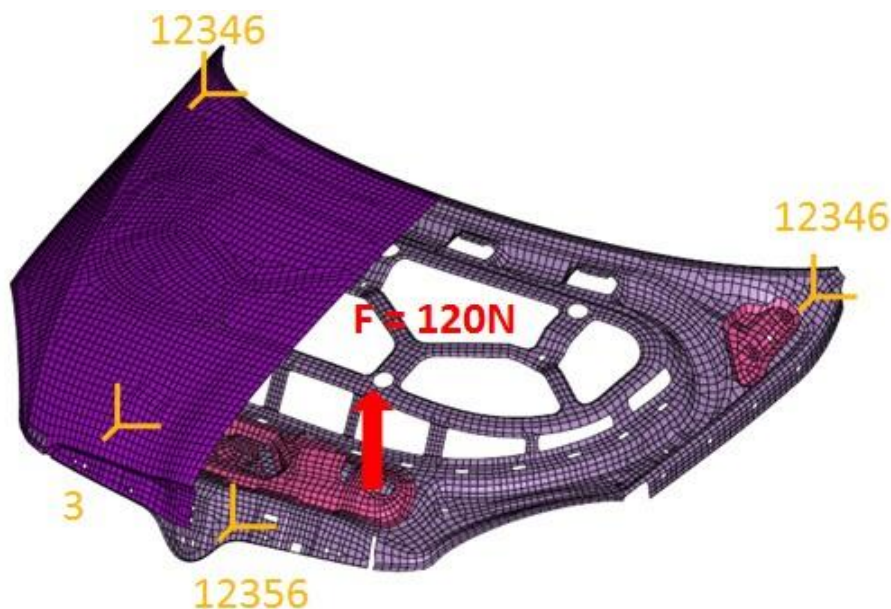
Zatížení (viz obr. 84):

- Silové působení je umístěno do levého dorazu kapoty v místě výztuhy zámku. Velikost síly orientované do osy Z je 120N.

Hodnocení:

- Hodnocen je posuv v místě působení síly

Schéma:



Obr. 84 Schéma zatěžovacího stavu ohybu zleva

6.3.4 Zatěžovací stav ohybu zprava

Tento druh měření monitoruje tuhost kapoty při zatížení v pravém dorazu.

Uchycení (viz obr. 85):

- Kapota je uchycena v kloubovém mechanismu závěsů, konkrétně v místě vzdálenějšího čepu. Zde jsou zadány okrajové podmínky pro fixaci všech posuvů a fixaci rotací kolem osy X a Z. Jediný povolený pohyb je rotace kolem osy Y (jako pro otevírání kapoty)
- V přední části je uchycení umístěno v místě třmenu zámku. Jsou zde zakázány posuvy ve všech osách a rotace kolem os Y a Z. Povolená je pouze rotace v ose X.
- Dále je zamezeno posuvu ve směru osy Z v levém dorazu kapoty

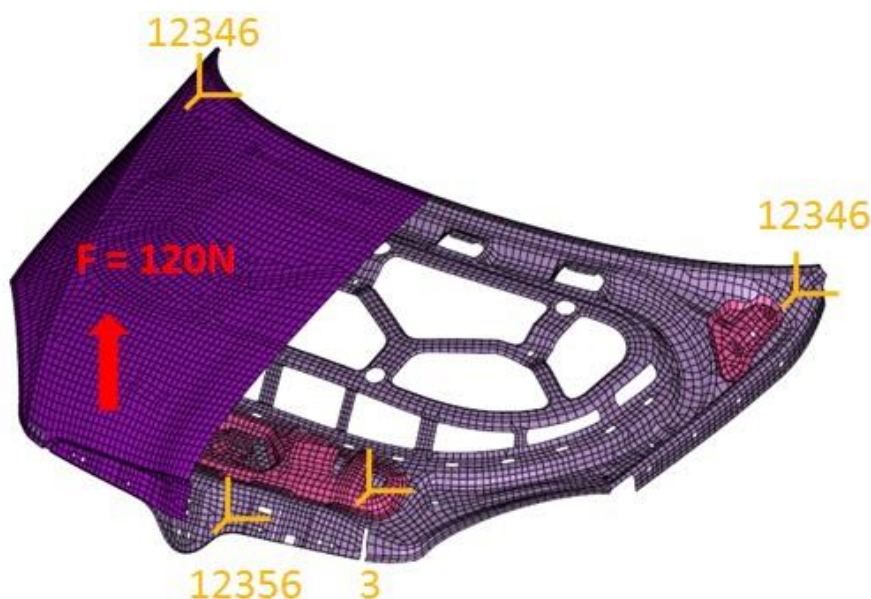
Zatížení (viz obr. 85):

- Silové působení je umístěno do pravého dorazu kapoty v místě výztuhy zámku. Velikost síly orientované do osy Z je 120N.

Hodnocení:

- Hodnocen posuv v místě působení síly

Schéma:



Obr. 85 Schéma zatěžovacího stavu ohybu zprava

6.4 Výsledky výpočtu celkové tuhosti kapoty

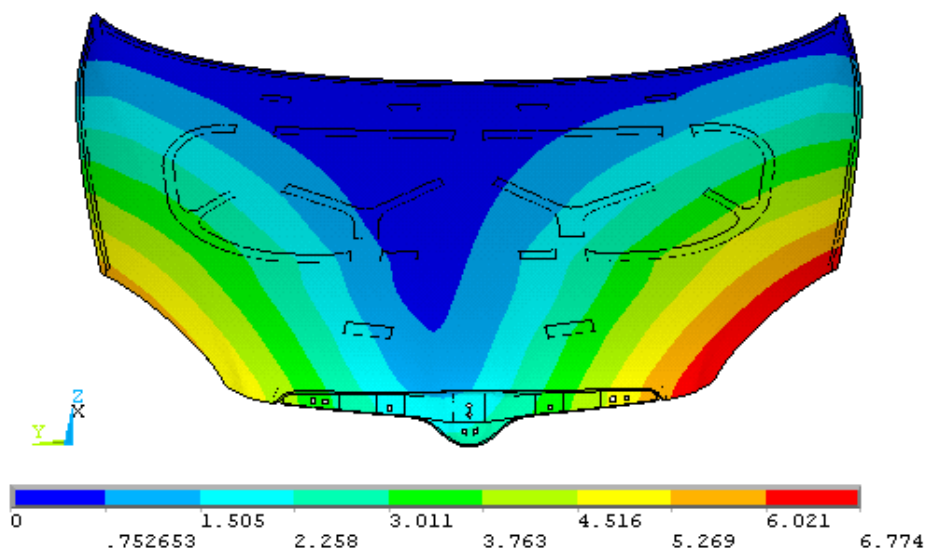
6.4.1 Torzní tuhost

V levém dorazu kapoty (působíště síly $F = 80\text{N}$) je posuv ve směru osy Z:

$$U_z = 4.8638 \text{ mm}$$

V pravém dorazu kapoty (působíště síly $F = -80\text{N}$) je posuv ve směru osy Z:

$$U_z = -3.3471 \text{ mm}$$

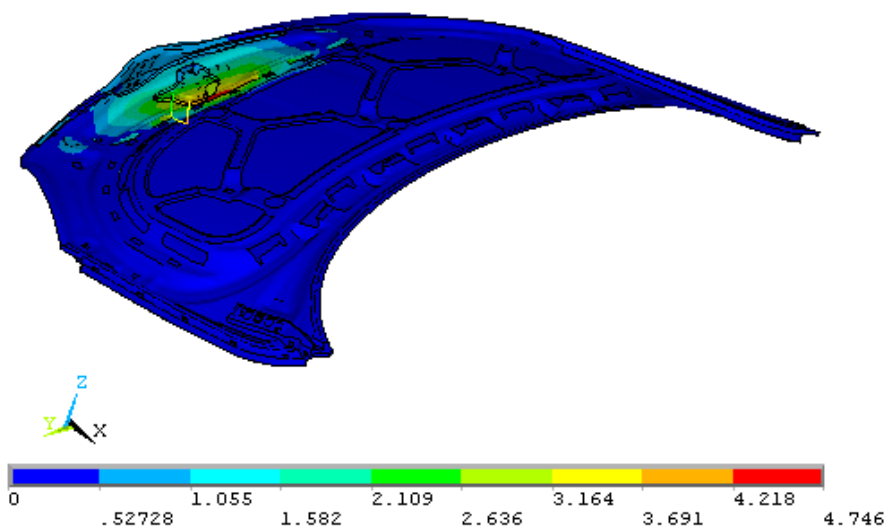


Obr. 86 Deformace kapoty v zatěžovacím stavu torzní tuhosti kapoty

6.4.2 Ohyb v zámku

V místě třmenu zámku (působíště síly $F = -500\text{N}$) je posuv ve směru osy Z:

$$U_z = -3.3989 \text{ mm}$$

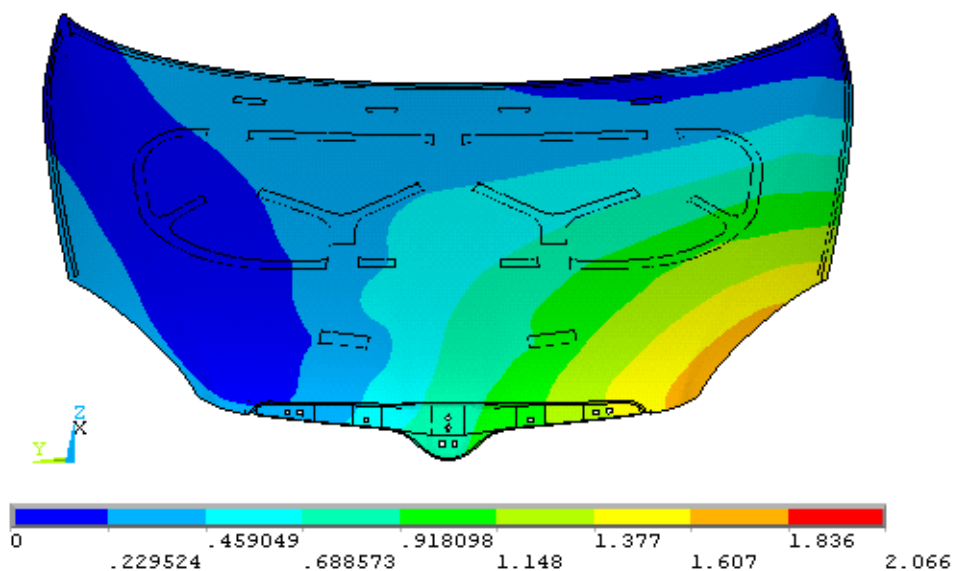


Obr. 87 Deformace kapoty v zatěžovacím stavu ohybu v zámku

6.4.3 Ohyb zleva

V levém dorazu kapoty (působí síla $F = 120\text{N}$) je posuv ve směru osy Z:

$$U_z = 1.7061 \text{ mm}$$

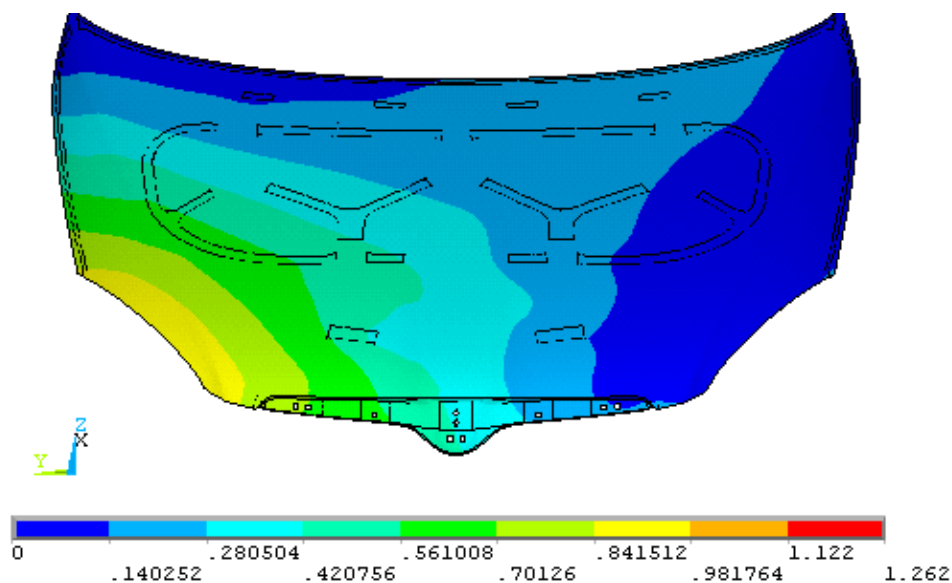


Obr. 88 Deformace kapoty v zatěžovacím stavu ohybu zleva

6.4.4 Ohyb zprava

V pravém dorazu kapoty (působí síla $F = -120\text{N}$) je posuv ve směru osy Z:

$$U_z = 1,0065 \text{ mm}$$



Obr. 89 Deformace kapoty v zatěžovacím stavu ohybu zprava



7 Vlastní konstrukční řešení

V této kapitole jsou popsány, graficky zobrazeny a následně vyhodnoceny různorodé varianty modifikací struktury kapoty, které byly za dobu trvání této diplomové práce zpracovány a ve spolupráci s oddělením technického vývoje automobilu firmy ŠKODA Auto a.s. zkonzultovány.

Cílem mé práce je přiblížení se k „ideální“ homogenní kapotě, která by byla nejvhodnější pro plnění limitů ochrany chodců. Samozřejmě nejsem první, kdo se touto problematikou bude zabývat, neboť se jí věnuje snad každý výrobce automobilů. Ovšem stále se ještě nepodařilo vyrobit kapotu, která by zcela vyhovovala všem požadavkům. K tomu je totiž potřeba nemalých úprav, týkajících se zásadních konstrukčních změn. O ně se vývojáři snaží již dlouhou dobu a postupně dosahují lepších výsledků. Velkým úspěchem byly zaručeně vnější airbagové prvky, struktura kapoty a další, které zmírnily nebezpečí chodců při nárazu na kapotu. Dovoluji si i říci, že s rostoucími znalostmi a využíváním alternativních materiálů, spojené s bohatými zkušenostmi tvorby těchto částí se možná v blízké době dočkáme dalších kvalitních návrhů, které pomohou zachránit spousty lidských životů.

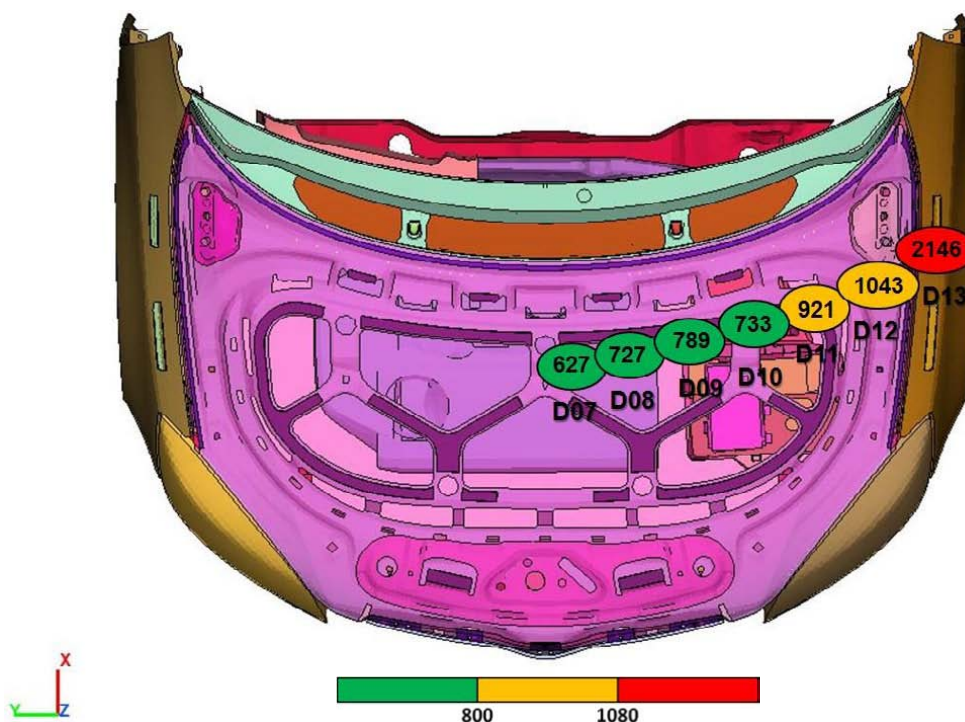
Hlavní náplní zadaného tématu diplomové práce je, abych na základě pochopení dějů simulačních výpočtů, provedl na struktuře kapoty takové změny, které by mohly vést k vytvoření homogennější kapoty. Tedy přesněji řečeno je mým úkolem vytvořit takovou kapotu, která by na základě mírnějších úprav, týkajících se především vnitřního podpůrného plechu, či jeho náhrady, byla co nejsnadněji přizpůsobitelná požadavkům ochrany a zejména potřebám konstruktérů (vyrobitelnost, tuhost, atd.). Například pokud by se v motorovém prostoru vyskytlo tuhé místo, kde by hrozil sekundární náraz, musím tomuto úrazu předejít tak, že v tomto nebezpečném dopadovém bodě posunu příčku nebo změním prolis kapoty, abych jí v daném úseku vyztužil a zamezil tak tvrdému dopadu na motor. Ovšem nesmím při svém přetváření struktury přední části vozidla porušit žádný z omezujících parametrů, který je závazný v konstrukčním návrhu. V mém případě se nesmím výrazně odchýlit od celkové statické tuhosti kapoty, která může oproti původnímu modelu klesnout až o 20%. Na závěr své předmluvy k vlastnímu konstrukčnímu řešení musím potvrdit, že veškeré úpravy týkající se daného tématu, vyžadují opravdu kvalifikované a zkušené vývojové inženýry, kteří své poznatky musí střádat během mnoha let svého působení v tomto oboru. Proto následné řešení zadaného úkolu bude bráno s ohledem na dosavadní možnosti a znalosti autora této práce.

V mém šetření zadaného úkolu jsem zpracoval několik variant se spoustou modelů, díky nimž jsem se postupem času dostával do celkové problematiky. Tím jsem zvyšoval nejen své zkušenosti, ale především se mi rozšířily představy o rychlých nárazových simulacích, které se mohly projevit v navrhovaných modelech. Na základě svých znalostí, mohu celou konstrukčně-výpočtovou činnost rozdělit do několika podoblastí:

- Optimalizace původní struktury kapoty originálního modelu
- Kapota s vloženým pěnovým dílem
- Kapota s vloženými plastovými deformačními elementy
- Kapota s odlišnou strukturou vnitřního plechu

7.1 Optimalizace původní varianty

V počátku mé práce jsem nasimuloval dopady makety dětské hlavy v předem daných bodech, ukazující průřezově vlastnosti konkrétní struktury automobilové kapoty. Jako první výpočet jsem provedl simulaci nárazu na originální kapotě, kde výstupní výsledky průběhů zrychlení slouží jako referenční. K těmto výsledkům se odkazují vždy při porovnávání jednotlivých variant.



Obr. 90 Výsledky HIC na originální kapotě

Diskuse výsledků

Na této původní struktuře (obr. 90) je možné si povšimnout charakteristického rozložení HIC na příčném průřezu kapotou. Tendence HIC je v tomto případě typická, kdy ve střední oblasti je nejnižší a směrem ke kraji stoupá. V těchto simulačních výpočtech se, jak bylo zdůvodněno výše, uvažuje „zelená“ zóna pro $HIC \leq 800$. Do zmíněné skupiny patří celá plocha středového prolisu. První přechodová „oranžová“ hodnota je na dopadovém bodu D11. Zde je možno si povšimnout končícího středového prolisu a počátek tzv. rámu kapoty. Ten je tvořen hlubokým prolisem, který výrazně ovlivňuje lokální tuhost a hodnoty HIC (jak je vidět na obrázku) v krajních polohách. Oblast kolem zmiňovaného rámu je z hlediska HIC kritéria nevyhovující. Také v okrajových bodech (zde se plechy přibližují a tím vzniká malý deformační prostor) se v důsledku sekundárních nárazů zvedají hodnoty HIC. I dopadový bod D13 má vysokou hodnotu, protože je pod ním tuhá struktura karoserie. Pokud nedojde k přepracování této okrajové oblasti, zejména posunutí držáku blatníku mimo dopadovou zónu (z okolí lemu kapoty), nepřikládám bodu D13 velkou naději na výrazné zlepšení.

7.1.1 Modifikace kapoty

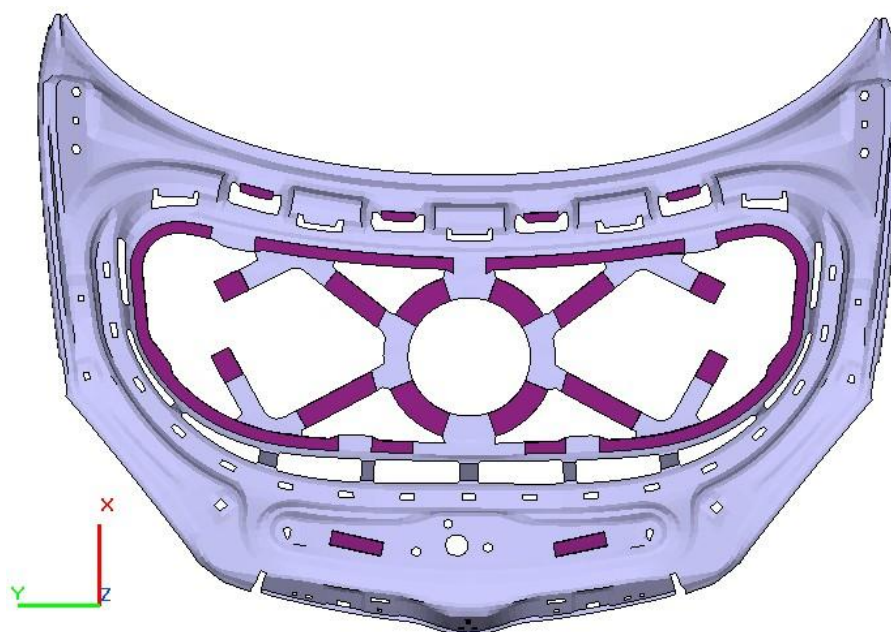
První myšlenka při pohledu na rozložení HIC na originální struktuře je, že by bylo vhodné střední oblast poněkud více vyztužit, aby mohla do modelu vnášet více tuhosti. Tím by bylo možné tuhost v krajních oblastech snížit. Výsledná celková statická tuhost by tak měla zůstat, podle předpokladů, přibližně stejná.

Následující varianty ukazují krok po kroku postup k cílovému modelu. U každé varianty jsou uvedeny poznámky k tvorbě a zejména soupis jeho provedených změn. Dále jsou, po zobrazení výsledků, popsány poznatky z výpočtu a návrhy pro zlepšení.

7.1.1.1 Varianta 1

Charakteristika modelu

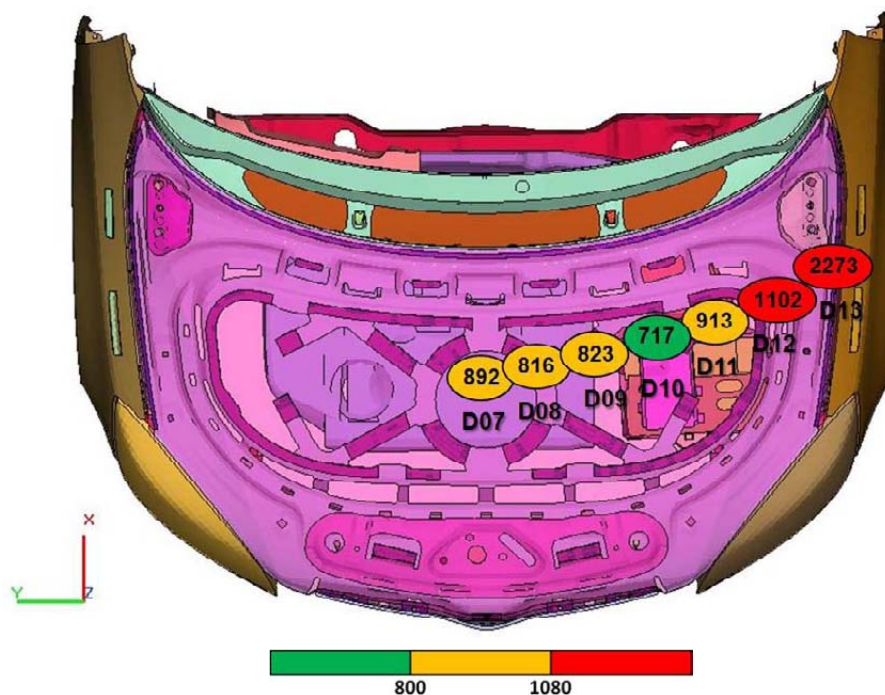
Úplně první variantu (obr. 91) jsem vytvořil takovou, aby odpovídala myšlence, kterou jsem vyjádřil již výše. Ve střední oblasti je vytvořen masivní tuhostní prvek ve tvaru kruhové výztuhy, od které vedou příčky směrem ke krajům. Protože by však na krajích vznikly velké nepodepřené plochy, které jsou kvalitativně nepříznivé, je nutné tyto oblasti podepřít. To bylo provedeno krátkými výběžky žeber. Celá nově vytvořená struktura je s vnějším plechem na zvolených místech spojena objemovými prvky těsnícího lepidla.



Obr. 91 Modifikace vnitřního plechu originálního modelu – varianta 1

Diskuse výsledků

Na obr. 92 je číselné vyjádření HIC kritéria na novém modelu. Už na první pohled je zřejmé ovlivnění tuhosti ve střední části, kde byla vytvořena mohutnější příčka vnitřního plechu. Velikost HIC je, pro první body od středu, celkem rovnoměrně rozložená. Výrazný pokles zaznamenal bod D10, který se o něco snížil oproti původní variantě. Body D11 až D13 se prakticky nezměnili. To se dalo přepokládat, neboť tato krajní oblast nebylo pozměněna.

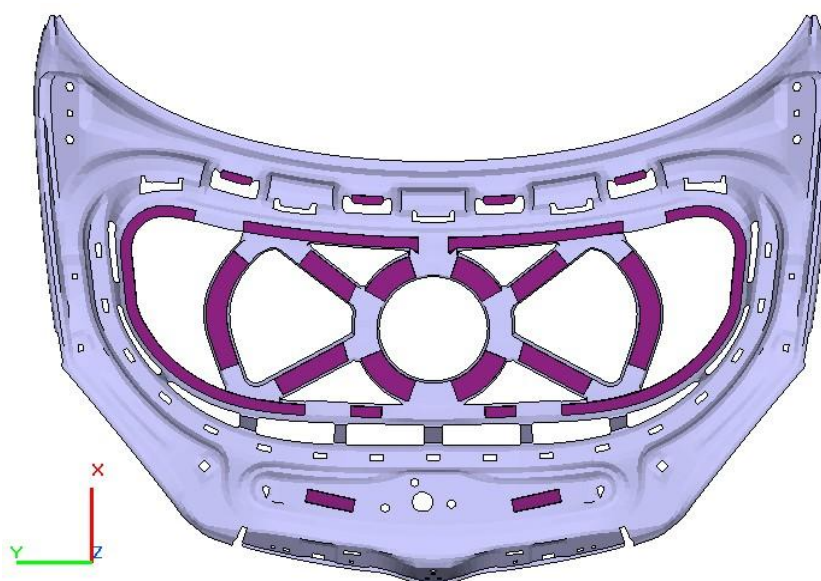


Obr. 92 Hodnoty HIC na novém modelu – varianta 1

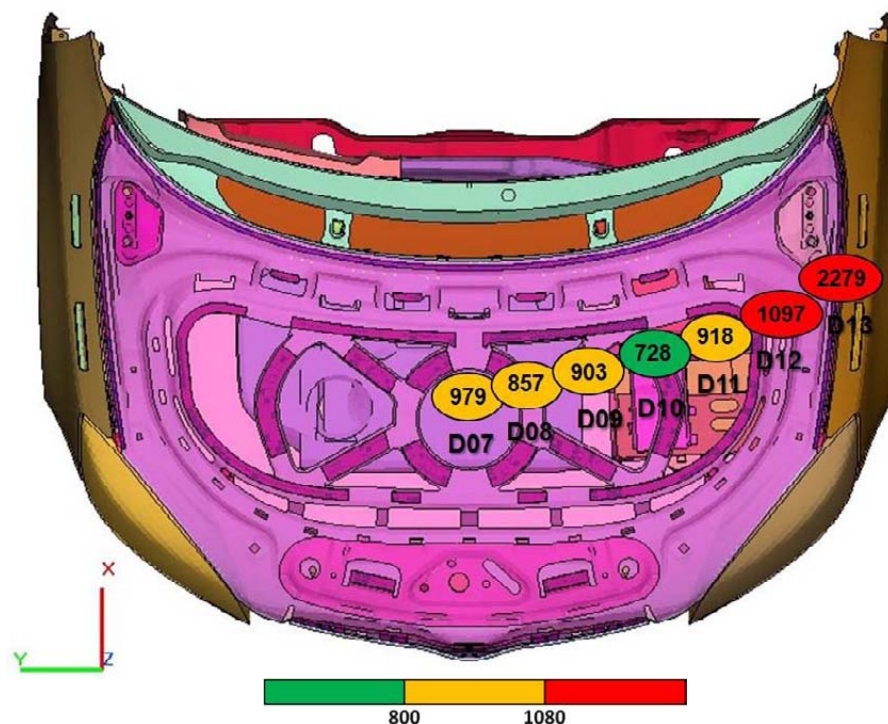
7.1.1.2 Varianta 2

Charakteristika modelu

Z předchozí simulace lze získat představu o velikosti změn v chování kapoty, které vznikly v důsledku modifikace pouze střední oblasti. Protože však byly prolisy modelovány bez okrajového lemování a v reálných modelech lemování nechybí (jsou zde především z důvodu odstranění chvění), lemy jsem proto doplnil do druhé varianty. Mimo „lemování“ prolisů, bylo v této variantě provedeno i odstranění podpěr volných ploch. Ty byly nahrazeny tvarovou příčkou spojující horní a dolní okraj rámu kapoty. Množství lepených ploch bylo zachováno. Upravený model je zobrazen na obr. 93.



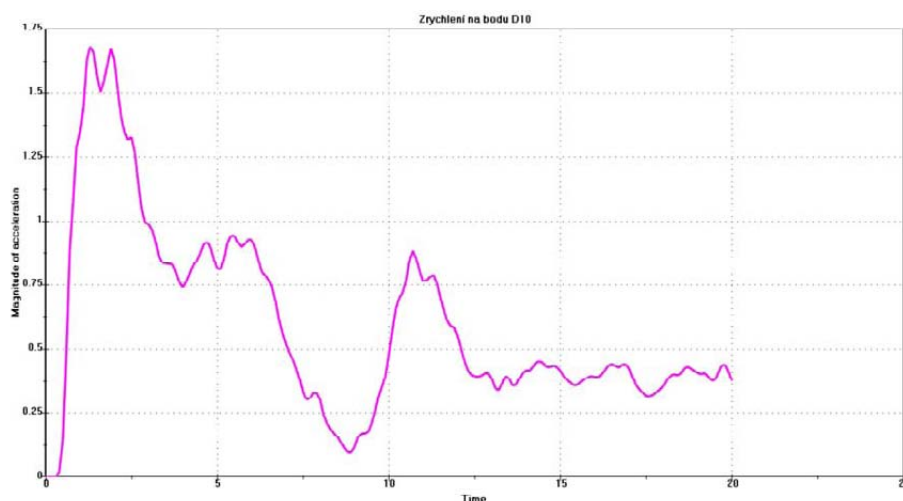
Obr. 93 Modifikace vnitřního plechu originálního modelu – varianta 2



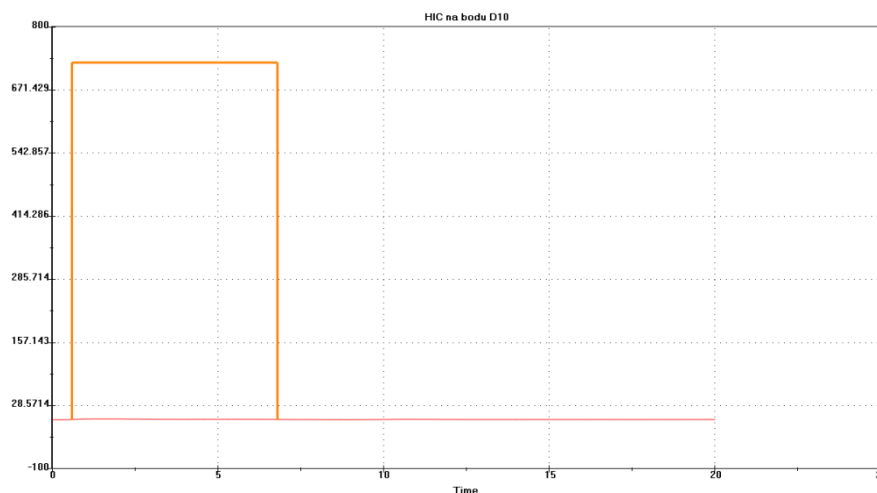
Obr. 94 Hodnoty HIC na novém modelu – varianta 2

Diskuse výsledků

Výsledky z výpočtu (obr. 94) ukazují velký vliv lemů na struktuře prolisu vnitřního plechu kapoty, zejména pak v oblasti kruhového prolisu, kde jsou lemy na velké ploše. Tím dochází k většímu nárůstu lokální tuhosti. Průměrný nárůst HIC je pro první 3 dopadové body o cca 50. Pro další výpočty již budou modely tvořeny plnohodnotnými prolisy s lemy okrajů. Dalším poznatkem z tohoto výpočtu může být zmapování nezvykle nízké hodnoty HIC (vzhledem k okolnímu rozsahu) na dopadovém bodu D10. Pro jeho podrobnější analýzu je vykreslen graf celkového zrychlení těžiště právě na tomto bodu (obr. 95) a oblast vyhodnocování s hodnotou HIC (obr. 96).



Obr. 95 Průběh celkového zrychlení na bodu D10

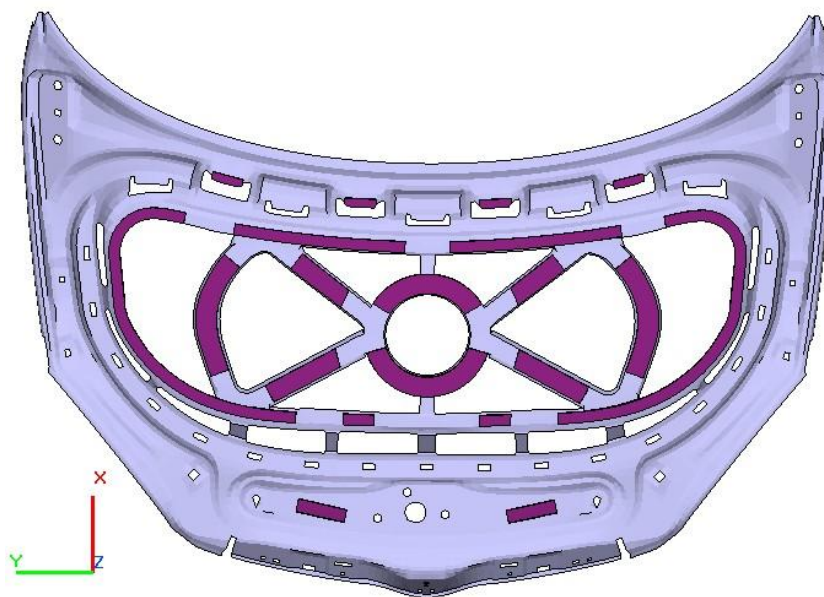


Obr. 96 Oblast pro vyhodnocování a hodnota HIC kritéria

HIC s hodnotou 728 je velmi dobrá hodnota. Z průběhu zrychlení je čitelná maximální zrychlení $1.75 \text{ mm} \cdot \text{ms}^{-2}$. Tento vrchol je průměrný. Nízkou hodnotu HIC především zajišťuje krátká doba pro vyhodnocování (zhruba 6 ms). Pokles z vrcholu „píku“ není zrovna plynulý, proto je plocha větší. Kdyby se podařilo zrychlit pokles zrychlení, dalo by se HIC dále snížit.

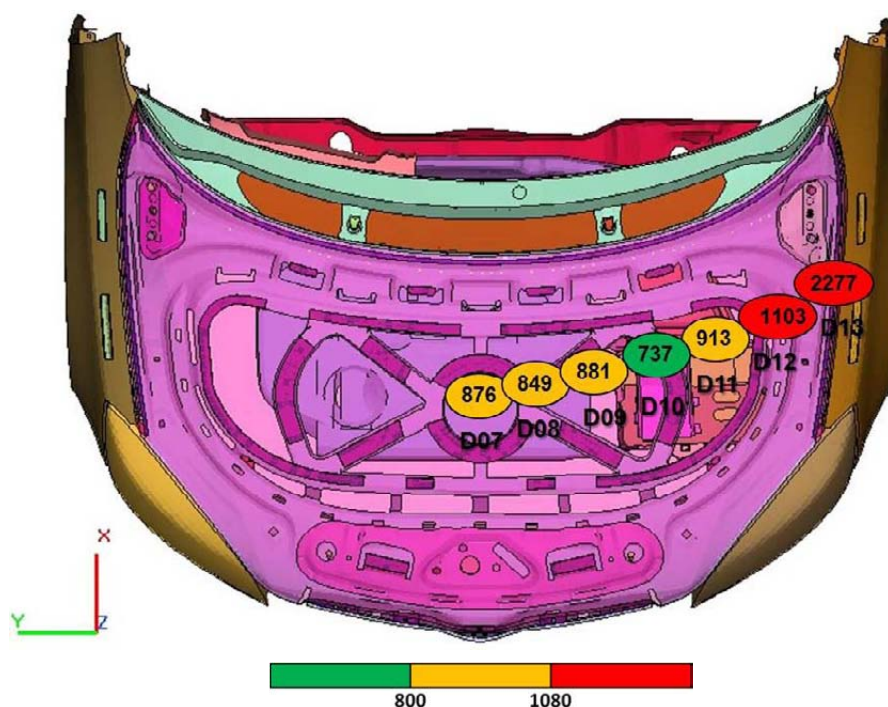
7.1.1.3 Varianta 3

Charakteristika modelu



Obr. 97 Modifikace vnitřního plechu originálního modelu – varianta 3

Největší změnou na novém modelu (obr. 97) je zmenšení vnějšího průměru střední kruhové výztuhy z $D = 280 \text{ mm}$ na $D = 220 \text{ mm}$. Jelikož u minulého výpočtu byly velikosti HIC dosti vysoké (zbytečně velká lokální tuhost), je vhodné tuto oblast redukovat. Ostatní žebra ve struktuře prolisu vnitřního plechu nejsou pozměněna. S odlišným průměrem kruhového prolisu se mění i plocha slepení s vnějším plechem kapoty.



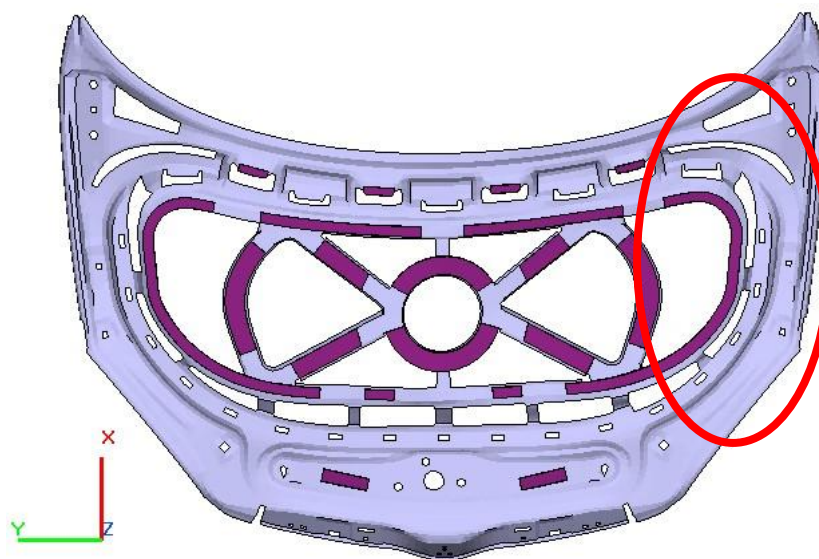
Obr. 98 Hodnoty HIC na novém modelu – varianta 3

Diskuse výsledků

Hodnoty HIC (obr. 98), vlivem redukce lokální tuhosti, poklesly v bodě D07 o cca 100. Sousední bod D08 zaznamenal jen nepatrný pokles, protože se v jeho místě dopadu téměř nezměnila struktura (stále je v tomto místě spoj výztuh). Pro další postup stavby modelu je z tohoto případu zřejmé, jak velký vliv na jednotlivý bod má takováto změna. Nutné je další snížení tuhosti v okolí D07 (pod hranici HIC 800).

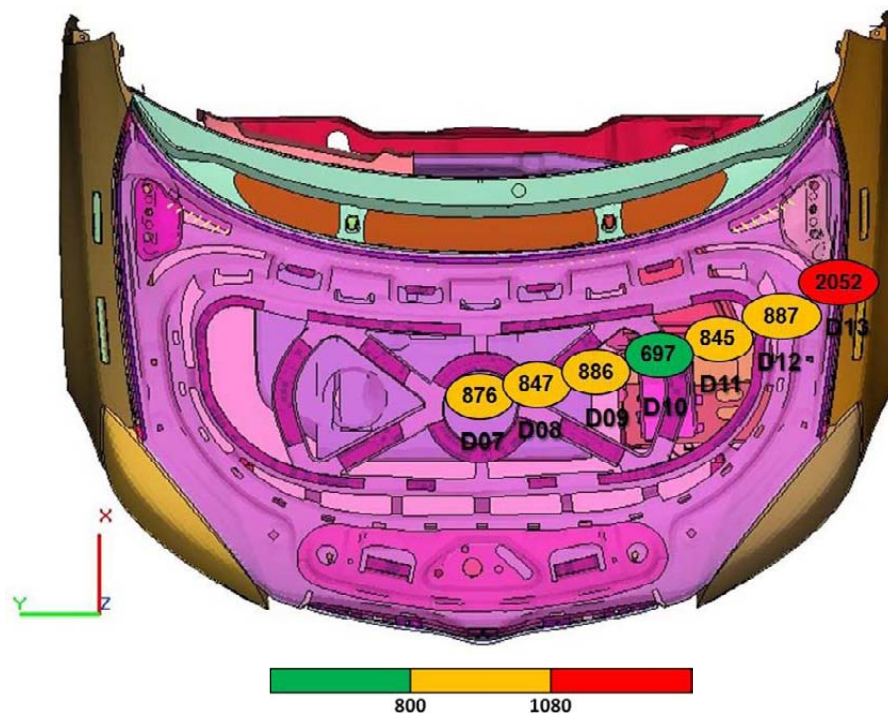
7.1.1.4 Varianta 4

Charakteristika modelu



Obr. 99 Modifikace vnitřního plechu originálního modelu – varianta 4

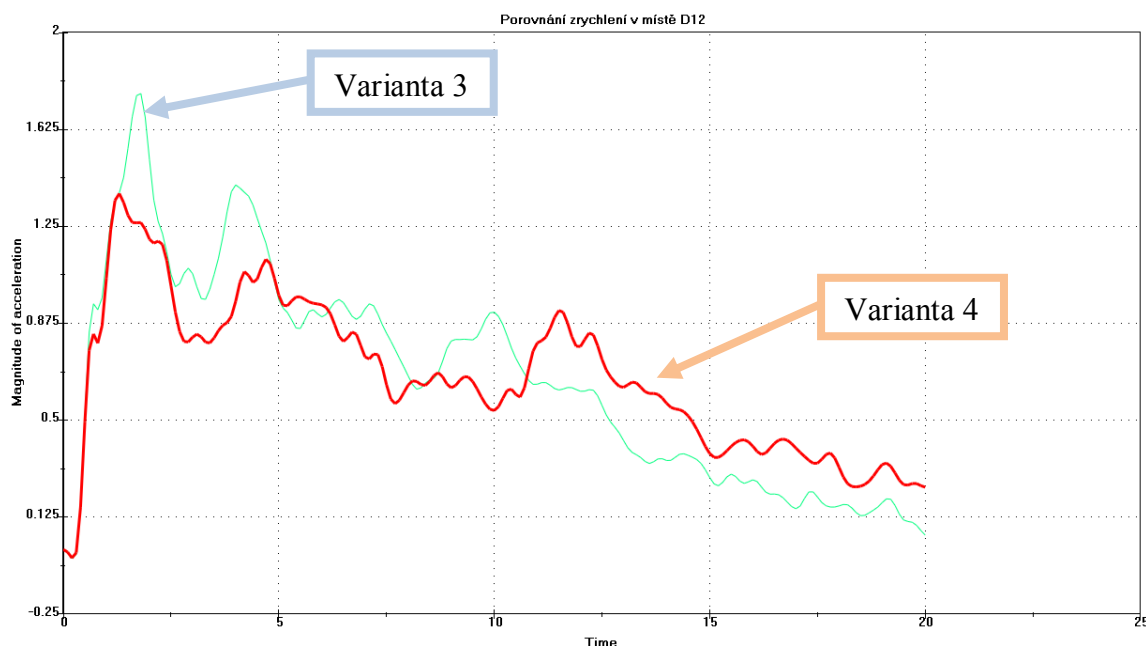
V tomto modelu (obr. 99) je střední struktura výztuhy kapoty ponechána a je provedeno snížení tuhosti v krajní oblasti, konkrétně v místě závěsů kapoty v okolí bodu D12 a D13. Redukce tuhosti je realizována odstraněním tenkého pásu v blízkém okolí závěsu kapoty, kde je tuhost kapoty nejvyšší. Tato úprava by měla umožnit větší deformaci vnitřního plechu kapoty a tím snížení HIC.



Obr. 100 Hodnoty HIC na novém modelu – varianta 4

Diskuse výsledků

Výsledky simulace nárazu ukazují, že umožněním větší deformace vnitřního plechu lze výrazněji ovlivnit konkrétní dopadové body. O to cennější je schopnost snížit HIC v této krajní oblasti u výztuhy závěsu kapoty, pouze takto mírnou úpravou, o hodnotu téměř 250. Další výhodou může být to, že modifikace nebude mít na výpočet celkové torzní tuhosti výrazný vliv. Otázkou však může být, jak by tento prvek v reálném modelu obstál z kvalitativního hlediska. Myslím tím zejména tzv. lupání plechu kapoty už při menším zatížení (opření rukou). Ve výsledku je třeba vyhovět více kritériím, které se v této fázi zatím nemusí odhalit. Z globálního hlediska je rozložení HIC po celém průřezu plochou kapoty téměř homogenní. Kromě bodu D10, který je nižší a bodu D13, který nejde o tolik snížit, jsou hodnoty v rozmezí 845 až 887. Tento trend je vyhovující v případě, že by se dále podařilo snížit HIC na těchto bodech o další 100.

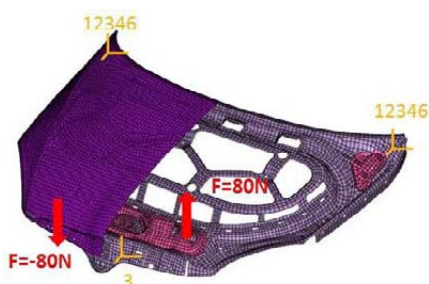


Obr. 101 Porovnání celkového zrychlení na bodu D12

Z porovnání zrychlení na dopadovém bodu D12 varianty 3 (bez úpravy krajní oblasti) a varianty 4 (s úpravou) na obr. 101 je patrné, že došlo k výraznějšímu snížení maximální hodnoty prvního vrcholu a poté k plynulejšímu poklesu. Tato změna vede ke snížení HIC o 250. Oblast pro vyhodnocování je prakticky stejná.

Z důvodu větších úprav na stávajícím modelu, který se již více liší od originálního skeletu kapoty, je následně proveden výpočet celkové statické tuhosti. Tento výpočet má být zdrojem k zmapování tuhosti, která by podle předpokladů měla narůst, protože se ve střední oblasti lokální tuhost zvýšila a v krajní oblasti zůstala prakticky stejná. Potvrzení tohoto předpokladu může být podmětem k dalšímu jejímu snížení na potřebných místech kapoty.

Tab. 14 Výpočet statické tuhosti - varianta 4



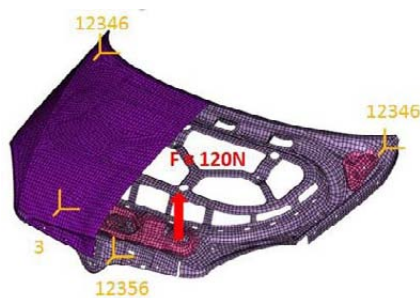
Torzni tuhost

	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Levý doraz	4.8638	4.6691	- 4.21 %
Pravý doraz	- 3.3471	- 3.2060	- 4.01 %



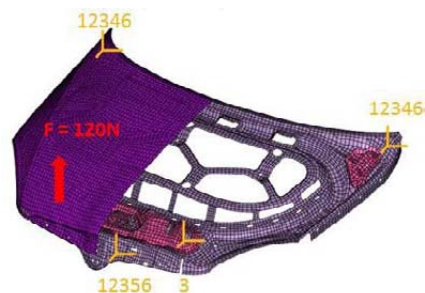
Ohyb v zámku

	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Třmen zámku	- 3.3989	- 3.1872	- 6.22 %



Ohyb zleva

	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Levý doraz	1.7061	1.5282	- 10.43 %



Ohyb zprava

	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Pravý doraz	1.0054	0.92395	- 8.1 %

Výsledky výpočtu celkové torzní tuhosti kapoty

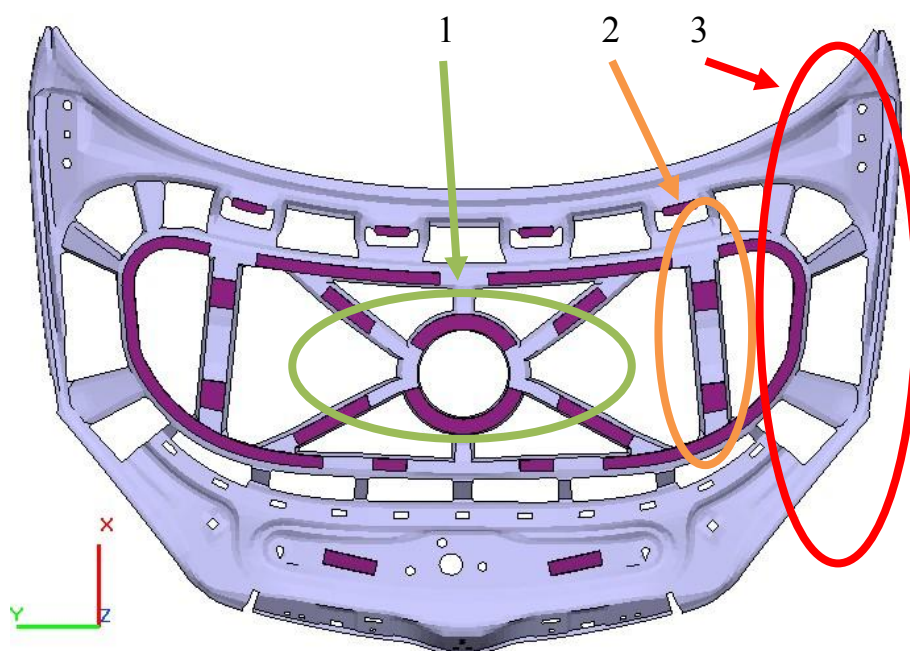
Pozn: Referenční hodnota posuvu Uz je vypočtena z originální varianty zadané kapoty

Z výsledných hodnot (tab. 14) je zřejmé, že provedené úpravy, především nová struktura střední oblasti prolisu vnitřního plechu, měly vliv na zvýšení celkové statické tuhosti. Nárůst je cca o 4 až 10.5%. Rezerva tuhosti se tedy nyní zvýšila. Je tedy možné provést další úpravy, které redukuje HIC. Vhodné bude dále vylepšit lokální tuhost ve středu kapoty.

7.1.1.5 Varianta 5

Charakteristika modelu

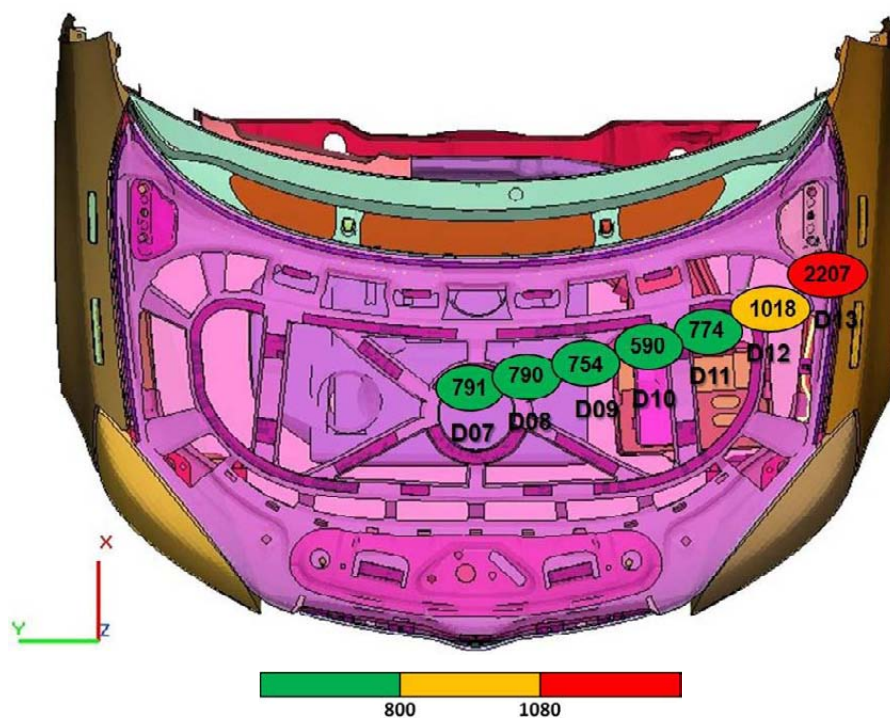
V tomto modelu (obr. 102) pokračuje snižování tuhosti ve střední oblasti. Z minulého modelu, hlavně z výpočtu tuhosti, se ukázalo, že ji je možné dále snižovat. Tato redukce je zde v podobě zmenšení šířek u žeber prolisu o několik milimetrů (1). Další změnou je nahrazení bočních příček ve střední oblasti jednodušším tvarem (2). Poslední úpravou byla krajní oblast. Zde je provedena radikální změna. Originální tvar tzv. rámu kapoty byl odstraněn a místo něho byly použity jiné výztuhy (3) spojující okraj vnitřního plechu a okraj prolisů střední oblasti. Tento poslední krok je proveden z toho důvodu, aby došlo k eliminování tzv. „rámové konstrukce kapoty“ a aby byla nahrazena homogennější strukturou.



Obr. 102 Modifikace vnitřního plechu originálního modelu – varianta 5

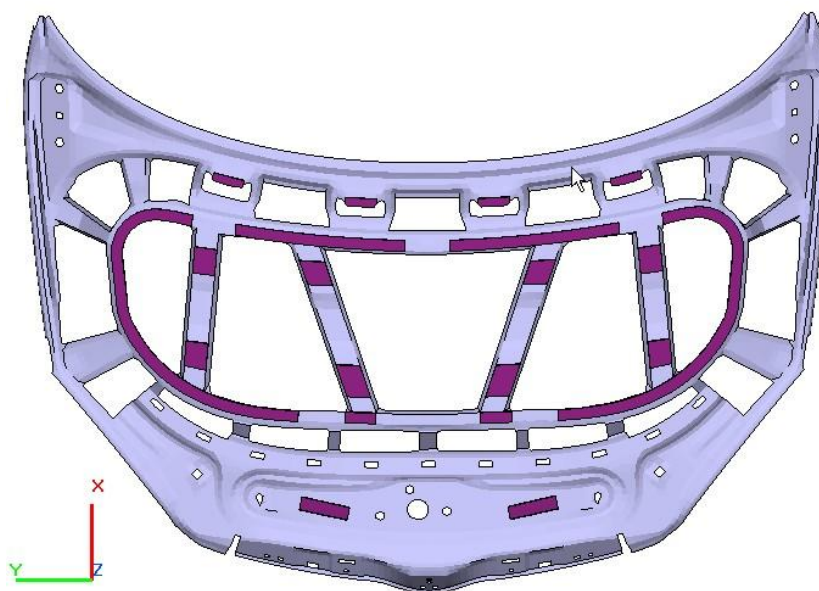
Diskuse výsledků

Na obr. 103 jsou zobrazeny výsledky výpočtů HIC na novém modelu. V naprosté většině dopadových bodů se podařilo klesnout pod hranici HIC 800. Rozložení HIC je přitom poměrně rovnoměrné. Nejmenší hodnotu má D10, která se při tomto rozložení prolisů drží opět nejnižší. Okrajová hodnota D12 je vysoká a D13 je nad kritickou hranicí HIC 1080 a proto nevyhovuje. Z celkového hlediska se podařilo posunout hranici „zelených“ hodnot o jeden dopadový bod směrem ke kraji. Je nezbytně důležité ověřit tento model i z hlediska výpočtu statické tuhosti. Největší vliv na výsledek bude mít bezpochyby odstranění „rámu“ vnitřního plechu. To může znamenat zejména zvětšení průhybů v zatěžovacím stavu torzní tuhosti.



Obr. 103 Hodnoty HIC na novém modelu – varianta 5

7.1.1.6 Varianta 6

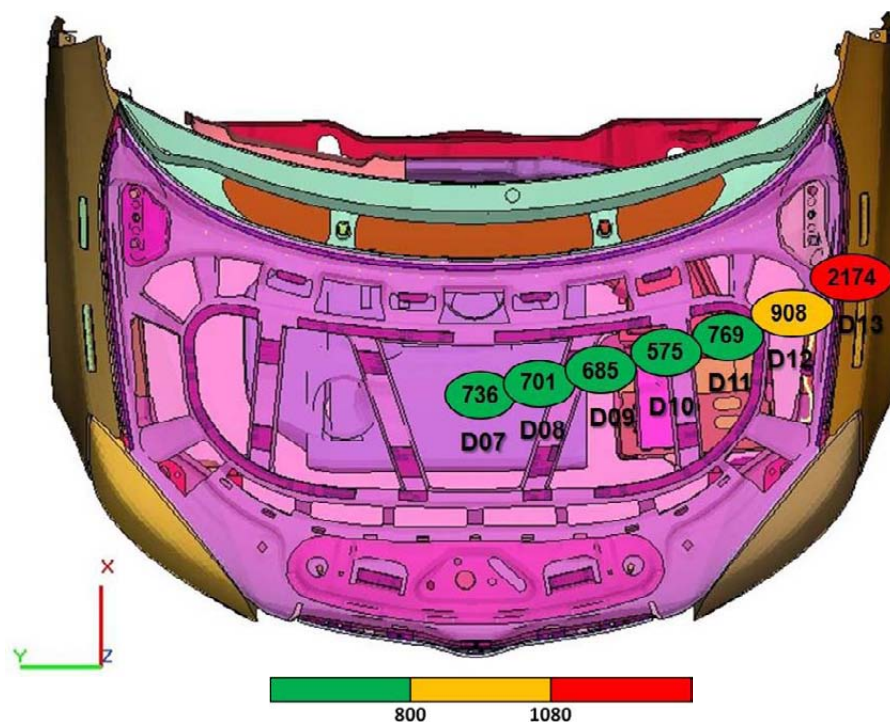


Obr. 104 Modifikace vnitřního plechu originálního modelu – varianta 6

Charakteristika modelu

Následující model (obr. 104) přináší nový středový tvar. Jelikož zmenšení šířky příček prolisu vnitřního plechu přineslo snížení HIC a další zužování je nevhodné, nahradil jsem tento tvar jednodušším tvarem „V“. Tato varianta by mohla přinést méně materiálu a tím

menší hmotnost vnitřního plechu. Úpravou vznikla logicky i menší plocha prolepení vnitřního plechu s vnějším. Z hlediska zvyklostí a zkušeností z praxe by mělo být určité procento plochy kapoty prolepeno. Tato oblast se určuje individuálně u každého modelu podle potřeby (zejména kvůli kvalitě dílu). S větší plochou stoupá i celková tuhost při nárazu (rostou hodnoty HIC).



Obr. 105 Hodnoty HIC na novém modelu – varianta 6

Diskuse výsledků

Hodnoty HIC (obr. 105) jsou, v porovnání s předešlou variantou, poměrně vyrovnané a taky o něco málo menší. Náhrada střední oblasti výztuhy vnitřního plechu se jeví, jako správná varianta. Od minulé úpravy zůstaly krajní oblasti nezměněny a zbývá otázka, jak mnoho ovlivňují statickou tuhost kapoty. Hodnoty krajních dopadových bodů jsou, z hlediska velikosti HIC, na dobré úrovni.

Výpočet celkové torzní tuhosti kapoty

Výpočet (tab. 15) potvrdil očekávané zhoršení statické tuhosti. Odebráním „rámu“ vznikl až 100% nárůst posuvu v ose Z v dorazech kapoty. Výsledky změn posuvů u ostatních zatěžovacích stavů jsou v přijatelných hodnotách.

Tab. 15 Výsledky výpočtu statické tuhosti kapoty – varianta 6

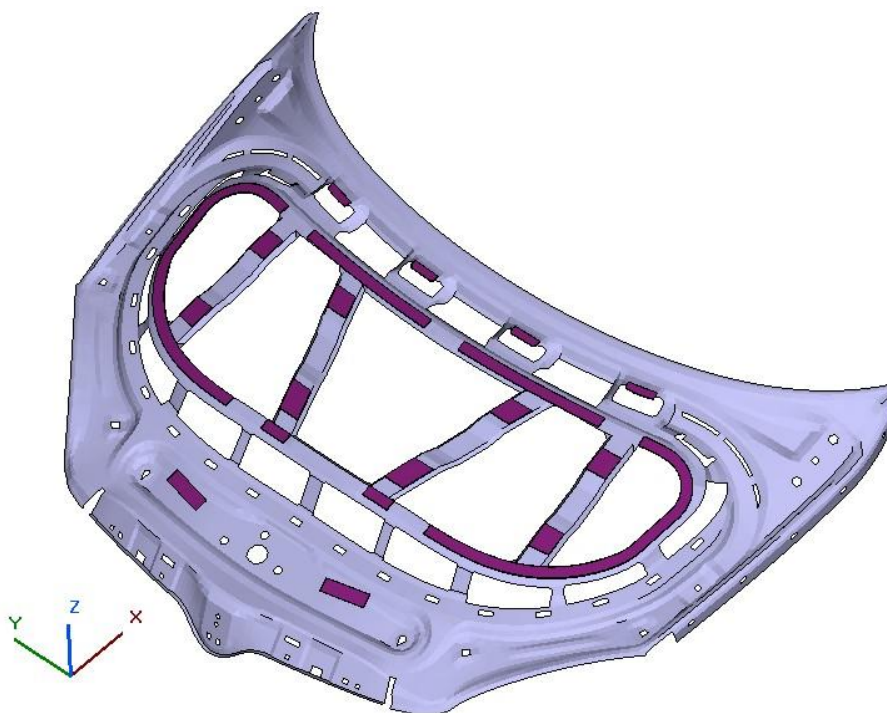
Torzní tuhost	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Pravý doraz	- 3.3471	- 6.3438	+ 89.5%
Levý doraz	4.8638	9.7250	+ 100 %

Ohyb v zámku	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Třmen zámku	- 3.3989	- 3.3351	- 1.8 %

Ohyb zleva	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Levý doraz	1.7061	1.7486	+ 2.5 %

Ohyb zprava	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Pravý doraz	1.0054	1.0551	+ 5 %

7.1.1.7 Varianta 7



Obr. 106 Modifikace vnitřního plechu originálního modelu – varianta 7

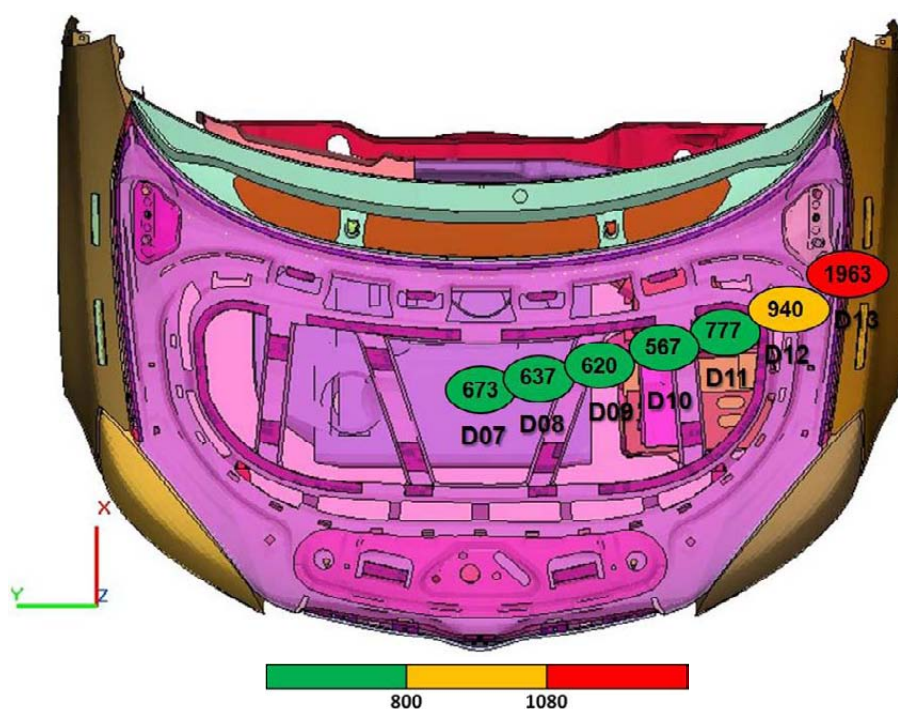
Charakteristika modelu

Z důvodu, že minulá úprava krajní oblasti vnitřního plechu (odstranění „rámu“ kapoty) zapříčinila nárůst torzní tuhosti kapoty o cca 100%, jsem v této variantě vrátil zpět mohutný prolis a provedl na něm několik drobných úprav (například zvětšení některých otvorů

v plechu). Střední oblast zůstala nadále nezměněna, protože její výborné výsledky vyhovují požadavkům.

Diskuse výsledků

Výsledky (obr. 107) ze simulace nárazu dětským impaktorem na aktuálně upravenou strukturu kapoty jsou příznivé. Rozložení HIC spolu s hodnotami jsou velmi podobné jako předchozí model. Vynikající „zelené“ hodnoty HIC jsou od středu kapoty, až po bod D11. Dopadový bod D12 je přechodový a bod D13 zůstává nevyhovující. Největší změna je očekávána u výpočtu statické tuhosti.



Obr. 107 Hodnoty HIC na novém modelu – varianta 7

Výpočet celkové torzní tuhosti kapoty

Výsledky výpočtů (tab.16) ukazují minimální rozdíly oproti referenčnímu modelu. Je zde znatelný významný vliv „rámové“ konstrukce na celkovou statickou tuhost kapoty.

Tab. 16 Výsledky výpočtu statické tuhosti kapoty – varianta 7

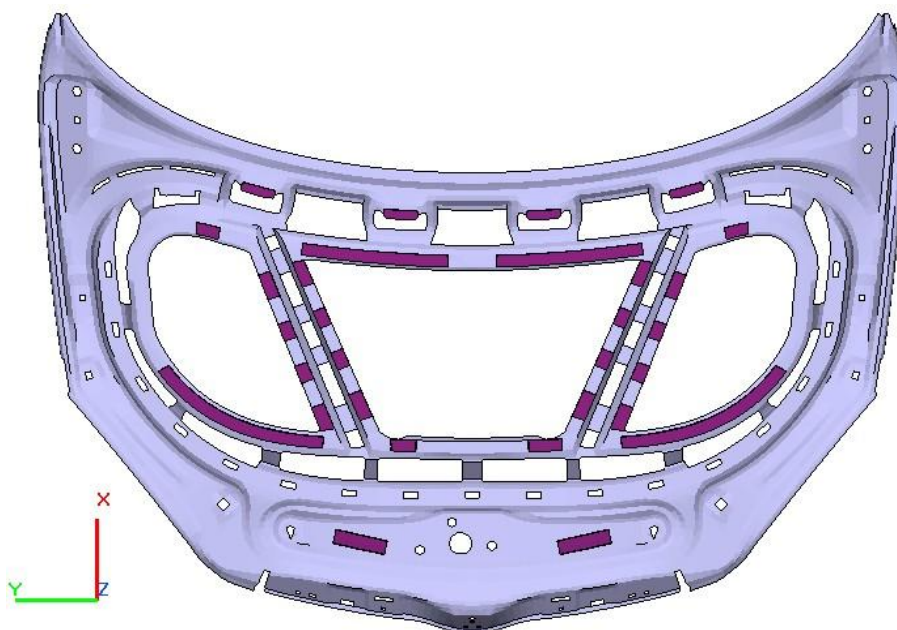
Torzní tuhost	<i>Referenční Uz [mm]</i>	<i>Vypočtené Uz [mm]</i>	Změna
<i>Pravý doraz</i>	- 3.3471	- 3.3579	0 %
<i>Levý doraz</i>	4.8638	5.1019	+ 4.66 %

Ohyb v zámku	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Třmen zámku	- 3.3989	- 3.1976	- 6.3 %

Ohyb zleva	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Levý doraz	1.7061	1.6540	- 3.15 %

Ohyb zprava	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Pravý doraz	1.0054	0.9745	- 3.17 %

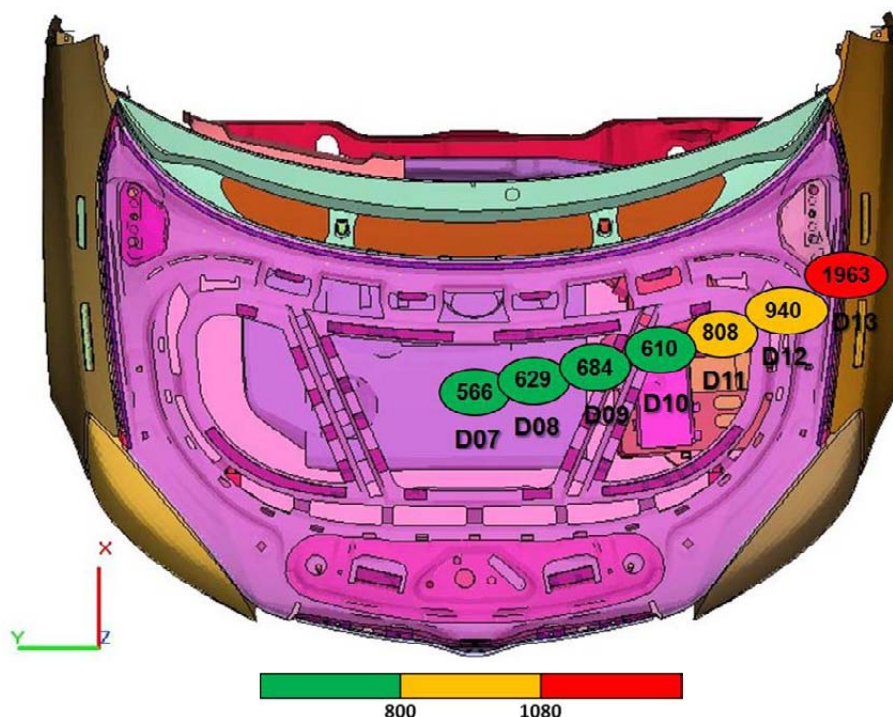
7.1.1.8 Varianta 8



Obr. 108 Modifikace vnitřního plechu originálního modelu – varianta 8

Charakteristika modelu

V aktuálním modelu (obr. 108) je snaha nalézt další vhodné řešení struktury zejména střední oblasti. Tvar z minulého modelu byl nahrazen zjednodušeným tvarem „V“ s výraznějším prolisováním.



Obr. 109 Hodnoty HIC na novém modelu – varianta 8

Diskuse výsledků

Výsledky (obr. 109) ukazují dobré hodnoty HIC v bodech D07 až D10. Mírné zhoršení, v důsledku chybějícího prolepení vnitřního plechu s vnějším, je u bodu D11 a D12. Dopadový bod D13 se prakticky nezměnil.

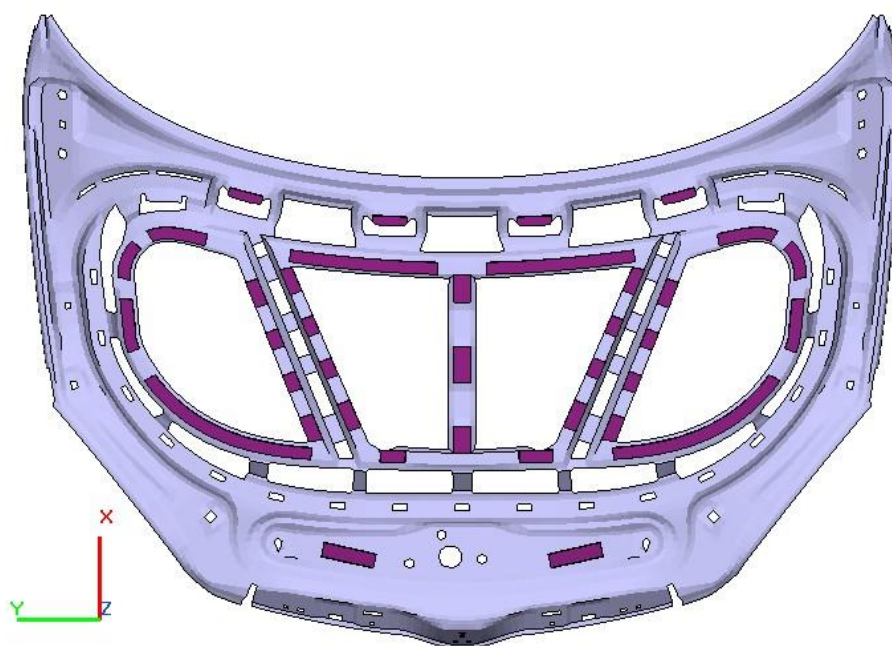
7.1.1.9 Varianta 9

Charakteristika modelu

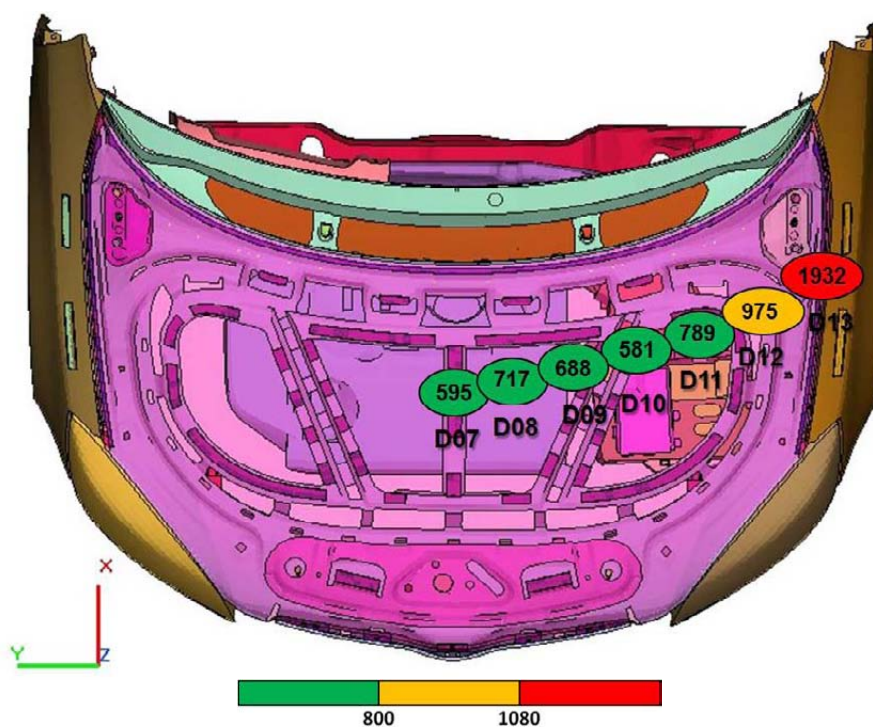
Tento model (obr. 110) vychází z minulé úpravy. Jelikož je snahou eliminovat velké nepodepřené plochy, je střední oblast kapoty v konečné fázi podepřena. Spolu s vytvořením středního žebra je v okolí bodu D11 a D12 obnoveno vzájemné slepení mezi plechy.

Diskuse výsledků

Výsledné hodnoty (obr. 111) HIC jsou výborné (z kritéria ochrany chodců). Přidané prolepení v okolí bodů D11 a D12 se osvědčilo k zúžení vyhodnocovací oblasti a tím ke snížení hodnoty HIC. Celkové rozložení se podobá výsledkům, které vzešly z varianty 7. Z hlediska statické tuhosti kapoty budou výsledky zhruba stejné, jako v předchozí variantě, protože se okrajový „rám“ prakticky nezměnil.



Obr. 110 Modifikace vnitřního plechu originálního modelu – varianta 9

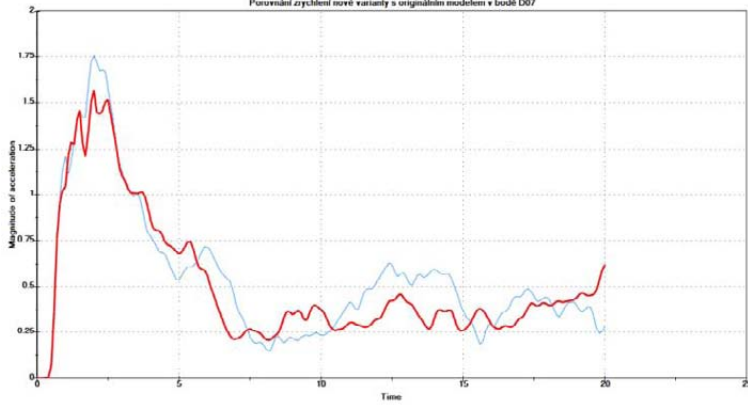
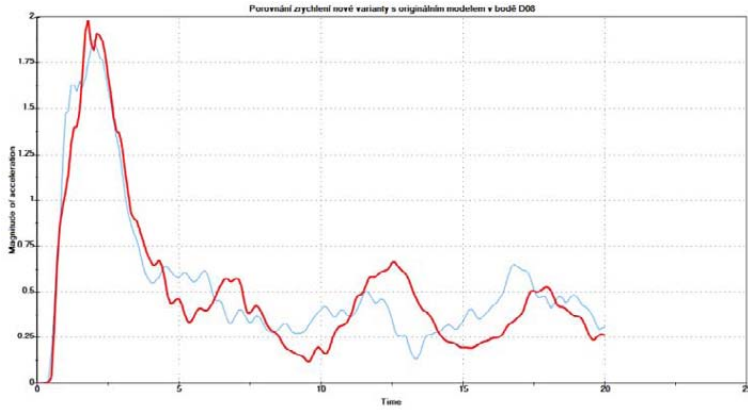
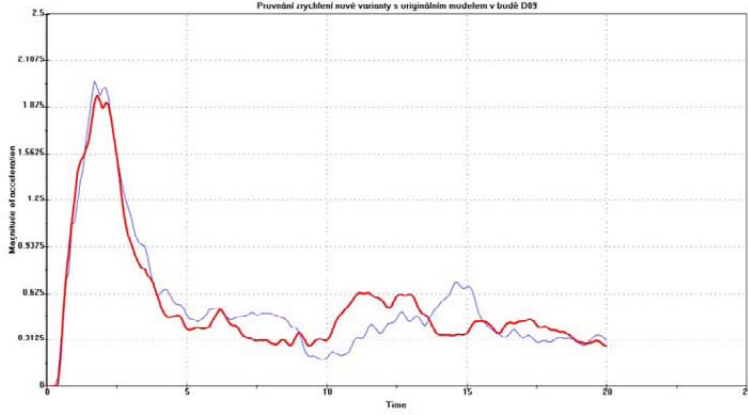


Obr. 111 Hodnoty HIC na novém modelu – varianta 9

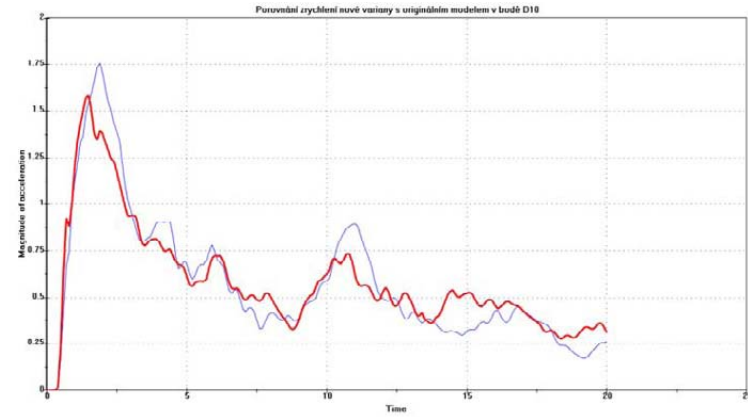
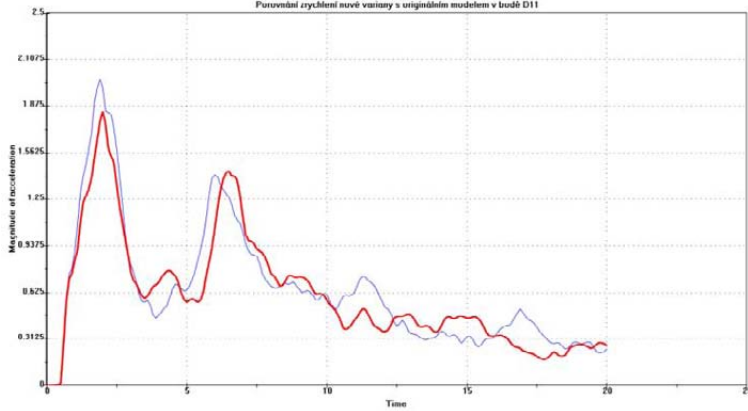
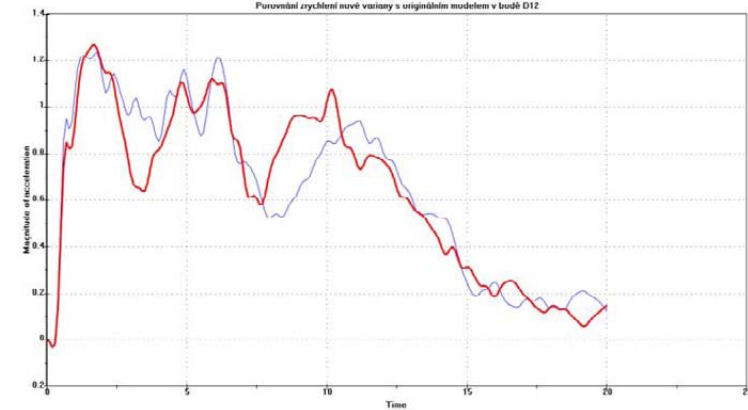
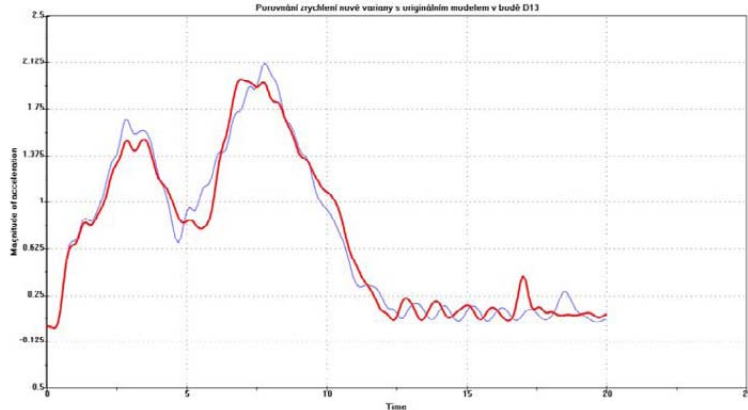
Porovnání průběhů celkového zrychlení těžiště impaktoru

V následujícím přehledu (tab. 17) je provedeno srovnání průběhů celkového zrychlení v těžišti impaktoru s originální kapotou. Aktuální upravená varianty kapoty je zobrazena červenou křivkou.

Tab. 17 Porovnání zrychlení nové varianty s originálním modelem na dopadových bodech

 <p>Porovnání zrychlení nové varianty s originálním modelem v bodě D07</p>	<p><u>Bod D07</u></p> <p>HIC (originál) = 627 HIC (nový model) = 595</p> <p>Dosaženo snížení maximální hodnoty a rychlejšího poklesu na minimum. Zmenšil se i vyhodnocovací úsek HIC.</p>
 <p>Porovnání zrychlení nové varianty s originálním modelem v bodě D08</p>	<p><u>Bod D08</u></p> <p>HIC (originál) = 727 HIC (nový model) = 717</p> <p>Maximální hodnota zrychlení je sice vyšší, ale v konečném hodnocení je HIC menší jen o 10.</p>
 <p>Porovnání zrychlení nové varianty s originálním modelem v bodě D09</p>	<p><u>Bod D09</u></p> <p>HIC (originál) = 789 HIC (nový model) = 688</p> <p>Menší maximální hodnota a rychlejší pokles má za následek snížení HIC o cca 100.</p>



 <p style="text-align: center;">Porovnání zrychlení nové varianty s originálním modelem v bodě D10</p>	<p style="text-align: center;"><u>Bod D10</u></p> <p>HIC (originál) = 733 HIC (nový model) = 581</p> <p>O mnoho menší hodnota max. zrychlení s podobnou oblastí vyhodnocování snížila HIC o cca 150.</p>
 <p style="text-align: center;">Porovnání zrychlení nové varianty s originálním modelem v bodě D11</p>	<p style="text-align: center;"><u>Bod D11</u></p> <p>HIC (originál) = 921 HIC (nový model) = 789</p> <p>Menší maximum zrychlení snížilo HIC o cca 130.</p>
 <p style="text-align: center;">Porovnání zrychlení nové varianty s originálním modelem v bodě D12</p>	<p style="text-align: center;"><u>Bod D12</u></p> <p>HIC (originál) = 1043 HIC (nový model) = 975</p> <p>Maximální zrychlení těžiště impaktoru je v podobné výši, ale u nového modelu jsou znatelné větší poklesy, které snížili HIC o cca 70.</p>
 <p style="text-align: center;">Porovnání zrychlení nové varianty s originálním modelem v bodě D13</p>	<p style="text-align: center;"><u>Bod D13</u></p> <p>HIC (originál) = 2146 HIC (nový model) = 1932</p> <p>Podobný průběh, ale s nižšími maximálními hodnotami, má za následek snížení HIC o 214.</p>



7.1.2 Zhodnocení navrhovaných řešení

První úpravy byly věnovány modifikacím struktury vnitřního plechu původní kapoty. Originální kapota je tvořena tzv. „rámem vnitřního plechu“ (výrazný prolis), proto úpravy tohoto modelu zcela neodpovídají vizi „homogenní kapoty“. Ta by měla být tvořena homogenní strukturou bez „rámu“ tak, aby jednoduchou úpravou byly docíleny potřebné změny lokální tuhosti. I přes nesplnění požadavků „homogenosti“ se podařilo originální strukturu vhodně optimalizovat. V prvních variantách bylo cílem vyztužit střední oblast proto, aby se mohla redukovat velká tuhost na okrajích kapoty v místech „rámu“. Tato představa se poměrně dobře plní již při malých změnách struktury. Cíle je možno dosáhnout několika způsoby. První možnost je vytvoření masivnější příčky (v navrhovaných variantách například tvaru „V“), kde je však nevýhodou nerovnoměrnost rozložení HIC kritéria, a nutnost podepřít vzniklé velké plochy vnějšího plechu. Další osvědčenou možností je vytvoření členitější struktury složené z několika příček. Zde se již dají poměrně rovnoměrně rozložit hodnoty HIC. S oběma těmito přístupy se dostaneme do stejných hranic „zelených hodnot“. Výpočty též dokázaly, že snížení hodnoty HIC na okrajovém bodě D12, kde se v jeho okolí přibližují vnitřní a vnější plech kapoty, je velice obtížné. Dalším důležitým faktorem pro konečné chování nové struktury je správná volba míst slepení materiálů. U těchto modelů se osvědčila metoda lokálního slepení v místech tvarovaných příček struktury. Takovéto lepené plochy příliš nevyztužují kapotu, ale zároveň dobře plní funkci spojení těchto dílů. Plocha prolepení se často přizpůsobuje i z hlediska kvality (odstranění tzv. „lupání“ plechu). Z pohledu celkové statické tuhosti mohly být výsledky u navržených modelů maximálně o 20% horší než referenční hodnoty originální kapoty. Snahou z hlediska odstranění velké lokální tuhosti v okrajových částech vnitřního plechu, bylo nahrazení tuhého prolisu („rámu“) v těchto místech jinou vhodnější strukturou. Provedené výpočty statické tuhosti na navrhovaných modifikacích s upravenou okrajovou strukturou však prokázaly, že v těchto případech dochází k vysoké ztrátě torzní tuhosti. Tyto výsledky přispěly k ponechání tohoto okrajového prolisu. Oblast byla v rámci možných ústupků na výsledné statické tuhosti mírně upravena tak, aby došlo k zlepšení hodnot HIC na okrajových bodech. Celkově vzato se podařilo posunout hranici „zelených“ hodnot HIC více ke krajům kapoty.

7.2 Kapota s vloženým pěnovým dílem

Z celkového konstrukčního pojetí dané kapoty, kdy vzniká velký prostor pod vnějším plechem, lze vytvořit návrhovou variantu, kde vnitřní plech nebude kopírovat vnější design, ale bude posunut, a tím mezi nimi vytvoří prázdný prostor. Vzniklý prostor mezi vnějším a vnitřním plechem kapoty by mohl být vyplněn vloženým dílem s funkcí deformačního členu. Tento díl pak pohlcuje nárazovou energii zkušebního tělesa a pomáhá snižovat výsledné hodnoty HIC kritéria.

Kapitola popisuje vznik, simulaci a výsledky nárazů na kapotu, u které je mezi vnitřním a vnějším plechem vložený pěnový díl. Podobné pěnové materiály se používají v hojně míře zejména u výplní nárazníků auta, kde pohlcují energii při srážce.

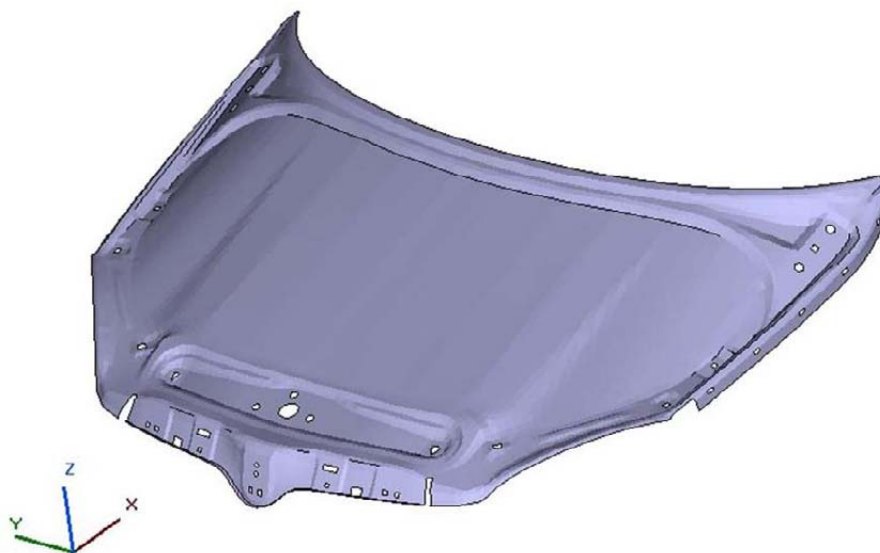
7.2.1 Modifikace kapoty

Prvotní konstrukční změnou je vytvoření volného prostoru mezi vnitřním a vnějším plechem. Do tohoto místa je pak vložena pěnová výplň, u které záleží především na tvaru deformačních elementů.

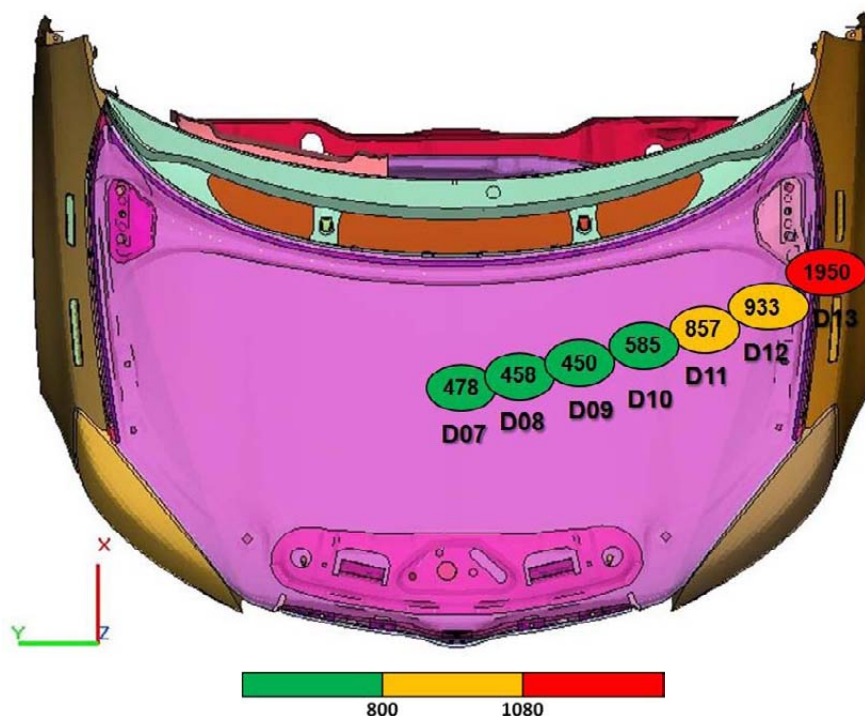
7.2.1.1 Varianta 1

Charakteristika modelu

První variantou této modifikace (obr. 112) je vytvoření volného místa pro vložení výplně. U vnitřního plechu se tedy vytvořil hladký přechod z krajních oblastí. Vzájemná mezera mezi plechy je přibližně 45 mm. Ta samá vzdálenost je i mezi vnitřním plechem a ostatními díly motorového prostoru, zejména krytem motoru. Před vyplněním vzniklého prostoru jsem provedl simulaci nárazů, ke zjištění chování aktuálního modelu.



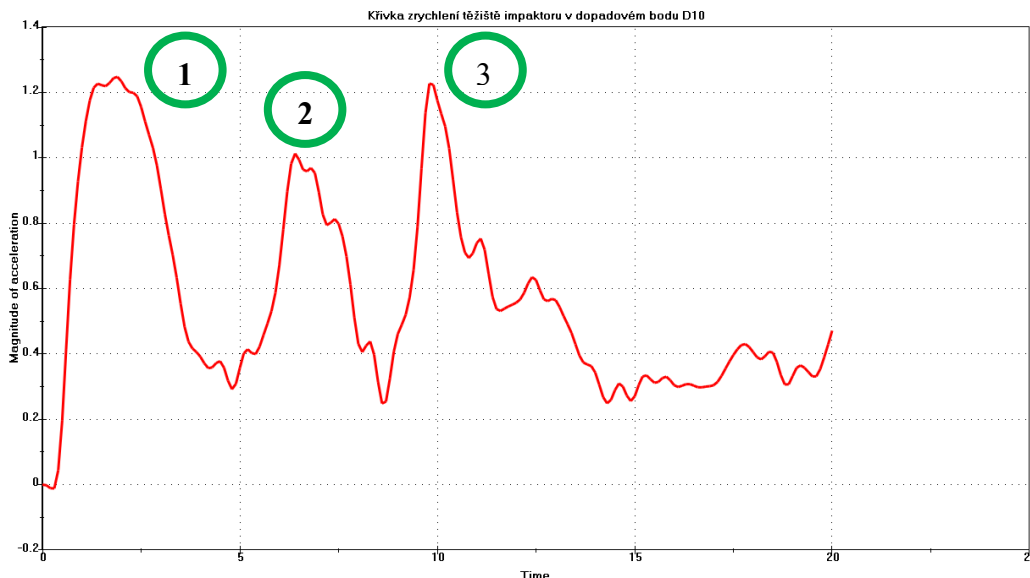
Obr. 112 Model vnitřního plechu – varianta 1



Obr. 113 Výsledky HIC na modifikovaném modelu – varianta 1

Diskuse výsledků

Výsledné hodnoty HIC kritéria (obr. 113) jsou vyhovující. Tento model ovšem není reálný, protože chybí podepření vnějšího plechu. Výpočtem mělo být dosaženo zmapování průběhů zrychlení v modelu, kdy s předpokladem bude docházet k sekundárním nárazům do dílů v motorovém prostoru.



Obr. 114 Průběh zrychlení těžiště impaktoru v dopadovém bodu D10

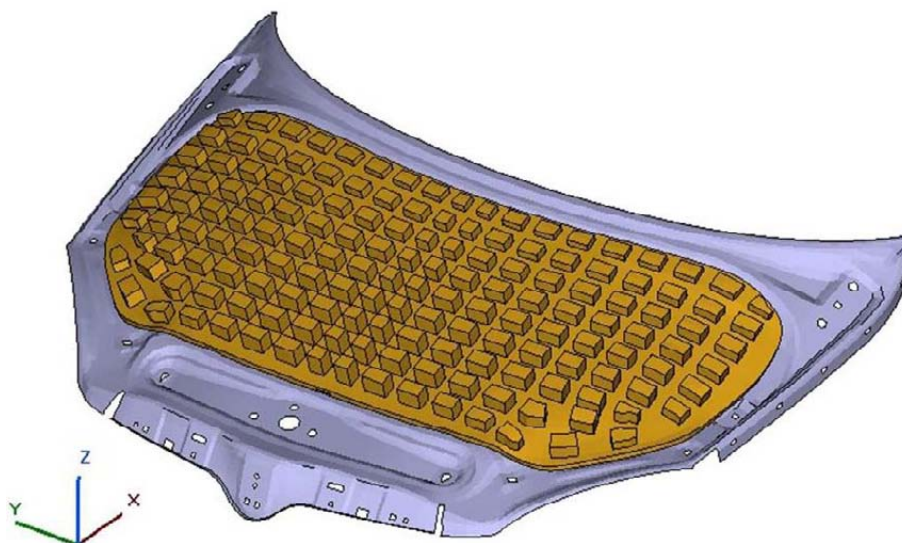
Průběh zrychlení u vybraného dopadového bodu D10 (obr. 114) ukazuje tři fáze nárazu a jejich vliv na impaktor. Podobné průběhy jsou i v ostatních bodech. V první fázi (1) naráží impaktor na vnější plech kapoty a vyvolává odezvu ve změně zrychlení v jeho těžišti. Druhá

fáze (2) je náraz impaktoru (zpomalovaného vnějším plechem) do odsazeného vnitřního plechu kapoty. Třetí a poslední fázi (3) je náraz impaktoru, vnitřního a vnějšího plechu do krytu motoru. Tento náraz vyvolal velmi strmý nárůst zrychlení s rychlým poklesem. Ve zmiňovaném okamžiku se už impaktor natolik zpomaluje, že nárůst zrychlení je jen takto malý. Z předložených poznatků plyne, že pokud vložíme mezi vnitřní a vnější plech výplň, měl by se odstranit druhý nárůst zrychlení (v důsledku propojení těchto dílů) a pěna by dále měla svými vlastnostmi snížit počáteční zrychlení. S velkou pravděpodobností však bude docházet k sekundárním nárazům do dílů v motorovém prostoru a tyto nárůsty zrychlení budou výrazně ovlivňovat výsledné HIC kritérium. Otázkou zůstává, jak moc bude HIC ovlivněno.

7.2.1.2 Varianta 2

Charakteristika modelu

V následujícím modelu (obr. 115) je již vytvořena samotná pěnová výplň. Ze základní nosné plochy pěny vyčnívají deformační elementy. V tomto případě jsou elementy jednoduchého tvaru, protože tvorba detailního modelu je časově vysoce náročná. Elementy umožňují určité prostorové naklonění a tím přizpůsobení aktuálnímu tvaru kapoty při nárazu.

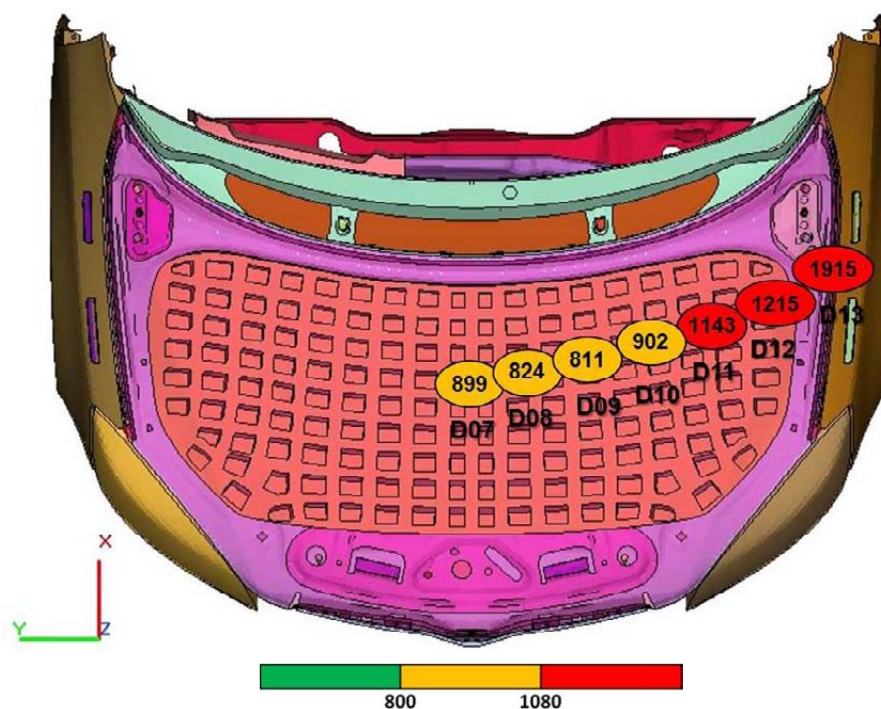


Obr. 115 Model vnitřního plechu s pěnovou výplní – varianta 2

Spolu s vytvořením jednoduché pěnové výplně mezi vnitřním a vnějším plechem kapoty, je vhodné upravit i samotný vnitřní plech. Celistvý vnitřní plech, jako byl v první variantě, je podle mého názoru zbytečný. Úplně postačí vytvoření prolisů, které budou vloženou pěnu podepírat. Vnitřní plech této varianty (obr. 116) je tvořený mohutnější středovou strukturou, která vyztužuje prostor přímo nad krytem motoru. Hlavní snahou je omezení deformace v tomto místě.



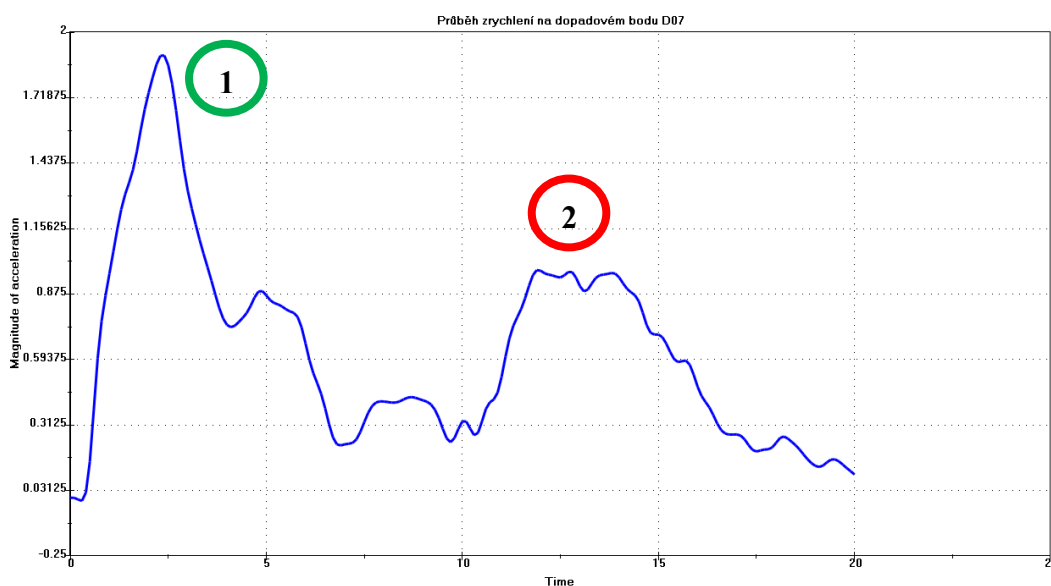
Obr. 116 Model samostatného vnitřního plechu – varianta 2



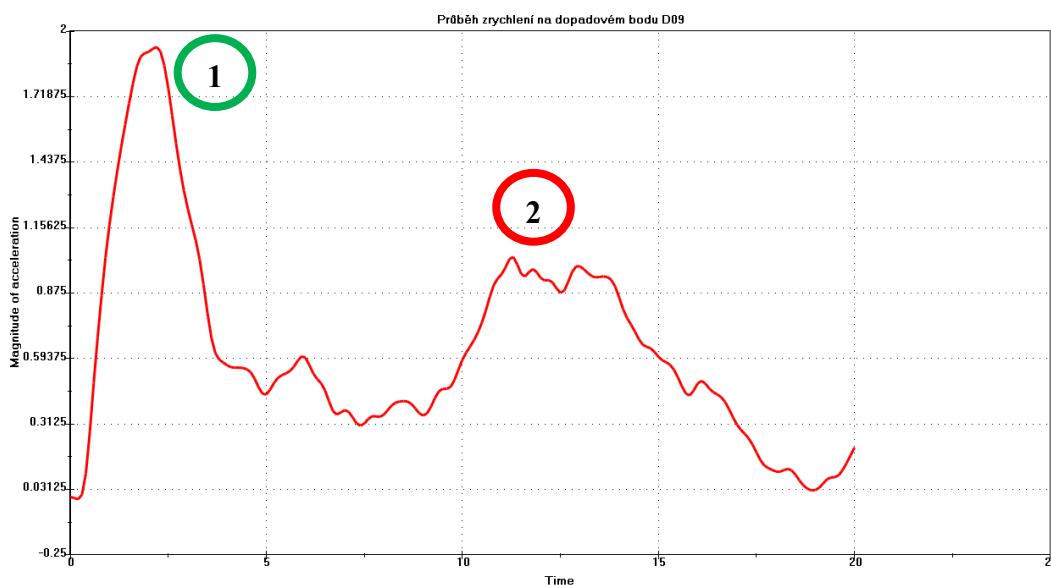
Obr. 117 Výsledky HIC na modifikovaném modelu – varianta 2

Diskuse výsledků

Vložení tohoto jednoduchého pěnového dílu (obr. 117) vzniklo na modelu poměrně homogenní rozložení výsledků HIC kritéria. Velikost HIC se pohybuje ve střední oblasti (D07 – D10) v rozmezí 811 až 902. Krajiní dopadové body jsou však nevyhovující. Přesné důvody vysokých hodnot je nutno zjistit z křivek zrychlení pro jednotlivé dopadové body.



Obr. 118 Průběh zrychlení těžiště impaktoru v dopadovém bodu D07



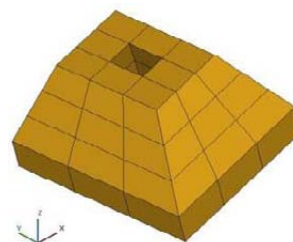
Obr. 119 Průběh zrychlení těžiště impaktoru v dopadovém bodu D09

Na obr. 118 a 119 jsou zobrazeny průběhy zrychlení těžiště impaktoru při nárazech na kapotu u aktuální modifikace kapoty. Tyto průběhy zrychlení jsou u všech dopadových bodů podobné. Obsahují vždy dvě fáze. V první fázi (1) je typický první kontakt makety hlavy s vnějším plechem kapoty, který prudce zvedá zrychlení v těžišti. Následuje prudký pokles na minimální hodnotu, kdy by za normálních podmínek došlo k ukončení vyhodnocovací oblasti. Bohužel HIC 15 znamená maximální vyhodnocovací oblast 15 ms. Na konci této doby od počátku vyhodnocování však dojde k předpokládanému sekundárnímu nárazu, který je na průběhu zrychlení viditelný jako druhý významnější vrchol (2). Tento vrchol má za následek použití plné šířky pro vyhodnocování (15 ms) a ve výsledku výrazně zvedá hodnotu HIC kritéria.

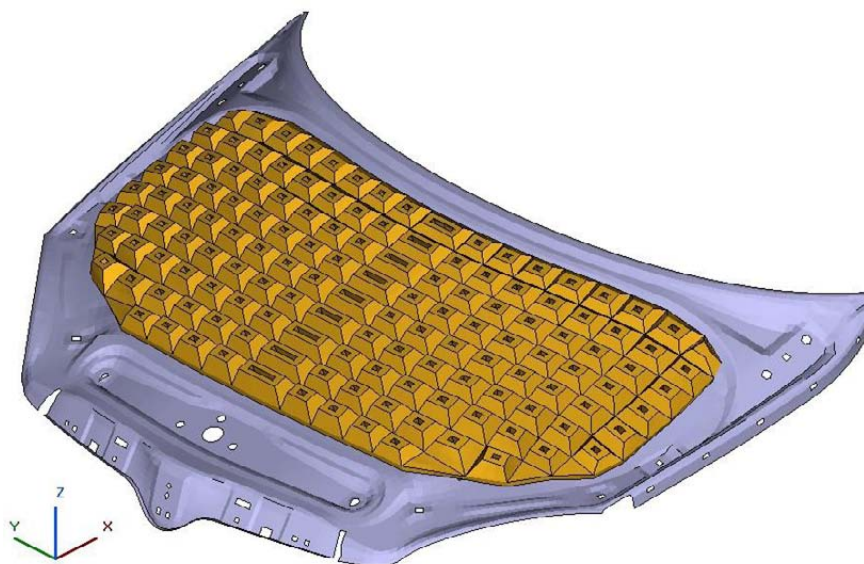
7.2.1.3 Varianta 3

Charakteristika modelu

V modelu (obr. 121 a 122) s pěnovým vloženým dílem je více propracovaný tvar jednotlivých deformačních elementů, které pohlcují energii dopadu. Je nepsaným obecným pravidlem, které plyne ze zkušeností, že tloušťka stěny deformačního pěnového dílu nemá být menší než 8 mm. S touto informací byl navrhovaný i tento model. Jednoduché tvary pěnových výčnělků byly upraveny do používaných tvarů deformačních elementů (viz obr. 120).



Obr. 120 Deformační element



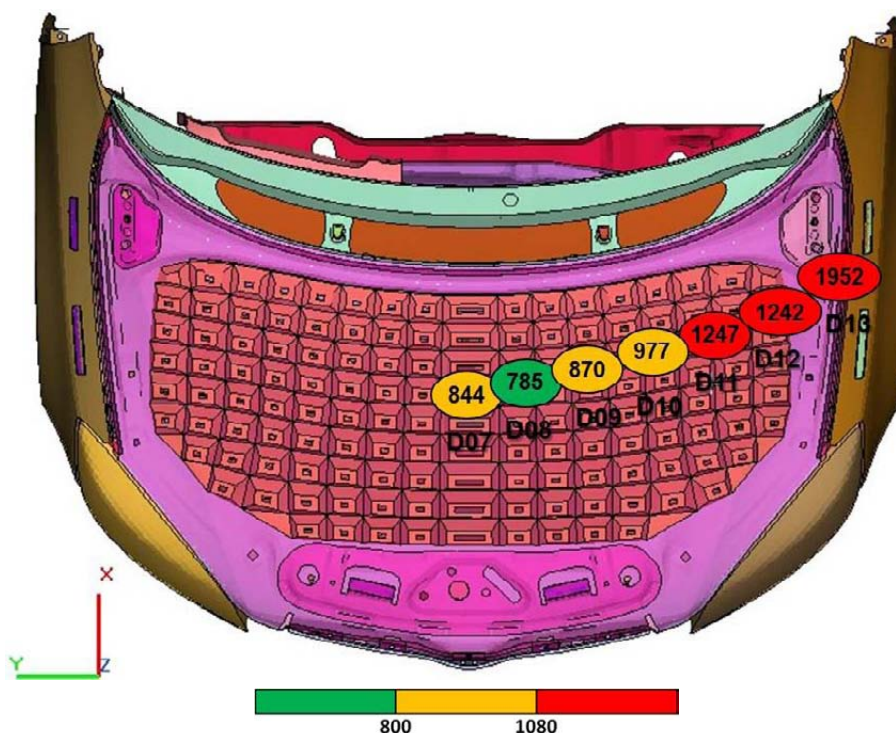
Obr. 121 Model vnitřního plechu s pěnovou výplní – varianta 3

Dalším krokem uprav u této aktuální verze kapoty je modifikace vnitřního plechu. Z průběhů zrychlení v minulé variantě plyne závěr, že pokud by například došlo k zvětšení tuhosti vnitřního plechu a tím by se oddálil okamžik sekundárního nárazu do dílů v motorovém prostoru, mohlo by se docílit snížení hodnoty HIC kritéria. Za pozitivní výsledek by šlo uvažovat i oddálení okamžiku prvního kontaktu při sekundárním nárazu, kde by tím se mohl posunout vrchol zrychlení dále od začátku vyhodnocování a do 15ti ms oblasti by zasahoval jen částečně. Plocha pod křivkou by tím mohla být menší.

Vnitřní plech je proto upraven tak, aby více oddálil sekundární kontakt. Prolisy jsou mohutnější a jsou umístěny do blízkosti dílů v motorovém prostoru, kde oddalují počátek sekundárního nárazu. Na obr. 122 je zobrazena struktura upraveného vnitřního plechu.



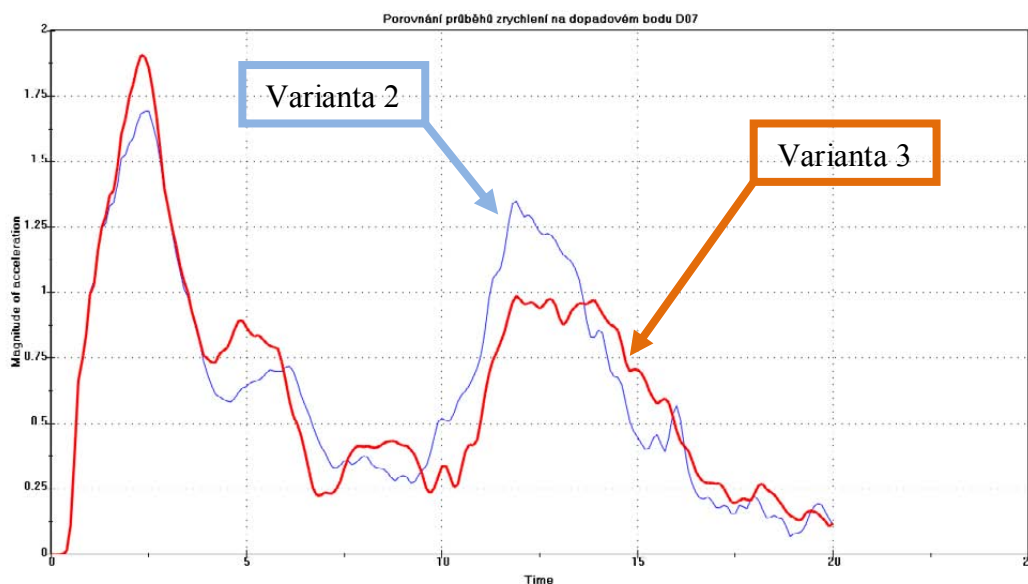
Obr. 122 Model samostatného vnitřního plechu – varianta 3



Obr. 123 Výsledky HIC na modifikovaném modelu – varianta 3

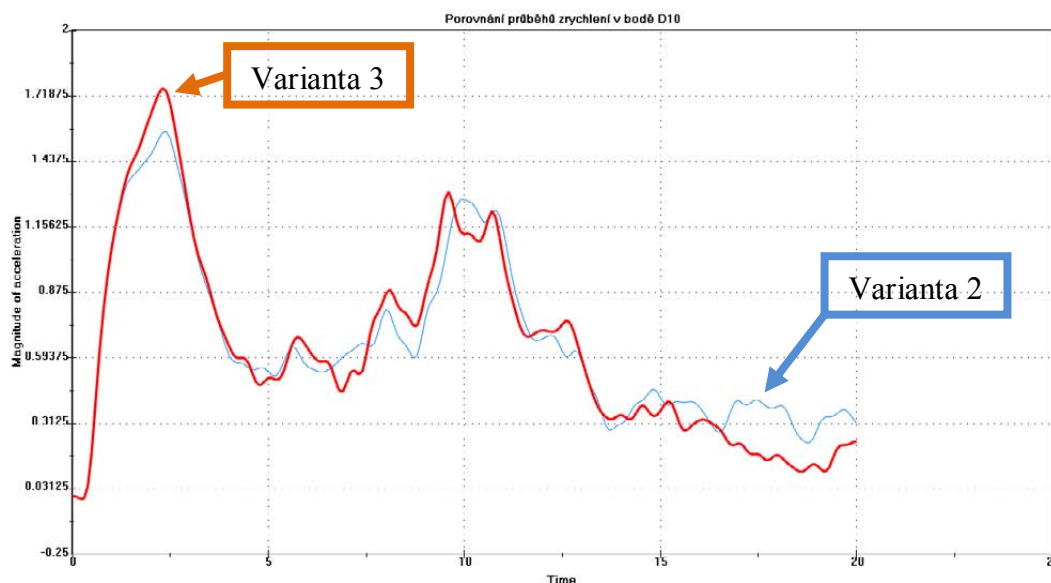
Diskuse výsledků

Výsledky hodnot HIC se, v porovnání s minulým modelem, podařilo na některých dopadových bodech o něco snížit, a na jiných došlo k mírnému nárůstu. Když shrneme provedené úpravy, tak zlepšení by mohl přinést lepší tvar deformačních elementů a na druhou stranu by negativní vliv mohl vzniknout i ze zvýšení tuhosti vnitřního plechu. Bližší podrobnosti se dozvíme z průběhů jednotlivých zrychlení.



Obr. 124 Porovnání průběhů zrychlení s minulou variantou v bodě D07

Z porovnání průběhů celkového zrychlení (obr. 124) je vidět ztelné posunutí vrcholu sekundárního nárazu a také k jeho poklesu. Do rozmezí vyhodnocovací oblasti 15ti ms se proto zahrnuje jen cca 80% druhého vrcholu. Konkrétně v tomto bodě D07 došlo ke snížení HIC o 55. Z důvodu mírného zvýšení tuhosti vnitřního plechu došlo také k nárůstu vrcholu zrychlení při počátečním kontaktu.



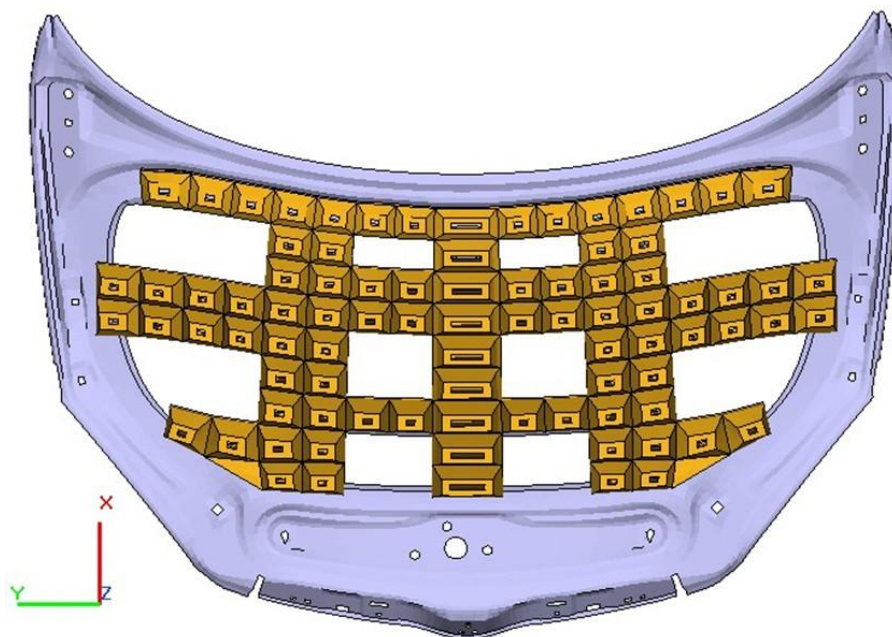
Obr. 125 Porovnání průběhů zrychlení v dopadovém bodě D10

Na tomto porovnání zrychlení (obr. 125) v dopadovém bodě D10, kde hodnota HIC naopak vzrostla, je vidět negativní důsledek zvýšení tuhosti vnitřního plechu. Ten zvětšil maximální hodnotu zrychlení v prvním kontaktu impaktoru s kapotou. Průběh zrychlení při sekundárním nárazu se nezměnil. Celkově došlo k nárůstu HIC o 75.

7.2.1.4 Varianta 4

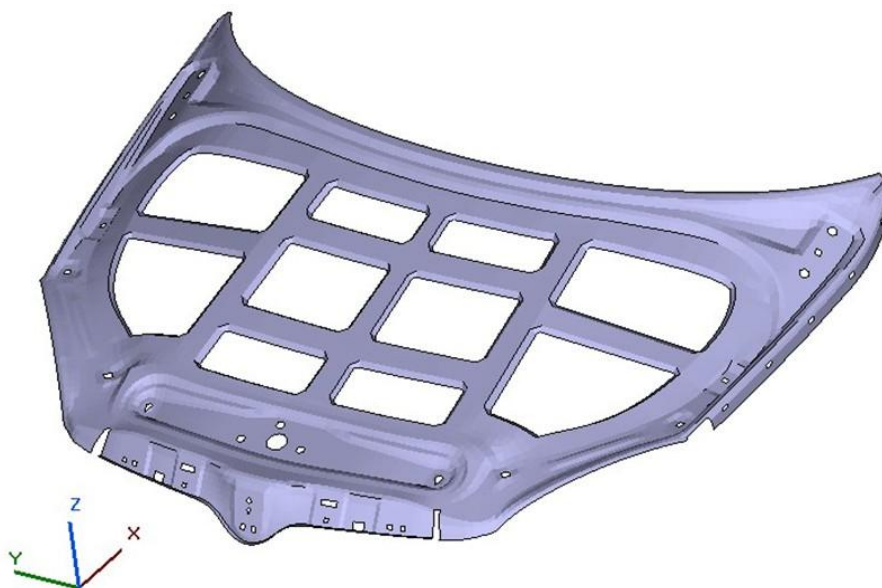
Charakteristika modelu

Jelikož nejde dále zmenšit tloušťka pěnových deformačních členů, vytvořil jsem model pěnového vloženého dílu (obr. 126), kde jsou jednotlivé deformační elementy soustředěny do okolí výztuh vnitřního plechu kapoty. Tento návrh je pouze jednoduchým vylepšením minulého verze se snahou o zmenšení hodnot HIC.

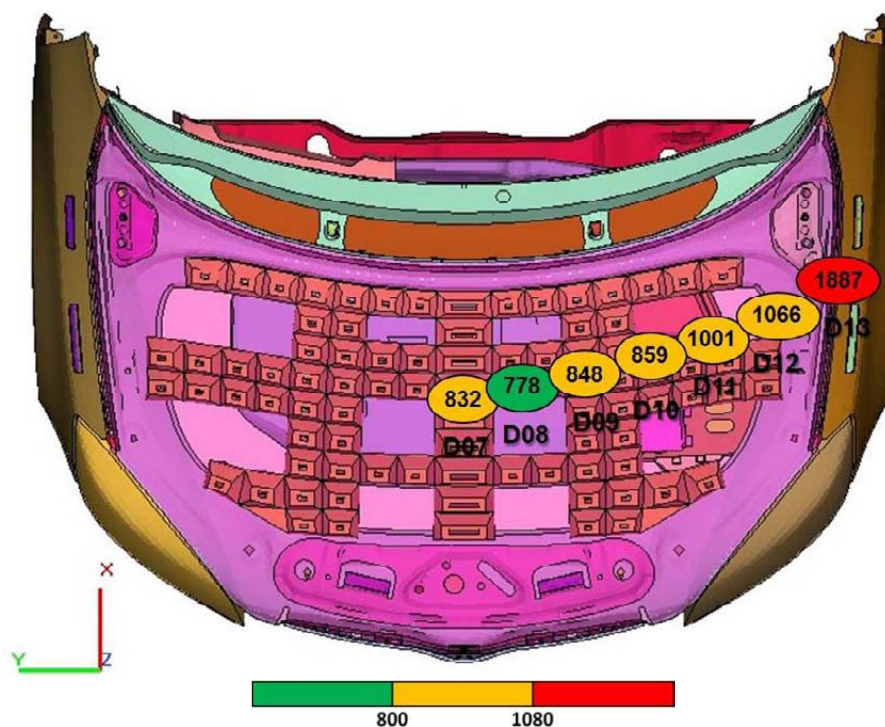


Obr. 126 Model vnitřního plechu s pěnovou výplní – varianta 4

Tvar a uspořádání vnitřního plechu (obr. 137) jsou od minulé modifikace nezměněny.



Obr. 127 Model samostatného vnitřního plechu – varianta 4



Obr. 128 Výsledky HIC na modifikovaném modelu – varianta 4

Diskuse výsledků

Výsledné hodnoty HIC (obr. 128) jsou, v porovnání s minulou variantou 3, ve všech dopadových bodech menší. Pokles však není na takovou úroveň, jaká je potřebná k splnění limitů ochrany chodců. Dopadové body D07 až D10 jsou velmi blízko hraniční dobré hodnotě HIC 800 a krajní body (D10 až D13) zůstávají v nevyhovující výši.

Tab. 18 Výsledky výpočtu statické tuhosti kapoty – varianta 4

Torzní tuhost	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Pravý doraz	- 3.3471	- 1.7337	- 48 %
Levý doraz	4.8638	2.6300	- 46 %

Ohyb v zámku	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Třmen zámku	- 3.3989	- 3.6301	+ 6.8%

Ohyb zleva	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Levý doraz	1.7061	1.6418	- 3.7 %



Ohyb zprava	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Pravý doraz	1.0054	1.0403	+ 3.5 %

Výpočet celkové torzní tuhosti kapoty

Výpočtem celkové statické tuhosti aktuálně modifikované verze kapoty (tab. 18) bylo dokázáno, že celková tuhost, zejména v zatěžovacím stavu torzní tuhosti, je výrazně větší (cca o 47%), než v originálním referenčním modelu. Výsledky v ostatních zatěžovacích stavech jsou přibližně ve stejné výši jako u originální kapoty. Největší zhoršení je při ohybu v zámku. Zde je nárůst deformace o 6,8%.

7.2.2 Zhodnocení navrhovaných variant

V této části byly uvedeny ukázky modifikací kapoty s vloženým pěnovým dílem. Tato pěnové deformační členy se hojně používají pro tlumení nárazů v místě předních nárazníků. Jejich tlumící vlastnosti se dají pomocí volby vhodného materiálu modifikovat. Pro správnou funkci musí být pěnový deformační element správně vytvarován. V hojně míře se používá tvaru dutého komolého jehlanu. Zmiňované tvary z pěnového materiálu musí však mít minimální tloušťku stěny 8mm. Tato informace pochází od zadavatele. Je to zejména poznatek ze zkušeností a také z technologického hlediska výroby podobných dílů.

Ze simulačních výpočtů této kapitoly plyne několik poznatků. V první verzi je názorně vidět, jaké fáze mají jednotlivé nárazy. Bez pěnového vloženého dílu jsou to 3 fáze. Pomocí vyplnění mezery pěnou, lze druhý „pík“ úplně eliminovat a zůstanou poté již jen dva výrazné nárůsty zrychlení do těžiště impaktoru. První vrchol je samozřejmě od počátečního kontaktu zkušební tělesa s kapotou automobilu a druhý vrchol je od sekundárního nárazu na blízké díly v motorovém prostoru. Druhotný náraz tak vzniká jako důsledek zmenšení mezery mezi vnitřním plechem kapoty a díly motoru. Toto snížení bylo však nutné pro vytvoření místa na vložení pěnového dílu. Vrchol sekundárního nárazu se nejčastěji objevuje až na konci vyhodnocovací oblasti, kde pak výrazně ovlivňuje výslednou hodnotu HIC kritéria. Možným řešením se jeví posunutí tohoto druhého „píku“ dále od počátku vyhodnocování. Interval pro výpočet HIC je 15 ms a nejlepší variantou by bylo posunout druhý náraz až za 15tou ms. Pokud by se podařilo posunout počátek druhého vrcholu na cca 12 ms, dalo by se do celkového hodnocení zahrnout jen část navýšení zrychlení a tím by mohlo ve výsledku klesnout i kritérium HIC.

Podobné představy by možná řešilo zvýšení tuhosti vnitřního plechu kapoty, kdy by se oddálil tento sekundární kontakt. Na druhou stranu je touto změnou přiveden negativní jev, tedy zvýšení maximální hodnoty zrychlení v prvním vrcholu. V upravených variantách se podařilo u některých dopadových bodů oddálit sekundární kontakt a tím o něco snížit výsledné HIC. Takto by šlo podle poznatků upravit zejména středové body, ale u krajových je posunutí „píku“ komplikovanější. Celkově vzato je úprava této varianty velice komplikovaná a je obtížné dosáhnout rozložení HIC jako například v upravené modifikaci originálního modelu.

Nutno připomenout, že tyto modely jsou zjednodušené. Praktická montáž pěnové vložky by byla bez přizpůsobení ostatních dílů složitější. Jedná se o modelové případy.

7.3 Kapota s vloženým plastovým dílem

Tato část diplomové práce volně navazuje na předcházející téma s tím rozdílem, že pěnový vložený díl je nahrazen plastovým. Plastové materiály mají velkou výhodu v rozmanitosti materiálových dat, a proto díly z tohoto materiálu mohou, při stejném tvaru, vykazovat relativně rozdílné chování. Následující příklady ukazují možnosti při použití vloženého dílu z tohoto materiálu.

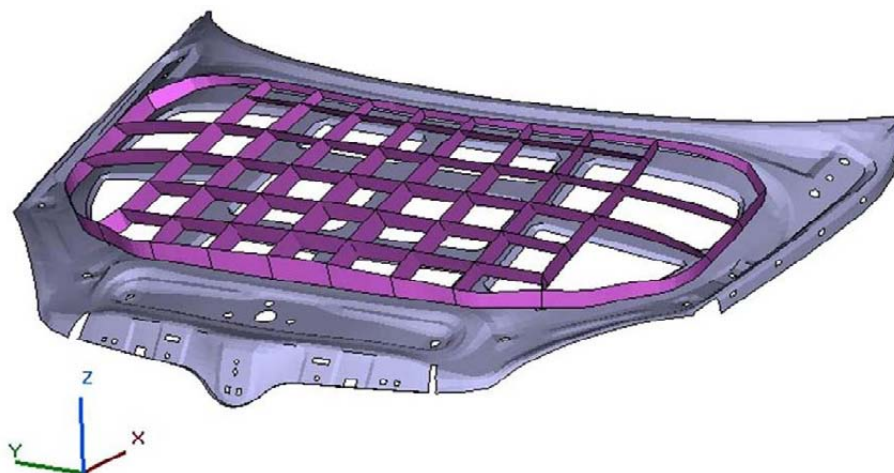
7.3.1 Modifikace kapoty

Základ pro tyto modely je převzatý z minulých variant vložené pěny. Vnitřní plech s mohutnějším vyztužením je nezměněný a prostor po chybějícím pěnovém dílu je vyplněn plastovou strukturou.

7.3.1.1 Varianta 1

Charakteristika modelu

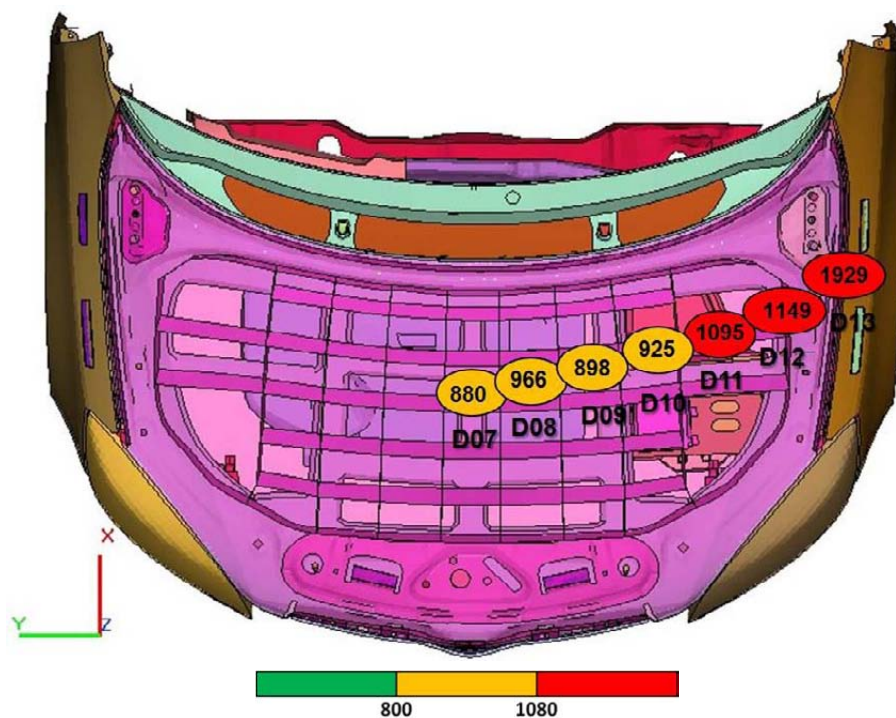
V této první variantě plastového vloženého dílu (obr. 129) je pěna nahrazena plastovým žebrováním. Příčné vyztuhy plastového dílu jsou skloněny ve směru letu zkušebního impaktoru a tloušťka žeber je 1.5 mm. Materiálová karta dílu byla použita stejná, jako u ostatních plastových dílů tohoto modelu.



Obr. 129 Model vnitřního plechu s plastovou výplní – varianta 1

Diskuse výsledků

Výsledné vyčíslení HIC kritéria (obr. 130) na tomto prvním modelu s plastovým žebrováním ukazuje podobné hodnoty jako u posledních variant s pěnovou vložkou kapoty. Rozmezí je okolo hodnoty HIC 900 pro dopadové body ve středu kapoty a pro krajní body převyšují hodnoty kritickou hranici 1080.

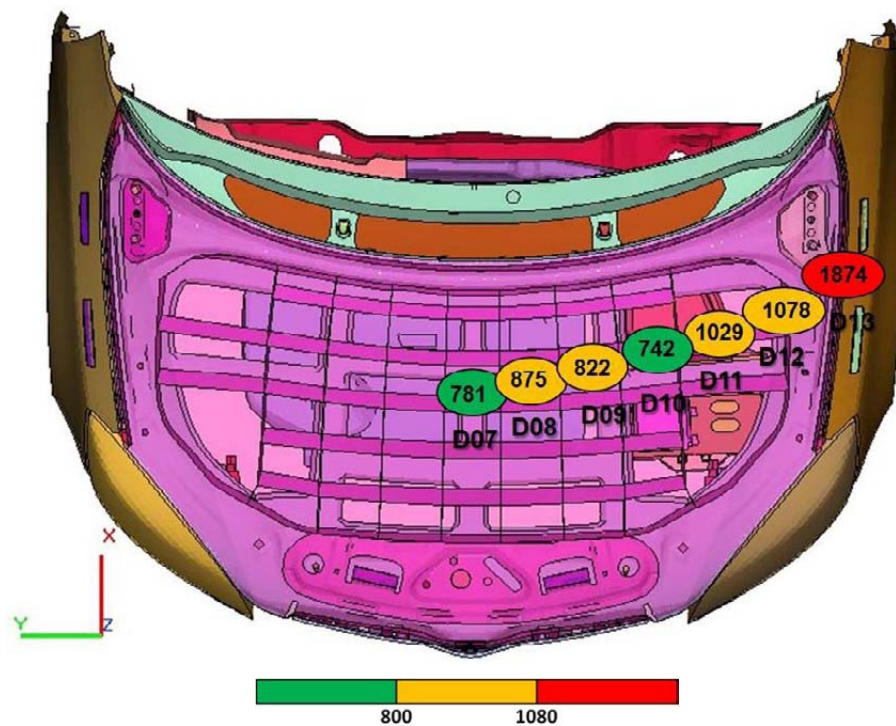


Obr. 130 Výsledky HIC na modifikovaném modelu – varianta 1

7.3.1.2 Varianta 2

Charakteristika modelu

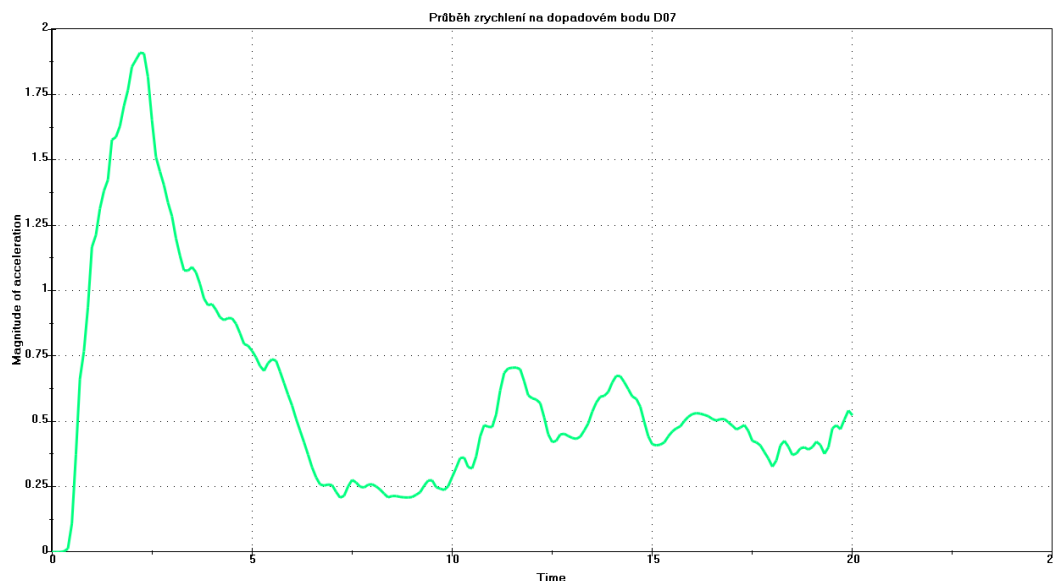
V tomto modelu byla upravena pouze tloušťka plastového žebrování z původních 1.5mm na 1mm.



Obr. 131 Výsledky HIC na modifikovaném modelu – varianta 2

Diskuse výsledků

Použitá tloušťka 1mm pro žebrování je v neměsí možné míře, co jde u plastových dílů použít. Tento výpočet je proto pouze modelový, kdy zkoumá vliv tloušťky materiálu. Z uvedených výsledků (obr 133) vyplývá, že je výhodné se pohybovat v podobně malých tloušťkách žebrování. Hodnoty HIC jsou na některých bodech v dobrých hodnotách. Body D11 a D12 zaznamenaly mírné zlepšení a krajní bod D13 zůstává „červený“. Pro optimalizaci je vhodné změnit strukturu plastového dílu.



Obr. 132 Průběh zrychlení na dopadovém bodu D07

Z vybraného průběhu zrychlení (obr. 132) na vyhovujícím dopadovém bodě D07 je vidět, že nárůst zrychlení (v důsledku prvotního kontaktu s kapotou) je strmý s vysokou maximální hodnotou, pokles je také docela rychlý na minimální hodnotu. Zde po tomto poklesu je ukončeno vyhodnocování HIC kritéria s výslednou hodnotou 781. Dále je možno si povšimnout i dalších vrcholů u konce grafu, které jsou způsobeny sekundárním nárazem, jako tomu bylo u variant kapot s pěnovým dílem. V současných případech však plastový model umožňuje rychlejší pokles zrychlení do malých hodnot, které ukončují vyhodnocování HIC a tím je výsledná hodnota menší.

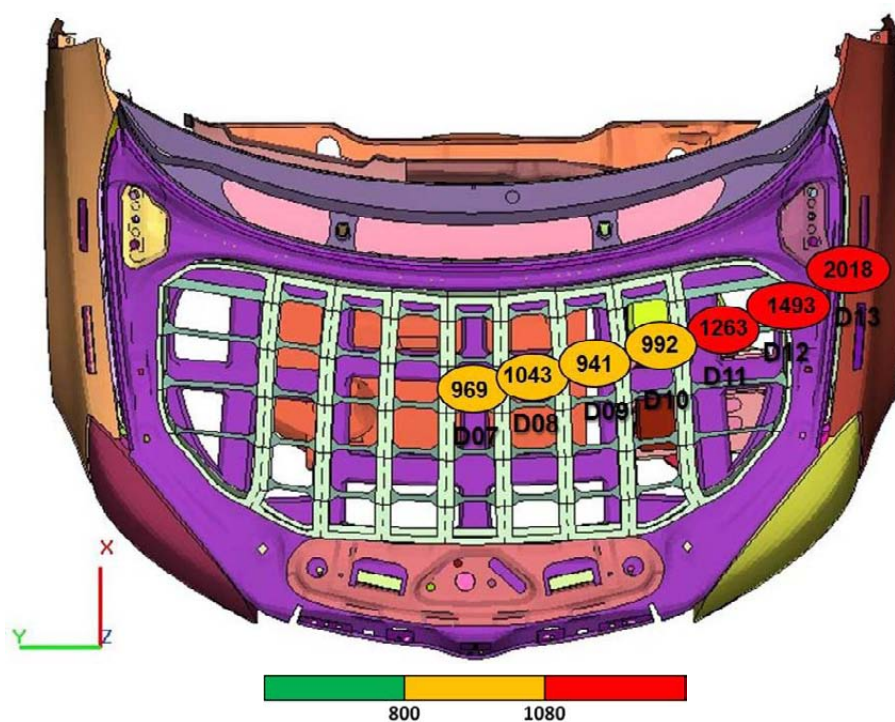
7.3.1.3 Varianta 3

Charakteristika modelu

Následující modifikace (obr. 133) vloženého plastového dílu obsahuje zejména úpravy, které zvětšují kontaktní plochy vnitřního a vnějšího plechu s plastem. Byl zvětšen i okrajový plastový rám a některá žebra byla odlehčena vybráním.



Obr. 133 Model vnitřního plechu s plastovou výplní – varianta 3



Obr. 134 Výsledky HIC na modifikovaném modelu – varianta 3

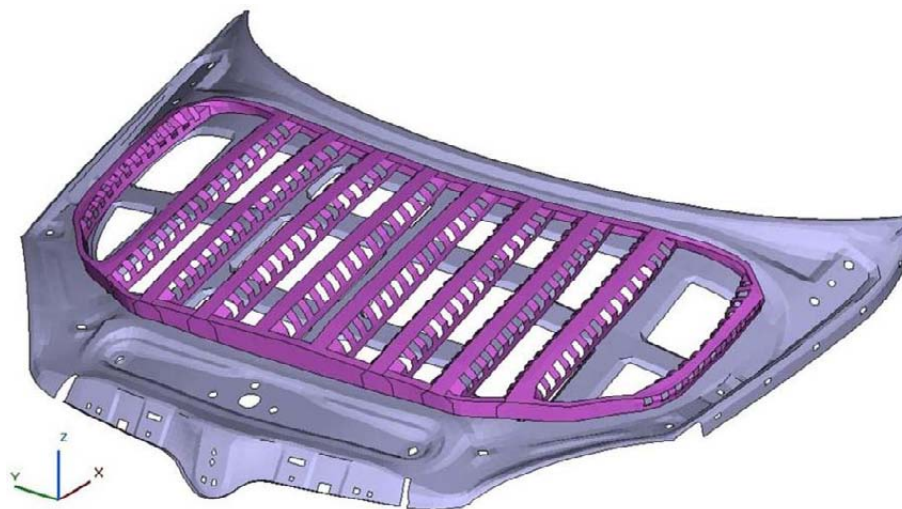
Diskuse výsledků

Výsledky hodnot HIC (obr. 134) na modifikovaném modelu se po této úpravě výrazně zvýšily. Podobná tendence se mohla předpokládat, protože plastový model obsahuje kolmé výztuhy, které zvyšují maximální hodnoty zrychlení. Zvýšení bylo natolik veliké, že hodnoty HIC kritéria začínají na hodnotě 941, což znamená veliký odstup od limitní hranice 800. Výpočtem je potvrzen závěr, že podobné kolmé výztuhy není vhodné používat.

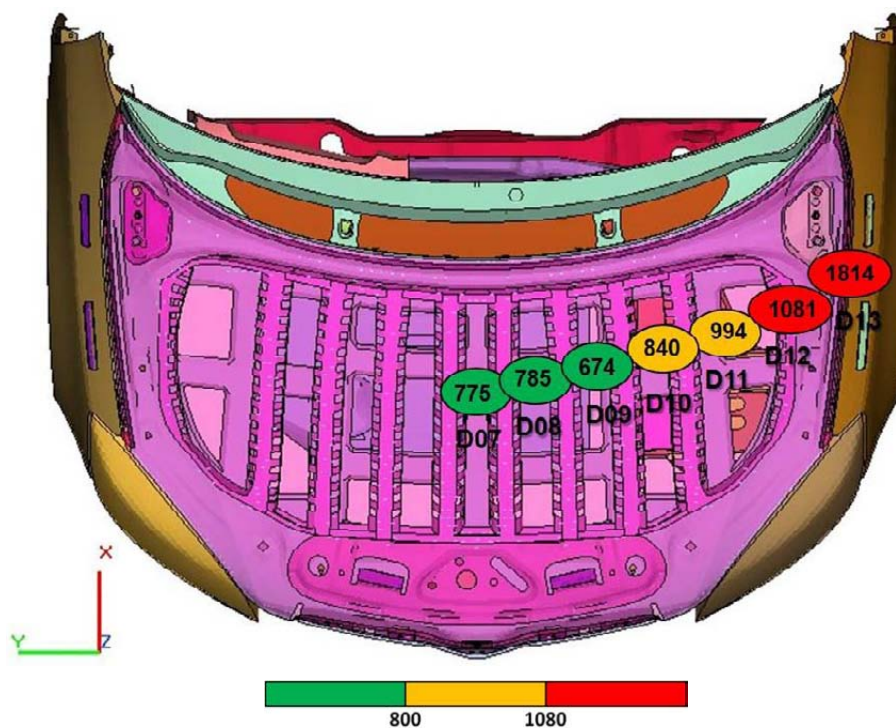
7.3.1.4 Varianta 4

Charakteristika modelu

Z důvodu nevyhovujících kolmých příček plastového modelu (viditelných u minulé verze), je tento model vytvořen s novými tvarovanými výztuhami (obr. 135). Nové plastové deformační členy jsou speciálně tvarované tak, aby se při stlačení vlivem nárazu deformovaly předem stanoveným průběhem. Plastový díl má tloušťku stěn 2 mm a na kontaktních plochách s vnějším plechem je pomocí funkce TIED (náhrada lepidla) spojen. Vnitřní plech je stále stejný jako v minulých modelech a je tedy pořád umožněn sekundární náraz.



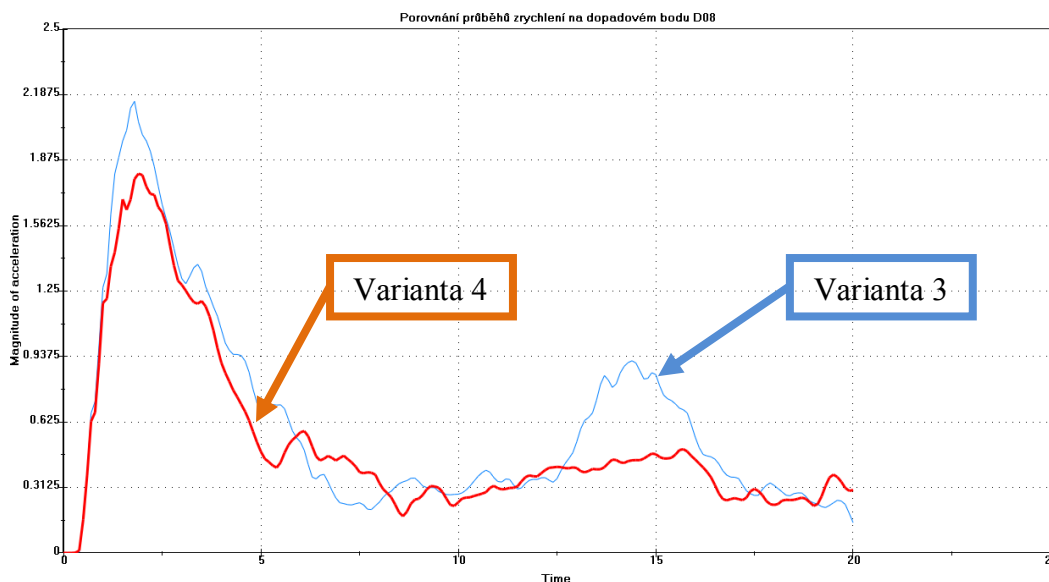
Obr. 135 Model vnitřního plechu s plastovou výplní – varianta 4



Obr. 136 Výsledky HIC na modifikovaném modelu – varianta 4

Diskuse výsledků

Výsledky simulačních výpočtů (obr. 136) ukazují správný úsudek o nahrazení kolmých vzpěr. Nové příčky umožňují větší deformační stlačení vloženého dílu. To se v celkovém pohledu projeví, jako výrazné snížení počátečního vrcholu zrychlení. Hodnoty ve střední oblasti jsou vynikající. Od bodu D10 ke krajům jsou hodnoty vysoké.



Obr. 137 Porovnání průběhů zrychlení minulou variantou na dopadovém bodu D08

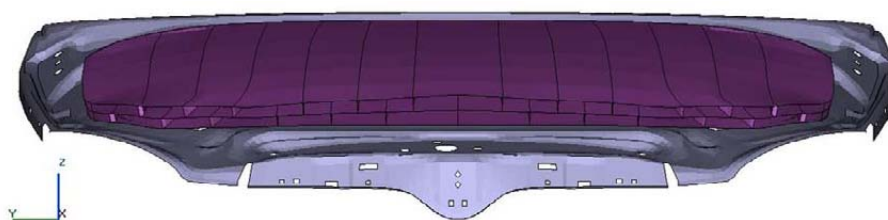
Z porovnání (obr. 137) průběhů celkového zrychlení těžiště impaktoru při nárazu na dopadový bod D08 u aktuální a minulé varianty (s kolmými žebry), jsou viditelné znatelné rozdíly mezi modely. U minulé varianty 3 (vlivem kolmých vzpěr) byla prvotní maximální hodnota zrychlení mnohem vyšší. Prvotní vysoký „pík“ však nepohlčí energii zkušebního tělesa natolik, aby se již neprojevil sekundární nárůst. Ten pak zvyšuje plochu a tím i hodnotu HIC kritéria.

Naopak u aktuálního modelu je vidět „měkčí“ prvotní nárůst zrychlení s menší maximální hodnotou a lepším útlumem (vlivem deformovatelnější struktury), který má znatelný vliv na odezvu sekundárního nárazu. Z celkového shrnutí tohoto porovnání je vidět pozitivní vliv nové struktury na HIC kritérium.

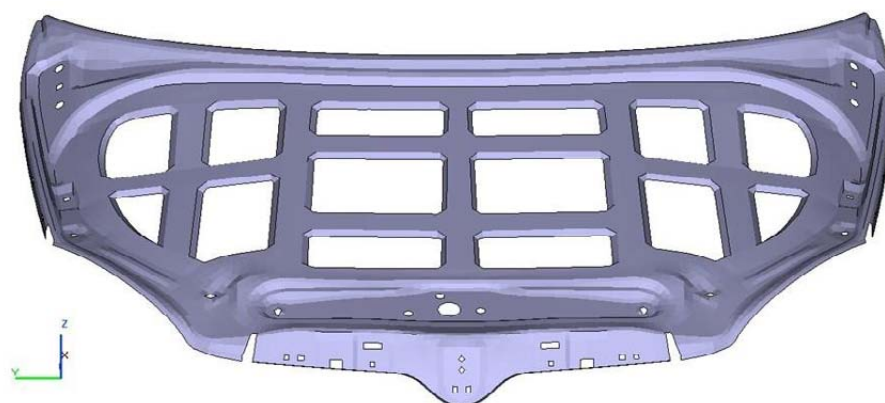
7.3.1.5 Varianta 5

Charakteristika modelu

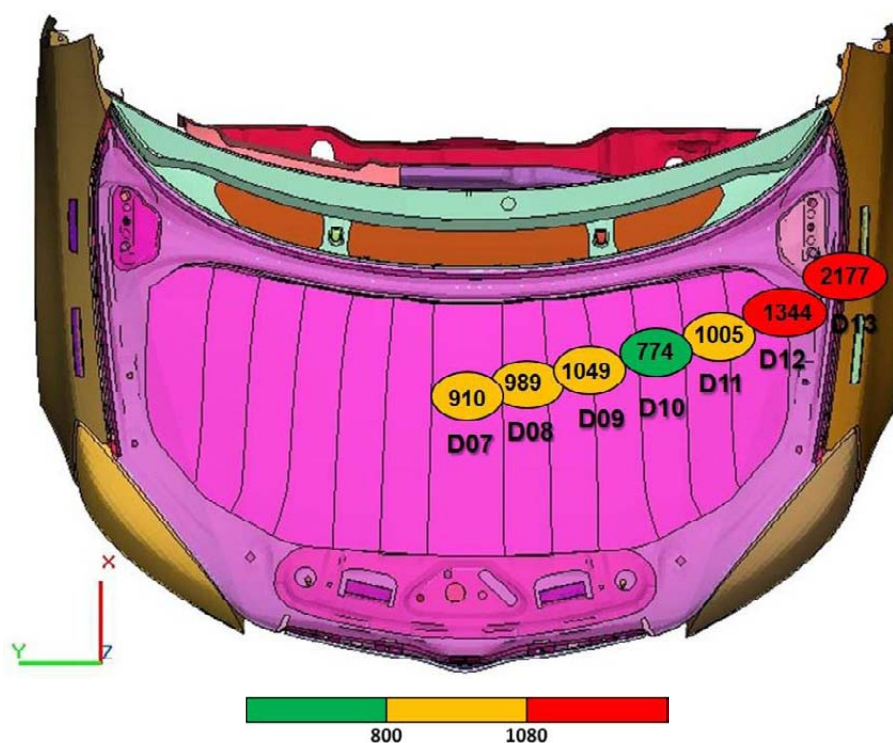
Vnitřní plech (obr. 139) zůstává stejný a jako plastová výplň mezi vnitřním a vnějším plechem kapoty je vytvořen dvouvrstvý díl vyztužený kolmými příčkami (obr. 138). Vzpěry mezi jednotlivými vrstvami určují průběh deformace. Tento deformační prvek má tloušťku vzpěr 3 mm a tloušťku desek 1 mm. Následující příklad je pouze modelový, s cílem získání přehledu o chování podobné struktury.



Obr. 138 Model vnitřního plechu s plastovou výplní – varianta 5



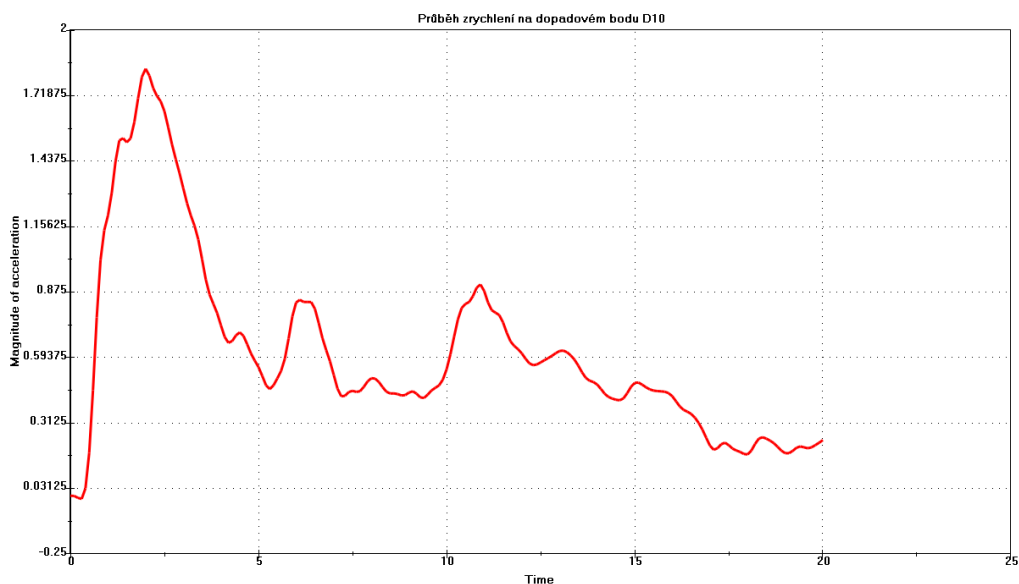
Obr. 139 Model samostatného vnitřního plechu – varianta 5



Obr. 140 Výsledky HIC na modifikovaném modelu – varianta 5

Diskuse výsledků

Výsledky vyčíslení HIC kritéria v aktuálním modelu (obr. 140) ukazují poměrně homogenní rozložení. Výjimku tvoří bod D10, který viditelně splňuje dané požadavky. Tato struktura se rozložením výsledků velmi podobá pěnovým a prvním plastovým výplním.



Obr. 141 Průběh zrychlení na dopadovém bodu D10

Průběh zrychlení těžiště impaktoru v bodě D10 (obr. 141) ukazuje rozložení křivky, které určuje hodnotu HIC 774. U jiných bodů má zrychlení znatelně vyšší maximální hodnotu prvotního „píku“ a tím i vyšší HIC.

Tab. 19 Výsledky výpočtu statické tuhosti kapoty – varianta 5

Torzni tuhost	<i>Referenční Uz [mm]</i>	<i>Vypočtené Uz [mm]</i>	Změna
<i>Pravý doraz</i>	- 3.3471	- 1.6764	- 50 %
<i>Levý doraz</i>	4.8638	2.5483	- 47.6 %
Ohyb v zámku	<i>Referenční Uz [mm]</i>	<i>Vypočtené Uz [mm]</i>	Změna
<i>Třmen zámku</i>	- 3.3989	- 3.6201	+ 6.5%
Ohyb zleva	<i>Referenční Uz [mm]</i>	<i>Vypočtené Uz [mm]</i>	Změna
<i>Levý doraz</i>	1.7061	1.6079	- 5.75 %
Ohyb zprava	<i>Referenční Uz [mm]</i>	<i>Vypočtené Uz [mm]</i>	Změna
<i>Pravý doraz</i>	1.0054	1.0097	+ 0.4 %



Výsledky výpočtu statické tuhosti (tab. 19) ukazují velmi podobné vlastnosti upravené kapoty, jako u variant s pěnovým vloženým dílem. Výpočet (grafické i číselné hodnocení posuvu) ukazuje, že hlavním dílem, který ovlivňuje celkovou tuhost, je vnitřní plech kapoty. Jelikož se od minulých variant s vloženou pěnou struktura vnitřního plechu téměř nezměnila, jsou tyto výsledky prakticky totožné.

7.3.2 Zhodnocení navrhovaných variant

V této kapitole byly popsány některé varianty automobilové kapoty s vloženým plastovým deformačním dílem. Jelikož může mít plastový materiál rozdílné vlastnosti v závislosti na použitém typu materiálu, jsou tyto výpočty jen úvodem do této problematiky. Na základě uvedených výpočtů si lze udělat představu o perspektivnosti plastových dílů kapoty pro potřeby ochrany chodců. Tyto materiály mají však mnoho omezení. Například tloušťka materiálu se dle zkušeností volí v rozmezí 1 až 3 mm. Navíc se pro simulační výpočty podobné materiály jen velmi těžko popisují. Existující materiálové karty plastových částí jsou výsledkem mnohaletých zkušeností v oboru, ale i přesto se v praxi tyto výpočty s plastovými díly pro jistotu ověřují reálnými zkouškami. Druhů plastových materiálů je veliké množství. Věřím, že záměnou druhu plastového materiálu v těchto modelových výpočtech, by se dalo docílit ještě lepších výsledků.

Z výše popsaných variant vloženého plastového dílu mezi vnitřním a vnějším plechem kapoty, lze získat několik poznatků. V první řadě se musí pečlivě volit tloušťka zmiňovaného vloženého dílu. Je těžké zvolit při různých tvarech universální hodnotu, ale všeobecně bude asi platit, že čím menší tloušťka, tím lepší výsledky z hlediska HIC kritéria. Nicméně musí platit i to, že vložený plastový díl musí v první řadě dobře utlumit počáteční energii nárazu. Vhodně zvoleným tvarem (jako například v předposlední variantě 4), se musí docílit takového stavu, aby zpočátku byla kapota hodně „tvrdá“ a aby po překročení určité meze bylo umožněno delšího deformačního zdvihu. Poté již většinou sekundární náraz, ve vykreslení průběhu celkového zrychlení v těžišti impaktoru, není výrazně znatelný.

Obecně se tento druh výplně jeví jako perspektivní varianta. Ve středové části kapoty by neměl být problém snížit HIC kritérium. U krajových míst bude optimalizace horší, ale vhodně zvolenou strukturou a tvarem, by se mohlo docílit snížení i u krajních hodnot.

7.4 Plastový vnitřní díl kapoty

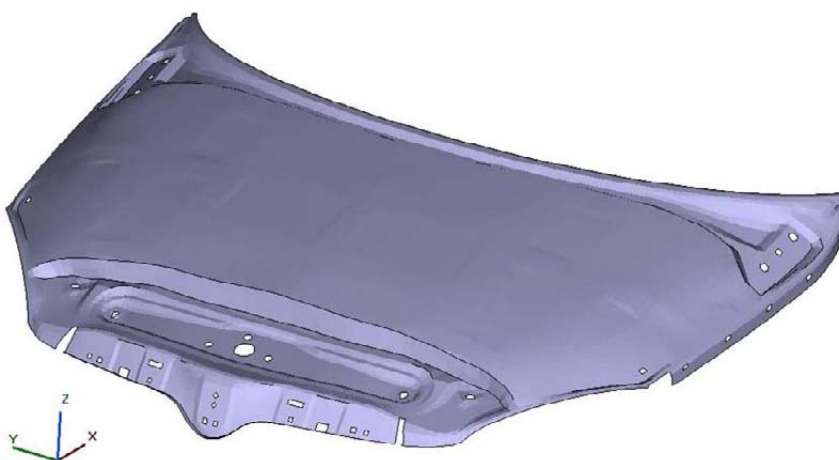
V této části práce jsou uvedeny příklady modifikací kapoty s celoplastovou nebo částečně plastovou náhradou za vnitřní plech kapoty.

7.4.1 Modifikace kapoty

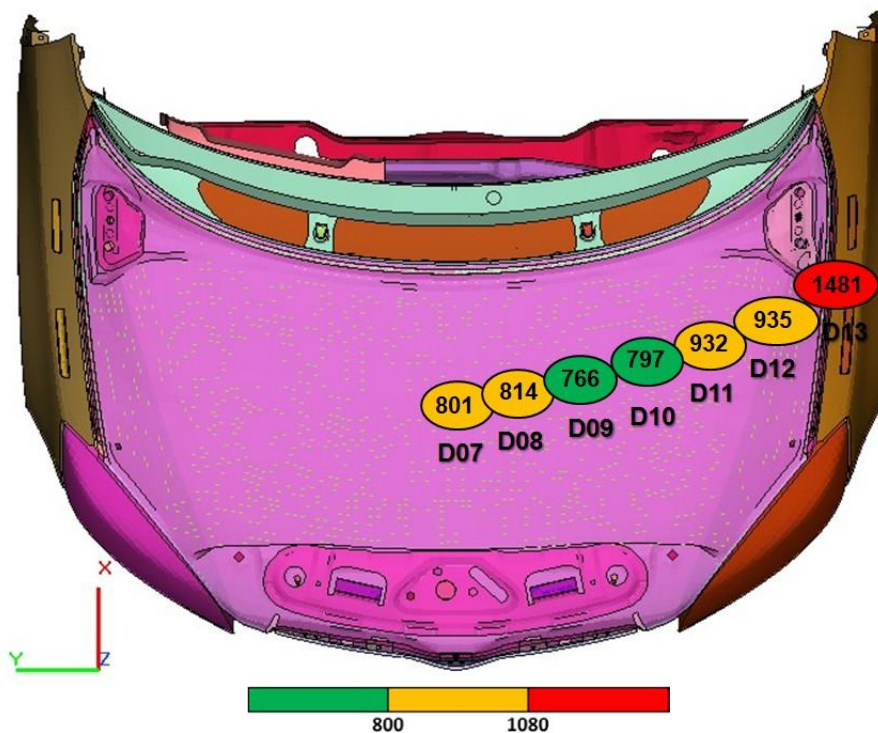
7.4.1.1 Celoplastový vnitřní díl kapoty

Charakteristika modelu

Upravený vnitřní plech kapoty je nahrazen plastovým (obr. 142) o tloušťce materiálu 3mm a slepen pomocí funkce TIED s vnějším plechem.



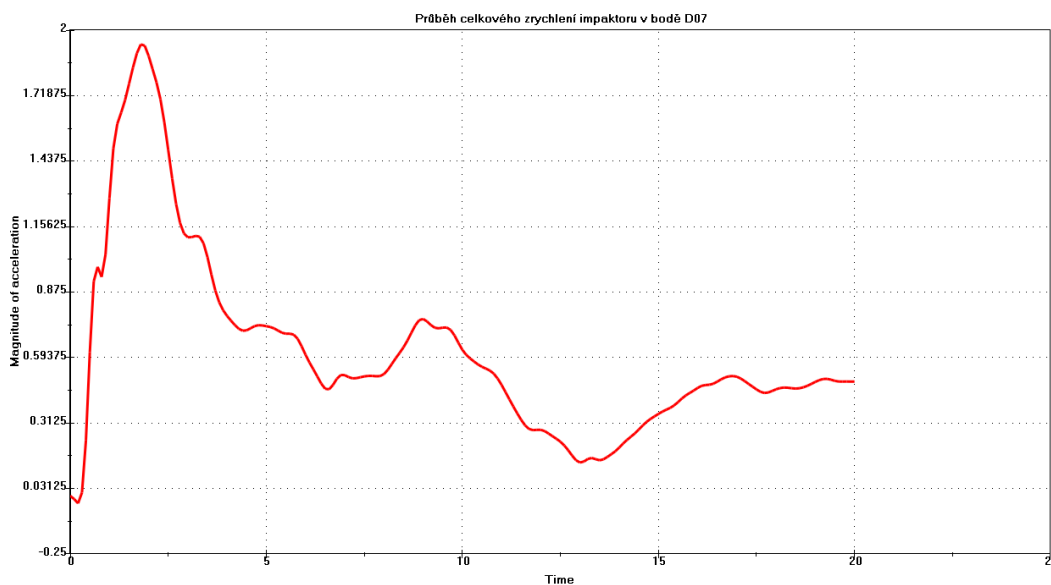
Obr. 142 Model celoplastového vnitřního dílu



Obr. 143 Výsledky HIC na modelu s celoplastovým vnitřním dílem

Diskuse výsledků

Výsledky hodnot HIC (obr. 143) jsou poměrně homogenně rozloženy. Velikost HIC je pro body D07 až D10 přibližně 800. Krajní body D11 a D12 jsou stejně veliké a to cca 930. D13 je stále kritický. Celkově je rozložení velmi podobné nejlépe upraveným modelům z předcházejících částí této práce. Předpokládaný neúspěch této modifikace bude pravděpodobně ve ztrátě požadované celkové tuhosti.



Obr. 144 Průběh zrychlení impaktoru v bodě D07

Z průběhu zrychlení impaktoru při nárazu na kapotu s celoplastovým vnitřním dílem na dopadový bod D07 je vidět velký strmý nárůst a rychlý pokles zrychlení. HIC kritérium je v tomto případě vyhodnocováno funkcí postprocessoru na krátkém rozmezí cca 3.5 ms. To znamená velmi dobrou výslednou hodnotu 801. Při použití tohoto plastového dílu je „počáteční tuhost“ kapoty velká s následným „povolením“. Tato tendence je čitelná i z uvedeného průběhu zrychlení.

Z následujícího přehledu vypočtených deformací (tab. 20) je čitelné výrazné zhoršení celkové torzní tuhosti kapoty. V některých zatěžovacích stavech je navýšení deformace až o 258%. Z tohoto hlediska, které je v požadavcích nutné splnit s maximálním zhoršením 20%, je tento model vysoce nevyhovující.

Tab. 20 Výsledky výpočtů statické tuhosti kapoty – celoplastová náhrada vnitřního plechu

Torzní tuhost	<i>Referenční Uz [mm]</i>	<i>Vypočtené Uz [mm]</i>	Změna
<i>Pravý doraz</i>	- 3.3471	- 11.592	+ 246 %
<i>Levý doraz</i>	4.8638	17.445	+ 258 %

Ohyb v zámku	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Třmen zámku	- 3.3989	-5.0550	+ 48.7 %

Ohyb zleva	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Levý doraz	1.7061	3.0656	+ 79.7 %

Ohyb zprava	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Pravý doraz	1.0054	2.0051	+ 99.4 %

7.4.1.2 Částečně plastový vnitřní díl kapoty

Charakteristika modelu

Tento model (obr. 145) je kombinací vnitřního plechu kapoty s plastovým středovým dílem o tloušťce 3mm. Celá struktura je odsazena o 3mm od vnějšího plechu a spojena s ním funkcí TIED (lepidlo).



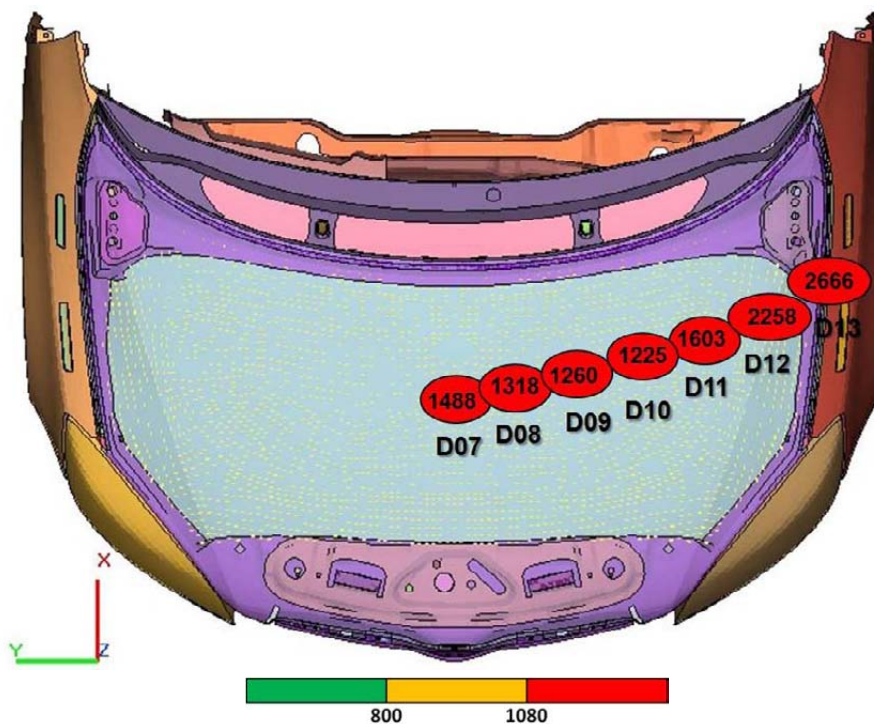
Obr. 145 Model částečně plastového vnitřního dílu

Diskuse výsledků

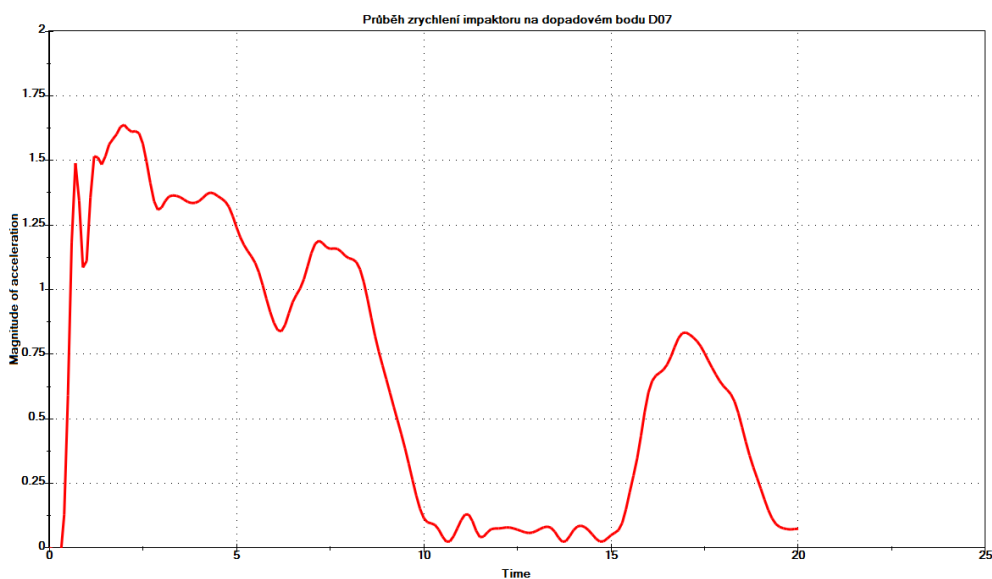
Z rozložení HIC hodnot na aktuálním modelu (obr. 146) je znatelný veliký nárůst hodnot. Při porovnání s předcházejícím modelem to mohl výrazně způsobit jedině okrajový

plechový „rám“. Tato varianta, i po zmenšení tloušťky materiálu, zřejmě nemá perspektivní budoucnost.

Na křivce zrychlení impaktoru v bodě D07 (obr. 147) je vidět hlavní příčina vysokých hodnot. Důvodem je „pík“ zrychlení při prvním nárazu. Jeho pokles je velmi pomalý, a tím výrazně zvyšuje plochu pro hodnocení HIC kritéria.



Obr. 146 Výsledky HIC na modelu s částečně plastovým vnitřním dílem



Obr. 147 Průběh zrychlení impaktoru v bodě D07



7.4.2 Zhodnocení navrhovaných variant

Z těchto dvou navržených variant se jednoznačně jeví perspektivní první varianta, která nahrazuje vnitřní plech kapoty celoplastovým dílem. Tento plastový díl je spojený s vnějším plechem lepidlem. Hodnoty HIC kritéria u tohoto modelu jsou s homogenním rozložením na velmi dobré úrovni kolem hraniční „zelené“ hodnoty HIC 800. Další zlepšení HIC je možno také předpokládat při zmenšení ploch lepení.

Velkou nevýhodou bude hmotnost a z hlediska požadované statické tuhosti kapoty i výsledné deformační hodnoty v jednotlivých zatěžovacích stavech.

Kombinace plechového vnitřního plechu s plastovým středovým dílem se nejeví jako perspektivní. Přepokládaná statická tuhost kapoty bude jistě větší než u celoplastové varianty, ale z hlediska vysokých hodnot HIC kritéria je tato modifikace pro další výzkum nezajímavá.

7.5 Kapota s odlišnou strukturou vnitřního plechu

Tato část diplomové práce popisuje výpočtové modely s úplně novou strukturou vnitřního plechu, která má za cíl splnit předpoklady pro požadovanou „homogenní kapotu“. Je navržen vnitřní plech kapoty se snadno modifikovatelnou strukturou, která obsahuje soustavu jednoduchých menších prolisů. Následné varianty popisují postup k vytvoření kapoty, která by mohla splňovat požadovaná kritéria.

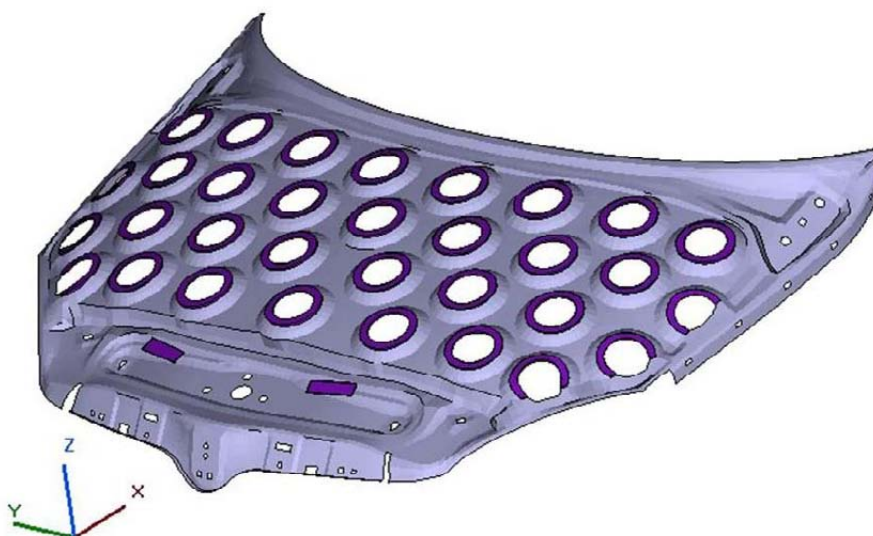
7.5.1 Modifikace kapoty

7.5.1.1 Varianta 1

Charakteristika modelu

Tento model (obr. 148) obsahuje zcela nový tvar vnitřního plechu kapoty s tuhostními prvky, které jsou rovnoměrně rozmístěny po celé ploše kapoty. Vytvořeny jsou jako výraznější prolisy vnitřního plechu. Jejich kontaktní plochy kruhového tvaru jsou odsazeny od vnějšího plechu o 3mm z důvodu slepení těchto dvou dílů. Jelikož je vnější plech poměrně vysoko, zejména nad zámkem kapoty, bylo nutné přiblížit tuto strukturu směrem k vnějšímu designu. To je v této fázi provedeno výraznějším přechodem struktury v místě zámku kapoty.

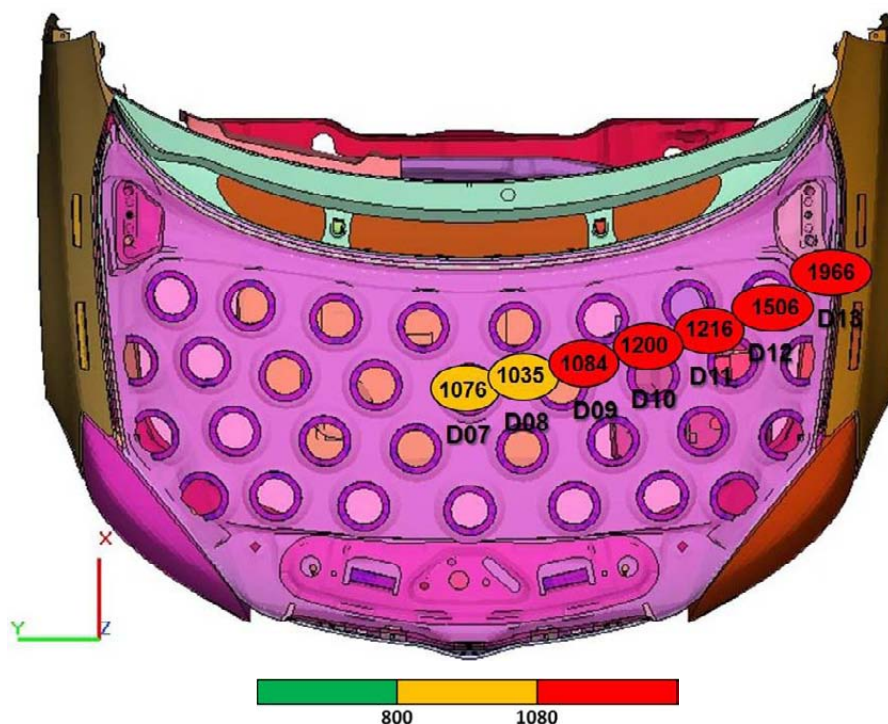
Tloušťka vnitřního plechu kapoty je 0.5 mm. Hloubka prolisů je zvolena ze zkušeností z předešlých nezveřejněných variant cca 13mm.



Obr. 148 Model upraveného vnitřního plechu kapoty – varianta 1

Diskuse výsledků

Zobrazené číselné výsledky hodnot HIC kritéria (obr. 149) ukazují vzestupnou tendenci směrem od středu modifikované kapoty. Velikosti HIC však ve všech bodech převyšují kritickou hodnotu HIC 1000. Jako další postup by bylo vhodné zvolit snížení profilu vnitřního plechu kapoty.



Obr. 149 Výsledky HIC kritéria na aktuálním modelu – varianta 1

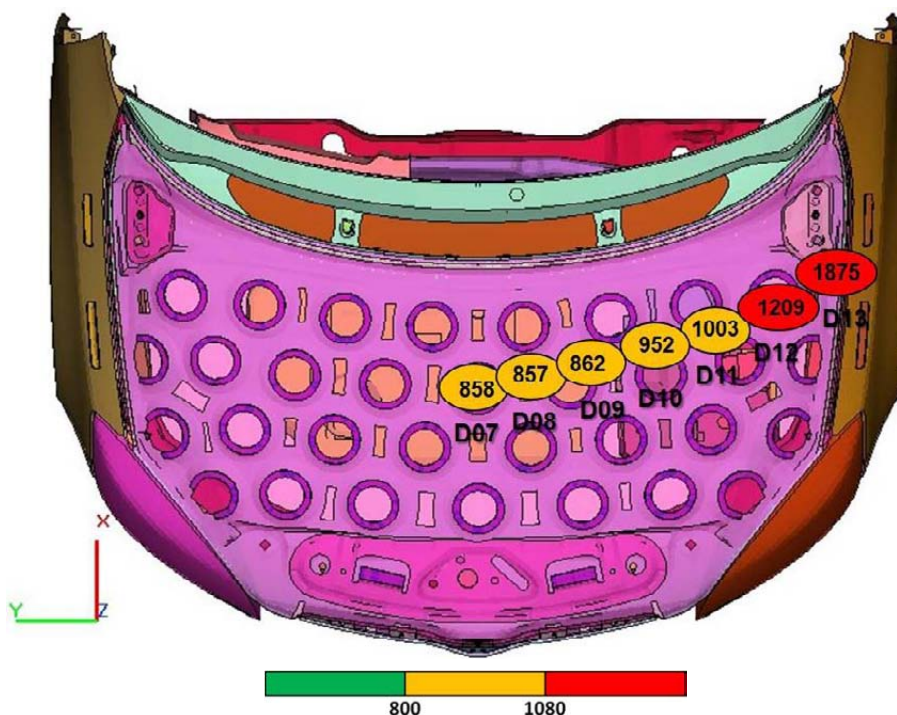
7.5.1.2 Varianta 2

Charakteristika modelu

Snížený profil vnitřního plechu na cca 11.5 mm s novými výřezy na volných plochách mezi jednotlivými tuhostními prvky.



Obr. 150 Model upraveného vnitřního plechu kapoty – varianta 2



Obr. 151 Výsledky HIC kritéria na aktuálním modelu – varianta 2

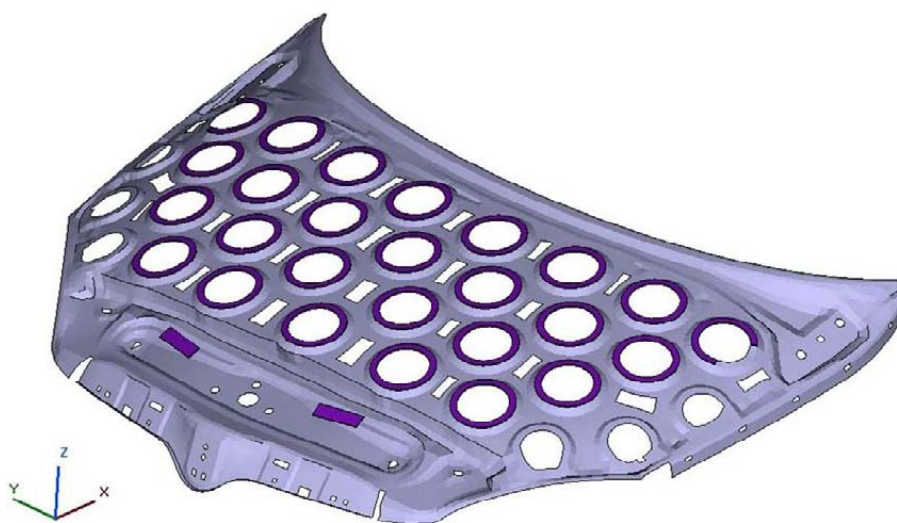
Diskuse výsledků

Z výsledků této simulace (obr. 151) je zřejmé snížení HIC o cca 200 jednotek. Pro vyhovující výsledky je tedy velmi důležité zvolit správnou hloubku prolisu.

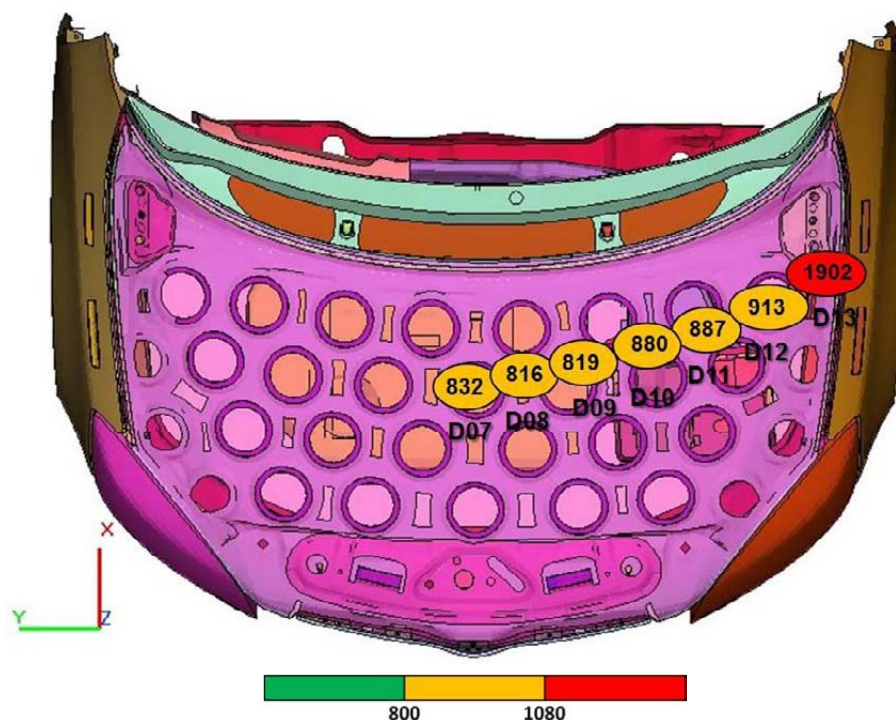
7.5.1.3 Varianta 3

Charakteristika modelu

Nový model (obr. 152) obsahuje sníženou hloubku prolisu o další 2 mm a zvětšení kruhových otvorů ve vnitřním plechu kapoty. Tloušťka plechu zůstává 0.5 mm.



Obr. 152 Model upraveného vnitřního plechu kapoty – varianta 3



Obr. 153 Výsledky HIC kritéria na aktuálním modelu – varianta 3

Diskuse výsledků

Tato úprava se podle výsledků (obr. 153) ukazuje jako správný krok. Hodnoty HIC kritéria jsou v průřezu nově upravenou kapotou velmi dobře rozloženy. Jejich velikost je již velmi blízko HIC 800. To však neplatí u krajního dopadového bodu D13, který je opět vysoce nad kritickým limitem, zejména kvůli sekundárnímu nárazu do držáku blatníku.

7.5.1.4 Varianta 4

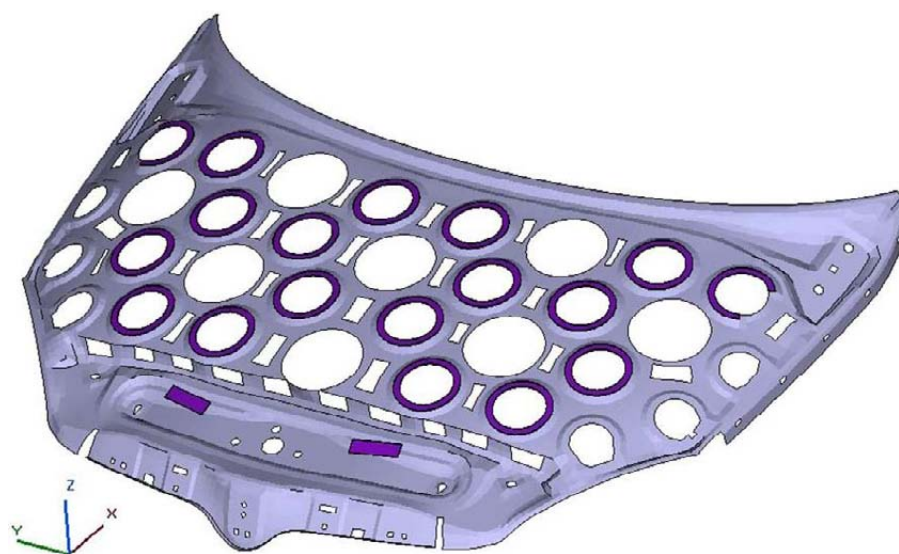
Charakteristika modelu

Z minulého modelu a jeho výsledků je zřejmé již jen malé převýšení vyhovující „zelené“ hranice HIC 800. Pro následující cíl redukce HIC jsem volil odebrání některých kruhových prolisů (obr. 154), které sníží tuhost kapoty. Tím by se mělo docílit pokoření hranice HIC 800 pro většinu dopadových bodů na kapotě.

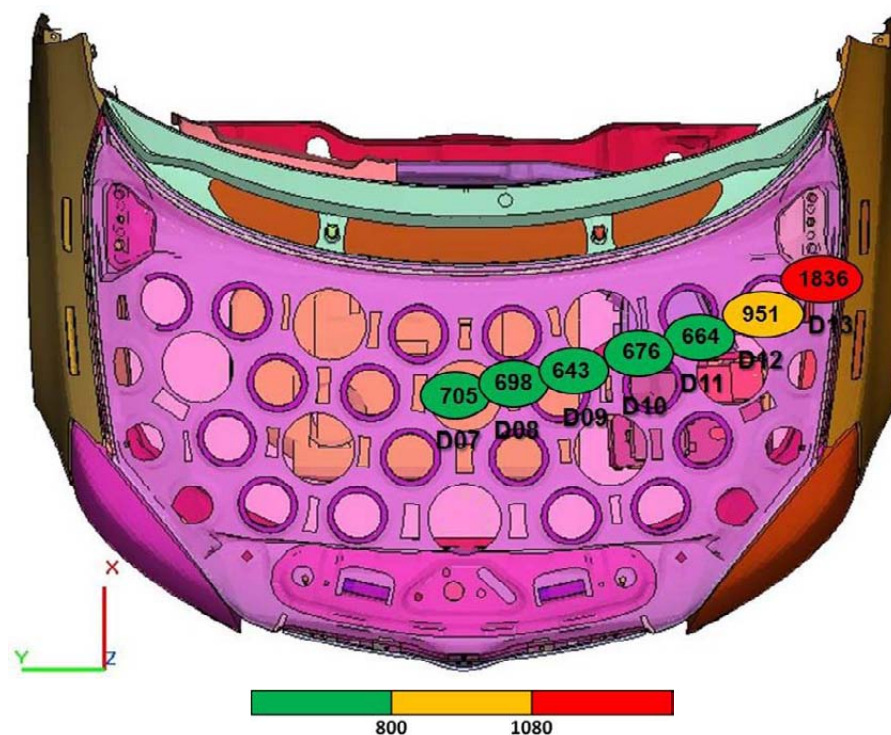
Diskuse výsledků

Touto modifikací se podařilo snížit na většině dopadových míst kapoty hodnoty HIC kritéria (obr. 155) na vynikající hodnoty (dokonce pod hranici HIC 700). Dopadový bod D12 je přechodový s hodnotou 951 a D13 je podle hypotézy stále v kritických nezměnitelných hodnotách 1836.

Důležitou veličinou, určující vhodnost této úpravy, je výpočet statické tuhosti kapoty. Z výsledného přehledu změn deformací (tab. 21) je potvrzeno překročení povoleného zhoršení zejména v zatěžovacím stavu torzní tuhosti. Největší pokles je o cca 60%, přitom v požadavcích zadání práce je tolerováno snížení statické tuhosti maximálně o 20%.



Obr. 154 Model upraveného vnitřního plechu kapoty – varianta 4



Obr. 155 Výsledky HIC kritéria na aktuálním modelu – varianta 4

Tab. 21 Výsledky výpočtů statické tuhosti kapoty – varianta 4

Torzní tuhost	<i>Referenční Uz [mm]</i>	<i>Vypočtené Uz [mm]</i>	Změna
<i>Pravý doraz</i>	- 3.3471	- 5.0753	+ 51.6 %
<i>Levý doraz</i>	4.8638	7.7441	+ 59.3 %

Ohyb v zámku	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Třmen zámku	- 3.3989	- 3.5134	+ 3.4%

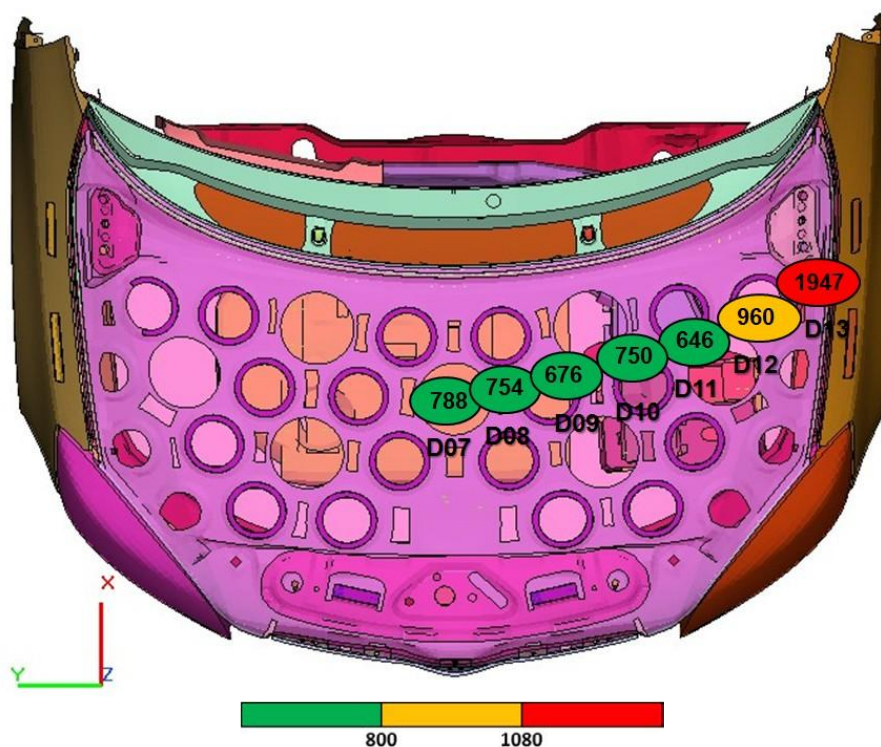
Ohyb zleva	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Levý doraz	1.7061	1.9649	+ 15.2 %

Ohyb zprava	Referenční Uz [mm]	Vypočtené Uz [mm]	Změna
Pravý doraz	1.0054	1.1856	+ 18 %

7.5.1.5 Varianta 5

Charakteristika modelu

Navýšení statické tuhosti je v tomto modelu provedeno jednoduchou úpravou – zvětšením tloušťky vnitřního plechu o desetinu milimetru na 0.6 mm. Jedná se o stejnou hodnotu tloušťky, jaká byla v originálním referenčním modelu vnitřního plechu kapoty.



Obr. 156 Výsledky HIC kritéria na aktuálním modelu – varianta 5



Diskuse výsledků

Zvýšením tloušťky materiálu vnitřního plechu kapoty se docílil nárůst hodnot HIC (obr. 156). Jejich rovnoměrnost je menší než u minulé varianty se slabším vnitřním plechem. I přes to jsou velikosti hodnot a výsledné rozložení vynikající.

Z hlediska statické tuhosti se podařilo touto jednoduchou modifikací snížit nárůst deformace v zatěžovacích stavech (tab. 23). Největší snížení tuhosti je 17.7%, což odpovídá požadavkům zadání diplomové práce.

Tab. 22 Výsledky výpočtů statické tuhosti kapoty – varianta 5

Torzní tuhost	<i>Referenční Uz [mm]</i>	<i>Vypočtené Uz [mm]</i>	Změna
<i>Pravý doraz</i>	- 3.3471	- 3.7458	+ 12 %
<i>Levý doraz</i>	4.8638	5.7243	+ 17.7 %

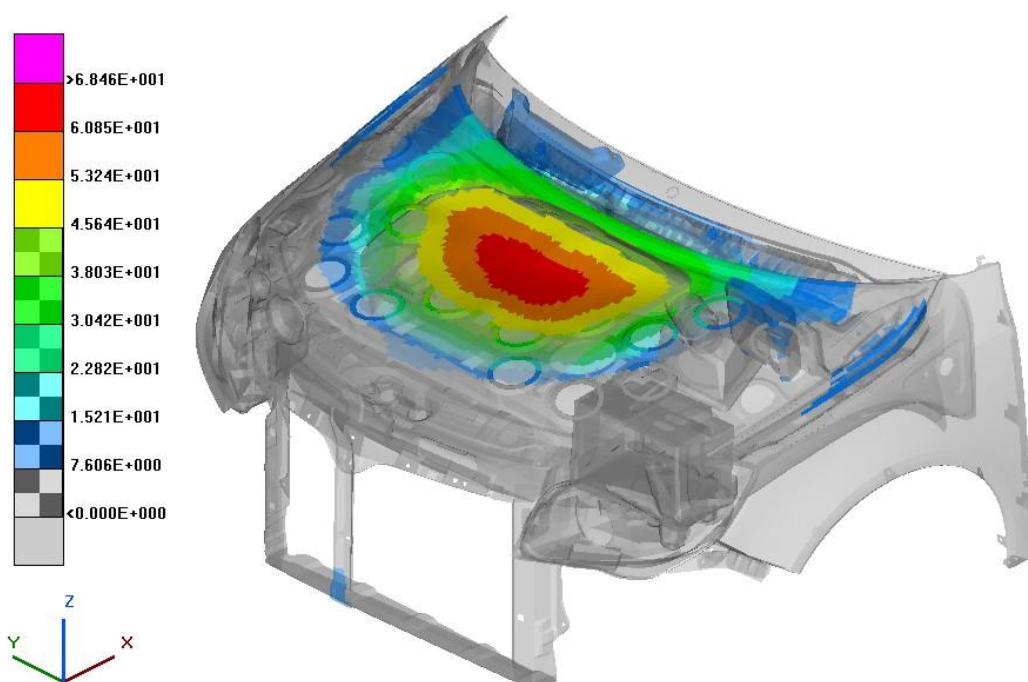
Ohyb v zámku	<i>Referenční Uz [mm]</i>	<i>Vypočtené Uz [mm]</i>	Změna
<i>Třmen zámku</i>	- 3.3989	- 1.9787	- 41.7 %

Ohyb zleva	<i>Referenční Uz [mm]</i>	<i>Vypočtené Uz [mm]</i>	Změna
<i>Levý doraz</i>	1.7061	1.4076	- 17.5 %

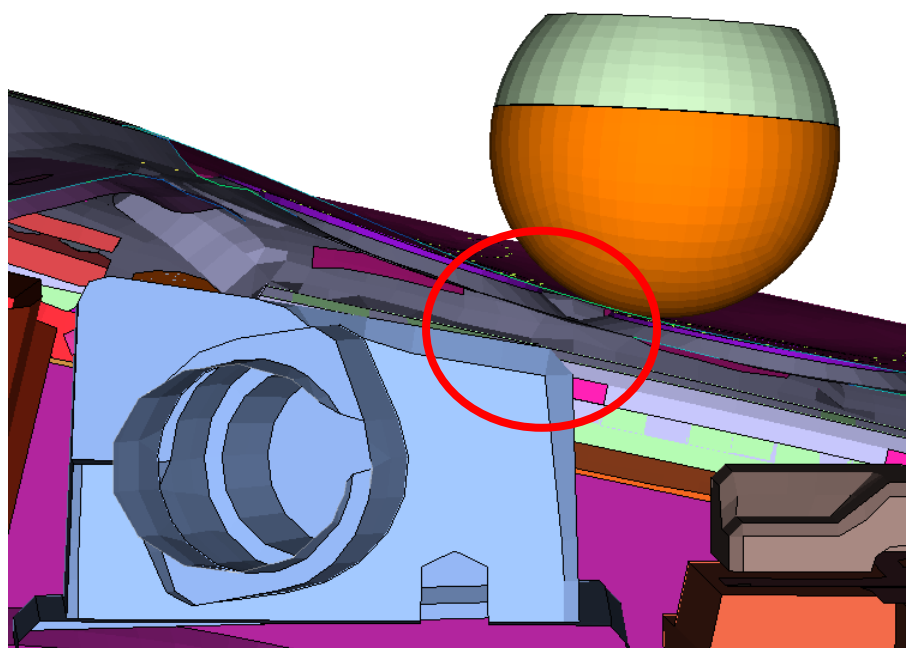
Ohyb zprava	<i>Referenční Uz [mm]</i>	<i>Vypočtené Uz [mm]</i>	Změna
<i>Pravý doraz</i>	1.0054	0.83152	- 17.3 %

Z pohledu deformace této nové struktury je potřeba zkontrolovat i vůle mezi maximálními průhyby vnitřního plechu a nejnebezpečnějšími tvrdými hranami dílů v motorovém prostoru. Deformační prostor mezi vnitřním plechem a krytem motoru je cca 90mm. Při maximálním průhybu kapoty při nárazu v bodě D07 (obr. 157) je největší deformace plechu cca 61mm. V tomto místě je tedy dostatečně velká rezerva proti nárazu do krytu motoru.

Na obr. 158 je též ověřena nejmenší mezera, která vznikne v dopadovém bodě D10. Zde je v prostoru pod dopadajícím impaktorem nebezpečná vyčnívající hrana. Při maximálním pronutí vnitřního plechu je však i zde dostatečná rezerva proti hrozícímu sekundárnímu kontaktu (obr. 158).



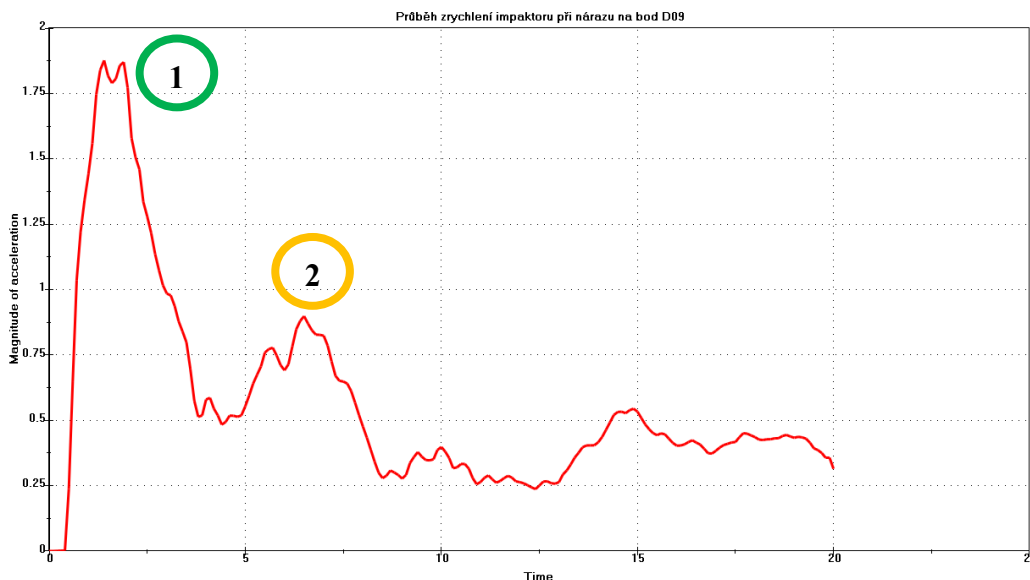
Obr. 157 Deformace kapoty při nárazu v bodě D07



Obr. 158 Nejmenší vzdálenost mezi hranou konzole a vnitřním plechem v bodě D10

Průběhy jednotlivých zrychlení v těžišti dětského impaktoru hlavy v této úpravě jsou podobné. Pro přiblížení je uveden příklad z dopadového bodu D09 (obr. 159). Zde je vidět typický rychlý nárůst a pokles zrychlení. Tento první vrchol (1) je také jediný, který se v HIC kritériu zhodnocuje. Celá oblast vyhodnocení se zúžila na pouhé cca 3 ms. Druhý vrchol (2), který se do hodnocení nezahrnuje, je zvláště typický pro středové dopadové body. Zde se při prvním kontaktu kapoty s impaktorem deformuje pouze střední oblast a v cca 6té ms se do

pohlcování energie zapojují i přilehlá okrajová místa. Toto „ztužení“ se projeví druhým „píkem“. Zmíněný děj je dobře znatelný na animaci průhybu kapoty.



Obr. 159 Průběh zrychlení impaktoru při nárazu na dopadový bod D09

7.5.2 Zhodnocení navrhovaných variant

Předcházející část diplomové práce popisovala zcela novou koncepci vnitřního plechu kapoty. Myšlenka zahrnuje vnitřní plech, který je v první fázi odsazen od vnějšího plechu kapoty o 3 mm, z důvodu spojení těsnícím lepidlem a v druhé fázi je opatřen jednoduchými tvarovými prolisy. Jednotlivé prvky mají za úkol rovnoměrně rozložit tuhost po celé ploše, abychom s nimi v případě dobrých výsledků, mohli pohybovat podle aktuální potřeby.

Bylo zde uvedeno několik variant a postupů optimalizace daného dílu, kde se po několika ověřovacích výpočtech z počátečních hlubokých prolisů dobře osvědčily kruhové lisované tvary, mající poměrně malou hloubku. Z hlediska výsledných hodnot HIC kritéria, se teprve takováto struktura jevila jako vyhovující. V konečné fázi jsem byl nucen odstranit vybrané kruhové prolisy, abych ještě více snížil HIC a především získal rovnoměrnější rozložení hodnot. Požadované celkové torzní tuhosti bylo u finální struktury vnitřního plechu docíleno zvýšením tloušťky plechu na 0,6 mm.

Celkově vzato je tato varianta dále poměrně snadno upravitelná a schopná se nenáročně přizpůsobit změnám pro různé typy kapot. Pro další vylepšení (zejména rozložení a výše hodnot), by se dalo změnit uspořádání odstraněných tuhostních prvků, nebo změnit pozice a velikost jednotlivých výztuh.



Závěr

V této diplomové práci byla zpracována problematika „homogenní kapoty“, která byla hodnocena pomocí výsledků z FEM výpočtů. K tomuto účelu bylo nutno vytvořit CAD a FEM model impaktoru hlavy a provést validaci srovnáním s impaktorem, používaným ve ŠKODA AUTO a.s., který jsem však nemohl pro tuto práci použít. Zkušební těleso zároveň splňuje i certifikační požadavky příslušné normy. Z důvodu hardwarové náročnosti bylo nutné zjednodušit model vozu obdrženy od zadavatele tak, aby vliv na výsledky byl minimální. Během mojí práce jsem použil tyto software:

- CAD: ProEngineer
- CAE: Ansa, Meta, PamCrash a Ansys.

Bylo použito několik přístupů:

- Úprava původního vnitřního plechu kapoty (změna příček, snižování tuhosti pomocí otvorů)
- Použití deformačního členu v prostoru mezi vnitřním a vnějším plechem kapoty
 - Pěnového
 - Plastového
- Úprava vnitřního dílu směřující k homogennímu propojení s plechem vnějším
 - Hladký vnitřní díl s celoplošným polepením:
 - Plastový
 - Kombinovaný (ocel - plast)
 - Díl s kruhovými prolisy a redukováním lepením

Nejperspektivnější variantou je zcela určitě vnitřní plech s kruhovými prolisy a redukováním lepením, popsána v kapitole 7.5. , která umožňuje dobrou adaptabilitu na různé typy kapoty a přizpůsobitelnost k aktuálním potřebám rozložení tuhosti. Zároveň nedojde k výraznému zvýšení nákladů a hmotnosti. Další vyhovující varianta se nalézá v použití vloženého plastového dílu mezi vnitřní a vnější plech kapoty (kapitola 7.3), která by ovšem vyžadovala důkladnější ladění modelu a ani samotná realizace spojená s finančními limity nebude nijak jednoduchá. Ke kvalitním možnostem bych také zařadil původní vnitřní plech (kapitola 7.1), i přes jeho nijak oslnivou homogenní strukturu.

Plánovaný cíl diplomové práce – návrh „homogenní kapoty“ byl splněn pomocí vytvoření několika perspektivních variant. Pro zjednodušení se sledovala pouze dvě hlediska: co nejlepší hodnocení pro impaktor dětské hlavy dle metodiky Euro NCAP a celková statická tuhost. Ostatní neméně důležitá hlediska (požadavky homologace, vyrobitelnost, ...) nebyla zohledněna. Dalším zjednodušením, na doporučení zadavatele, byl výběr pouze sedmi dopadových bodů pro impaktor hlavy dítěte dle Euro NCAP. Pomocí výsledků byly hodnoceny jednotlivé varianty kapoty právě v těchto bodech. Pro komplexní hodnocení by bylo nutno nejen zmapovat celou zónu dopadu impaktoru, ale i vyhodnotit zbývající nezohledněná kritéria.



Seznam použité literatury

- [1] POKORNÝ, J. *Bezpečnost a ochrana chodců* [online] , [cit.2009-02-03]
Dostupné z: < <http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/pokorny.pdf> >
- [2] Wikipedia. *Pedestrian Safety* [online] , [cit.2009-09-03]
Dostupné z: < http://en.wikipedia.org/wiki/Pedestrian_safety >
- [3] Nissan Global. *Pop Up Engine Hood For Pedestrian Protection* [online] , [cit.2009-09-03]
Dostupné z: < www.nissan-global.com >
- [4] DTU Informatics. *Protecting pedestrians* [online] , [cit.2009-10-03]
Dostupné z: < www2.imm.dtu.dk >
- [5] Gizmodo. *Toyota Gosei 360° airbag*. [online] , [cit.2009-09-03]
Dostupné z: < <http://gizmodo.com> >
- [6] Carmotor. *Night Vision*. [online] , [cit.2009-01-03]
Dostupné z: < www.carmotor.cz >
- [7] Edmunds. *New Save Tech*. [online] , [cit.2009-12-04]
Dostupné z: < blogs.edmunds.com >
- [8] Euro NCAP Online Documentation. [online] , [cit.2009-11-02]
Dostupné z: < www.euroncap.com >
- [9] Auto.cz. *global*. [online] , [cit.2009-11-03]
Dostupné z: < www.auto.cz >
- [10] Evropský parlament, Rada. *LexEur* [online] , [cit.2009-11-03]
Dostupné z: < <http://eur-lex.europa.eu> >
- [11] iDnes. [online] , [cit.2009-30-03]
Dostupné z: < www.idnes.cz >
- [12] Report WG17, EEVC Working group. European Enhanced Vehicle-Safety Committee. [online] , [cit.2009-30-03]
Dostupné z: < www.eevc.org >
- [13] CarMotor. [online] , [cit.2009-30-03]
Dostupné z:
<www.carmotor.cz/includes/skoda-auto/aktiv_pasiv_safety_CZE.pdf>
- [14] Beta Cae Systemes. [online] , [cit.2009-12-04]
Dostupné z: < www.beta-cae.gr >



- [15] MM Průmyslové spektrum. *Když věda pomáhá* [online] , [cit.2009-15-02]
Dostupné z: < www.mmspektrum.com/clanek/kdyz-veda-pomaha >
- [16] PAM-CRASH/SAFE 2005. Solver Reference Manual. ESI-Group, Paris, France, 2005.
- [17] PAM-CRASH/SAFE 2005. Solver Notes. ESI-Group, Paris, France, 2005.
- [18] Auto Express. *Pop-up bonnet's a crash hit*. [online] , [cit.2009-15-02]
Dostupné z: < <http://photos.autoexpress.co.uk> >



Seznam použitých zkratk a symbolů

ABS	Anti-lock Braking Systém – protiblokovací systém kol
ACFLD	Acceleration Fields - entita umožňující definici zrychlení
ASR	Anti Skid Regulation – protiskuzový systém
APASTE	Procedura automatického spojení uzlů v zadané vzdálenosti
BOUNC	Boundary Condittion – okrajová podmínka
CAD	Computer Aided Design – zkratka počítačovou podporu konstruování
CAE	Computer Aided Engineering – zkratka konstruování využívající počítačové prostředky
CFC	Channel Frequency Class - filtrace signálu používaná pro nárazové zkoušky
DSY	Formát souboru, do kterého se v průběhu výpočtu ukládají deformační stavy
EEVC	European Enhanced Vehicle Safety Committee
EEVC WG 17	EEVC Working Group 17 – konkrétní předpisy pro ochranu chodců
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme – nezávislé konsorcium zabývající se srovnáváním bezpečnostních prvků
FEM	Finite Element Metod – výpočtová metoda konečných prvků
Friect	Friction – hodnota velikosti součinitele smykového tření při definici kontaktu
FUNCT	Function – entita pro zadávání funkčních závislostí
HIC	Head Injury Criterion – kritérium vyjadřující míru zatížení hlavy při změně zrychlení
INCLUDE	Označení vstupních modelů, které se načítají do společného výpočtu
INVEL	Initial Velocity – entita umožňující definovat počáteční rychlost tělesa
Master	Entita označující akční prvky používané v definici kontaktu
MERGE	Procedura načtení jednotlivých dílů do společné sestavy
Mesh	Procedura označující vytvoření výpočtové sítě



MID	Material ID - zkratka pro označení materiálu v programu Ansa
MKP	Metoda Konečných Prvků
NMS	Number of Master Set – identifikační číslo setu použitého při zadávání kontaktu jako master
NSMAS	Non-Structural Mass – hmotné body používané k dovážení modelu
NSS	Number of Slave Set - identifikační číslo setu použitého při zadávání kontaktu jako slave
OUT	Formát souboru, do kterého se ukládají informace o průběhu výpočtu, hmotnosti, časovém kroku, dovážení dílů, atd.
PC	Formát souboru, který je nadřazený jednotlivým Include a obsahuje informace potřebné pro průběh výpočtu
PID	Property ID – označuje karty vlastností prvků v programu Ansa
Postprocessing	Proces zahrnující práce vyhodnocení výsledků po výpočtu metodou konečných prvků
Preprocessing	Proces zahrnující přípravné práce pro výpočet metodou konečných prvků
RBODY	Rigid Body – entita vazby používaná při stavbě modelů pro PamCrash
SET	Skupina libovolných entit, sloužící k usnadnění práce při definici prvků
Shell	Plošný element s definovanou tloušťkou
Slave	Entita označující pasivní prvky používané v definici kontaktu
Solid	Objemový element
Solver	Algoritmus provádějící výpočet metodou konečných prvků
THLOC	Time History Local Coordinate System – entita používaná ke snímání kinematických veličin během výpočtu
THP	Time History Plot – formát souboru, do kterého se během výpočtu ukládají data a slouží mimo jiné k zaznamenávání zrychlení v THLOC
TIED	Speciální typ kontaktu simulující lepený spoj
VDA	Formát souboru používaný pro převod modelu z CAD do preprocessoru



Seznam použitých veličin

a	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$	Celkové zrychlení
E	$[\text{GPa}]$	Modul pružnosti v tahu
E_K	$[\text{J}]$	Kinetická energie
G	$[\text{GPa}]$	Modul pružnosti ve smyku
h_{cont}	$[\text{mm}]$	Kontaktní tloušťka
K	$[\text{GPa}]$	Objemový modul pružnosti
t_1	$[\text{s}]$	Doba počátku intervalu pro vyhodnocování kritéria
t_2	$[\text{s}]$	Doba konce intervalu pro vyhodnocování kritéria
ν	$[-]$	Poissonova konstanta
ρ	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$	Hustota materiálu