



**FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI**

Studijní program: Konstruování strojů a technických zařízení

Číslo studijního programu: N0715A270017

Studijní specializace: Konstruování vozidel a manipulačních zařízení

OPTIMALIZAČNÍ NÁVRH VNITŘNÍCH ČÁSTÍ NÁRAZNÍKU OSOBNÍHO SILNIČNÍHO VOZIDLA

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Adam Sazama

Vedoucí práce: Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam SAZAMA**
Osobní číslo: **S22N0011K**
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**
Specializace: **Konstruování vozidel a manipulačních zařízení**
Téma práce: **Optimalizační návrh vnitřních částí nárazníku silničního vozidla**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Cílem diplomové práce je optimalizační návrh vnitřních částí nárazníku silničního vozidla z hlediska vyrobitelnosti a snadné montáže na vozidlo. Technické řešení by mělo obsahovat specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost a respektování potřebných norem i předpisů. Konstrukční návrh by měl obsahovat rozbor možností ohledně optimalizace procesu výroby, splňovat požadavky technické jednoduchosti. U výsledného technického řešení provést komplexní zhodnocení parametrů.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce.
2. Vypracování rozboru technických parametrů.
3. Vypracování vybrané varianty řešení včetně výpočtového hodnocení.
4. Zhodnocení vybraného konstrukčního návrhu.

Konzultant: Ing. Miroslav Běle

Rozsah diplomové práce: **40-60 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

SEZNAM DOPORUCENE LITERATURY:

- [1] VALA, M. Teorie a konstrukce silničních vozidel I. Univerzita Pardubice, Pardubice, 2003
- [2] VLK, F. Stavba motorových vozidel. Brno: Vlk, 2005
- [3] ŘAŠA, J., ŠVERCL, J.: Strojnické tabulky. Scientia, Praha, 2004
- [4] SHIGLLEY, J., E., MISCHKE, C., R., BUDYNAS, R., G. Konstruování strojních součástí. VUT v Brně, Brno, 2010
- [5] Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

Ing. Zdeněk Chval, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v Seznamu použitých zdrojů, který je součástí této práce a na základě konzultací s vedoucím práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

V Plzni dne:

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval Doc. Ing. Josefu Formánkovi, Ph.D. za jeho vedení této diplomové práce, poskytnuté rady a doporučení. Díky také patří Bc. Andree Kolínkové za pomoc se zpracováním částí týkajících se numerických simulací, Ing. Miroslavu Bělemu za poskytnuté informace a podrobnější vhled do problematiky konstrukce automobilových nárazníků, své rodině za podporu po celou dobu mého studia a v neposlední řadě všem svým kamarádům z prvních let bakalářského studia, bez nichž bych se k napsání této diplomové práce pravděpodobně ani nedostal.

Abstrakt

Diplomová práce obsahuje uvedení do problematiky návrhu nárazníku osobního silničního vozidla, popis používaných materiálů, výrobních technologií a prováděných testů a analýz. Dále pak popis jednotlivých dílů a vývojových fází konkrétní sestavy nárazníku, jejich optimalizační návrh a porovnání.

Klíčová slova

Nárazník, materiály, analýza, vývojové fáze, optimalizace, montáž, metoda konečných prvků, formování

Abstract

The diploma thesis contains an introduction to the design of the bumper of a passenger road vehicle, description of the materials used, production technologies and tests and analyses performed. Furthermore, the description of individual parts and development phases of a specific bumper assembly, their optimization design and comparison.

Key words

Bumper, materials, analysis, development phases, optimization, assembly, finite element method, forming

Obsah

1	Úvod.....	13
2	TEORETICKÁ ČÁST	14
2.1	Nárazník osobního automobilu a jeho části.....	14
2.1.1	Nárazník osobního automobilu.....	14
2.1.2	Design	15
2.1.3	Montáž.....	15
2.2	Materiály.....	16
2.2.1	ABS (Akrylonitril-butadien-styren)	16
2.2.2	ASA (Akrylonitril-styren-akryl).....	16
2.2.3	TPE (Termoplastické elastomery)	16
2.2.4	PC (Polykarbonát)	17
2.2.5	PMMA (Polymethyl-methakrylát)	17
2.2.6	PP (Polypropylen).....	17
2.3	Nárazové zkoušky	18
2.3.1	Low speed impact test (Nárazová zkouška v nízké rychlosti).....	18
2.3.2	High-speed impact test (Nárazová zkouška ve vysoké rychlosti)	19
2.3.3	Zkouška srážky s chodcem	19
2.3.4	Budoucí trendy ve vývoji bezpečnosti automobilových nárazníků.....	20
2.4	Plasty a vstřikování plastových dílů.....	21
2.4.1	Výrobní požadavky plastových dílů nárazníku.....	21
2.4.2	Plasty z hlediska konstrukce.....	22
2.4.3	Vstřikování plastů.....	22
2.4.4	Vstřikovací stroj	23
2.4.5	Vstřikovací nástroj	24
2.5	Konstrukce plastových dílů, pevnost a poddajnost dílu s ohledem na jeho tvar, žebrování, spojovací prvky a držáky.....	26
2.5.1	Konstrukce plastových dílů pro vstřikování.....	26
2.5.2	Dělicí rovina	26
2.5.3	Tloušťka stěn dílu.....	26
2.5.4	Hrany a rádiusy	27
2.5.5	Podkoso a úkoso.....	27

2.5.6	Žebra	27
2.5.7	Propady a prolamování stěn	27
2.5.8	Držáky a spojovací výstupky.....	28
2.5.9	Formování otvorů	28
2.6	Matematické modely a pevnostní výpočty dílů pomocí MKP	28
2.6.1	Metoda konečných prvků (MKP).....	28
2.6.2	Rozdělení konečných prvků	29
2.6.3	Síťování modelu	30
2.6.4	Počáteční a okrajové podmíněk	30
2.6.5	Zobrazení a interpretace výsledků.....	30
3	PRAKTICKÁ ČÁST	32
3.1	Vývojové fáze nárazníku	32
3.1.1	1. Vývojová fáze (DPT-A).....	32
3.1.2	2. Vývojová fáze (DPT-C).....	32
3.1.3	3. Vývojová fáze (DPT-E)	32
3.1.4	4. Vývojová fáze (DPT-S)	32
3.1.5	5. Vývojová fáze (DPT-AV).....	32
3.1.6	6. Vývojová fáze (DPT-BV).....	33
3.2	Popis jednotlivých dílů nárazníku.....	33
3.2.1	Verkleidung OT (VKL_OT).....	33
3.2.2	Verkleidung UT (VKL_UT).....	33
3.2.3	Unterfahrschutz (UNTFHR)	33
3.2.4	Abdeckung (ABDK)	33
3.2.5	Abdeckung Abschleppoese (ABSCH)	33
3.2.6	PTS Adapter (PTS)	34
3.2.7	Grundtraeger Mitte (GTR_MI)	34
3.2.8	Grundtraeger Links (GTR_LI).....	34
3.2.9	Grundtraeger Rechts (GTR_RE).....	35
3.2.10	Halter VO	35
3.2.11	Luftfuehrungssegment (LFTF)	35
3.2.12	Pralldaempfer OT (PRDL_OT)/ UT Mitte (PRDL_UT_MI)/ UT Links (PRDL_UT_LI)/ UT Rechts (PRDL_UT_RE)	35

3.2.13	Befestigungsschiene (BFST)	35
3.3	Hodnocení změn a úprav dílů	37
3.3.1	Vyrobitelnost	37
3.3.2	Tloušťka stěn materiálu	37
3.3.3	Poloha dělicí roviny	37
3.3.4	Poloha a počet clipů	37
3.3.5	Umístění senzorů a jejich držáky	37
3.3.6	Pevnostní analýzy	38
3.3.7	Smontovatelnost/ kompletace	38
3.3.8	Lakovatelnost	38
3.4	Optimalizační návrh vybraných dílů sestavy nárazníku	39
3.4.1	Abdeckung (ABDK) + PTS Adapter (PTS-2)	39
3.4.2	Zeirleiste (ZRLS)	45
3.4.3	Abdeckung Abschleppoese (ABSCH)	53
3.4.4	Befestigungsschiene (BFST)	55
3.4.5	Luftfuehrungssegment (LFTF)	61
4	ZÁVĚR	71
5	Použité zdroje	72

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Sestava nárazníku v CAD softwaru.....	14
Obrázek 2 - Standardní nárazníkové systémy	18
Obrázek 3 - Kritéria poranění při nárazu do nohy.....	20
Obrázek 4 - Senzor pro hlídání vzdálenosti od objektů před vozidlem	21
Obrázek 5 - Vstřikovací stroj (a) vstřikovací jednotka, (b) uzavírací jednotka, (c) řídicí a kontrolní soustava, (d) rám stroje s hydraulickým pohonem	24
Obrázek 6 - Základní popis vstřikovací formy.....	25
Obrázek 7 - Druhy konečných prvků.....	29
Obrázek 8 - Grafické zobrazení simulované deformace vetknutého zatíženého nosníku v programu Nastran	31
Obrázek 9 - Přední pohled na sestavu nárazníku v CAD softwaru s popisky dílů	34
Obrázek 10 – (a) Zadní pohled, (b) Boční pohled na sestavu nárazníku v CAD softwaru s popisky dílů .	36
Obrázek 11 - (a) Levá přední strana nárazníku s dílem ABDK, (b) Adapter PTS-2 s parkovacím senzorem PTS.....	39
Obrázek 12 - fáze DPT-S (a) Nepohledová část podsestavy ABDK a PTS-2, (b) Detailní pohled na přechod dílů ABDK a ZRLS	40
Obrázek 13 - Řez díly ABDK a PTS-2 ve fázi DPT-S.....	40
Obrázek 14 - fáze DPT-AV (a) Řez dílem ABDK, (b) Detailní pohled na napojení dílů ABDK a ZRLS.....	41
Obrázek 15 - Formovací analýza (a) Detail na přechod mezi pohledovou a zadní stranou ABDK při formování v hlavním formovacím směru, (b) Formování integrovaného PTS-2 ve směru jeho slideru, (c, d) Formování clipu ve směru jeho slideru	43
Obrázek 16 - Řez dílem ABDK s vyznačeným místem nejmenšího rádiusu a detailní pohled s vloženou testovací kuličkou	44
Obrázek 17 - zadní strana ZRLS ve fázi DPT-S.....	45
Obrázek 18 - zadní strana ZRLS ve fázi DPT-AV s vyznačenými dosedacími žebry	46
Obrázek 19 - Formovací analýza (a) Detail levého rohu zadní strany ZRLS, (b) Detail pravého rohu zadní strany ZRLS s viditelným přechodem mezi pohledovou a zadní stranou dílu	47
Obrázek 20 - (a) Detail pravé pohledové strany dílu ZRLS, (b) Řez dílem ZRLS s vyznačeným místem nejmenšího rádiusu a detailní pohled s vloženou testovací kuličkou	48
Obrázek 21 - Vysítovaný model (tertahedron síť s velikostí elementů cca 3,5mm) použité části dílu ABDK a dílu ZRLS (a) Vysítovaná sestava obou dílů, (b) Pohled s přiloženou tabulkou materiálů, (c) Zobrazené body zatížení (loadpoint) se zatížením rozneseným na zátěžnou plochu pomocí RBE prvku (d) Zobrazený bod fixace ve všech stupních volnosti fixovaný pomocí RBE prvku.....	49
Obrázek 22 - Simulace spojení dílů ABDK a ZRLS clipu (vlevo) Kroky 1, 3, 6, (vpravo) Kroky 12, 18, 27. 51	

Obrázek 23 - Simulace spojení dílů ABDK a ZRLS clipy (vlevo) Kroky 43, 44, 51, (vpravo) Kroky 70, 80, 88	52
Obrázek 24 - ABSCH ve fázi DPT-S (a) Pohled na díl v sestavě, (b) Detail zadní strany dílu.....	53
Obrázek 25 - ABSCH ve fázi DPT-AV (a) Pohled na díl v sestavě, (b) Detail zadní strany dílu	54
Obrázek 26 - (a) Formování dílu ABSCH v hlavním formovacím směru, (b) Formování clipu a bočního žebra	54
Obrázek 27 - Analýza lakovatelnosti ABSCH (a) řez dílem s tečně vloženou kuličkou, (b) detail řezu s testovací kuličkou	55
Obrázek 28 - BFST ve fázi DPT-S (a) BFST v sestavě s vyznačenými dosedacími žebry, (b) vrchní část dílu, (c) detail polohovacího "jazýčku" v sestavě	56
Obrázek 29 - BFST ve fázi DPT-AV – pohled zdola na samostatný díl.....	57
Obrázek 30 - BFST ve fázi DPT-AV (a) pohled z vnitřní strany nárazníku, (b) pohled zdola bez dílu VKL_OT, (c) pohled shora, (d) pohled z přední strany nárazníku bez dílu VKL_OT	58
Obrázek 31 - Detailní pohled na díru pro šroub a její vzdálenost od pohledové plochy dílu VKL_OT (a) fáze DPT_S, (b) fáze DPT-AV	59
Obrázek 32 - Detailní pohled na hranu a vnitřní rádius tvořící dělicí rovinu dílu BFST.....	59
Obrázek 33 - Formování dílu BFST v hlavním formovacím směru (a) pohled z vnitřní strany sestavy a shora, (b) pohled z vnější strany sestavy a zdola.....	60
Obrázek 34 - Pohled na díl LFTF v sestavě nárazníku z vnitřní strany	61
Obrázek 35 - Detail přechodu materiálů na dílu LFTF (a) detail s PP i TPE-V částí, (b) detail pouze s PP částí dílu.....	62
Obrázek 36 - LFTF ve fázi DPT-AV (a) pohled na levou část LFTF v sestavě nárazníku z vnitřní strany, (b) Detail na lem z materiálu TPE-V dosedající na chladič, (c) detail otvoru pro uchycení držáku SPZ s clipem unifikovaného držáku	63
Obrázek 37 - Formování vstupní části dílu LFTF v hlavním formovacím směru (a) pohled z přední strany sestavy, (b) pohled ze zadní strany sestavy	64
Obrázek 38 - Příklady hodnot koeficientu odporu pro různé tvary.....	65
Obrázek 39 - Vysítovaný model (tertahedron síť s velikostí elementů cca 3,5 mm) použité části dílu LFTF (a) zobrazené body fixace ve všech stupních volnosti fixované pomocí RBE prvků (b) zobrazený bod zatížení (loadpoint) se zatížením rozneseným na zátěžnou plochu pomocí RBE prvku	66
Obrázek 40 - Vysítovaný model použité části dílu LFTF (a) pohled s přiloženou tabulkou materiálů, (b) detail na řez sítí v místě spoje vstupní a výstupní části dílu.....	67
Obrázek 41 - Průběh napětí vyvolaného tlakem proudícího vzduchu ve zkoumané části dílu LFTF (a) pohledová strana, (b) zadní strana, (c) detailní řez v místě spojení vstupní a výstupní části.....	69
Obrázek 42 - Deformace vyvolané tlakem proudícího vzduchu ve zkoumané části dílu LFTF (vlevo) skutečné deformace, (vpravo) 10000x zvětšené deformace	70

Přehled použitých zkratk a symbolů

3D	3 prostorové dimenze
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
ASA	Akrylonitril-styren-akryl
CAD	Computer aided design
ČSN	Česká technická norma
FST	Fakulta strojní
hod	Hodina
ISO	Mezinárodní technická norma
kg	Kilogram
KKS	Katedra konstruování strojů
m	Metr
min	Minuta
MPa	Megapascal
N	Newton
PC	Polykarbonát
PDR	Parciální diferenciální rovnice
PMMA	Polymethylmethakrylát
PP	Polypropylen
rad	Radián
s	Sekunda
SPZ	Státní poznávací značka
TPE	Termoplastický elastomer
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni
°C	Stupeň Celsia
∅	Průměr

1 Úvod

V dnešní době, kdy se automobilový průmysl neustále vyvíjí a kdy jsou požadavky na bezpečnost vozidel stále přísnější, je vývoj a optimalizace každého dílu automobilu klíčovým faktorem. Mezi tyto díly patří i nárazník, který plní jak estetickou a aerodynamickou funkci, tak zároveň ochrannou funkci pro vozidlo a jeho cestující v případě nehody. Tato diplomová práce se zaměřuje na analýzu a optimalizaci plastových komponent nárazníku osobního automobilu v jednotlivých vývojových fázích. Při řešení je kladen velký důraz na úzkou spolupráci se zákazníkem, přičemž je zvolena varianta kontinuálních úprav konstrukce daných dílů nárazníku, kdy jsou data s jednotlivými úpravami dílů průběžně odesílána zákazníkovi, který na jejich základě stanovuje nové požadavky a změny konstrukce.

Teoretická část práce se zabývá rozbořem konstrukce nárazníků a plastových dílů obecně, použitými materiály a prováděnými nárazovými zkouškami. Důraz je kladen na plastové materiály, jako je ABS, PP a další, které jsou běžně využívány při výrobě nárazníků. Pozornost je věnována také procesu vstřikování plastů, který je klíčovým prvkem výroby těchto dílů a matematickým modelům používaným k posouzení jejich pevnosti a odolnosti.

Praktická část práce se pak zaměřuje na konkrétní fáze vývoje nárazníku a popisuje jednotlivé díly, které tvoří sestavu této komplexní součásti automobilu. Pozornost je věnována hodnocení změn a úprav provedených na těchto dílech, přičemž jsou zohledněny faktory jako formovatelnost, pevnost, lakovatelnost a další technické a funkční aspekty.

Nicméně hlavní částí této práce jsou optimalizační návrhy vybraných dílů nárazníku. Tyto návrhy konstrukce vycházejí z analýz faktorů popsaných v předchozích částech práce. Analýzy jednotlivých dílů jsou následně pečlivě popsány a vyhodnoceny. Každá navržená úprava je zdůvodněna a prezentována s ohledem na její vliv na celkovou funkčnost, vyrobitelnost či smontovatelnost nárazníku.

Cílem této diplomové práce je poskytnout komplexní přehled o vývoji a optimalizaci plastových dílů nárazníku, který bude sloužit jako užitečný zdroj informací jak pro kolegy spolupracující na projektu optimalizace a vývoje automobilových nárazníků, tak pro odbornou i laickou veřejnost pro podrobnější náhled do problematiky konstrukce automobilových nárazníků a plastových dílů obecně.

2 TEORETICKÁ ČÁST

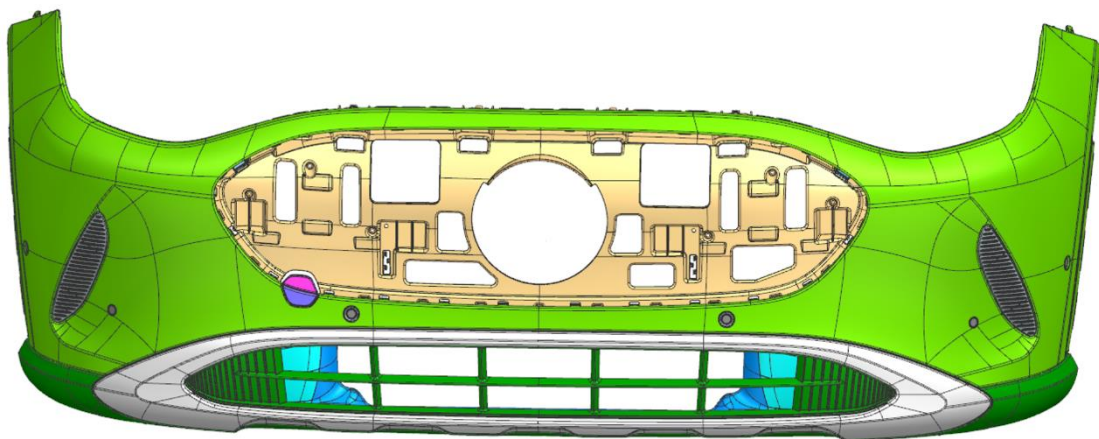
2.1 Nárazník osobního automobilu a jeho části

2.1.1 Nárazník osobního automobilu

Výroba a montáž osobních automobilů v dnešní době funguje na principu modulárního systému. Jednotlivé komponenty jsou skládány a montovány do specifických montážních celků, nazývaných moduly, které lze snadno připojit nebo v případě potřeby vyměnit, pokud dojde k poruše. Tento systém má výhodu v tom, že díly lze použít ve více modelech vozů napříč portfoliem značky. Příkladem může být podvozková platforma, která je vyvíjena pro různé třídy automobilů, nebo motor s převodovkou, které jsou koncipovány pro více typů vozidel. V jednotlivých vozidlech se pak řeší pouze detaily uchycení a prostorové uspořádání. Montážní linky se zaměřují především na pracovní sestavy těchto částečně sestavených modulů a veškerý vývoj, výroba a testování těchto modulů se delegují na dodavatele. Přední i zadní nárazník je vyvíjen stejným způsobem, kdy modul nárazníku sestává z několika dílů a je připevněn na automobil prostřednictvím jednoduchého uchycení a několika šroubových spojů. [5]

Přední i zadní modul nárazníku sestává z několika částí, včetně ocelové výztuhy, která je obvykle vyrobená jako svařenec z ocelových výlisků. Tato ocelová výztuha, známá též jako příčník, je připevněna nejčastěji dvěma šrouby na každé straně k přední a zadní stěně karoserie. Na ni je následně připevněn samotný plastový nárazník. Mezi výztuhou a plastovým nárazníkem je ponechána mezera, případně je prostor vyplněn pěnovou hmotou, aby nedocházelo k vyztužení plastového nárazníku příčníkem. Oba nárazníky jsou vyrobeny ze stejného materiálu a mají podobnou konstrukci. [5]

Toto uspořádání přináší několik výhod, zejména z hlediska finančního. Výroba dílu s identickým designem jako plastový nárazník a podobnými mechanickými vlastnostmi jako ocelová výztuha vozidla by byla nákladná a technologicky náročná. Ocelový nárazník, relativně jednoduchého tvaru, zajišťuje vyztužení přední a zadní části vozu a absorbuje případné deformace při nárazu. Plastová část zejména utváří vnější vzhled vozidla a ovlivňuje celkovou aerodynamiku. Další výhodou tohoto uspořádání je nízká hmotnost, což má vliv na celkovou hmotnost vozidla, omezuje opotřebení nárazníku a významně ovlivňuje konečnou spotřebu vozidla. [5]



Obrázek 1 – Sestava nárazníku v CAD softwaru

Sestava plastového nárazníku zahrnuje několik komponent, včetně hlavního plastového tělesa, zpevňujících, ochranných, ozdobných a upevňujících prvků. Kromě toho obsahuje elektronickou instalaci pro parkovací systém u zadního nárazníku a pro mlhovky u předního nárazníku a pro různé druhy senzorů.

Ochranné prvky zahrnují různé nárazníkové lišty nebo spoilery, které slouží k ochraně plastového nárazníku před drobnými nárazy. Ozdobné prvky mají za úkol zejména zdůraznit design karoserie vozidla. Mohou být ve formě ozdobných lišt, krycích mřížek nebo jen např. pochromovaných dílů. Upevňující prvky představují různé plastové výlisky a jiné spojovací materiály, které zpevňují nárazník a upevňují ho ke karoserii automobilu.

2.1.2 Design

Na vnější plochy povrchových a viditelných částí konečného produktu jsou kladeny vysoké estetické a kvalitativní nároky. Většinou se jedná o plochy třídy A, které jsou vytvářeny ve specializovaném softwaru převzetím geometrie z 3D skenu hliněného modelu vozidla. Designové plochy jsou obvykle přenášeny do CAD softwaru (Siemens NX, Catia, ...) ve formátu iges nebo step, jako obálkové plochy celé konstrukce, například předního nárazníku vozidla a konstruktér tyto plochy nesmí upravovat. Nicméně v některých případech je nutné tyto plochy změnit z důvodů konstrukčních nebo technologických nedostatků, zejména pokud při původním návrhu nebyly brány v úvahu technické požadavky. [13]

U pohledových dílů nárazníku se počítá s povrchovou úpravou lesklým lakem, což si klade nároky na vysokou kvalitu vnější plochy. Všechny konstrukční prvky připojené ke skořepině mřížky musí být navrženy tak, aby nehrozilo znehodnocení vnější plochy deformacemi, propady a jinými povrchovými nedokonalostmi. I když mohou být další díly ovlivněny designovými plochami nebo konturami, jejich tvar bude především odvozen z prostorového uspořádání a funkce. [13]

2.1.3 Montáž

Při vývoji a konstrukci jednotlivých součástí montážního celku je nezbytné brát v úvahu jejich snadnou smontovatelnost při sestavování konečného funkčního výrobku. Hlavním cílem je zajistit, aby montáž probíhala co nejjednodušeji a v co nejkratším čase, ideálně za využití automatických nebo poloautomatických montážních linek. Proto se často připravují podrobné montážní studie a výrobní postupy pro jednotlivé součásti. Tyto studie detailně popisují postup pro začlenění konkrétního dílu do celkového uspořádání nárazníku. Každý krok a pohyb součásti na pracovišti jsou zde pečlivě popsány, včetně času, za který má daná operace proběhnout, počtu pracovníků potřebných k provedení operace, nezbytného nářadí a parametrů, které musí nářadí splňovat. S ohledem na to, že montáž, stejně jako jakýkoliv jiný výrobní proces, musí odpovídat různým ekologickým normám, jsou tyto normy specifikovány a zahrnuty do popisu postupu při zpracování vzniklého odpadu. [5]

2.2 Materiály

Primárně využívaným materiálem při výrobě automobilových nárazníků je plast. V případě nárazníků automobilů konkrétní značky řešených v této diplomové práci se jedná převážně o materiály ABS, ASA, EPDM, PC, PP, a PMMA.

2.2.1 ABS (Akrylonitril-butadien-styren)

ABS je amorfní průmyslový termoplast z řady kopolymerů s působivými tepelnými vlastnostmi a snadnou tvarovatelností za teploty již od 88 °C. Hlavním způsobem zpracování tohoto materiálu je vakuové tvářeni a formování. Díky své UV stabilitě je ABS vhodný jak pro interiérové, tak i exteriérové aplikace. [17]

Jeho struktura je tvořena třemi monomerními jednotkami: akrylonitril, butadien a styren. ABS je považován za strukturálně velmi pevný materiál, což ho činí ideální volbou pro širokou škálu aplikací vyžadujících odolný a tuhý plast, který odolává vnějším nárazům. Výroba ABS probíhá polymerací, při které jsou monomery ponořeny do chemického roztoku, kde probíhá proces vazbení. [17]

2.2.2 ASA (Akrylonitril-styren-akryl)

Terpolymer ASA byl vyvinut za účelem nalézt styrenový plast, který by kombinoval houževnatost ABS a odolnost vůči povětrnostním vlivům. Tato houževnatost ABS je zajištěna kaučukovitou složkou, jejíž základ tvoří polybutadién. Přidáním dvojných chemických vazeb do styrenových kopolymerů se zvyšuje jejich citlivost na vnější faktory, jako je kyslík ve vzduchu a ultrafialové záření. Nahrazením butadiénového kaučuku kaučukem akrylátovým lze dosáhnout termoplastu s vysokou houževnatostí a odolností vůči povětrnostnímu stárnutí. [16]

Terpolymery ASA nabízejí několik výhod, včetně:

- zvýšené odolnosti vůči povětrnostním vlivům v porovnání s ABS;
- zlepšené odolnosti vůči účinkům ultrafialového záření, které lze dále zvýšit barvením výrobků do tmavých odstínů;
- zvýšené houževnatosti při nízkých teplotách v porovnání s ABS a dalšími plasty modifikovanými butadiénovým kaučukem. [16]

2.2.3 TPE (Termoplastické elastomery)

TPE, známý také jako termoplastický kaučuk, je široce používaný termoplastický elastomer. Je zpracován různými termoplastickými metodami, včetně injekčního vstřikování, dvoukomponentního (2K) vstřikování a vytlačování. Tyto elastomery jsou složeny z tvrdých termoplastických polymerů, jako je PP/EPDM (TPE-V), PBT nebo PA, smíchaných s měkkým gumovým materiálem a přísadami, jako je olej nebo plnivo. [14]

2.2.4 PC (Polykarbonát)

PC je amorfní termoplast průhledného vzhledu střední pevnosti a tuhosti, který vyniká svou houževnatostí. Jeho tvarová teplotní stálost je stabilní až do teploty 140 °C a trvale odolává teplotám až do 100 °C kromě horké vody, ve které zvládá pouze teploty do 70 °C. Má dobré elektrické vlastnosti a odolává slabým kyselinám, olejům, alkoholům a benzínu, ale není odolný vůči silným kyselinám, zásadám, rozpouštědlům a horké vodě. [16]

Zpracovává se relativně obtížně kvůli své vyšší viskozitě a náchylnosti k přehřátí a degradaci. Ta je ještě urychlena přítomností vody při nedostatečném vysušení. Degradace způsobí ztrátu elasticity a dramatický pokles houževnatosti. [16]

PC se používá například pro tělesa a kryty strojů v masném a zeleninovém průmyslu, nádoby kávovarů a mixérů, zdravotnické stříkačky, světla v automobilech a dopravní značky. [16]

2.2.5 PMMA (Polymethyl-methakrylát)

Díky svým optickým vlastnostem připomínajícím vlastnosti skla, jsou akryláty někdy označovány jako organické nebo akrylátové sklo. Z tohoto také pochází nejstarší obchodní název tvrdých a průsvitných desek, které se vyrábějí již od roku 1933 pod názvem Plexiglas. [16]

Hlavní přednosti PMMA zahrnují vysokou tvrdost, tuhost a pevnost. Povrch PMMA je kvalitní, s vysokým leskem, odolností proti poškrábání a lze ho snadno leštit. Má vynikající optické vlastnosti, zejména vysokou průzračnost, přičemž kopolymery jsou mírně nažloutlé. Také vykazuje vysokou tepelnou odolnost, dobré elektrické a dielektrické vlastnosti a odolnost vůči slabým kyselinám, louhům, rozpouštědlům, tukům, olejům a vodě. Je též odolný proti povětrnostnímu stárnutí a lze ho dobře zpracovávat a mechanicky upravovat. Mezi jeho nevýhody patří náchylnost ke korozi při napětí a hořlavost. [16]

Obvykle se dodává ve formě desek nebo bloků, ale jsou k dispozici také trubky, tyče a různé profily. S rostoucí teplotou klesá pevnost PMMA jako u dalších termoplastů. Jeho rázová a vrubová houževnatost není v porovnání s jinými termoplasty příliš vysoká, a i při vyšších teplotách si udržuje svůj křehký charakter. Toto je dáno jeho malou tažností, která se s teplotou téměř nemění. [16]

2.2.6 PP (Polypropylen)

Jedná se o semikrystalický plast s podobnými vlastnostmi jako polyetylen (PE), avšak je tvrdší a vykazuje vyšší pevnost a tuhost (s vyšším modulem pružnosti). Při běžné vnitřní teplotě je houževnatý a odolný, s teplotní odolností až do 165 °C, avšak pod 0 °C se stává křehkým. Je vynikajícím elektroizolantem s výbornými dielektrickými vlastnostmi, nepropouští plyny ani páry, což jej činí i zdravotně nezávadným. Odolává kyselinám, louhům, alkoholům, olejům a benzínu. [16]

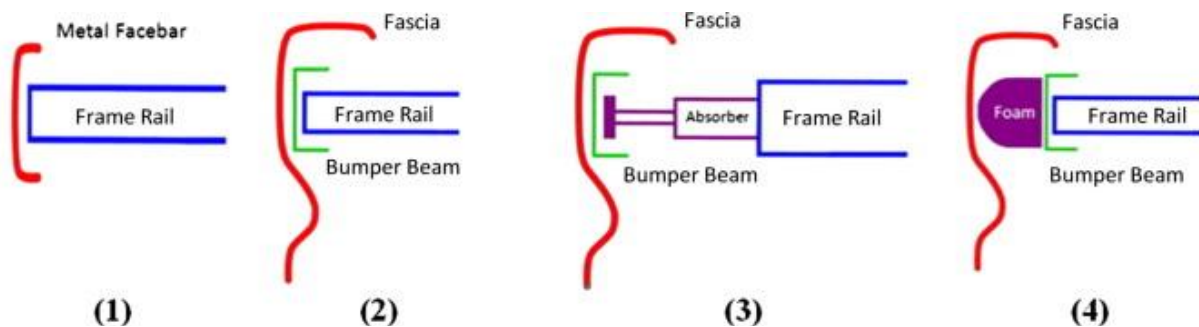
Je vhodný pro hromadnou výrobu středně namáhaných výrobků, jako jsou krabice na potraviny, umyvadla, hračky, nádoby, součástky vysavačů, nádoby pro autobaterie, oběžná kola ventilátorů a kryty a hubice klimatizace automobilů. [16]

2.3 Nárazové zkoušky

Nosník nárazníku absorbuje kinetickou energii nárazu vychýlením při nárazu nízkou rychlostí a deformací při nárazu vysokorychlostním. Bezpečnostní předpisy nazvané "low-speed, high-speed and pedestrian impacts" (nízkorychlostní srážka, vysokorychlostní srážka a srážka s chodcem) spolu s novými environmentálními restrikcemi "end-of-life vehicles" (konec životního cyklu vozidla) zvýšily úroveň komplexnosti konstrukce systému nárazníku. Nově musí být konstrukce nárazníku dostatečně pružná, aby minimalizovala zranění cestujících, zůstala neporušená při nárazu v nízké rychlosti a zároveň dostatečně tuhá, aby rozptýlila kinetickou energii při nárazu ve vysokých rychlostech. [2]

Průřez, podélné zakřivení, způsob upevnění, tloušťka žeber a pevnost jsou jen některé z důležitých konstrukčních parametrů při výrobě nárazníku.

Systém nárazníku se skládá hlavně ze tří částí: fascie (čelní/ pohledové plochy), pohlcovač energie a nosníku. Systém nárazníku se v posledních třech desetiletích změnil v důsledku nových vládních bezpečnostních předpisů a stylistických koncepcí. Schopnost udržet vozidlo v celistvém stavu při nárazu ve vysoké rychlosti a tlumit kinetickou energii jsou vedle hmotnosti, vyrobiteľnosti, ceny, opravitelnosti a tvarovatelnosti materiálů nejdůležitějšími faktory při výběru systému nárazníku. [2]



Obrázek 2 – Standardní nárazníkové systémy [2]

2.3.1 Low speed impact test (Nárazová zkouška v nízké rychlosti)

Postup nárazové zkoušky v nízké rychlosti se v zemích EU liší od amerických. Zkouška se skládá ze tří nárazů v nízké rychlosti. Kritérii pro zkoušku s nízkou rychlostí nárazu v zemích EU je kyvadlová zkouška při rychlosti 4,0 km/h bez poškození nárazníku, v USA a zbytku Severní Ameriky je to stejná zkouška při rychlosti 5 mph (8,0 km/h), ale poškození kapoty se zde nebere v úvahu. [2]

Předpis Evropské hospodářské komise OSN (ECE) č. 42 požaduje, aby bezpečnostní systémy automobilu fungovaly normálně i po nárazu kyvadla nebo pohyblivé překážky do přední nebo zadní části automobilu při rychlosti 4 km/h ve směru jízdy a do předního nebo zadního rohu nárazníku při rychlosti 2,5 km/h ve výšce 455 mm nad vozovkou, přičemž nesmí dojít k vážnému poškození (přípustná je výměna žárovky). [1]

2.3.2 High-speed impact test (Nárazová zkouška ve vysoké rychlosti)

Kromě zkoušky v malé rychlosti nárazu musí být systém nárazníku schopen absorbovat dostatečné množství energie při vysokorychlostním nárazu, aby splňoval normu OEM pro výrobce nárazníků. Novodobé systémy nárazníků nejsou navrženy tak, aby absorbovaly veškerou energii vysokorychlostního nárazu. Vyvíjejí se však systémy, které mohou tlumit přibližně 15% energie vysokorychlostního nárazu. Konstrukční kritéria pro systém nárazníku při vysokorychlostním nárazu jsou definována takto:

- Po čelním nárazu rychlostí 5 mph (8 km/h) do ploché pevné překážky nedojde k poškození nárazníku ani k jeho deformaci. Toto kritérium se nevztahuje na "nízkorychlostní" nárazníky, u nichž je poddajnost a řízená deformace výhodná.
- Žádné poškození systému nárazníku směrem dozadu za podpůrné rámy motorového prostoru pro všechny rychlosti nárazu nižší než 15 km/h.
- Minimalizovat boční zatížení při nárazech, aby se snížila možnost boční deformace rámu.
- Absorpce 1 % celkové energie každou milisekundu a 15 % celkové energie při nárazu podle NCAP, včetně nárazu do motoru [2]

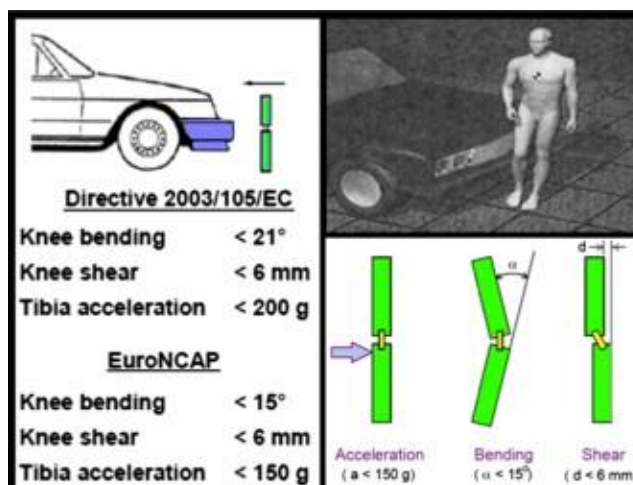
2.3.3 Zkouška srážky s chodcem

Zkouška srážky s chodcem vyžaduje nižší tuhost nárazníku a větší rozptyl energie nárazu v delším časovém úseku (náraz trvá delší dobu kvůli plastickým a elastickým deformacím sraženého tělesa – simulované noze chodce). Po systému nárazníku se požaduje maximální možné pružné pohlcení energie nárazu předtím, než dojde k plastickému deformaci nosníku nárazníku.

Zkouška srážky s chodcem se skládá ze tří zkušebních postupů, přičemž každý z nich používá jiné nárazové těleso (skupiny těles).

- Nárazové těleso ve tvaru nohy představující dolní končetinu dospělého člověka, které simuluje a zaznamenává boční posun a úhel ohybu kolenního kloubu a zrychlení holenní kosti způsobené kontaktem s nárazníkem.
- Nárazové těleso ve tvaru nohy představující horní část nohy a pánve dospělého člověka, které simuluje a zaznamenává ohybové momenty a síly způsobené kontaktem s náběžnou hranou kapoty.
- Nárazové těleso ve tvaru hlavy dítěte a dospělého člověka, které simuluje a zaznamenává zrychlení hlavy způsobené kontaktem s horní částí kapoty.

Při nárazové zkoušce s chodcem je nárazové těleso ve tvaru nohy poháněno směrem ke stojícímu vozidlu podélnou rychlostí 40 km/h rovnoběžně s podélnou osou vozidla. Zkoušku lze provést v libovolném místě čela vozidla tedy mezi levým a pravým rohem čela vozidla, a to do maximálního úhlu 30° v rohu nárazníku. [2]



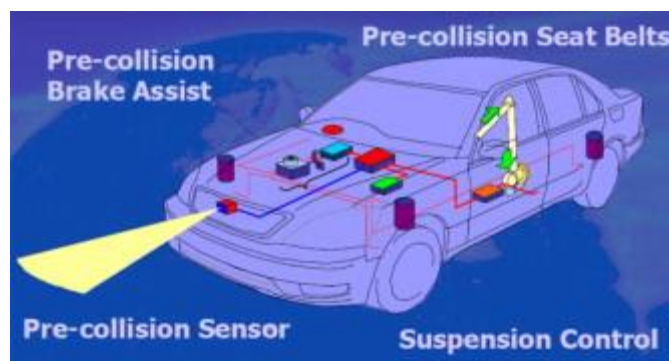
Obrázek 3 – Kritéria poranění při nárazu do nohy [2]

2.3.4 Budoucí trendy ve vývoji bezpečnosti automobilových nárazníků

V posledních desetiletích se zpřísnily právní předpisy týkající se bezpečnosti automobilů a ochrany životního prostředí. Na druhou stranu vysoká poptávka po výrobě a zvyšující se náklady na ropné zdroje vedou výrobce automobilů k využívání přírodních zdrojů ve svých nových výrobcích, aby se udrželi konkurenceschopnými. Další dopad na budoucí vývoj nárazníků mají nové bezpečnostní předpisy. Pro budoucí vývoj bezpečnostních systémů nárazníků existují dva paralelní trendy. Pasivní bezpečnostní systémy, které kladou důraz na minimalizaci škod a zranění při nehodách prostřednictvím zdokonalení konstrukce vozidel, systému tlumení nárazníků, bezpečnostních pásů, a především airbagů a aktivní bezpečnostní systémy, které mají zabránit nehodě pomocí inteligentních mechanismů. [2]

Vyvíjejí se nové materiály pro splnění bezpečnostních a ekologických předpisů a různé inteligentní "přednárazové" systémy pro prevenci nebo snížení zranění (pedestrian impact test) pomocí plně automatizovaného řízení bezpečnostních mechanismů vozu. V prvním přístupu založeném na předpisech o ochraně životního prostředí zkoumali výrobci automobilů využití přírodních vláken ve svých nových výrobcích, ale špatné mechanické vlastnosti přírodních vláken neumožňují jejich použití v konstrukčních částech automobilů. Existuje mnoho výzkumů zaměřených na zlepšení mechanických vlastností přírodních vláken s cílem zlepšit jejich výkon např. zvýšením mezivláknové adheze mezi vlákny a maticí, vložením vláken ve směru osy Z (3D kompozit), zlepšením materiálových vlastností matrice a způsobů výroby. Z trendů vývoje vyplývá, že v brzké budoucnosti by mohly být přírodní vlákna využívána v konstrukčních součástech automobilů. [2]

Podle druhého přístupu založeného na nařízení Evropského parlamentu by výrobci automobilů měli používat pokročilé systémy nouzového brzdění od listopadu 2015 u všech nových lehkých a těžkých užitkových vozidel. Také Národní úřad pro bezpečnost silničního provozu (NHTSA) začal zkoumat "systémy varování před opuštěním jízdního pruhu" a "systémy varování před čelním nárazem" ve vozidlech. Tato nařízení představují inteligentní preventivní systém ("přednárazový" systém) s bezkontaktním bezpečnostním mechanismem, který snižuje závažnost nehody. Není však dostatečný pro prevenci zranění nebo škod při vyšších provozních rychlostech. [2]



Obrázek 4 – Sensor pro hlídání vzdálenosti od objektů před vozidlem [2]

2.4 Plasty a vstřikování plastových dílů

2.4.1 Výrobní požadavky plastových dílů nárazníku

U těchto dílů se počítá s masovou výrobou prostřednictvím vstřikování do kovových forem. Cena vstřikovaného dílu je tvořena třemi hlavními skupinami nákladů: náklady na materiál, výrobní náklady a cena formy. Výrobní náklady jsou spojené s procesem vstřikování plastového dílu a jsou ovlivněny zejména délkou pracovního cyklu stroje, mzdami obsluhy, náklady na zpracování vylisku a dalšími faktory. Tento vliv tedy z hlediska konstrukce nelze příliš ovlivnit. Náklady na materiál zahrnují zejména cenu granulátu použitého plastu a hmotnost samotného dílu. U takto komplexních a relativně specializovaných dílů zpracovaných z běžných plastů se však náklady na materiál obvykle vyšplhají pouze na 5 až 10 % z celkové ceny dílu. Konstruktor může dosáhnout podstatných úspor na výrobních nákladech zejména optimalizací konstrukce dílu pro vstřikovací formu, která u těchto typů dílů představuje 60 až 70 % z celkové ceny dílu. To znamená, že konstruktor by se měl snažit navrhnout takový tvar dílu, který lze snadno vyrobit s konstrukčně jednodušší a levnější formou. [13][8]

2.4.2 Plasty z hlediska konstrukce

Plasty představují moderní konstrukční materiály, jež se neustále inovují a jejich výroba a aplikace neustále expanduje. Zatímco první plastové materiály vznikaly chemickou úpravou přírodních surovin, dnešní plasty jsou výsledkem syntetické chemie a svou povahou nemají obdoby v porovnání s původními plasty vyráběnými z přírodních materiálů. Původně byly plasty zaměřeny na technicky ne náročné aplikace, ale s postupem výzkumu a rozvoje se nyní využívají specializované druhy plastů s vyspělými vlastnostmi pro konkrétní použití. Podobně jako u kovů se i v tomto odvětví vytvořily kompozitní a nanomateriálové varianty. [4][10]

Většina plastů je dnes spotřebována pro technické účely a nárůst jejich spotřeby lze přičítat jejich vlastnostem, které často předčí tradiční materiály. Jednou z jejich klíčových vlastností je jejich snadná zpracovatelnost. Plasty lze zpracovávat mnoha různými způsoby, a finální výrobek lze často vytvořit během jednoho pracovního cyklu stroje, což v porovnání s kovy znamená menší energetickou náročnost a menší vynaloženou práci. Plasty lze dále možné tvarovat, lepit, obrábět, svařovat a mnoho dalšího. Jejich vynikající tvářitelnost umožňují integrování několika funkčních celků do jednoho dílu. [4][10]

Plasty nalézají mimo jiné široké uplatnění v automobilovém průmyslu. V dnešní době se setkáváme s plasty téměř ve všech nejen průmyslových odvětvích a často je jejich použití odvozeno od různých charakteristických vlastností, jako jsou nízká tepelná a elektrická vodivost, kluzné vlastnosti, nízký měrný objem, jednoduchá zpracovatelnost, optické vlastnosti a další. Čisté plasty jsou díky svým fyziologickým vlastnostem a nerozpustnosti ve vodě a tucích, používány v lékařství a potravinářském průmyslu. [4]

2.4.3 Vstřikování plastů

Vstřikování je metoda formování, při níž je roztavený plast ze zásobní komory pod vysokým tlakem a vysokou rychlostí vstříknut do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne do konečného výrobku. Základní princip vstřikování spočívá v následujícím postupu: plastové granule jsou automaticky doplňovány do násypky, odkud je šnek otáčivým pohybem odebírá a přepravuje do tavicí komory, která je vyhřívána elektrickými odporovými pásy. Zde se plast roztaví a následně je šnekem vstříknut do dutiny formy. Forma, vyrobená z kovu, je chlazená proudící vodou udržující teplotu přibližně 30 až 80 °C. Tato hmota přenáší teplo do formy a tuhne při ochlazení. Poté se forma otevře, výrobek se vyjme, nebo je vyhozen pomocí vyhazovacích kolíků. Forma se následně opět uzavře a celý cyklus se opakuje. [6]

Vstřikování představuje jednu z klíčových technologií pro zpracování plastů, a to zejména v kontextu velkosériové a hromadné výroby plastových dílů. Tato metoda umožňuje vytvářet konstrukčně i tvarově složité výrobky během jednoho zdvihu stroje. Je vysoce produktivní a umožňuje výrobu samostatných výrobků nebo součástí určených pro kompletaci. Dále umožňuje výrobu složitějších výtřiků pomocí vícekomponentního vstřikování, kde dochází k tvarovému spojení bez potřeby dalšího spojování pomocí jiných technologií. [4][10]

2.4.4 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj (viz obrázek 5) se skládá ze tří základních částí: uzavírací jednotky, vstřikovací jednotky a řídicí soustavy. Obě jednotky jsou vzájemně závislé a řídicí soustava ovládá polo či zcela automatický chod celého stroje. Většinu těchto strojů pohání hydraulické rozvody a novější modely jsou vybaveny elektrickými pohony. [10]

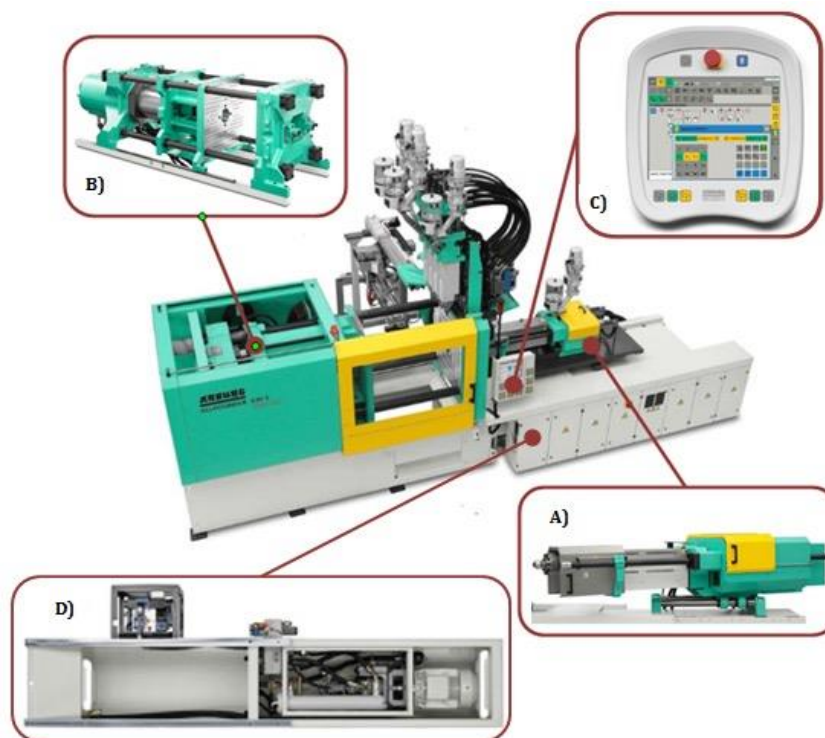
Uzavírací jednotka odpovídá za všechny pohyby formy, včetně otevírání a uzavírání nástroje během vyhazování výstřiku. Kontroluje vyhazování a udržuje nástroj uzavřený během fáze vstřikování a dotlaku. Je charakterizována uzavírací a vyhazovací silou a konstrukce uzavíracího mechanismu obvykle zahrnuje hydraulický válec nebo kombinaci hydraulického válce s kloubovým mechanismem. [11]

Vstřikovací jednotka slouží k natavení plastového granulátu a přemístění taveniny do formy. Plast se taví v plastikační komoře s elektrickými topnými odporovými pásy a šnek následně taveninu vstřikuje do formy. Místo, kde se nachází zásobník granulátu, musí být chlazeno k zabránění předčasnému tavení plastu. [10]

Charakteristickými parametry pro vstřikovací jednotku a celý stroj je vstřikovací a plastikační kapacita. Vstřikovací kapacita udává maximální množství taveniny, které šnek na jeden zdvih stroje vystříkne z plastikační komory. Plastikační kapacita označuje maximální množství taveniny, které vstřikovací jednotka zplastikuje za určitou dobu. Plastikační kapacita se také někdy označuje jako tavící výkon. [10][10]

Řídicí soustava umožňuje nastavení a řízení jednotlivých parametrů a dozoruje průběh procesu. V průběhu provozu kontroluje operace stroje a technologické parametry, např. teplotu taveniny a formy, tlak a rychlost vstřikování, dotlak a uzavírací sílu. [10]

Vstřikovací stroje jsou charakterizovány uzavírací silou, vstřikovacím tlakem, plastikační a vstřikovací kapacitou a rozměry upínacích desek včetně rozteče vodicích tyčí, což je klíčový údaj pro určení maximální velikosti nástroje. [10]



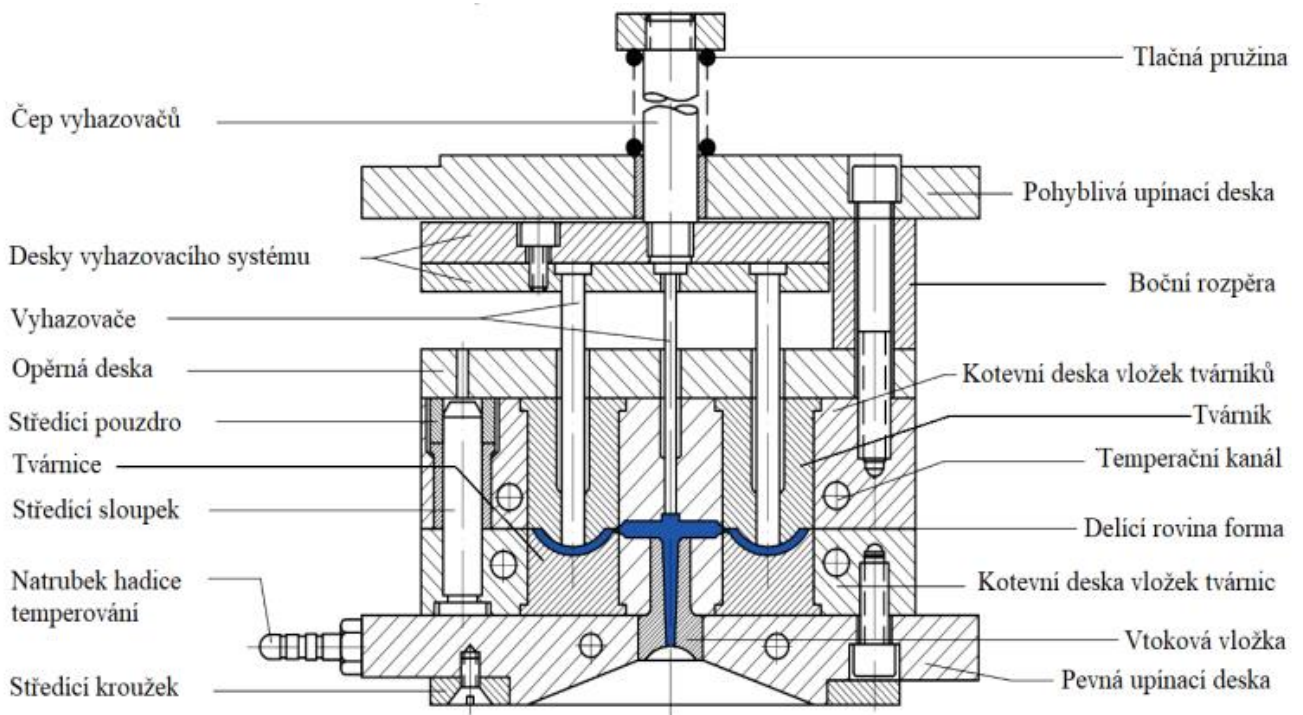
Obrázek 5 - Vstřikovací stroj (a) vstřikovací jednotka, (b) uzavírací jednotka, (c) řídicí a kontrolní soustava, (d) rám stroje s hydraulickým pohonem [19]

2.4.5 Vstřikovací nástroj

Vstřikovací forma představuje kovový nástroj používaný k výrobě výstřiků. Základními částmi jsou základové desky, tvárník a tvárnice, tedy části, které definují tvar dutiny formy. Dále zahrnuje opěrnou desku, rozpěrky a vyhazovací desky s vyhazovacími kolíky. K dalším nezbytným komponentům patří středící kroužky pro definování polohy při upnutí na pracovní desky vstřikovacího stroje, vtoková vložka, vtokové kanály a temperační systém. Formy se dělí podle několika hledisek: podle umístění vtoku do formy s vtokem do dělicí roviny nebo na dělicí rovinu, podle počtu výstřiků na jedno nebo vícenásobné formy a podle způsobu vyhazování výstřiku (vyhazovací kolíky, stírací deska, trubkový vyhazovač atd.). Dále se rozdělují podle způsobu zaformování výstřiku a konstrukčního provedení na dvoudeskové, třídeskové, čelistové, vytáčecí a další. Podle vtokového systému se rozlišuje mezi formami se studeným rozvodem, izolovaným rozváděcím kanálem a formami s horkými, odporově vyhřívanými vtoky a vytáčecí deskou. [15]

Před samotnou výrobou nástroje je nutné pečlivě zkonstruovat násobnost formy. Tato násobnost je odvozena z velikosti a komplexnosti tvaru výstřiku. S rostoucí násobností sice stoupají pořizovací náklady na nástroj, avšak současně klesají náklady na výrobu výstřiků. Je třeba dbát na to, aby násobnost nebyla omezena vstřikovací kapacitou, která musí být větší než objem všech výlisků včetně vtokového a rozváděcího kanálu. Uzavírací síla vstřikovacího lisu musí být také dostatečná k udržení uzavřené formy při působení vstřikovacího tlaku na průmět plochy všech výstřiků, včetně vtokového systému na dělicí rovinu. Nesprávné dodržení těchto zásad může vést k výrobě nedostříknutých dílů nebo k otevření nástroje během cyklu vstřikování, což by způsobilo produkci vadných dílů vlivem přetoku v dělicí rovině nástroje. [15]

Při výrobě nástroje se klade hlavní důraz na konstrukci tvarové dutiny a důležitým hlediskem je také řešení vtokového a temperačního systému. Tyto faktory mají významný vliv na výslednou kvalitu výstřiků a na dosažení požadovaných parametrů a vlastností. [15]



Obrázek 6 - Základní popis vstřikovací formy [7]

2.5 Konstrukce plastových dílů, pevnost a poddajnost dílu s ohledem na jeho tvar, žebrování, spojovací prvky a držáky

2.5.1 Konstrukce plastových dílů pro vstřikování

Požadavky na kvalitu, funkčnost a vzhled výrobků stále rostou. Tato kritéria ovlivňují celý proces výroby vstřikováním, včetně konstrukce výstřiku. Proto je nezbytné věnovat zvýšenou pozornost návrhu a řešení plastových výrobků a dodržovat klíčové zásady pro dosažení požadovaných vlastností a funkcionality výstřiku.

Každý výrobek, s ohledem na požadavky na produktivní výrobu, by měl splňovat tři základní parametry: technologičnost tvaru, estetické provedení a ekonomičnost výroby. Technologičnost zahrnuje rychlé a plynulé plnění tvarové dutiny formy taveninou plastu, s důrazem na eliminaci ostrých hran, prudkých přechodů a výrazných změn průřezů atd., aby se předešlo vnitřnímu pnutí, smršťení, špatné orientaci makromolekul a deformacím. Estetické provedení musí harmonizovat s funkcemi výrobku a jeho prostředím, a to v souladu s použitým materiálem a technologií zpracování. Využívají se zaoblené a nepravidelné tvary, dojem lehkosti, hra barev a další estetické prvky. Ekonomičnost je spojena s objemem výroby, složitostí tvaru a náklady na nástroje a stroje. [4]

2.5.2 Dělicí rovina

Dělicí rovina představuje plochu, kde se jedna část formy setkává s druhou, tj. tvárník se setkává s tvárnicí. Většinou je kolmá na směr vstřikování, její konstrukce musí být co nejjednodušší a zároveň musí umožňovat snadné vyjmutí výstřiku z formy. Jejím úkolem je přesně definovat polohu výstřiku v dutině, umístění vyhazovačů a volbu vtokového systému. Vedle hlavní dělicí roviny existují i vedlejší dělicí roviny, obvykle kolmé na hlavní dělicí rovinu, které se nacházejí v místech zálisků, podkosů a otvorů. Při formování výrobku by mělo být upřednostněno co nejjednodušší zaformování s minimálním počtem vedlejších rovin a jednoduchým tvarem hlavní dělicí roviny. [4]

2.5.3 Tloušťka stěn dílu

Tloušťka stěny je určena několika faktory. S ohledem na úsporu materiálu, prevenci vzniku propadlin a vnitřních staženin a s cílem minimalizovat časový rozdíl mezi tuhnutím povrchu a jádra stěny by měla být tloušťka co nejmenší. Nicméně tloušťka nesmí klesnout pod minimální hodnotu, která závisí na specifikacích použitého plastu, aby byla zaručena jeho tekutost, požadovaná tuhost, pevnost a konečně technologické parametry vstřikování. Minimální a maximální přípustné tloušťky stěn se liší podle typu materiálu, a pro každý plast jsou doporučovány optimální hodnoty v tomto rozsahu. V zásadě platí, že větší výstřiky mají větší tloušťku stěny. Aby výrobek zajistil stejný a rovnoměrný tok taveniny, rychlost ochlazování, smršťení a minimalizoval vznik pnutí, je důležité, aby měly stěny rovnoměrné tloušťky v celém objemu. Výstřiky s nerovnoměrnou tloušťkou stěny mohou mít vliv na vznik víření taveniny, nesymetrickou orientaci makromolekul a větší vnitřní pnutí v důsledku odlišného smršťení u tlustších stěn s pomalejším chladnutím. Tento jev může způsobit deformace, nebo dokonce trhliny na povrchu výstřiku. Obvyklé rozměry tloušťek stěn se pohybují mezi 0,5 a 6 mm. Při potřebě přechodu mezi různými tloušťkami je klíčové zajistit plynulý, postupný přechod s optimálně umístěnými rádiusy. Doporučený maximální poměr přechodu je do 50 %. [4]

2.5.4 Hrany a rádiusy

Ostré hrany jsou přípustné pouze na hranách končících v dělicí rovině. Vnitřní hrany jsou vždy zaobleny, přičemž poloměr odpovídá minimálně čtvrtině tloušťky stěny. Zaoblení rohů stěn má několik důvodů; ostré rohy mají tendenci se vyštipovat, zatímco rádius usnadňuje tok taveniny, brání víření a redukuje hydraulický odpor. Vnitřní a vnější hrany jsou zaoblovány s poloměrem 1 až 3 čtvrtin tloušťky stěny výstřiku. Udržení konstantní tloušťky stěny v zaobleném rohu je důležité pro zabránění koncentrace materiálu a deformace stěn způsobené nerovnoměrným smrštěním. Větší poloměr rohu snižuje tření taveniny, koncentraci napětí a zvyšuje kvalitu povrchu, pevnost a odolnost proti nárazům. Při spojování stěn však s rostoucím poloměrem narůstá objem materiálu ve spoji, což může vést k vytváření staženin a lunkrů. Zaoblené rohy navíc usnadňují výrobu forem pro vstřikování. [4]

2.5.5 Podkosy a úkosy

Velikost úkosu závisí na délce, průměru výstřiku a povrchovém designu výstřiku. Je klíčová z hlediska bezproblémového vyjmutí výstřiku z dutiny nástroje. Proto by měly být úkosy paralelní se směrem otevírání formy. Pro vnější stěny výstřiku se používají úkosy o velikosti od $0,5^\circ$ do 1° , přičemž pro vnitřní strany platí dvojnásobné hodnoty (je možné, že si zákazník stanoví i odlišnou normu pro velikost úkosů). Úkosy se aplikují nejen na hlavní plochy, ale také na otvory, žebra a další části výstřiku. Výrobek, který není opatřen úkosy, může být poškozen při vyjímání z nástroje.

Podkosy, naopak, mají opačný směr než úkosy a komplikují vyjímání výrobků stejně nebo i více jako stěny bez úkosů. Mohou být vnější i vnitřní, špatně se formují, což ztěžuje konstrukci nástroje. V takových případech se díly z formy strhávají, nebo je nutné použít nástroj čelistový. [4]

2.5.6 Žebra

Plastové výstřiky jsou často vyztuženy žebry, především s cílem posílit strukturu a zabránit nežádoucím deformacím. Kromě toho mohou žebra plnit ještě estetickou roli výstřiku. Profil a rozměry žeber se odvíjejí od tloušťky stěny, ke které jsou žebra připojena. Nedodržení určitých zásad může vést k vytváření lunkrů, propadlin a změnám rozměrů v důsledku akumulace materiálu. Žebra by měla být menší než obvodové stěny, s úkosy a zaoblenými hranami. U křížených žeber je důležité zajistit stejný profil pro minimalizaci vnitřního napětí a dosáhnout stejné výšky, jinak může dojít k vytváření studených spojů. Minimální poloměry by měly být dodrženy, přičemž je třeba vyvarovat se akumulaci materiálu. Obecně platí pravidlo, že vyšší počet menších žeber je lepší než menší počet žeber větších. Rovnoběžná žebra zvyšují tuhost ve směru ohybu, zatímco diagonální nebo křížové žebrování zvyšuje tuhost v ohybu a krutu. Někdy se používají tzv. technologická žebra, např. pro lepší distribuci taveniny plastu v dutině nástroje. Žebra by měla být orientována ve směru toku a doporučuje se vzájemná rozteč v rozmezí pěti až deseti násobku tloušťky stěny. Úhel naklonění může dosáhnout až 10° , pokud tím nevznikne ostrá hrana na vrcholu žeber. [4]

2.5.7 Propady a prolamování stěn

Velké ploché stěny jsou nevýhodné kvůli nerovnoměrnému chlazení a smrštění, což může vést k deformacím a propadům. Tento problém je řešen u rotačních součástí primárně pomocí žeber, zatímco u rovinných ploch se používá prolamování stěn, které má podobné vlastnosti jako rovnoběžná žebra. Na rozdíl od žebrování je prolamování charakterizováno efektivním využitím a úsporou materiálu. [4]

2.5.8 Držáky a spojovací výstupky

Spojovací výstupky a držáky jsou konstruovány s cílem poskytnout posílení pro šrouby, případně pro připojení protikusů, nýtů, zaskakovacích pružných kolíků nebo otočných os. Pravidla pro jejich konstrukci jsou obdobná pravidlům pro žebra; nemělo by docházet k nahromadění materiálu, tloušťka by měla být odpovídající tloušťce stěny a na všech hranách by měly být použity rádiusy o minimálním poloměru čtvrtiny tloušťky stěny, spolu s nezbytnými úkosy. Pokud je nutné vyztužení žebry, jejich tloušťka by měla odpovídat maximálně 80 % tloušťky stěny držáku a počet žeber by měl být proporcionální požadované tuhosti výstupku. Vzhledem k tomu, že při těchto konstrukcích může docházet ke vzniku studených spojů vlivem obtékání taveninou, mohou být k výstupkům přidána pomocná žebra, která přesunou studený spoj do jiné části dílu, což minimalizuje riziko praskání výstupku při např. utahování šroubu. [4]

2.5.9 Formování otvorů

Otvory mohou být buď průchozí nebo neprůchozí a mít kruhový nebo hranatý průřez. V případě neprůchozích otvorů na dně a hranatých otvorů na všech hranách se umísťují rádiusy, aby se zabránilo vzniku ostré hrany, která by působila jako koncentrátor napětí. Maximální hloubka neprůchozích otvorů na dně je čtyřnásobek průměru, průchozích otvorů osminásobek průměru. Průměr otvoru tedy přímo určuje jeho maximální hloubku. Mohou být navrženy i otvory s odstupňovaným průměrem. Otvory se do dílu dělají pomocí formovacích jader, která musí mít úkos pro snadné vyjímání. Vzhledem k návrhu nástroje by se jádra měla umísťovat ve směru otevírání nástroje. Pro jednotlivé průřezy a délky otvorů existují doporučené hodnoty roztečí, které určují rozteče otvorů. Jádra tvořící otvory jsou více tepelně namáhána, což omezuje odvod tepla a má negativní vliv na rychlost chladnutí výstřiku. Z tohoto důvodu je nežádoucí konstruovat tenké a dlouhé otvory v plastových výstřicích, protože slabá jádra jsou vystavena velkým smykovým nebo ohybovým napětím, zejména vlivem proudu taveniny. [4]

2.6 Matematické modely a pevnostní výpočty dílů pomocí MKP

2.6.1 Metoda konečných prvků (MKP)

Metoda konečných prvků slouží k aproximaci přibližných řešení parciálních diferenciálních rovnic (PDR), jejichž exaktní řešení klasickými metodami výpočtu by bylo značně obtížné, pokud by bylo za současného stavu matematického poznání vůbec možné. Tato metoda umožňuje aproximovat řešení i v geometricky složitých oblastech za současně jednoduché implementace okrajových podmínek.

Jak bylo zmíněno, MKP slouží k aproximaci řešení parciálních diferenciálních rovnic (PDR), které jsou jinak značně složité. Pro správný výpočet je nezbytné splnit mnoho podmínek, což omezuje jejich použití. V některých speciálních případech je možné oslabit některé z těchto podmínek, což vede k tzv. slabé formulaci PDR. [1]

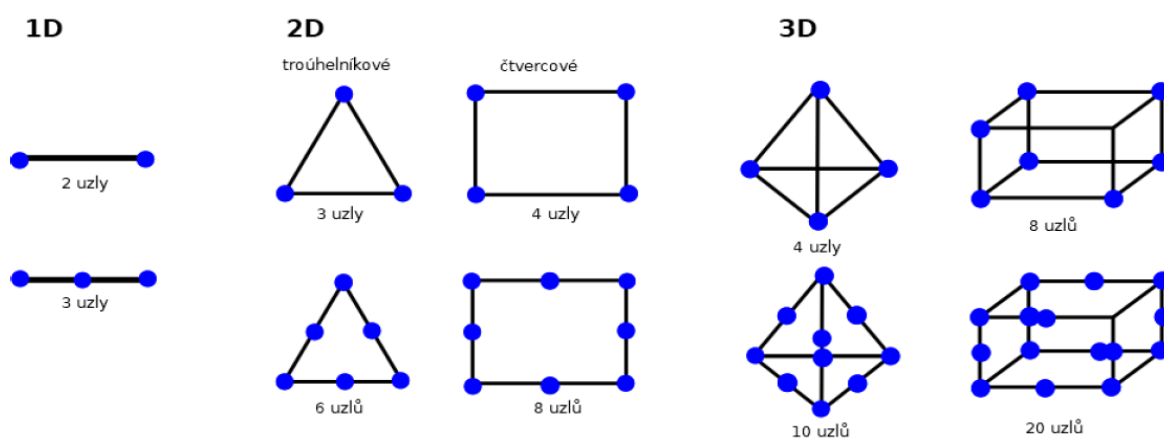
2.6.2 Rozdělení konečných prvků

Pro pevnostní výpočet pomocí MKP je třeba si definovat výpočetní oblast (např. díl nárazníku) a tu rozdělit na jednotlivé podoblasti. Tyto podoblasti získáme rozdělením celé výpočetní oblasti tak, aby se vzájemně nepřekrývaly a sdílely hranice a uzly se svými sousedy. Jednotlivé podoblasti jsou nazývány konečné prvky, z čehož vyplývá i název této metody. Geometricky jsou konečné prvky charakterizovány jednoduchým tvarem a konečnými rozměry. Každý typ prvku má vždy několik charakteristických vlastností zahrnujících polohu, tvar, rozměry a počet uzlů. [1] Nejčastěji používané konečné prvky v softwarových simulačních programech jsou:

- 1D prvky: BAR, BEAM, SPRING BEAM
- 2D prvky: SHELL, MEMBRANE
- 3D prvky: ČTYŘSTĚŇ, KRYCHLE

Vedle tvaru se prvky sítě rozdělují na prvky s lineární a kvadratickou aproximací. Prvky s lineární aproximací mají uzly pouze v rozích (obrázek 7 – vrchní řada). Prvky s aproximací kvadratickou mají kromě rohových uzlů také tzv. „meziuzly“, které jsou umístěny např. uprostřed hrany či plochy (obrázek 7 – spodní řada).

Prvkům se kromě tvaru elementu musí přiřadit i jejich fyzikální vlastnosti a chování (materiál – hustota, pevnost v tahu, Poissonovo číslo, ...). [6]



Obrázek 7 - Druhy konečných prvků [9]

2.6.3 Síťování modelu

Existují tři základní způsoby tvorby sítě konečných prvků, a to:

- Manuální – uzly a na nich elementy se vytvoří manuálně. Jedná se o poměrně časově náročný postup vhodný hlavně pro jednodušší úlohy (příhradové soustavy, rámové konstrukce, ...)
- Automatické generování – využívá automatický generátor sítě implementovaný do výpočetního softwaru, který vytvoří síť dle nastavených parametrů a geometrie modelu. To ovlivňuje výslednou kvalitu a hustotu sítě.
- Kombinace manuální a automatické tvorby sítě – síť se nejprve vytvoří automatickým generátorem a následně upraví přidáním speciálních prvků (např. rigid prvky) nebo se lokálně upraví její parametry. [6]

Obecný postup tvorby automaticky generované sítě:

- Tvorba nebo import geometrie a její zjednodušení (sražení, malé otvory a další, z hlediska výpočtu nepodstatné, prvky geometrie)
- Volba vhodného druhu elementů
- Volba síťovacího algoritmu (záleží na konkrétní nabídce softwaru)
- Nastavení parametrů sítě (způsob pokrytí geometrie elementy, jejich velikost, ...)
- Spuštění automatického síťování a následná optimalizace (ruční oprava sítě, změna parametrů a opětovné automatické síťování, ...) [6]

2.6.4 Počáteční a okrajové podmínky

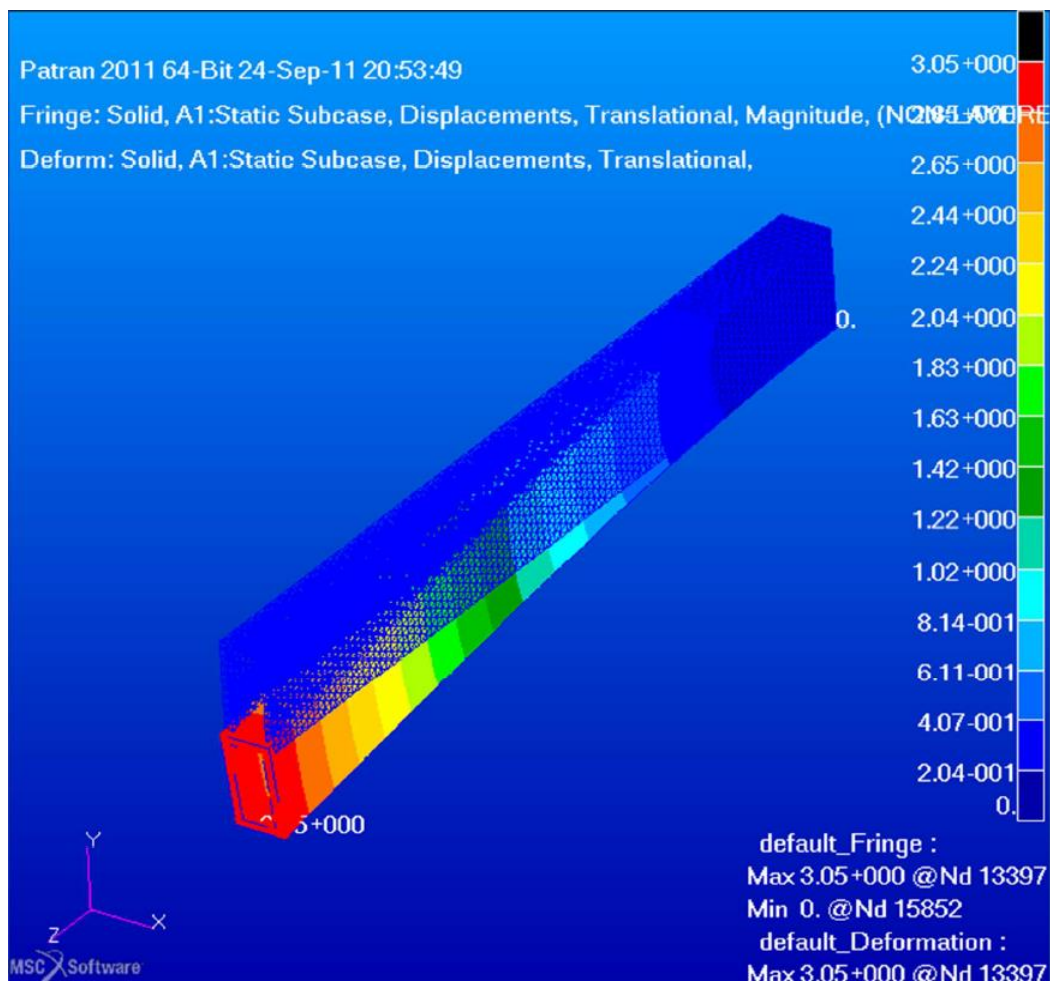
Jedná se o omezení na hranici oblasti, která jsou nezbytná pro řešení soustavy PDR. Dělí se na geometrické a přirozené.

Geometrické (kinematické) okrajové podmínky - jsou sada fyzikálních omezení, která zabraňují modelu neomezený pohyb v prostoru, ale přidávají mu možnost plastické a elastické deformace, což modelu umožňuje ohýbat se, roztahovat nebo smršťovat, jako v reálném světě. Tyto podmínky jsou určeny jako omezení posuvného nebo rotačního pohybu v určitých uzlech sítě. Příkladem může být např. vetknutí nosníku nebo kloubové uložení hřídele.

Přirozené (silové) okrajové podmínky – týkají se silových omezení, která je třeba správně nastavit v modelu. Existuje několik typů zatížení modelu, které by měly odpovídat reálným možnostem zatížení. Základním a nejčastějším zatížením je tíhová síla. Dále je možné stanovit počáteční teplotu, počáteční rychlost nebo elektrický proud. Vše je dáno typem analýzy a jejími požadovanými výstupy.

2.6.5 Zobrazení a interpretace výsledků

Zobrazení a interpretace výsledků je posledním krokem pevnostní analýzy pomocí metody konečných prvků. Hlavním výstupem této analýzy je grafické zobrazení výsledků simulovaného zatížení součásti (deformace, posuvy, napětí v průběhu součásti, ...), jejich numerické hodnoty a průběh v čase.



Obrázek 8 - Grafické zobrazení simulované deformace vetknutého zatíženého nosníku v programu Nastran [6]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Vývojové fáze nárazníku

Vývoj automobilových nárazníků probíhá většinou v několika fázích. V každé z těchto fází je kladen důraz na jiné stanovené parametry, přičemž požadované parametry z předchozích fází musejí zůstat zachovány. Požadavky jsou kladeny od základních parametrů, jako je tvar samotného nárazníku, až po drobné úpravy jako úkosity pro formování dílů nebo pevnost všech konstrukčních prvků dílů. V řešeném případě nárazníků konkrétního výrobce automobilů, je vývoj rozdělen do 6 fází.

3.1.1 1. Vývojová fáze (DPT-A)

V této první vývojové fázi se vytváří prvotní design nárazníku potažmo celého automobilu z hlíny. Konstrukční, technologické a funkční prvky v této fázi nejsou řešeny.

3.1.2 2. Vývojová fáze (DPT-C)

Druhá fáze vývoje je kromě pokračujícího řešení designu zaměřena i na základní parametry nárazníku, jako jsou rozměry a rozložení světlometů, umístění chladících průduchů, design bezpečnostních prvků odpovídající zásadám pro splnění nárazových zkoušek (viz kapitola 2.3) a prvotní návrh rozmístění použitých senzorů.

3.1.3 3. Vývojová fáze (DPT-E)

Ve třetí vývojové fázi se začíná řešit rozdělení nárazníku na jednotlivé díly, funkční a konstrukční prvky (clipy, spáry, ...) a tvar jednotlivých dílů. V této fázi se ještě neřeší výrobitelnost a pevnost dílu.

Zároveň se vstupem do této fáze vývoje začíná řešit i rozdělení modelu do jednotlivých výbav a s tím spojené drobné i větší odklony designu od základního modelu.

3.1.4 4. Vývojová fáze (DPT-S)

Toto je první fáze vývoje, která je technologicky výrobitelná. Nepoužívá se ovšem jako výrobní, jelikož v ní ještě není zcela dořešena tloušťka materiálu a z ní vyplývající pevnost. Zároveň ještě dochází k úpravám spojovacích kanálů, držáků senzorů a kabelů a ostatním drobnějším úpravám. Zde se také již začínají provádět formovací, teplotní a pevnostní analýzy a také první nárazové zkoušky.

Vstupem do této fáze se modely automobilu dále rozvíjejí na modely se standardními motorizacemi a modely řad Performance, u kterých se více řeší proudění vzduchu kolem vozidla a provádějí s tím spojené nutné drobnější úpravy designu.

3.1.5 5. Vývojová fáze (DPT-AV)

Fáze DPT-AV je finální vývojovou fází základního modelu vyvíjeného automobilu a jeho derivátů. Jsou v ní dořešeny všechny parametry jako tloušťka a druh materiálu, formování dílů, spojovací kanály, držáky senzorů a kabelů a jsou na ní provedeny všechny potřebné analýzy.

Zároveň jsou zde také zapracovány požadavky konstruktérů nástrojů, kteří podle dat této vývojové fáze následně začínají pracovat na výrobě forem.

3.1.6 6. Vývojová fáze (DPT-BV)

Šestá vývojová fáze je vyhrazena pro face-lift a další verze vyráběného automobilu, které vznikají až po uvedení základních modelů na trh. Úpravy v této fázi se liší model od modelu.

3.2 Popis jednotlivých dílů nárazníku

Nárazník jako takový není vyráběn jako jeden celistvý díl, ale je složen z několika samostatných dílů, který každý plní svoji specifickou funkci. Toto řešení je voleno zejména z důvodu zjednodušení výrobitelnosti, možnosti výroby dílů z různých materiálů a jednodušší a levnější vyměnitelnosti dílů.

3.2.1 Verkleidung OT (VKL_OT)

VKL_OT je největší díl sestavy nárazníku a při její kompletaci tvoří základ, na který jsou následně připevňovány ostatní díly. To je dáno primárně jeho pevným spojením se zbytkem karoserie vozu. Jeho funkce je primárně utvářet design čela vozu, resp. jeho velkou část a značně ovlivňuje také jeho aerodynamiku.

VKL_OT (stejně jako ostatní pohledové díly) má mírně větší tloušťku materiálu než díly nepohledové. Důvodem tohoto je zejména zvýšení pevnosti, které kompenzuje nemožnost použití žeber na těchto dílech, jelikož ty by se mohly propsat do pohledové části dílu, což by snižovalo jeho vizuální kvalitu.

3.2.2 Verkleidung UT (VKL_UT)

VKL_UT dotváří spolu s VKL_OT podsestavu Verkleidung, která utváří většinu z pohledové části nárazníku. Je pevně spojen se spodním krytem motoru a jeho funkce jsou téměř totožné s VKL_OT.

3.2.3 Unterfahrschutz (UNTFHR)

Primárně designový díl lemující vstupní otvor pro přívádění vzduchu na chladič vozu. Často bývá např. pochromován nebo jinak vizuálně upraven.

3.2.4 Abdeckung (ABDK)

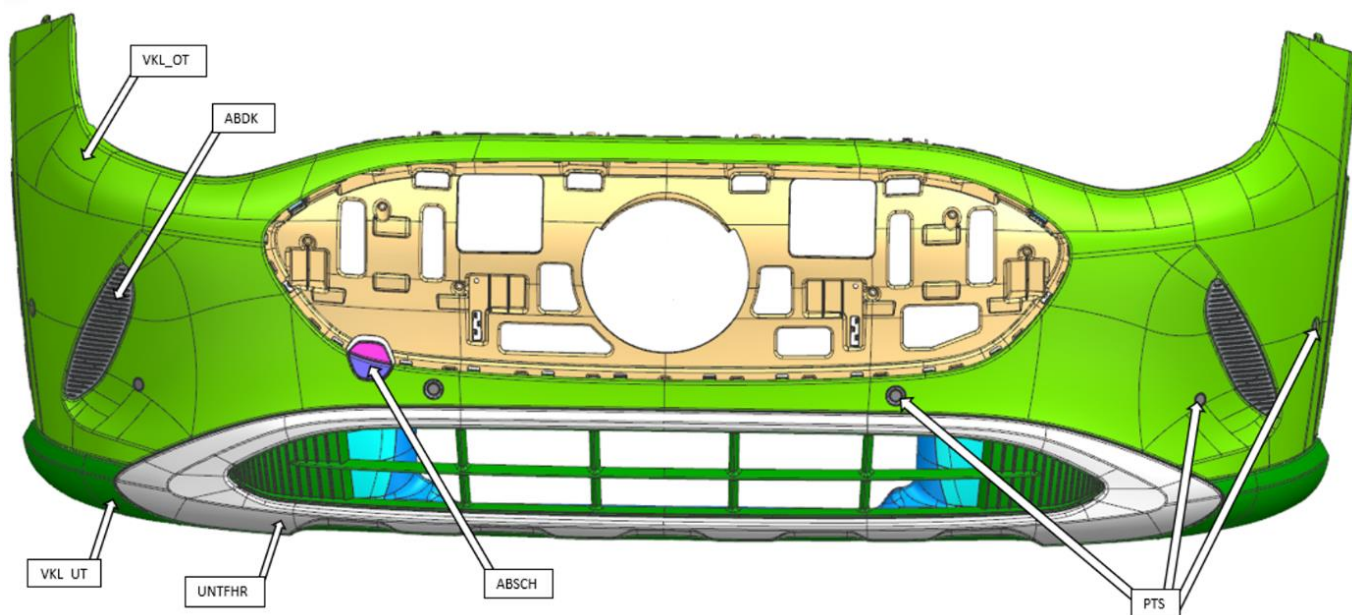
Také primárně designový díl, jehož funkce se mezi modely se standardní motorizací a modely řad Performance značně liší. Zatímco u standardních modelů je ABDK zaslepen a je použit převážně jako designový prvek nárazníku, u modelů řad Performance je díl perforovaný. Perforace umožňuje zlepšit aerodynamiku vozu a zároveň přívodem proudícího vzduchu do prostoru kola a brzd jsou tyto komponenty chlazeny.

3.2.5 Abdeckung Abschleppöse (ABSCH)

Tento díl by se česky dal jednoduše pojmenovat jako krytka tažného oka předního nárazníku. Jak již název napovídá, díl slouží pro zaslepení díry, která je potřebná k používání zmíněného tažného oka. Je designovaný tak, aby ideálně vůbec nevystupoval z pohledové plochy nárazníku a co nejméně narušoval jeho vzhled. V některých případech může být navržen ze dvou částí, pokud je z konstrukčních důvodů oko umístěno na hranici dvou dílů nárazníku (viz obrázek 9).

3.2.6 PTS Adapter (PTS)

Držáků parkovacích senzorů PTS je několik druhů po obvodu celého nárazníku. Společným požadavkem pro všechny z nich je co nejmenší zásah do designu nárazníku. Jelikož se PTS senzory nevyrábějí v zrcadlených variantách, ani adaptéry ve stejné pozici na levé a pravé straně nárazníku nemohou být konstruovány pouhým zrcadlením dílu, jako je to u většiny dílů s variantami LI a RE.



Obrázek 9 - Přední pohled na sestavu nárazníku v CAD softwaru s popisky dílů

3.2.7 Grundtraeger Mitte (GTR_MI)

GTR_MI je největší z nepohledových dílů sestavy nárazníku. Hlavním účelem dílů GTR je zpevnění celé sestavy nárazníku a držení většiny senzorů, kabelových svazků a ostatních komponent, kterými je nárazník vybaven. GTR_MI spojuje všechny díly GTR do jedné podsestavy a připojuje nárazník k front-end modulu. Zároveň je úkolem GTR_MI držení modulu Black Panel, který slučuje hned několik prvků výbavy automobilu jako například kameru a lidar. Kromě toho je u dražších automobilů Black Panel významnou součástí designu přední části karoserie.

3.2.8 Grundtraeger Links (GTR_LI)

Stejně jako GTR_MI je i GTR_LI primárně vyztužující díl sestavy, ve kterém je implementováno hned několik držáků senzorů a jednotek (MMR, Keyless, ...) a kabelových svazků. Není to pohledový díl, tudíž může být upraven řadou zpevňujících žeber a otvorů pro odlehčení. Zároveň má na starost společně s GTR_RE i podporu pěn PRDL a definování jejich pozice. Díl je pevně spojen s podběhem levého předního kola.

3.2.9 Grundtraeger Rechts (GTR_RE)

GTR_RE je zrcadlově symetrický díl k dílu GTR_LE. Liší se pouze držáky jednotek, které kvůli orientaci senzorů nemohou být zrcadleny.

3.2.10 Halter VO

Je držákem samostatné jednotky MMR. Jeho řešení jakožto samostatného dílu je zvoleno kvůli konstrukci, servisní dostupnosti a demontovatelnosti jednotky. Jsou na něj kladeny vyšší nároky na tuhost vzhledem k podstatě funkce jednotky MMR (radar asistenčních systémů řízení).

3.2.11 Luftfuehrungssegment (LFTF)

Jeden z tvarově nejsložitějších dílů sestavy nárazníku (z hlediska konstrukce dílu). Jelikož skrz něj proudí vzduch z přední části nárazníku na chladič, je při jeho konstrukci prováděno nadstandardní množství úprav oproti ostatním dílům. Toto je zapříčiněno hlavně několikastupňovými simulacemi a posléze i fyzickým testováním v aerodynamickém tunelu pro přívod vzduchu na chladič a odvod nečistot.

Díl je dvoukomponentní (2K), kdy vstupní část dílu je vyrobena z tvrdého plastu (PP) a výstupní část z termoplastického elastomeru (TPE-V), pro snadné nasazení na adaptér chladiče a dobré těsnění.

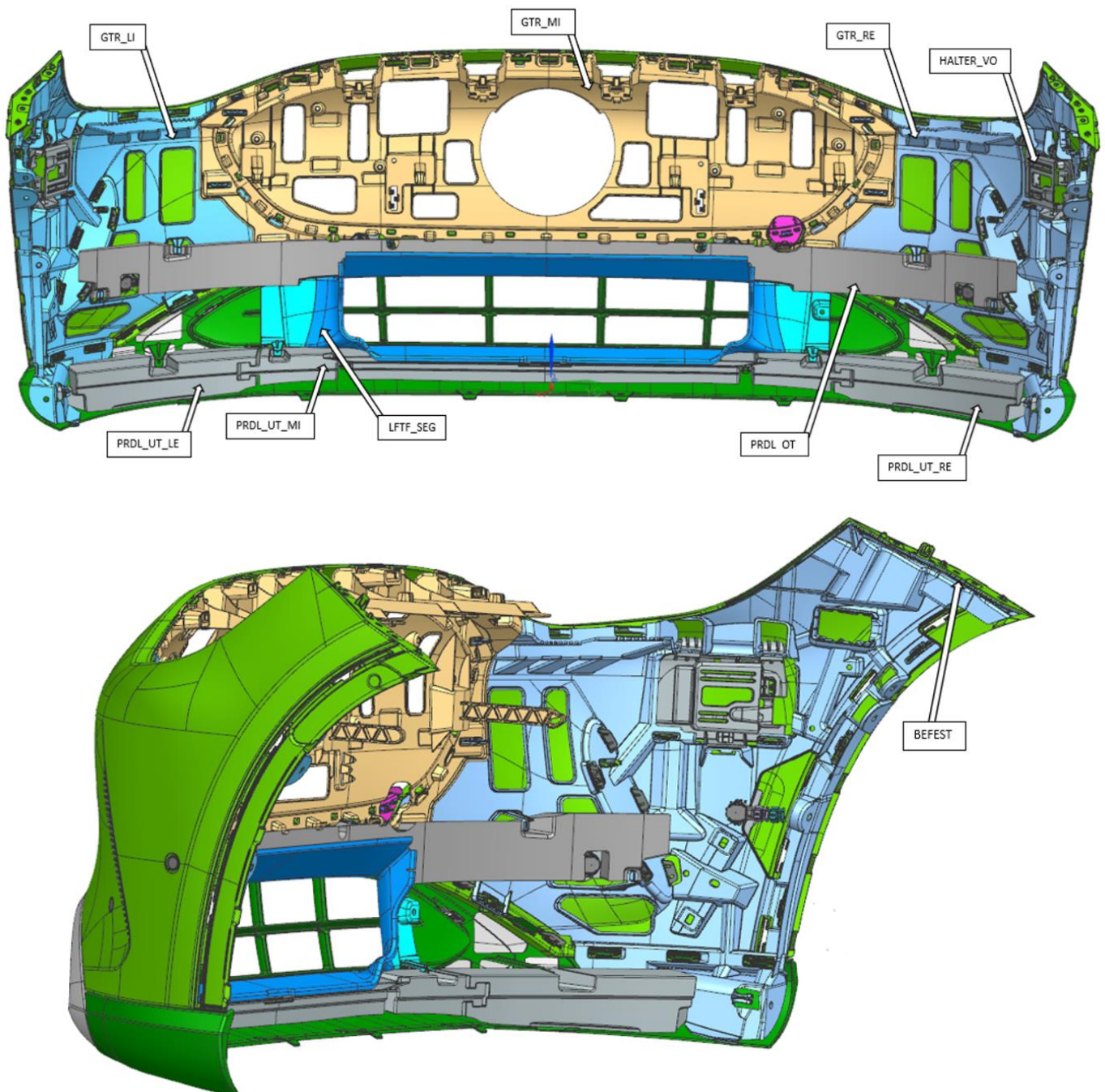
U modelů řady Performance LFTF_SEG dále podporuje chlazení brzd.

3.2.12 Pralldaempfer OT (PRDL_OT)/ UT Mitte (PRDL_UT_MI)/ UT Links (PRDL_UT_LI)/ UT Rechts (PRDL_UT_RE)

Jedná se o pěny tlumící náraz auta do objektu nebo osoby a tím snižující riziko vážného zranění nebo poškození objektu. Nachází se v poloze nad LFTF (verze OT) a pod ním (verze UT_MI, UT_LI, UT_RE). Vyrábí se z extrudovaného PP ve třech tuhostech. Zvolena je taková tuhost pěny, jejíž poměr deformace při srážce a tuhosti při běžném provozu je nejbližší ideálnímu poměru stanovému z nárazových zkoušek a zkoušek z aerodynamického tunelu. Sekundární funkcí pěn je také podpora pryžové části LFTF.

3.2.13 Befestigungsschiene (BFST)

BFST má v sestavě pouze jeden účel, a to zvětšit upínací plochu GTR LI/ RE ke zbytku karoserie, zpevnit tento spoj a nahradit upínací plastovou plochu GTR plochou plechového dílu, aby nedošlo ke spojení ocel-plast. Standardně používaným materiálem pro výrobu BFST je ocel ČSN EN 10152 (420911).



Obrázek 10 – (a) Zadní pohled, (b) Boční pohled na sestavu nárazníku v CAD softwaru s popisky dílů

3.3 Hodnocení změn a úprav dílů

3.3.1 Vytvořitelnost

Složení řady parametrů, jako např. tvarové náročnosti a množství a umístění prvků součásti, které dohromady určují proveditelnost, resp. složitost výroby dané součásti, potažmo její formy. Úpravy dílů z pohledu vytvořitelnosti jsou převážně založeny na zpětné vazbě od oddělení konstrukce nástrojů.

3.3.2 Tloušťka stěn materiálu

Tloušťka stěny má dopad na mnoho klíčových vlastností plastového výrobku, jako je mechanická pevnost, celkový vzhled, zpracovatelnost a ekonomičnost výroby. Optimální tloušťka stěny je často výsledkem vyvážení protichůdných požadavků, jako je pevnost versus hmotnost nebo odolnost versus výrobní náklady. Volbu tloušťky stěny je potřeba pečlivě uvážit, aby se minimalizovala potřeba budoucích nákladných úprav forem pro vstřikování, které jsou často spojeny s významnými výrobními obtížemi. [12] V případě dílů konkrétního nárazníku je hlavní rozdíl v tloušťce pohledových versus nepohledových dílů. Je snaha o co největší dodržení konstantní tloušťky materiálu, přičemž výjimky jsou povoleny jen v nezbytných případech.

3.3.3 Poloha dělicí roviny

Při návrhu vstřikovaného plastového dílu je třeba určit dělicí rovinu dílu neboli polohu kontaktní plochy mezi pevnou a pohyblivou částí formy. Dělicí rovina dílu nárazníku je určena ostrou hranou po obvodu celého dílu tvořící uzavřenou křivku. Tato hrana, na rozdíl od ostatních hran dílu, nemá ani minimální rádius, aby jednoznačně definovala předěl mezi oběma díly formy. Poloha dělicí roviny by měla být volena tak, aby umožňovala co nejsnazší konstrukci obou částí formy a aby při jejich oddělení po zhotovení výstřiku nebyl díl poškozen.

Sekundární ostré hrany dílu poté tvoří dělicí roviny jader pro vytvoření potřebných děr dílu a sliderů pro vytvoření prvků formovaných do jiného než hlavního formovacího směru viz např. díly GTR.

3.3.4 Poloha a počet clipů

Clipy slouží pro jednoduché rozebíratelné spojení jednotlivých dílů sestavy do jednoho celku. Jejich poloha, počet a rozmístění určují velikost vůle mezi jednotlivými díly, resp. zamezují její změně vlivem vnitřního pnutí a působením tíhových sil dílu.

Nejběžněji používanými clipy jsou clipy torzní, fungující na principu elastické deformace působením síly, která vyvolá v clipu kombinované torzní a ohybové napětí, přičemž je clip zároveň prostrčen otvorem ve spojovaném dílu a následně navrácen do předepnutého stavu v koncové poloze.

3.3.5 Umístění senzorů a jejich držáky

Umístění senzorů a jejich držáků je primárně definováno požadavky zákazníka a následně konstrukčními možnostmi jednotlivých dílů. Samotné řešení držáků je individuální a odvozuje se od konstrukce jednotlivých senzorů, kabeláže a jejich funkční podstaty.

3.3.6 Pevnostní analýzy

Nejvýznamnějšími složkami zatěžujících sil ve standardních provozních situacích jsou tíhové síly od vlastní hmotnosti sestavy nárazníku, síly vyvolané odporem vzduchu proudícího okolo nárazníku při jízdě a síly při předeprnutí clipů. Celková tuhost nárazníku musí být volena jako kompromis vyhovující jak dostatečné pevnosti při běžném provozu, tak dostatečně pružné deformaci při absorpci nárazu (viz např. zkoušky srážky s chodcem).

Díly jsou zároveň namáhány tepelnými vlivy z vnitřní strany od motorového prostoru a z vnější strany působením okolního prostředí. Proto se musí elastická deformace dílů v určitém teplotním rozmezí pohybovat v rámci stanovených mezních hodnot.

3.3.7 Smontovatelnost/ kompletace

Konstrukce dílů nárazníku musí být kromě vyrobitelnosti, funkčním požadavkům a požadavkům zákazníka přizpůsobena také kompletaci sestavy na výrobní lince. V tomto ohledu musí být díly nárazníku konstruovány tak, aby jejich složení do sestavy bylo co nejjednodušší pro operátora a zároveň co nejrychlejší pro co nejvyšší produktivitu výrobní linky.

3.3.8 Lakovatelnost

Lakovatelnost dílu omezuje použití příliš malých rádiusů na součásti, a to zejména v pohledové zóně A a B.

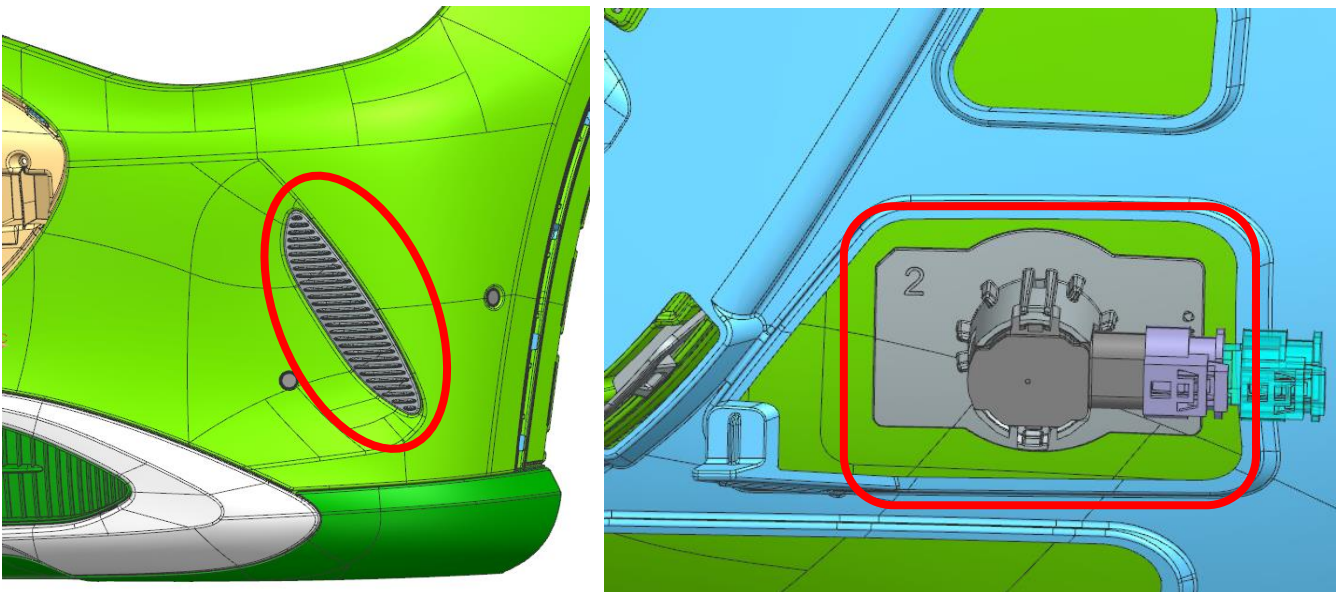
- Zóna A – zahrnuje všechny plochy, na nichž jsou nepravidelnosti obzvláště rušivé a ihned nápadné.
- Zóna B – zahrnuje všechny plochy, na nichž lze nepravidelnosti zpozorovat po chvíli.
- Zóna C – zahrnuje všechny zakryté plochy, které jsou během používání vozidla viditelné jen zřídka nebo jen na krátkou dobu. [18]

Tyto plochy jsou vždy definované pro konkrétní nárazník zákazníkem. Zároveň je velikost rádiusů předního nárazníku omezena také normou pro nárazové zkoušky srážky s chodcem.

3.4 Optimalizační návrh vybraných dílů sestavy nárazníku

Před přistoupením k hodnocení konkrétních dílů je třeba upozornit na to, že veškeré pohledové plochy dílů nárazníku podléhají dohodě o mlčenlivosti s konkrétní automobilkou. Toto opatření je zavedeno z důvodu toho, že tento model automobilu je v daném okamžiku ještě ve fázi vývoje a automobilka se tak chrání před odcizením a zneužitím dat. Z tohoto důvodu budou pro vizuální reprezentaci pohledových ploch použity již existující případně nepoužité díly, které svou podobností dokážou konkrétní řešený díl uspokojivě zastoupit.

3.4.1 Abdeckung (ABDK) + PTS Adapter (PTS-2)

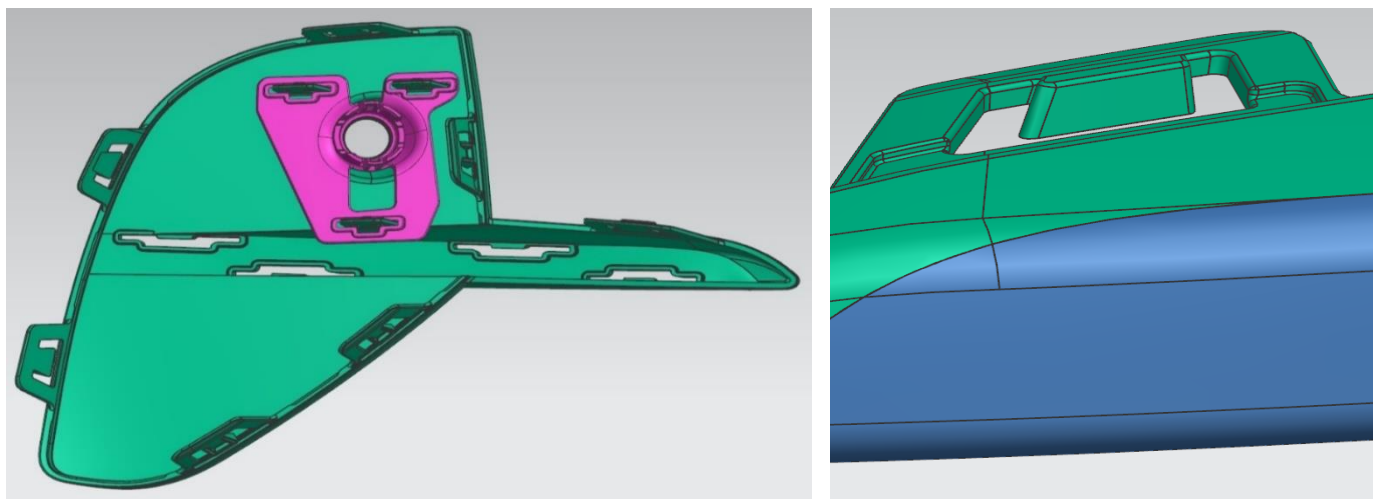


Obrázek 11 – (a) Levá přední strana nárazníku s dílem ABDK, (b) Adapter PTS-2 s parkovacím senzorem PTS;

DPT-S

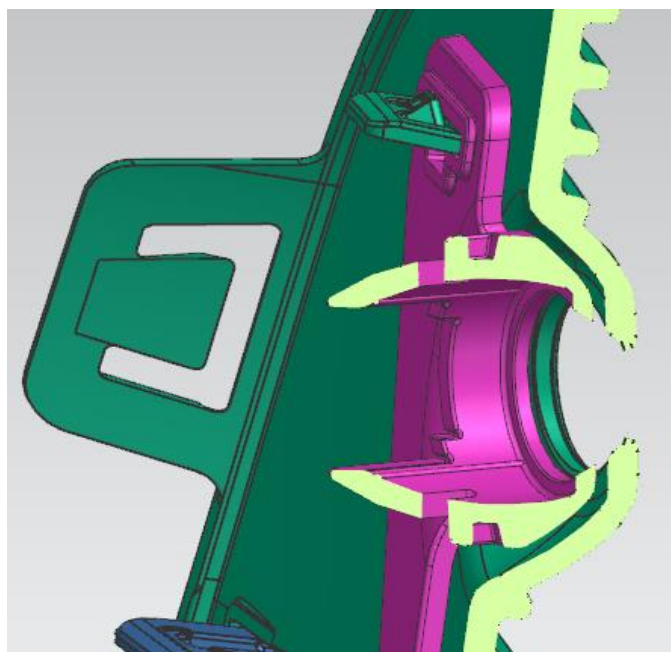
Díly ABDK a PTS-2, jejich vlastnosti a účel jsou popsány v kapitolách 4.2.4 a 4.2.6. Ve vývojové fázi DPT-S řešeného nárazníku byl díl PTS-2 připojen clipy přímo k dílu ABDK, proto jsou v této kapitole řešeny současně (viz obrázek 12). Z přední části je na díl ABDK ještě připevněn clipy díl ZRLS, který je svou podstatou podobný dílu UNTFHR a společně tak tvoří jednu podsestavu. Díl ZRLS bude řešen v samostatné kapitole.

Samotný díl ABDK je z pohledové strany velice podobný své verzi z nepoužitého návrhu designu (viz obrázek 11). Rozdíl je pouze v celkovém profilu a části s připojeným dílem ZRLS. Řešení připojení dílu ZRLS clipy na vnitřní straně „spáry“ ABDK bylo zvoleno z důvodu vytvoření co nejplynulejšího přechodu mezi ABDK a ZRLS a tím dojmu jednoho celistvého dílu.



Obrázek 12 - fáze DPT-S (a) Nepohledová část podsedavy ABDK a PTS-2,
(b) Detailní pohled na přechod dílů ABDK a ZRLS

Tvar a konstrukční řešení PTS-2 je uzpůsobeno co nejnadhějšímu spojení do podsedavy na výrobní lince. Z tohoto důvodu bylo zvoleno jednoduché řešení spojením třemi clipy. Tvar dílu byl uzpůsoben tak, aby kopíroval tvar vnitřní strany výstupku pro PTS senzor na ABDK a tím byl naváděn do přesné polohy.



Obrázek 13 - Řez díly ABDK a PTS-2 ve fázi DPT-S

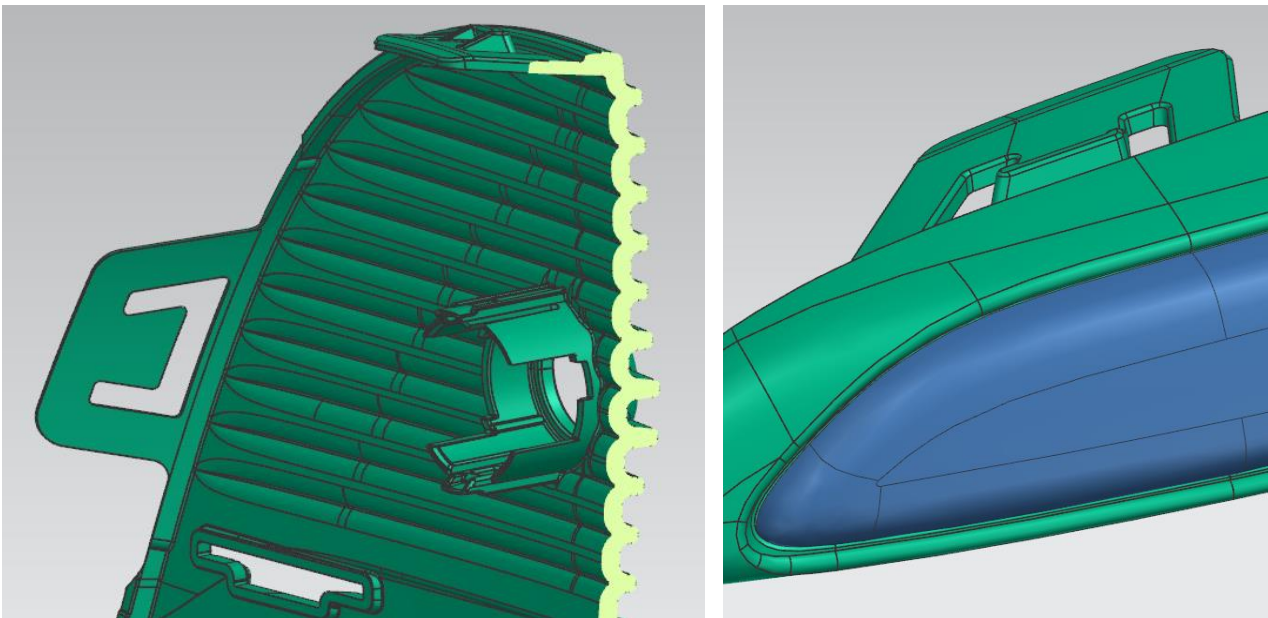
Na obrázku 13 je v řezu ovšem také vidět problém s koncentrací materiálu v oblasti designového žebrování na pohledové straně dílu ABDK. Toto by mohlo způsobit koncentraci materiálu v oblastech kořenů těchto žebér a tím problémy při výrobě dílu. Tento problém byl řešen v následující fázi DPT-AV.

DPT-AV

Kvůli zmíněné možné koncentraci materiálu bylo nutné přistoupit k následujícím úpravám dílu ABDK. Přední pohledovou stranu je až na schválené výjimky zakázáno upravovat, proto bylo třeba provést změny na straně zadní. Pro zajištění co nejkonzistentnější tloušťky materiálu dílu bylo přistoupeno k úpravě „hladké“ plochy zadní strany. Nově je zadní strana tvořena offsetovanou plochou vycházející z plochy pohledové (viz obrázek 14a).

Tato úprava však zkomplikovala vytvoření formy pro clipy spojující díl PTS-2 s ABDK. Mezera mezi díly také není konzistentní a úprava dosedací plochy by díl PTS-2 značně zkomplikovala a prodražila. Proto bylo přistoupeno k integraci PTS-2 do ABDK (viz obrázek 14a). Toto sice udělá výrobu formy a samotný díl ABDK komplikovanější, ale dražší výroba je vykompenzována úsporou odebráním dílu PTS-2 z výrobního procesu a snížením času kompletace podsestavy na výrobní lince automobilky.

Na přední straně došlo k úpravě dosedacích ploch dílů ABDK a ZRLS. Jelikož výrobní tolerance clipů spojujících tyto 2 díly nejsou dostatečné pro zajištění požadovaného plynulého přechodu mezi navazujícími plochami jednotlivých dílů, bylo po dohodě se zákazníkem přistoupeno ke změně designu pohledových ploch. V novém návrhu se přechodová hrana ABDK změnila na rádius a díl ZRLS byl zapuštěn do její pohledové plochy. Tímto se nejen snížily nároky na přesnost výroby obou dílů, ale zároveň se i usnadnila konstrukce otvorů pro clipy na ABDK.



Obrázek 14 - fáze DPT-AV (a) Řez dílem ABDK, (b) Detailní pohled na napojení dílů ABDK a ZRLS

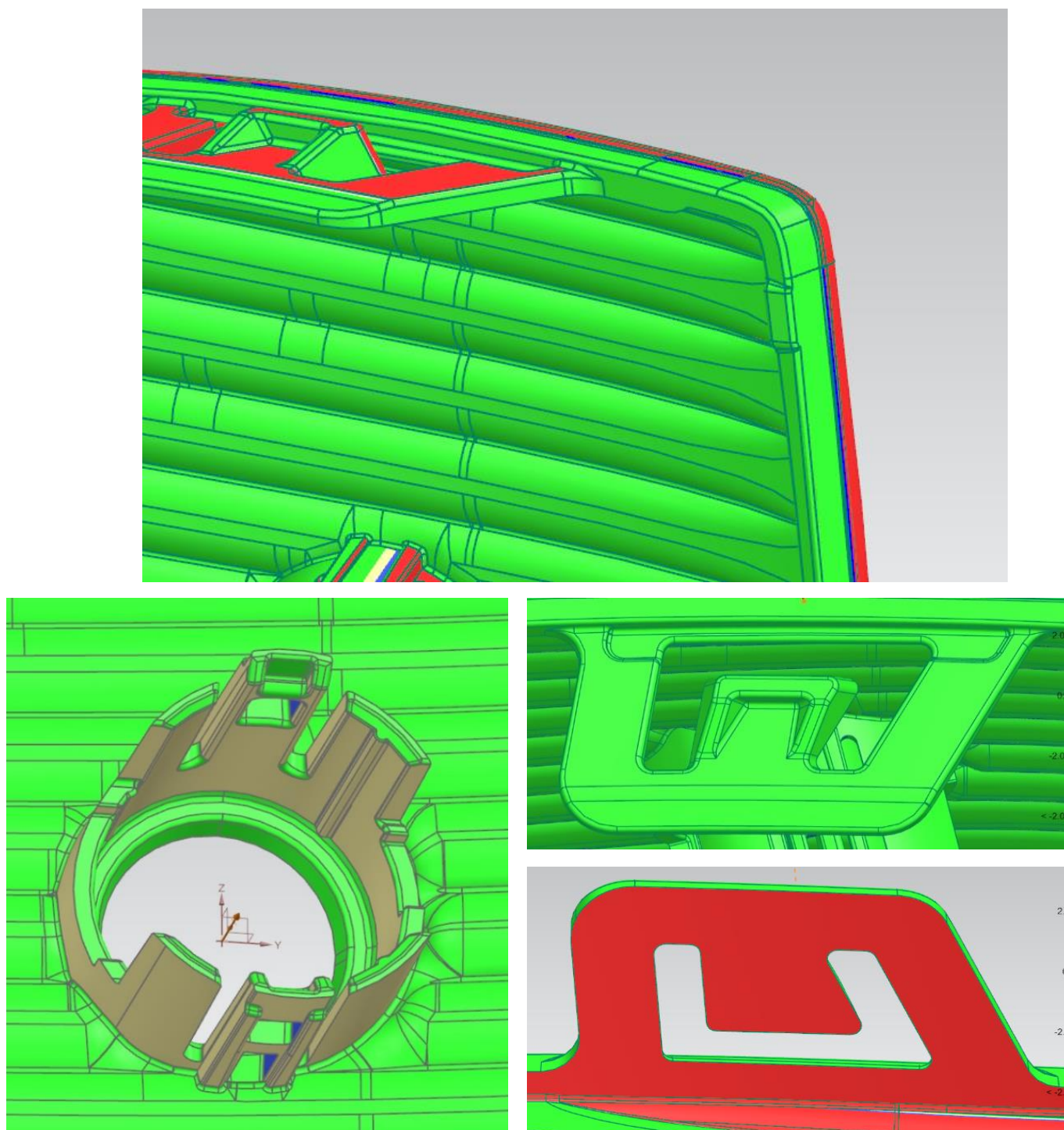
Formovací analýza

Na díle ABDK byla také provedena formovací analýza pro zajištění jeho vyrobiteľnosti. Barvy ploch zelená a žlutá odpovídají formovatelné ploše v daném formovacím směru, přičemž jejich dělicí hodnotou jsou 2° . Stejně parametry platí pro modrou a červenou barvu. Tyto barvy ovšem označují plochy v daném směru neformovatelné.

Pro lepší definici dělicí roviny bylo vytvořeno „odskočení“ zadní plochy od pohledové o standardní velikosti 0,2 mm (viz obrázek 15a). Toto „odskočení“ je použito u většiny dílů, jelikož se jedná o relativně jednoduchý způsob definice dělicí roviny, který nikterak nenarušuje funkčnost daných dílů, případně jen minimálně. Formovací analýza hlavního formovacího směru (odpovídá směru osy X sestavy nárazníku) neodhalila žádné neformovatelné plochy, které by bránily vyrobiteľnosti dílu ABDK. Prvky jako clipy nebo PTS-2 mají vlastní formovací směry, proto nejsou do formovací analýzy hlavního formovacího směru zahrnuty.

Prvek integrovaného PTS-2 také vyhovuje formovací analýze v jeho příslušném formovacím směru. Jediné neformovatelné plochy jsou v otvorech pro clipy samotného držáku PTS senzoru. Tyto plochy jsou ovšem neformovatelné již z podstaty své funkce a je jim přiřazen jejich vlastní formovací směr.

Clipy dílu ABDK, spojující jej s dílem VKL_OT, mají také vlastní formovací směry a jejich formovací analýza vyšla taktéž bez problémů. Na obrázku 15c a 15d je pak dobře viditelné, že všechny boční plochy jsou formovatelné s vrchní stranou clipu, čímž se zjednodušuje mechanismus jejich vyjmutí z formy.

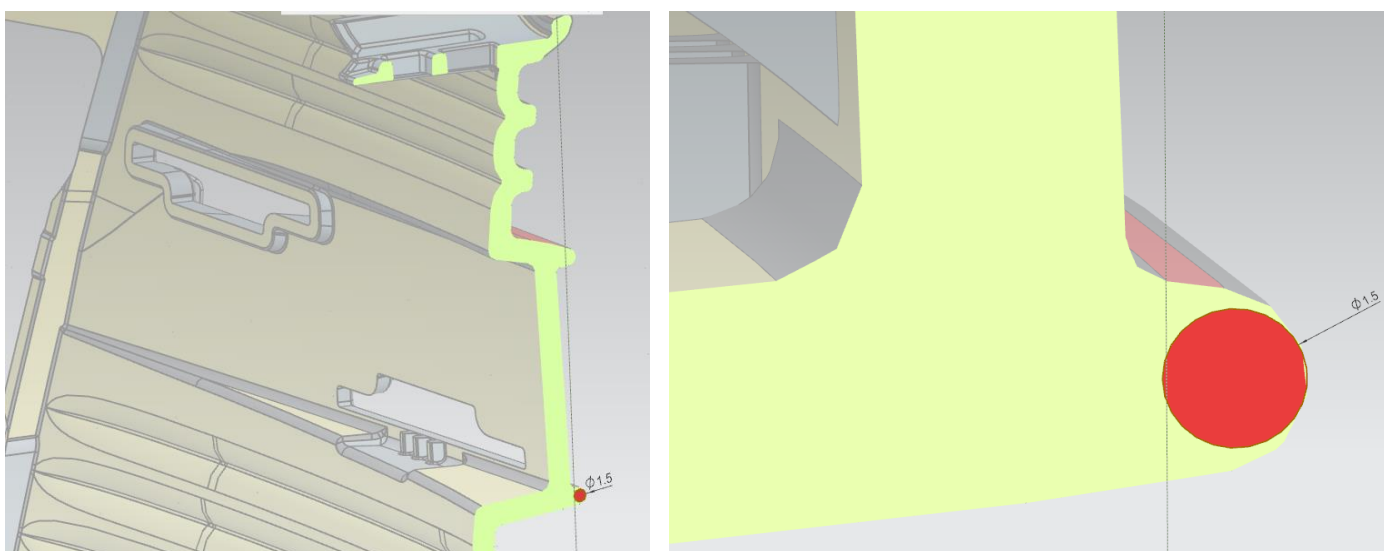


Obrázek 15 - Formovací analýza (a) Detail na přechod mezi pohledovou a zadní stranou ABDK při formování v hlavním formovacím směru, (b) Formování integrovaného PTS-2 ve směru jeho slideru, (c, d) Formování clipu ve směru jeho slideru

Lakovatelnost

Jelikož se pohledová strana ABDK nachází v pohledové zóně A, bylo nutno provést ověření lakovatelnosti dílu. Díl splňuje požadavky na lakovatelnost, pokud všechny lakované plochy mají rádius roven nebo větší než 0,75 mm. Pro urychlení této analýzy bylo ověřováno pouze místo s nejmenším rádiusem, které bylo označeno v datech od zákazníka, přičemž na díle ABDK se nachází na vystouplém žebro přechodu mezi ABDK a ZRLS.

Testovací kulička o průměru 1,5 mm byla tečně umístěna z vnitřní strany rádiusu. Nebyl zjištěn žádný jiný průnik s hranou rádiusu kromě místa tečného kontaktu, a proto byl i tento nejmenší rádius lakované části ABDK vyhodnocen jako vyhovující.



Obrázek 16 - Řez dílem ABDK s vyznačeným místem nejmenšího rádiusu a detailní pohled s vloženou testovací kuličkou

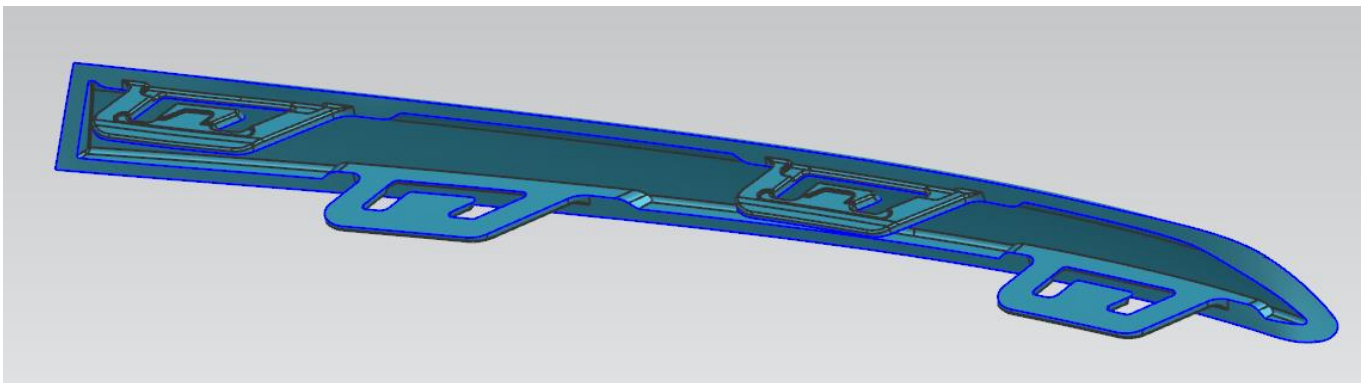
3.4.2 Zeirleiste (ZRLS)

Vlastnosti a funkce dílu ZRLS jsou shodné s dílem UNTFHR s výjimkou jeho umístění, které se v tomto případě nachází na středu pohledové strany dílu ABDK. ZRLS má za úkol dotvářet vzhled pohledové části nárazníku, proto jsou na něj kladeny zejména požadavky na lakovatelnost a přesnost v místě napojení pohledové plochy s ABDK. Jeho funkce při vytváření optimálně aerodynamické plochy nárazníku je z důvodu jeho velikosti vůči zbytku nárazníku zanedbatelná.

DPT-S

V této fázi tvoří pohledové plochy dílů ABDK a ZRLS jednu souvislou plochu s plynulým přechodem (viz obrázek 12b). Rozdílné jsou jen jejich povrchové úpravy, kdy díl ZRLS je namísto standardního vnějšího laku nárazníku pochromován. Chromování pohledové plochy dílu byl jeden z požadavků zákazníka. Jelikož však pro pochromování dílu nejsou kladeny rozdílné nároky než pro díly lakované, není třeba žádných speciálních úprav konstrukce a díl tak bude konstruován dle standardních zásad pro pohledové díly.

Konstrukce dílu ZRLS ve fázi DPT-S je relativně jednoduchá. Důležité bylo dodržet geometrii pohledové plochy dodanou zákazníkem, konstantní tloušťku dílu (3 mm pro pohledové díly) a zajistit spojení dílu s protikusem ABDK. To bylo vyřešeno jako u většiny ostatních dílů pomocí clipů (viz obrázek 17).



Obrázek 17 - zadní strana ZRLS ve fázi DPT-S

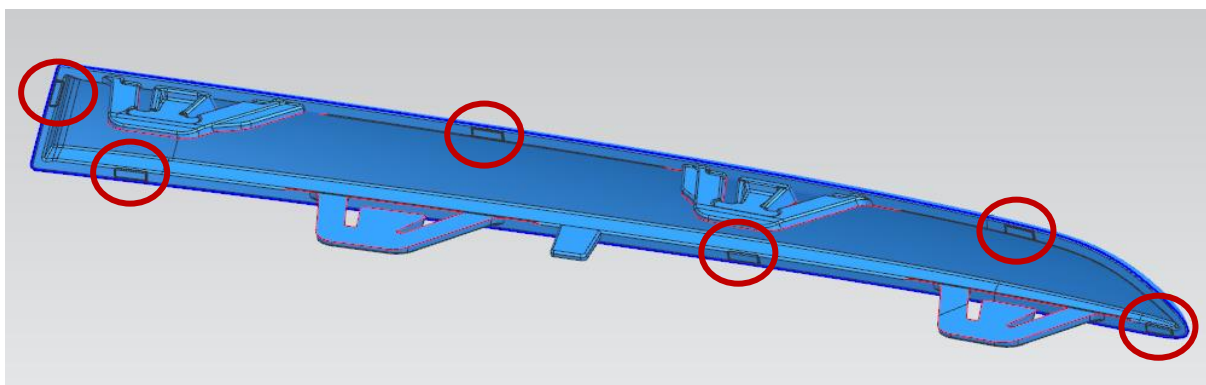
Řešení spojením dílů ZRLS a ABDK clipy ovšem naráželo na zásadní problém, a to neschopnost dodržet přijatelně plynulý přechod pohledových ploch z důvodu výrobních tolerancí clipů a dosedacích ploch nárazníku. Tento problém bylo tedy třeba vyřešit v následující fázi DPT-AV.

DPT-AV

Vzhledem k vyvstalým problémům s dosedací plochou a přechodem mezi pohledovými díly ABDK a ZRLS byla nutná konzultace úprav designu pohledových ploch se zákazníkem. Po společném jednání byl vytvořen nový návrh přechodu (viz obrázek 14b).

Problém s dosedáním kontaktních ploch byl vyřešen dosedacími žebry (vyznačenými na obrázku 18), která jsou rovnoměrně rozložena po obvodu dosedací plochy dílu a odskočením o 0,2 mm (viz formovací analýza v kapitole 4.4.1) pro lepší definici dělicí roviny. Toto konstrukční řešení omezí kontakt dílů ZRLS a ABDK na omezený počet krátkých úseků, čímž je možné dodržet montážní tolerance, jelikož na těchto krátkých úsecích je výrazně snadnější dodržení požadovaných rozměrů pro přesné dosednutí dílů.

Problém s přechodem pohledových ploch byl vyřešen upravením jejich designu a vytvořením "žlabu" v díle ABDK, do kterého díl ZRLS zapadne. Tímto odpadl problém s výrobními tolerancemi clipů a jimi zapříčiněným nevyhovujícím přechodem mezi těmito díly. (viz obrázek 14b a 16)

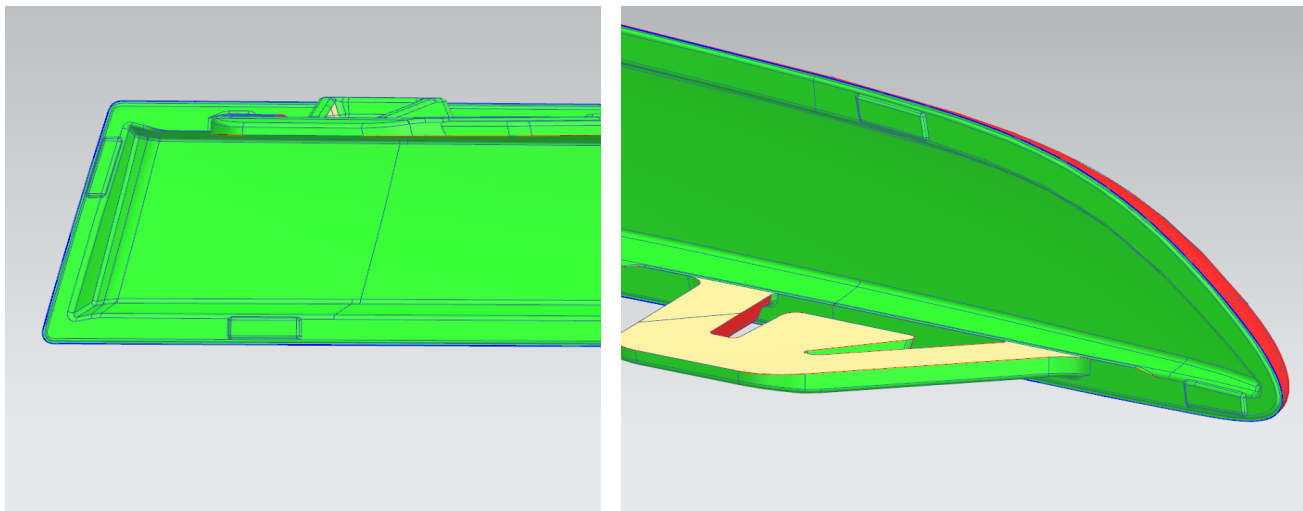


Obrázek 18 - zadní strana ZRLS ve fázi DPT-AV s vyznačenými dosedacími žebry

Formovací analýza

Vzhledem k relativní jednoduchosti dílu se při konstrukci ZRLS nevyskytl žádný zásadní problém v ohledu formovatelnosti, a tudíž i formovací analýza nenalezla žádná problémová místa.

Dělicí rovina dílu je definována odskočením o 0,2 mm popsáním v části DPT-AV (viz obrázek 19b) a hlavní formovací směr dílu je shodný s osou X celé sestavy nárazníku. Clipy mají přiřazeny své vlastní formovací směry a jejich dělicí roviny jsou shodné s jejich spodní stranou (toto platí pro většinu clipů tohoto typu v celé sestavě nárazníku).

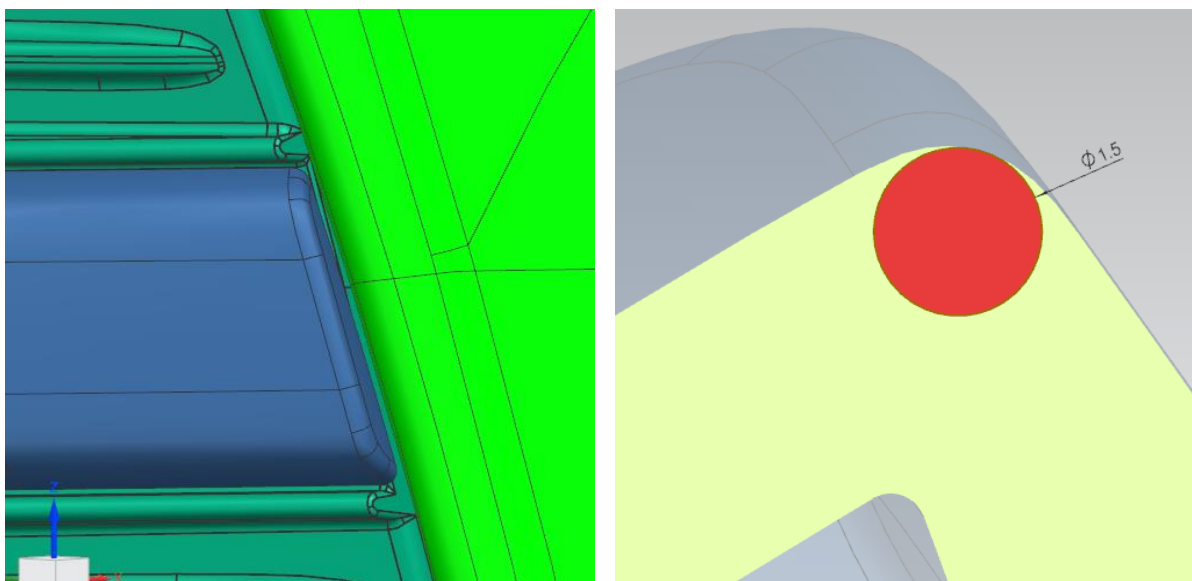


Obrázek 19 - Formovací analýza (a) Detail levého rohu zadní strany ZRLS, (b) Detail pravého rohu zadní strany ZRLS s viditelným přechodem mezi pohledovou a zadní stranou dílu

Lakovatelnost

Jelikož je charakter pohledové plochy dílu ZRLS shodný po celé své délce s částí zobrazenou na detailu obrázku 14b, kde jsou aplikované rádiusy viditelně větší než 0,75 mm (lze je porovnat například s rádiusy 0,5 mm po obvodu clipů), je jako místo pro ověření lakovatelnosti rádiusů zvolen rádius na přechodu mezi dílem ZRLS a VKL_OT. Tento rádius je i zákazníkem potvrzen jako nejmenší rádius pohledové plochy dílu.

Testovací kulička o průměru 1,5 mm byla tečně umístěna z vnitřní strany rádiusu. Nebyl zjištěn jiný průnik s hranou rádiusu kromě místa tečného kontaktu, a proto byl i tento nejmenší rádius lakované části ZRLS vyhodnocen jako vyhovující.

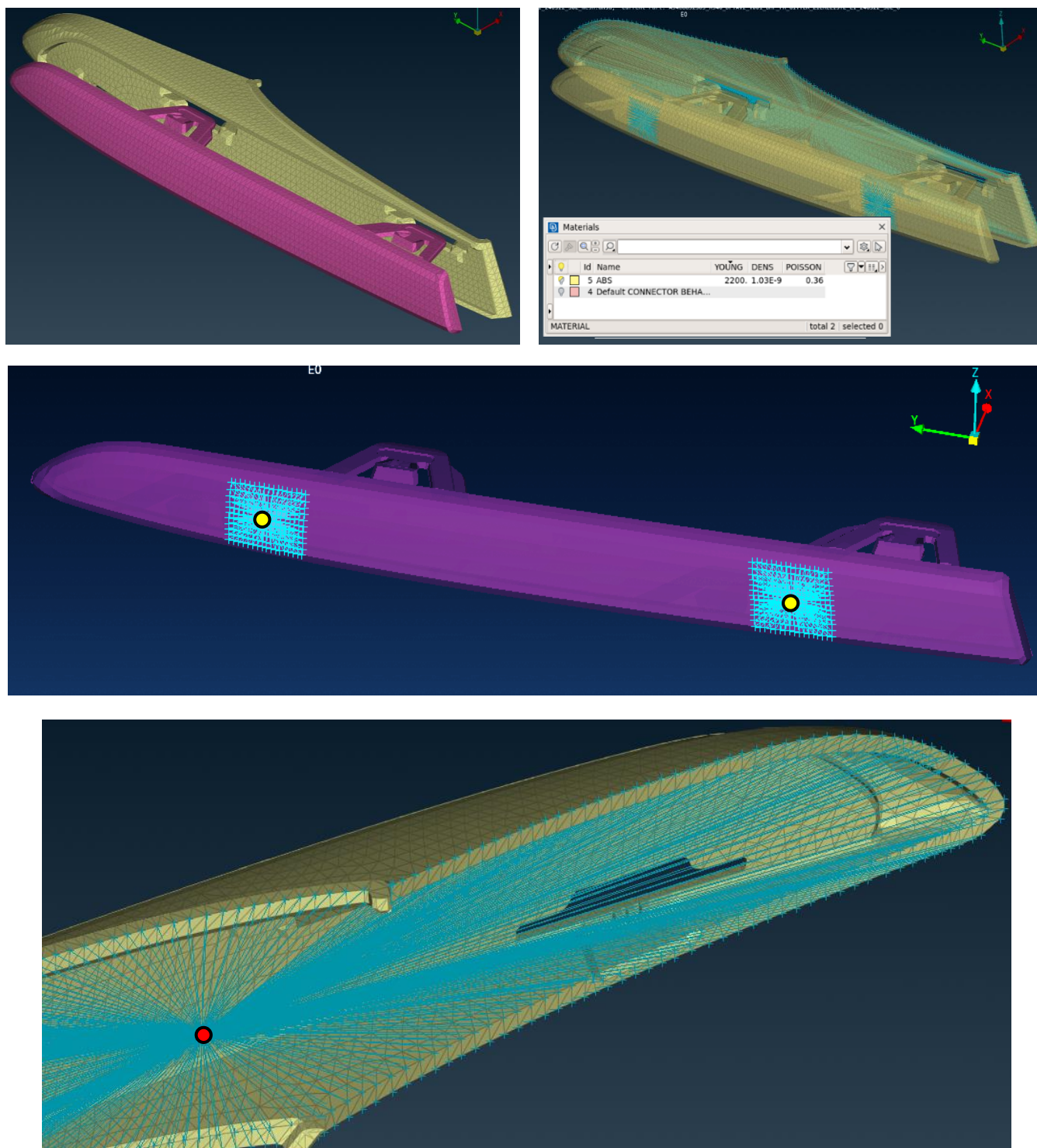


Obrázek 20 – (a) Detail pravé pohledové strany dílu ZRLS, (b) Řez dílem ZRLS s vyznačeným místem nejmenšího rádiusu a detailní pohled s vloženou testovací kuličkou

Dynamická analýza spojení dílů ABDK a ZRLS

V rámci ověření funkčnosti a pevnosti clipů použitých na dílech sestavy nárazníku byl ve spolupráci s oddělením numerických simulací proveden zjednodušený dynamický výpočet metodou MKP v softwaru Abaqus. Tato analýza byla založena na simulaci spojení dílů ABDK a ZRLS pomocí clipů dílu ZRLS. Cílem simulace bylo namodelovat průchod clipů clipovými otvory dílu ABDK a analyzovat stlačení prostřední části clipů, aby clip prošel clipovým otvorem a následně se navrátil do původní polohy, čímž by byl vytvořen rozebíratelný spoj. Očekávaným výstupem výpočtu bylo zobrazení průběhu kombinace torzního a ohybového napětí v clipu.

Průchod clipů otvory dílu ABDK byl zajištěn působením 2 sil, resp. tlaku po rozložení sil do plochy pomocí RBE elementu, které reprezentují tlak palců operátora montážní linky zatlačujícího díl ZRLS do dílu ABDK (viz obrázek 21c). Z dílu ABDK byla pro potřeby simulace použita pouze část vystupující ze žebrování dílu, se kterou je přímo spojen díl ZRLS. Tato část je pevně fixována za hranu po obvodu řezu (viz obrázek 21d).



Obrázek 21 - Vysíťovaný model (tertahedron síť s velikostí elementů cca 3,5mm) použité části dílu ABDK a dílu ZRLS
 (a) Vysíťovaná sestava obou dílů, (b) Pohled s přiloženou tabulkou materiálů,
 (c) Zobrazené body zatížení (loadpoint) se zatížením rozneseným na zátěžnou plochu pomocí RBE prvku
 (d) Zobrazený bod fixace ve všech stupních volnosti fixovaný pomocí RBE prvku

Výsledky numerické simulace

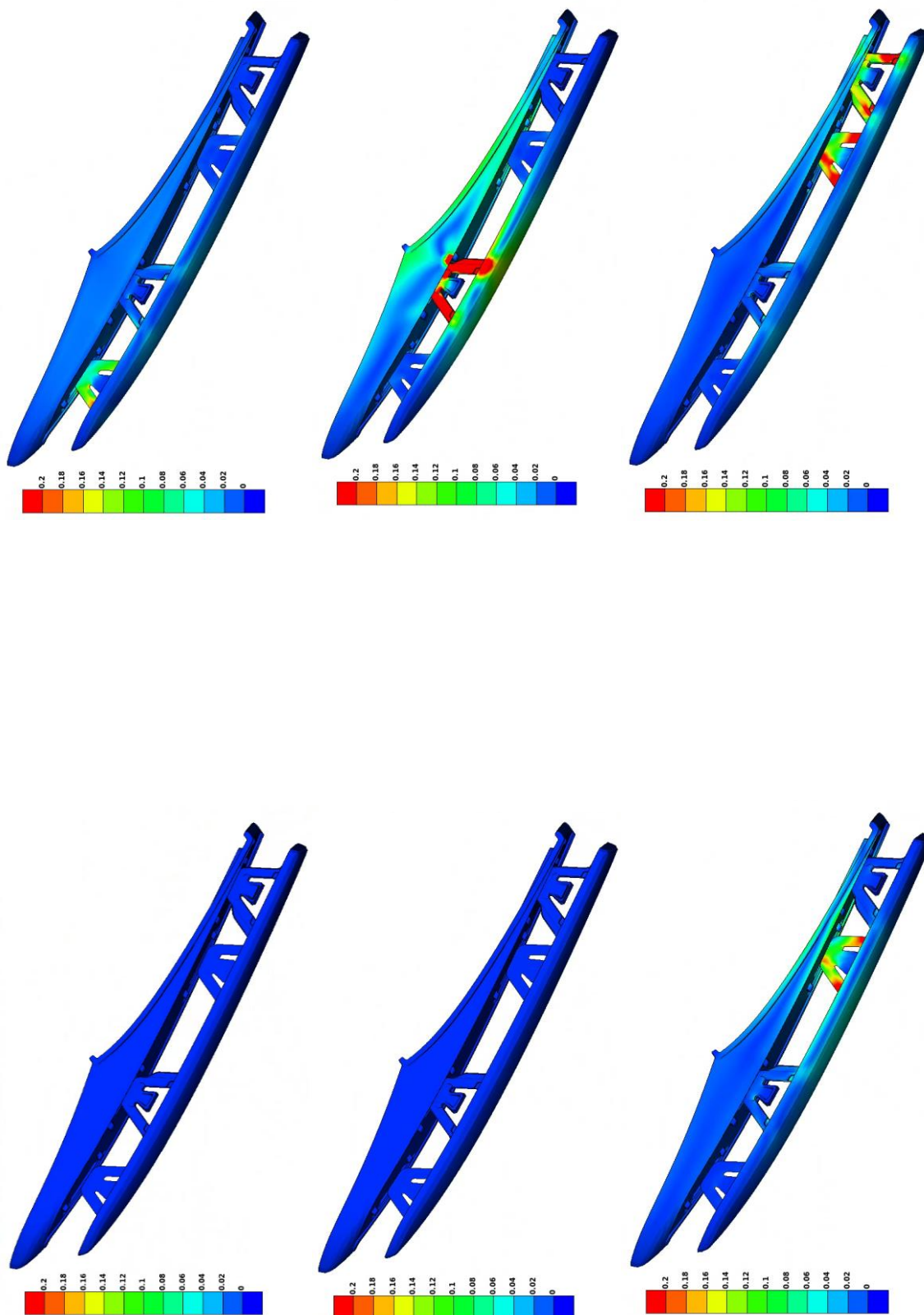
Byly provedeny 3 iterace numerické simulace spojení dílů ABDK A ZRLS. Pro první iteraci byly použity dvě zasouvací síly o velikosti 20 N působící na díl ZRLS ve směru rovnoběžném s osou X sestavy nárazníku. Po provedení této simulace bylo zjištěno, že směr působení zasouvacích sil musí být pro další iteraci upraven, jelikož při působení sil v tomto směru se clipy dílu ZRLS netrefí do clipových děr dílu ABDK a nedojde tak k jejich spojení.

V druhé iteraci byla zachována velikost působících sil a byl upraven směr jejich působení. Ten byl změněn oproti první iteraci tak, aby působil ve směru kolmém na dosedací plochu dílu ABDK (zhruba 30° od osy X). Ani v této variantě nedošlo ke spojení dílů, jelikož clipy narazily na hrany clipových otvorů a nedošlo k vyvolání elastické deformace clipů tak, aby byly zasunuty do clipových otvorů.

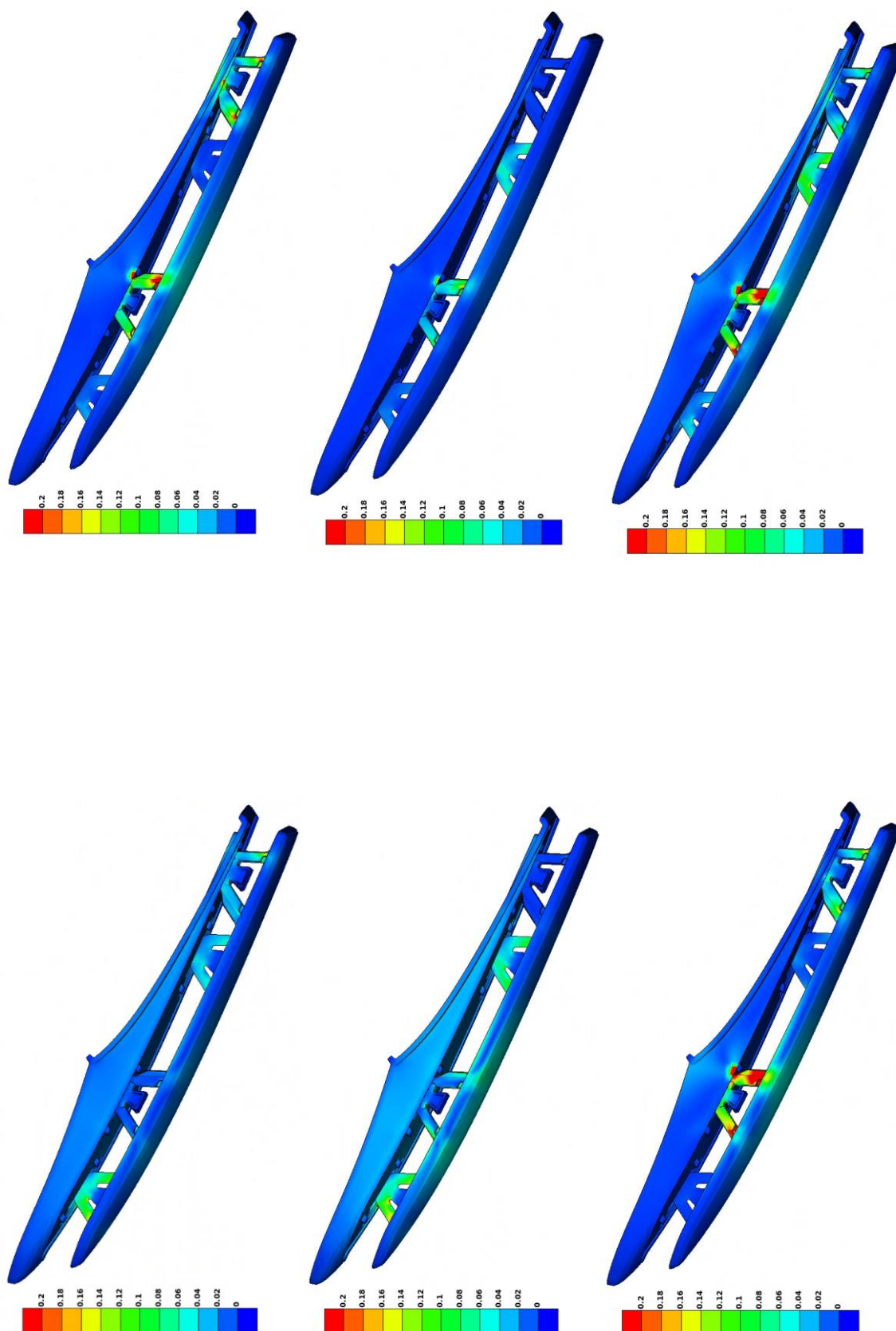
Třetí a poslední iterace zachovala směr působení zasouvacích sil z předchozí iterace. Velikost těchto sil byla ovšem desetinásobně zvětšena z důvodu ověření, zda v předchozí iteraci nedošlo k zaseknutí dílu z důvodu polohové nepřesnosti při zasouvání. Na díl ZRLS tak v této iteraci působily dvě zasouvací síly o velikosti 200 N. Průběh této simulace je zobrazen na obrázku 22 a 23. Jak z těchto obrázků vyplývá, ani třetí numerická simulace neskončila požadovaným výsledkem. Z průběhu simulace je patrné, že jednotlivé clipy střídavě narážely na hrany clipových děr dílu ABDK. Tyto nárazy v nich vyvolávaly kombinaci tlakového a ohybového napětí, nedošlo ovšem k průchodu clipovými dírami, vyvolání požadovaných elastických deformací clipů a tím ke spojení dílů.

Pro provedení dalších iterací numerické simulace bohužel nebyl dále vyhrazený výpočetní čas firemního serveru, a proto nebylo možné dále v simulacích pokračovat. Navíc pro případné další iterace a dosažení požadovaného výsledku simulace by bylo potřeba znát další počáteční podmínky o poloze dílu ZRLS před zasouváním a upravit jeho dráhu pohybu, případně i směr zatížení.

Spojovací clipy byly dříve použity na verzích nárazníků již vyráběných modelů vozů bez reklamací nebo jiných defektů (např. při montáži). Pevnost clipů tak byla ověřena v praxi a jejich použití na dílech této sestavy bylo zákazníkem schváleno.



Obrázek 22 - Simulace spojení dílů ABDK a ZRLS cípy (vlevo) Kroky 1, 3, 6, (vpravo) Kroky 12, 18, 27

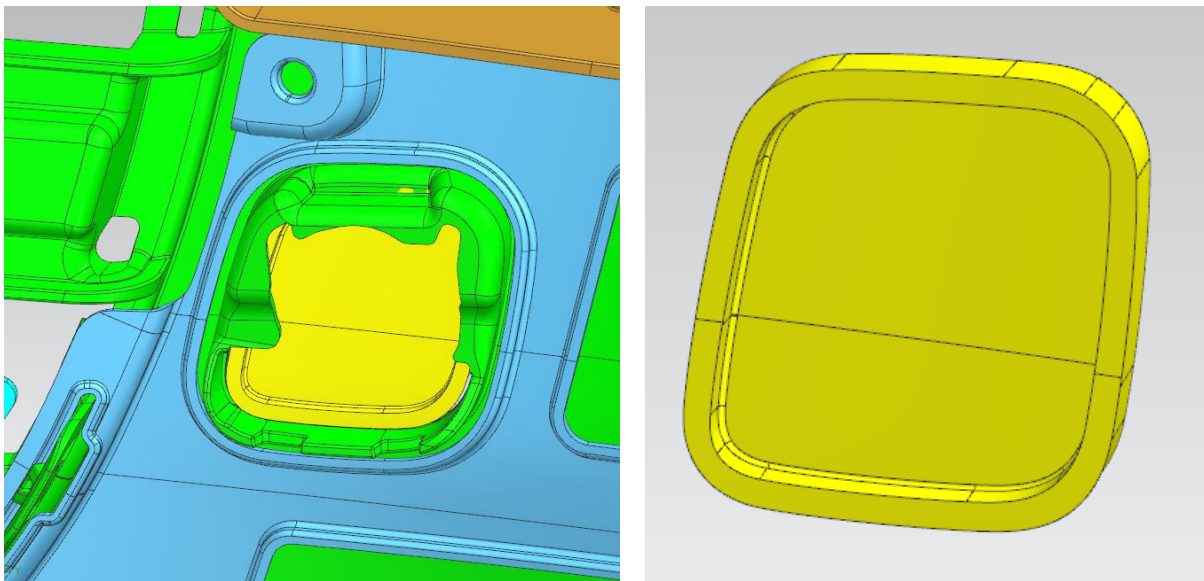


Obrázek 23 - Simulace spojení dílů ABDK a ZRLS clipy (vlevo) Kroky 43, 44, 51, (vpravo) Kroky 70, 80, 88

3.4.3 Abdeckung Abschleppöse (ABSCH)

DPT-S

ABSCH je jeden z dílů, na kterém je nejlépe znatelný přechod mezi DPT-S a DPT-AV. Zatímco ve fázi DPT-AV je díl téměř dokončený a probíhají na něm už jen finální úpravy požadované zákazníkem. Ve fázi DPT-S je díl řešen pouze z pohledové strany a plochy jsou uzavřeny do solidového dílu. Tloušťka materiálu je vzhledem k faktu, že se jedná o pohledový díl, stanovena na 3 mm. Jednoduchost konstrukce dílu v této vývojové fázi je vidět na obrázku 24.

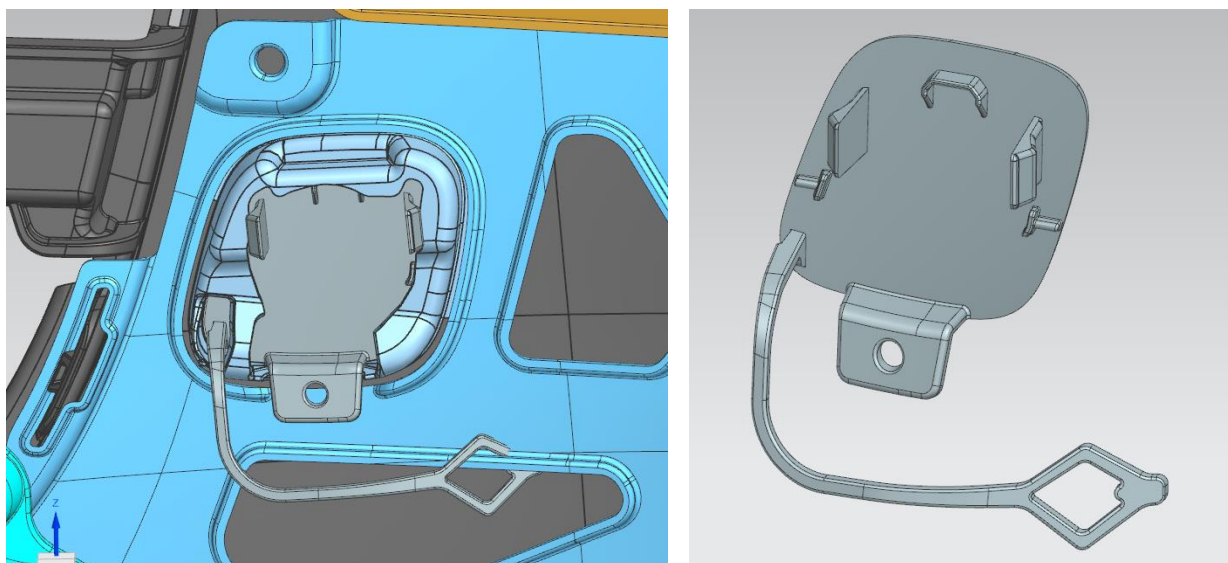


Obrázek 24 - ABSCH ve fázi DPT-S (a) Pohled na díl v sestavě, (b) Detail zadní strany dílu

DPT-AV

V této fázi byly oproti DPT-S vyřešeny clipy, formování, dosedací žebra i systém proti ztrátě při použití tažného oka. Díl je upevněn do pohledového VKL_OT dvěma clipy a kotvícím hákem. Tím je i definován postup otevírání a zavírání otvoru tažného oka, kdy musí být nejprve zasunut kotvící hák do spodní části tvarového otvoru a následně „zacvaknutý“ dva konstrukčně jednoduché clipy, které tlakem zkosených ploch tlačí na boky otvoru ABSCH, dokud dosedací žebra nepřijdou do styku s protikusem (viz obrázek 25a a 25b). Dosedací žebra byla konstruována tak, aby byla pohledová strana dílu zarovnána se zbytkem plochy tvořící pohledovou stranu nárazníku.

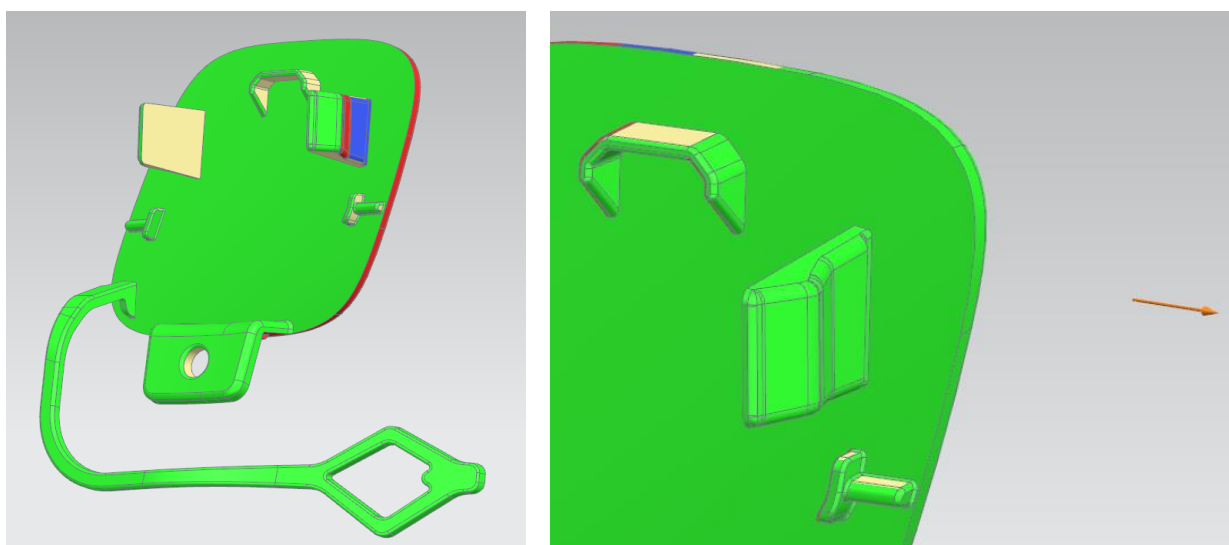
Zároveň bylo na dílu vytvořeno bezpečnostní oko na prodlouženém rameni, které slouží k udržení dílu v blízkosti otvoru a prevenci jeho případné ztráty při použití tažného oka.



Obrázek 25 - ABSCH ve fázi DPT-AV (a) Pohled na díl v sestavě, (b) Detail zadní strany dílu

Formovací analýza

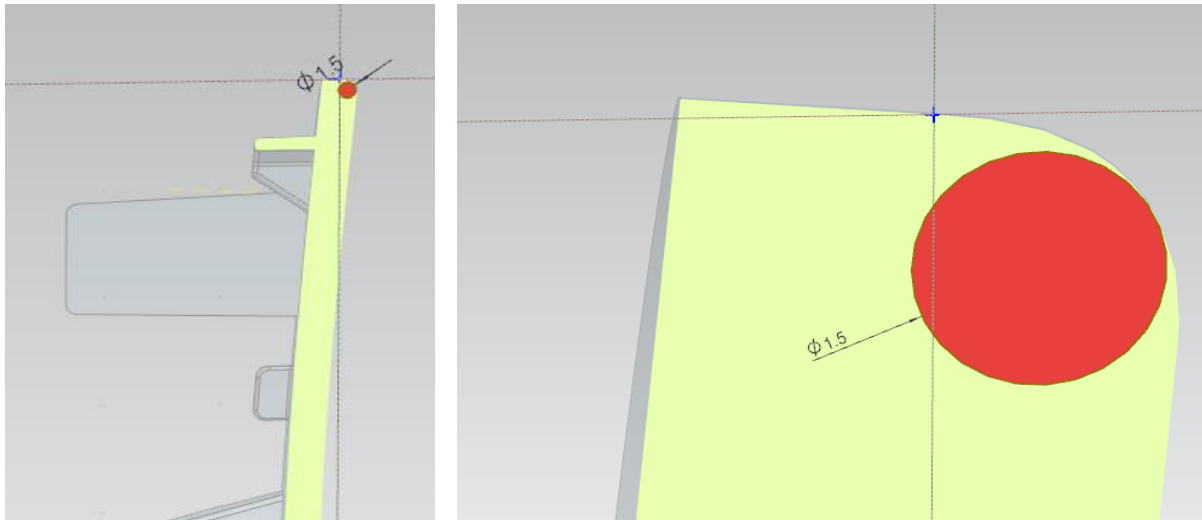
Formování celého dílu bylo provedeno ve formovacím směru odpovídajícím ose X sestavy nárazníku (směru jízdy). Dělicí rovinu tohoto dílu definuje ostrá hrana oddělující pohledovou plochu dílu se zaoblením a plochu zadní (viz obrázek 26a). Zároveň je kromě těla dílu v tomto směru formováno i vrchní dosedací žebro. Bezpečnostní oko s prodlouženým ramenem, clipy a boční dosedací žebra mají vlastní směry formování, přičemž clip a žebro na každé straně dílu mají totožný směr formování (viz obrázek 26b).



Obrázek 26 - (a) Formování dílu ABSCH v hlavním formovacím směru, (b) Formování clipu a bočního žebra

Lakovatelnost

Pohledová strana ABSCH je také součástí pohledové zóny A, proto bylo taktéž nutno ověřit lakovatelnosti dílu. Jelikož je pohledová plocha dílu relativně jednoduchého tvaru a rádius zaoblení dílu je po celém obvodu totožný, byla testovací kulička průměru 1,5 mm umístěna tečně do náhodně vybraného místa zaoblení. Nebyl zjištěn jiný průnik s hranou rádiusu kromě místa tečného kontaktu, proto byl díl ABSCH vyhodnocen jako vyhovující z pohledu lakovatelnosti.



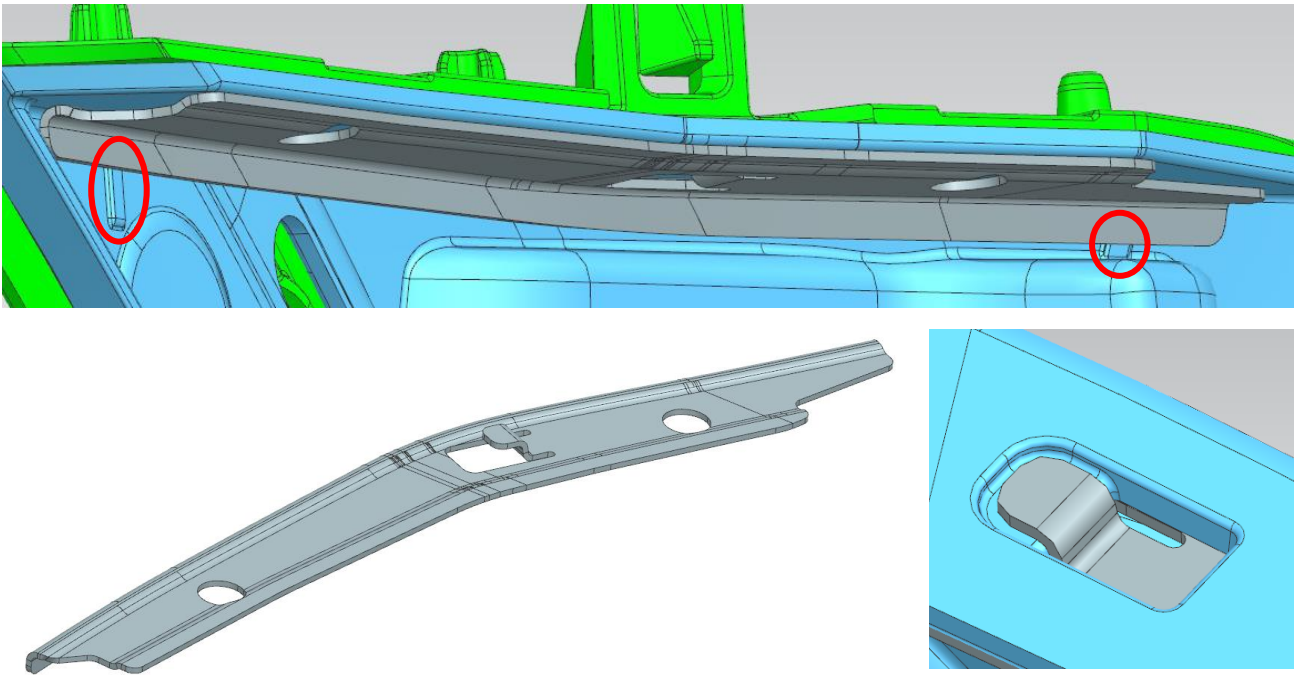
Obrázek 27 - Analýza lakovatelnosti ABSCH (a) řez dílem s tečně vloženou kuličkou, (b) detail řezu s testovací kuličkou

3.4.4 Befestigungsschiene (BFST)

DPT-S

V této fázi vývoje byla při konstrukci dodržena standardní koncepce dílu BFST. Jako standardní koncepce je chápána konstrukce z plechu (ocel ČSN EN 10152 (420911)) tloušťky 1 mm a relativní jednoduchost tvaru se dvěma otvory pro rozebíratelný (šroubový) spoj. Celkový tvar dílu byl konstruován tak, aby tvarově kopíroval pohledovou plochu nárazníku, nezasahoval do konstrukčních prvků okolních dílů a neomezoval tak jejich funkčnost.

Díl byl kromě otvorů pro rozebíratelné spoje opatřen ještě třetím hranatým otvorem s “jazýčkem”, který vymezuje jeho polohu vůči protikusu GTR_LI a usnadňuje tak jeho ustavení do správné polohy při kompletaci sestavy nárazníku. Dalšími prvky vymezujícími polohu BFST vůči GTR_LI jsou dosedací žebra (vyznačená na obrázku 28a), která vymezují konstantní vzdálenost 0,5 mm a zamezují tak kontaktu celé boční plochy BFST s vnitřní stranou GTR_LI, který by při elastické deformaci plastového dílu GTR_LI (např. vlivem změny teploty nebo mechanického tlaku člověka opřené o nárazník) mohl způsobit nevratné deformace jeho vnitřní strany.



Obrázek 28 - BFST ve fázi DPT-S (a) BFST v sestavě s vyznačenými dosedacími žebry, (b) vrchní část dílu, (c) detail polohovacího "jazyčku" v sestavě

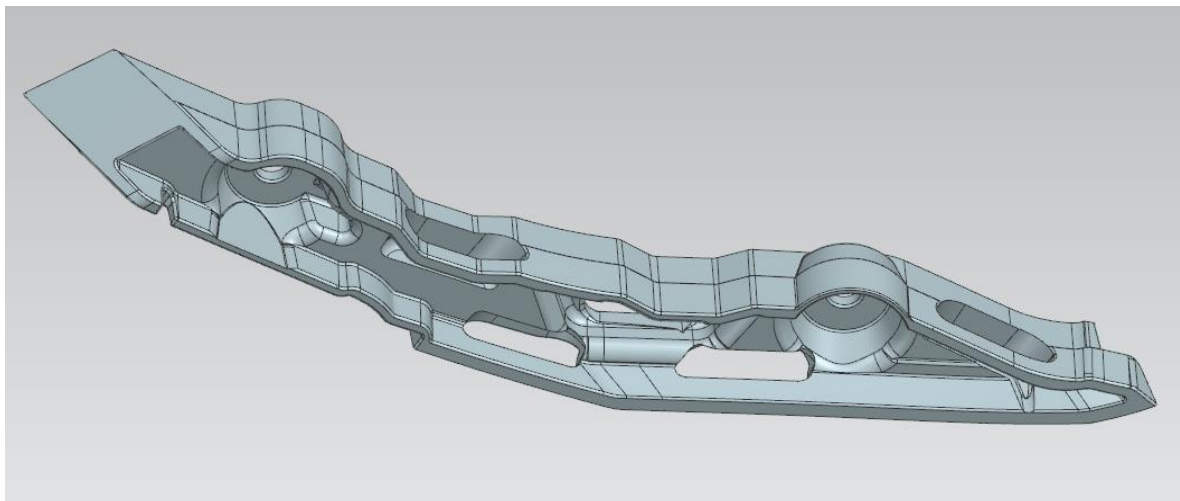
DPT-AV

S postupem do vývojové fáze DPT-AV prošel díl BFST zásadní proměnou konstrukce. Tato změna byla provedena z důvodu požadavku na umístění montážních děr pro šrouby co nejbližší pohledové straně nárazníku, aby se spoj dílů z pohledové strany co nejméně rozevíral, což by zapříčiňovalo nevyžádané vizuální narušení designu nárazníku. Posun děr pro šrouby by ovšem znemožňoval montáž dílů použitím standardních nástrčných hlavic (tzv. "ořechů"), jelikož by nebyl vytvořen dostatečný prostor mezi dírou a bokem dílu BFST. Z důvodu posunutí děr bylo také nutno zvolit jiné konstrukční řešení dílu GTR_LI, přesunout jeho spojovací plochy pod díl BFST a tím umožnit přiblížení díry pro šrouby pohledové ploše nárazníku. Dále bylo nutné nahrazení polohovacího "jazyčku" jiným konstrukčním řešením tak, aby byl vytvořen spolehlivý dočasný spoj pro ustavení polohy dílů před samotnou montáží šroubů.

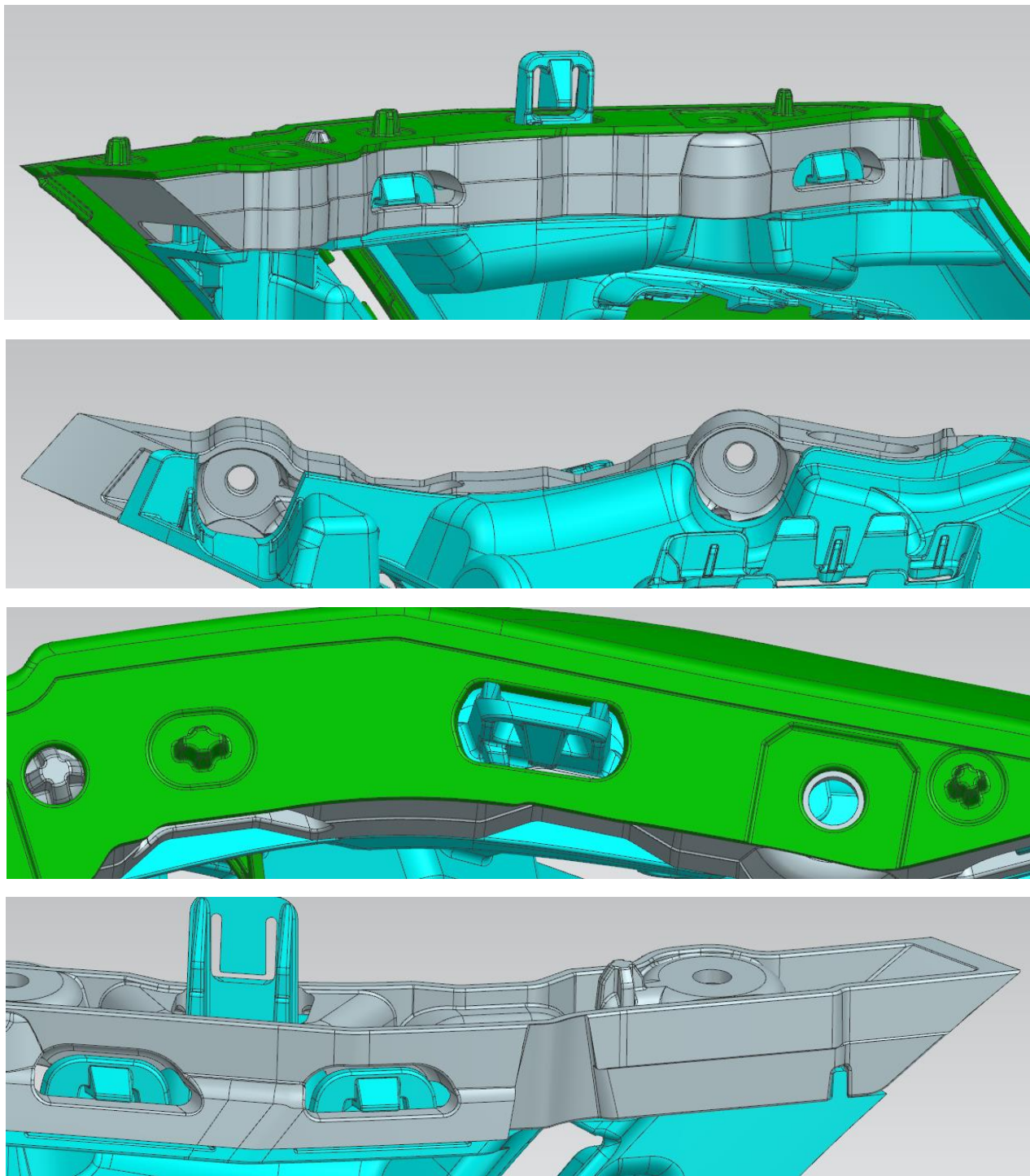
Z důvodu těchto konstrukčních požadavků bylo ustoupeno od standardní konstrukce z ohýbaného plechu, která byla nahrazena plastovým dílem o tloušťce 3 mm. Toto řešení umožňuje nahrazení polohovacího "jazyčku" plastovými clipy a polohovacími trny jak na dílu BFST, tak i na dílu GTR_LI (viz obrázek 30a, 30c a 30d). Clipy a polohovací trny zajistí ustavení dílů BFST a GTR_LI stabilněji a přesněji do předmontážní pozice a tím urychlí montážní proces na výrobní lince.

Přesun spojovacích ploch dílu GTR_LI pod díl BFST umožnil posunutí děr pro šrouby blíže pohledovým plochám nárazníku a tím splnění požadavků zákazníka. Porovnání vzdáleností děr pro šrouby od pohledové plochy dílu VKL_OT je zobrazené na obrázku 31. Kvůli přesunutí spojovacích ploch pod BFST do nich nutno bylo vytvořit otvory, které umožňují použití nástrčných hlavic při montáži spojovacích šroubů (viz obrázek 30b).

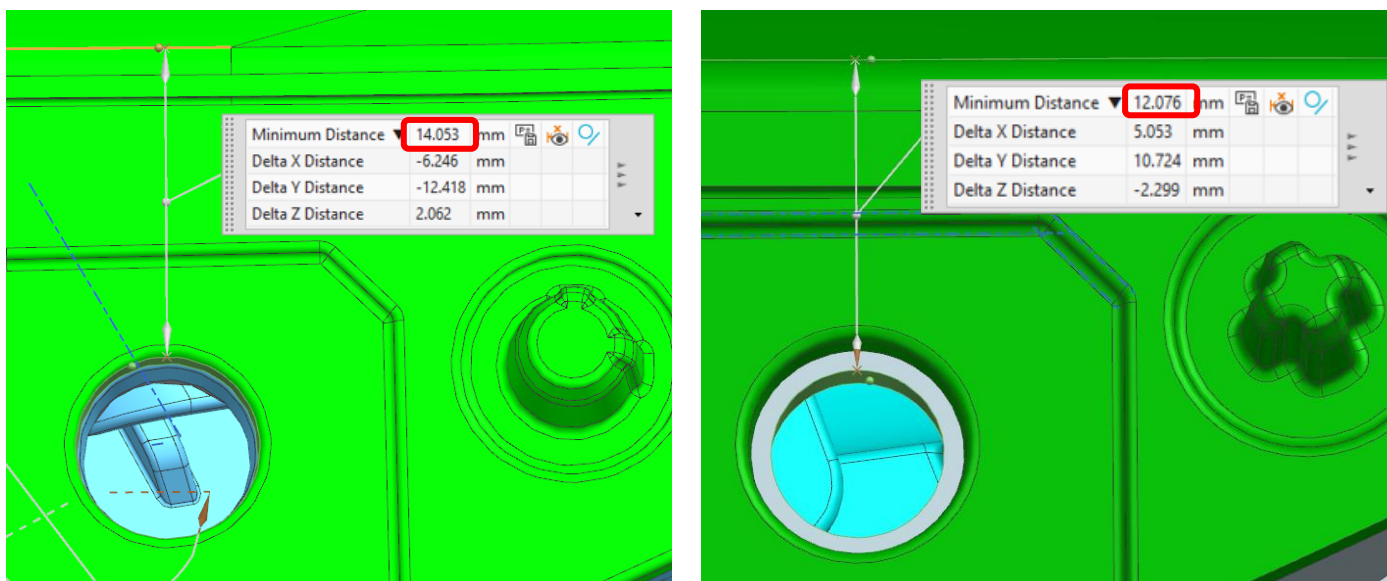
Nahrazení plechového ohýbaného dílu plastovým bylo nutno kompenzovat, aby bylo dosaženo obdobných mechanických vlastností. Jelikož se jednalo o problém zahrnující volbu nového materiálu, byl tento problém konzultován přímo se zákazníkem, který po provedení vlastních numerických simulací vyhodnotil jako nejlépe vyhovující výrobně dostupný materiál PA6 GF30 (Nylon s 30% podílem skelného vlákna). Tento materiál má oproti ostatním konvenčním plastům používaným v automobilovém průmyslu zvýšenou mechanickou odolnost, tepelnou (do 150°C) a chemickou odolnost s malým smrštěním po zchlazení výstřiku (cca 0,3 %).



Obrázek 29 - BFST ve fázi DPT-AV – pohled zdola na samostatný díl



Obrázek 30 - BFST ve fázi DPT-AV (a) pohled z vnitřní strany nárazníku, (b) pohled zdola bez dílu VKL_OT, (c) pohled shora, (d) pohled z přední strany nárazníku bez dílu VKL_OT

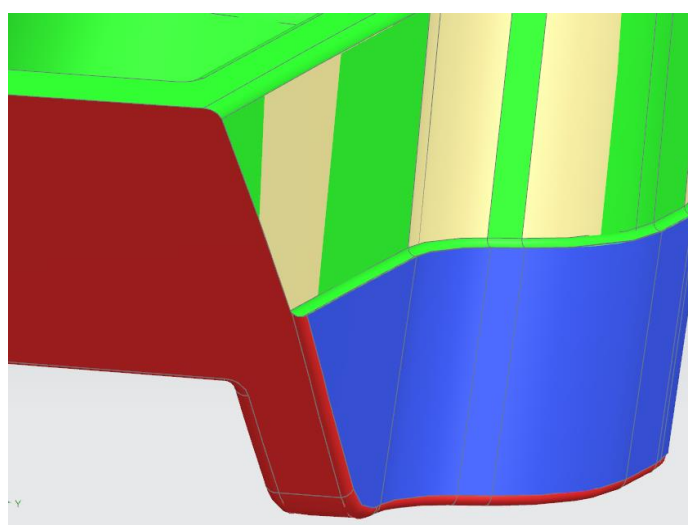


Obrázek 31 - Detailní pohled na díru pro šroub a její vzdálenost od pohledové plochy dílu VKL_OT (a) fáze DPT_S, (b) fáze DPT-AV

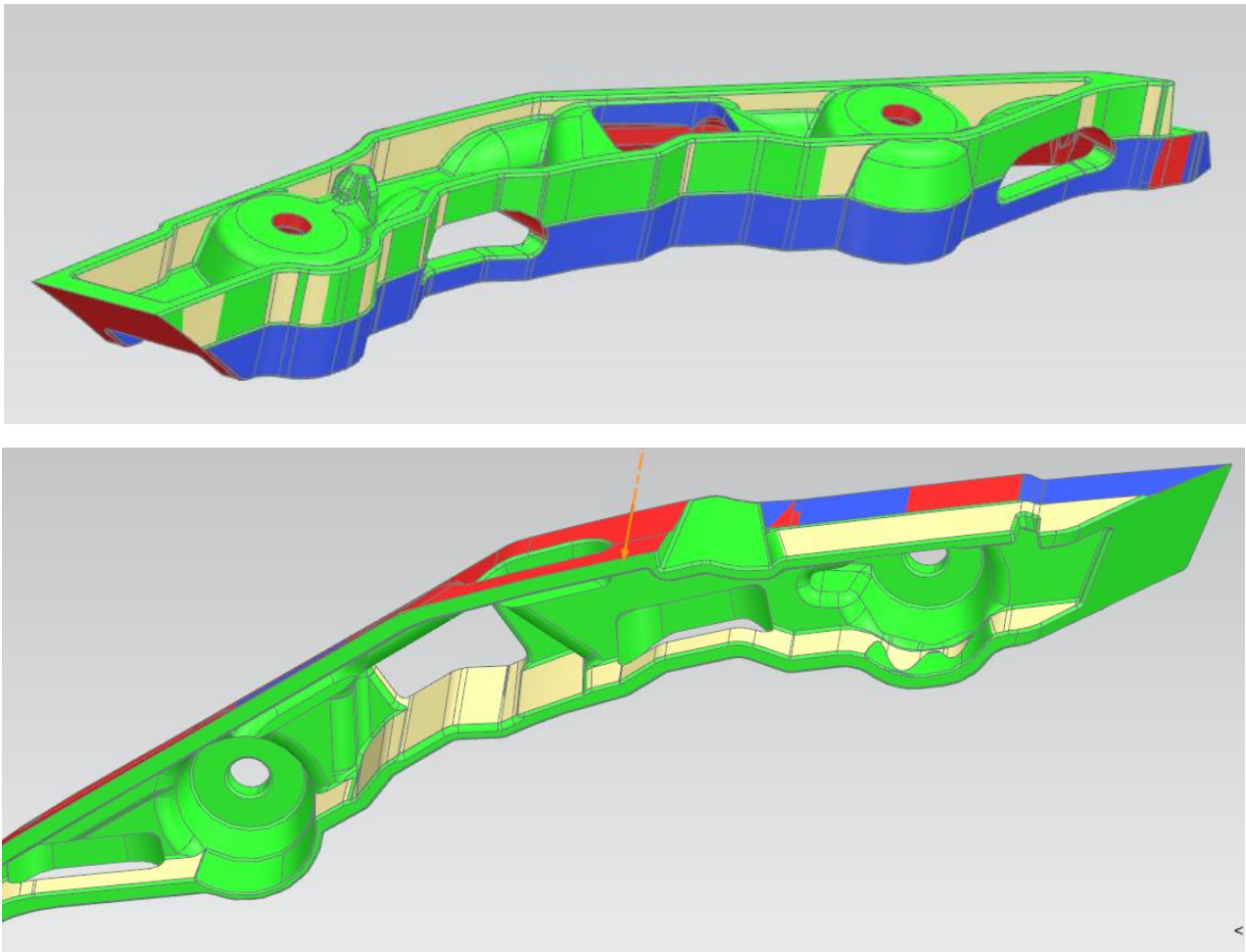
Formovací analýza

Jako směr formování dílu BFST byl zvolen vektor kolmý k vrchní dosedací ploše dílu VKL_OT (největší plocha dílu VKL_OT viditelná na obrázku 30c). Dělicí rovina dílu se nachází zhruba v polovině bočních podélných ploch (viz obrázek 33) a je zde definována ostrou hranou a vnitřním rádiusem (viz obrázek 32). Boční díry pro clipy mají vlastní směry formování.

Díl byl formovací analýzou vyhodnocen jako uspokojivý při formování v hlavním formovacím směru a použití vlastních formovacích směrů pro clipové otvory.



Obrázek 32 - Detailní pohled na hranu a vnitřní rádius tvořící dělicí rovinu dílu BFST



Obrázek 33 - Formování dílu BFST v hlavním formovacím směru (a) pohled z vnitřní strany sestavy a shora, (b) pohled z vnější strany sestavy a zdola

3.4.5 Luftfuehrungssegment (LFTF)

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.2.11, díl LFTF je jeden z konstrukčně nejkomplicovanějších dílů sestavy. Tato diplomová práce se zabývá pouze některými jeho úpravami, a proto zde nebudou popsány všechny jeho úpravy mezi jednotlivými vývojovými fázemi.

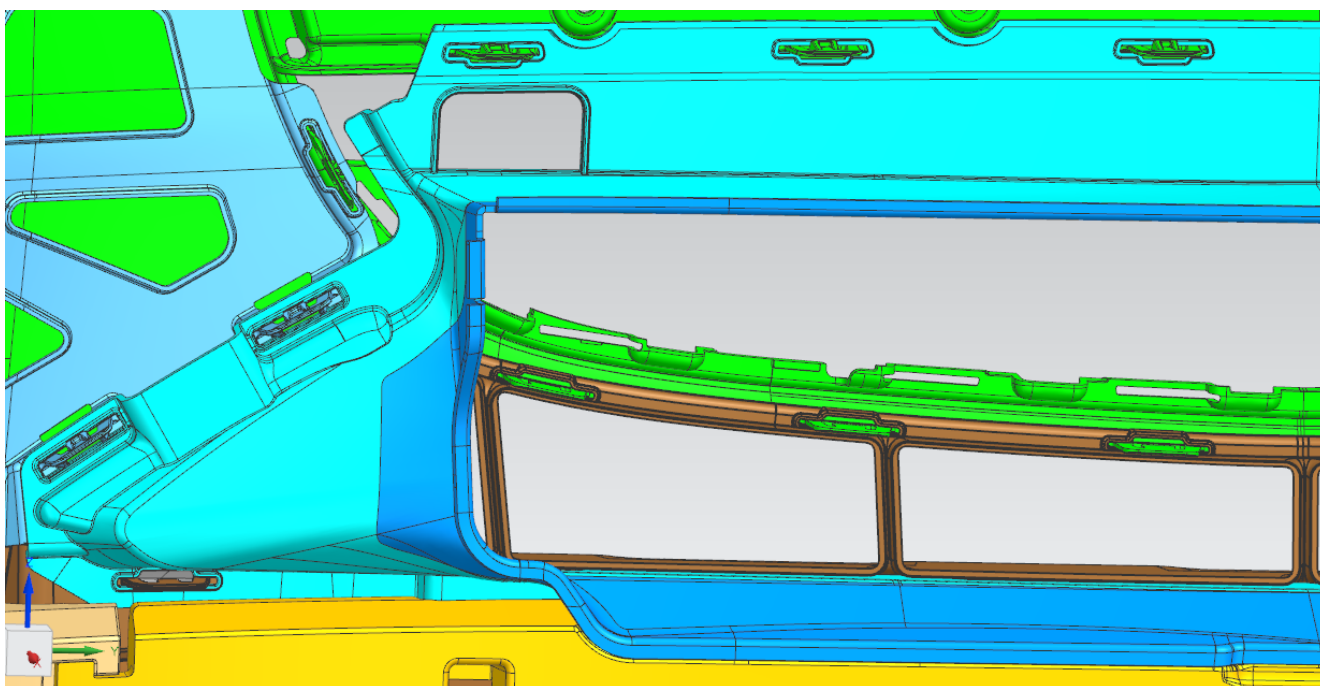
DPT-S

Jelikož díl LFTF nemá zadanou geometrii pohledové plochy, vychází jeho tvar z počátečního orientačního návrhu dodaného zákazníkem, z geometrie okolních dílů, se kterými bude díl spojen a z dané geometrie chladiče, která určuje tvar výstupní části dílu z TPE-V.

Spojení LFTF s okolními díly bylo zajištěno pomocí standardních clipů využitých i u ostatních součástí. Ve spodní části dílu, kde je díl z největší části tvořen měkkým TPE-V a byl by nejvíce ohýbán tlakem proudícího vzduchu, byl díl kromě clipů ještě podepřen tlumící pěnou PRDL_UT_MI. Tímto řešením byla ve spodní části dílu zajištěna jeho tvarová stálost při jízdě.

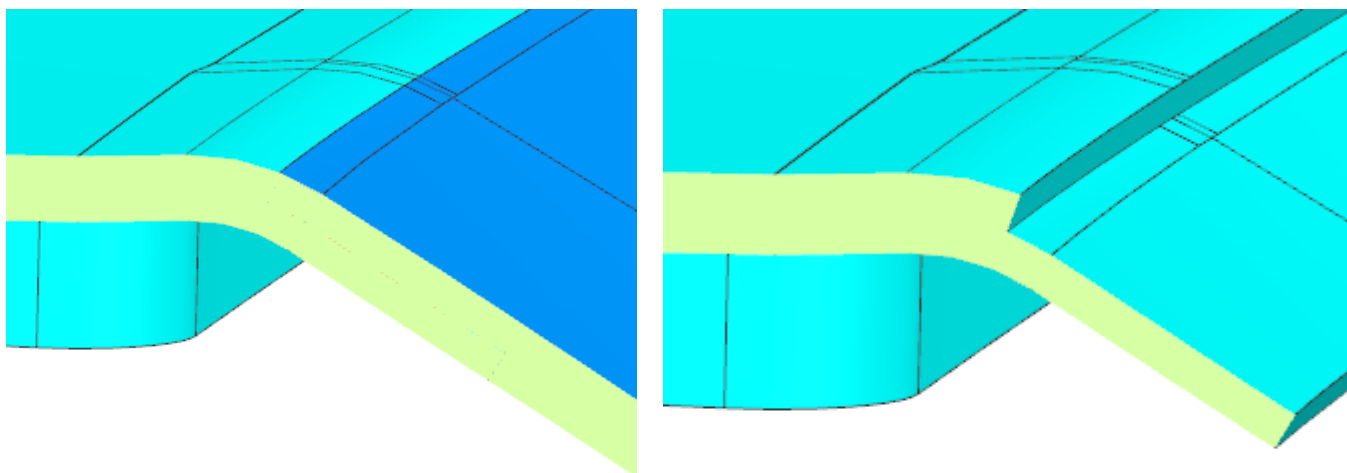
Tvar plochy přivádějící proudící vzduch na chladič (souvislá plocha trojúhelníkového tvaru v levé části dílu na obrázku 34) vycházel z původního návrhu zákazníka. Následně byl postupně upravován a data byla posílána zákazníkovi na provedení zkoušek v aerodynamickém tunelu.

Tato diplomová práce se zabývá ještě upevněním držáku SPZ, který se bude nacházet v horní části dílu LFTF. Ve fázi DPT-S ovšem tato problematika nebyla řešena.



Obrázek 34 - Pohled na díl LFTF v sestavě nárazníku z vnitřní strany

Při konstrukci dílu LFTF bylo nutno brát v potaz, že je tvořen dvěma částmi z dvou různých materiálů (díl je tzv. dvoukomponentní). Výrobní technologie (2K vstřikování) a „know-how“ výroby bylo sice řešeno přímo ve výrobním závodě zákazníka, konstrukčně však bylo nutné vytvořit schod na hranici materiálů, čímž vznikla požadovaná kontaktní plocha nutná pro vytvoření difuzního spoje.



Obrázek 35 - Detail přechodu materiálů na dílu LFTF (a) detail s PP i TPE-V částí, (b) detail pouze s PP částí dílu

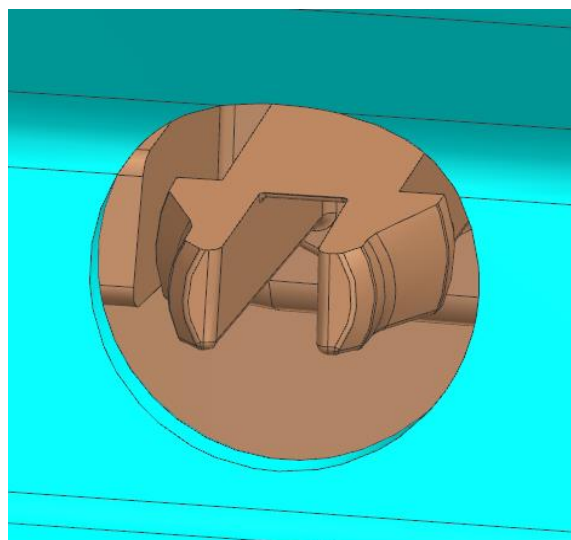
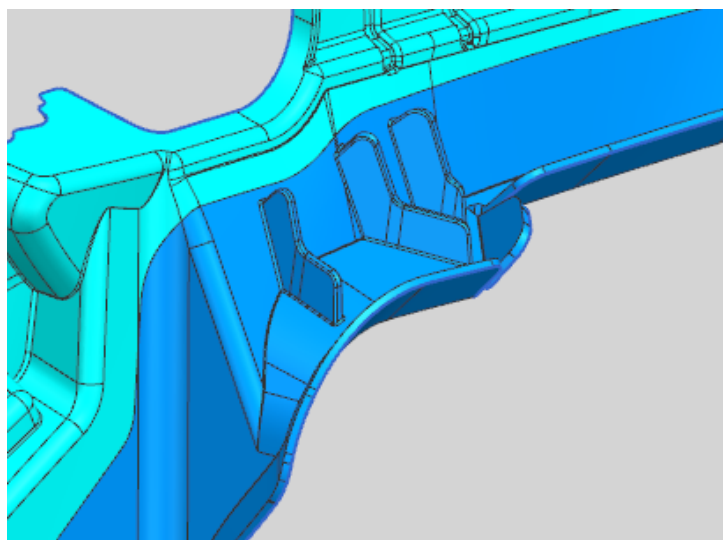
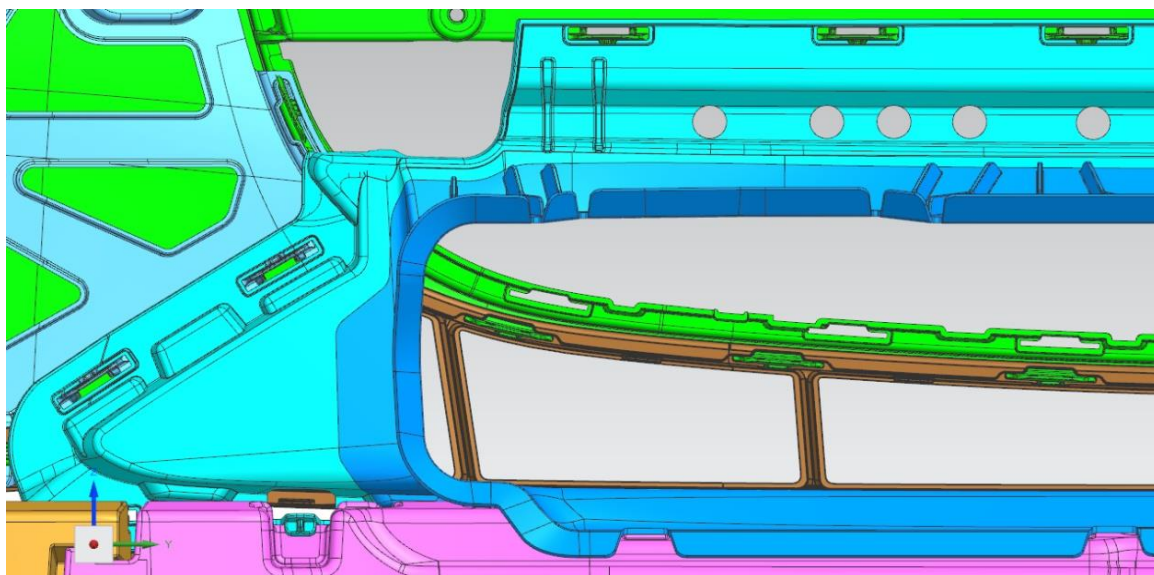
DPT-AV

Řešení spojení dílu LFTF s okolními díly bylo zachováno z fáze DPT-S. Změnila se pouze poloha některých clipů, a to z důvodu úpravy konstrukčního řešení spojovaných dílů. Zachováno bylo i podepření spodní měkké části dílu tlumící pěnou PRDL_UT_MI. Pozměněn byl částečně tvar dosedací plochy, jelikož s přihlédnutím na výsledky zkoušek srážky s chodcem byl díl PRDL_UT_MI upraven.

Plocha přivádějící vzduch na chladič také prošla pouze drobnými úpravami, které vycházely z požadavků zákazníka a jeho testům v aerodynamickém tunelu. Pro základní ověření pevnosti a tuhosti této plochy a celého dílu při jízdě byl proveden v další části této kapitoly pevnostní výpočet metodou MKP.

Upevnění držáku SPZ bylo vyřešeno jednoduchými otvory v horní části dílu LFTF, kterými projdou clipy nakupovaného unifikovaného držáku s protikusem ve tvaru kužele a ustaví tak jeho polohu v nárazníku. Jelikož se díl LFTF vyrábí pro všechny modely daného automobilu na globálním trhu stejný, byly při jeho konstrukci vytvořeny otvory pro všechny varianty SPZ, resp. držáku SPZ.

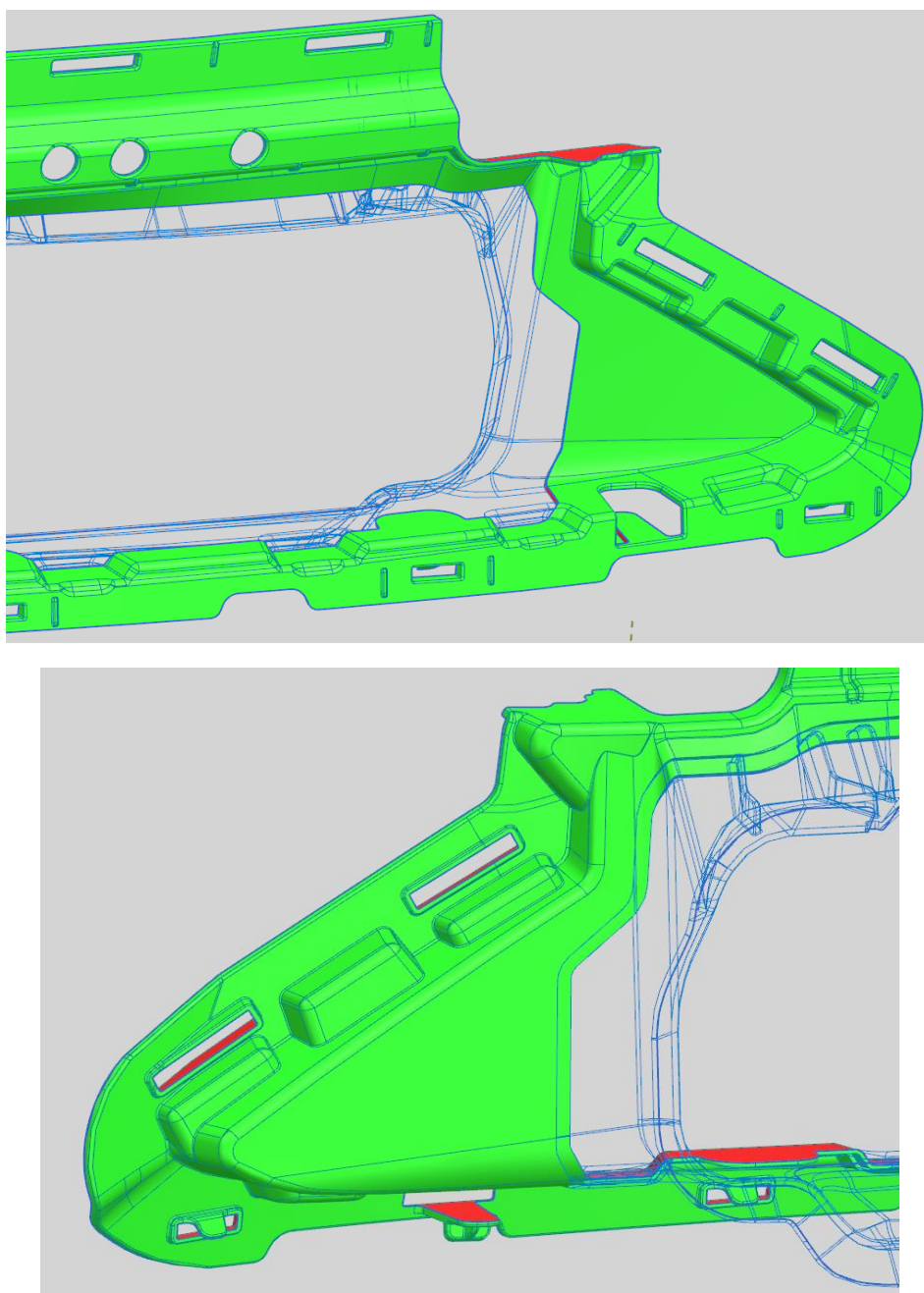
Poslední řešenou úpravou je lem dosedající na chladič nárazníku. Tento lem byl ve fázi DPT-S řešen jen ve zjednodušené variantě, která odpovídala dodané základní geometrii chladiče. Ve fázi DPT-AV bylo již řešeno jeho dosednutí, těsnění a jeho úprava tak, aby při dosednutí na chladič nedocházelo ke zkroucení některých jeho částí. Lem byl pro zajištění určitého předepnutí a vyvození požadované těsnosti sklopen pod úhlem 45° . Při jeho dosednutí na chladič během montáže je tento sklopený lem stlačen. Toto stlačení vyvolá v materiálu lemu napětí, které zajistí jeho těsnost proti úniku proudícího vzduchu mimo chladič. Lem byl také v některých částech (zejména v ohybech) přerušen, aby při stlačení nedošlo k jeho zkroucení. V horní části byla vytvořena žebra, která zvyšují tuhost této části dílu, a ta je tak srovnatelná se spodní částí opřenu o pěnu PRDL_UT_MI.



Obrázek 36 - LFTF ve fázi DPT-AV (a) pohled na levou část LFTF v sestavě nárazníku z vnitřní strany, (b) Detail na lem z materiálu TPE-V dosedající na chladič, (c) detail otvoru pro uchycení držáku SPZ s clipem unifikovaného držáku

Formovací analýza

Formovací analýza byla dle požadavků zákazníka provedena jen na vstupní pevné části LFTF. Směr formování dílu byl zvolen shodný s osou X sestavy nárazníku. Dělicí rovina je tvořena ostrou hranou po celém vnitřním a vnějším obvodu dílu, hranami otvorů pro clipy a háky pro držení tlumící pěny. Formovací analýza neodhalila žádný defekt formování vstupní části LFTF.



Obrázek 37 - Formování vstupní části dílu LFTF v hlavním formovacím směru
(a) pohled z přední strany sestavy, (b) pohled ze zadní strany sestavy

Lakovatelnost

Jelikož díl LFTF není dílem pohledovým, resp. je jím jen malá část plochy přivádějící vzduch na chladič, která se nachází v pohledové zóně B, nebude díl lakován. Analýza lakovatelnosti tudíž nebyla nutná.

Pevnostní analýza

V rámci ověření funkčnosti a pevnosti dílu LFTF při jízdě byl ve spolupráci s oddělením numerických simulací proveden zjednodušený pevnostní výpočet metodou MKP opět v softwaru Abaqus. Pro tento výpočet byla pro zjednodušení použita pouze část dílu v okolí plochy přivádějící vzduch na chladič a byly odstraněny pro pevnostní výpočet nevýznamné prvky (např. dosedací žebra, ...).

Upevnění dílu bylo zjednodušeno pouze na otvory pro clipy a kontaktní plochu na vnějším okraji lemu výstupní části dílu (viz obrázek 39a). Síly působící na plochu přivádějící vzduch na chladič vyvolané prouděním vzduchu za jízdy byly zjednodušeny na jedno spojité zatížení působící na plochu přibližně trojúhelníkového tvaru, která je téměř kolmá na směr jízdy a vliv proudícího vzduchu na ní bude vyvolávat nejvýznamnější silové účinky (viz obrázek 39b). Velikost těchto silových účinků byla vypočtena ze vztahu [3]:

$$F = \frac{1}{2} \cdot c \cdot s \cdot \rho \cdot v^2$$

Součinitel odporu vzduchu – $C = 1,5$

- odhad podle půlkoule (1,42) a oválného sloupu (1,6)

Plocha profilu – $S = 10000 \text{ mm}^2 = 0,01 \text{ m}^2$

- stanoveno dle plochy změřené v sw NX























Hustota vzduchu – $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

Rychlost auta – $v_1 = 150 \text{ km/h} = 41,7 \text{ m/s}$

- volena dle maximální povolené rychlosti v ČR + rezerva 20 km/h

Rychlost vzduchu proti směru jízdy – $v_2 = 15 \text{ m/s}$

- volena rychlost prudkého větru, při které ještě není vyhlášeno ohrožení běžného provozu na dopravních komunikacích

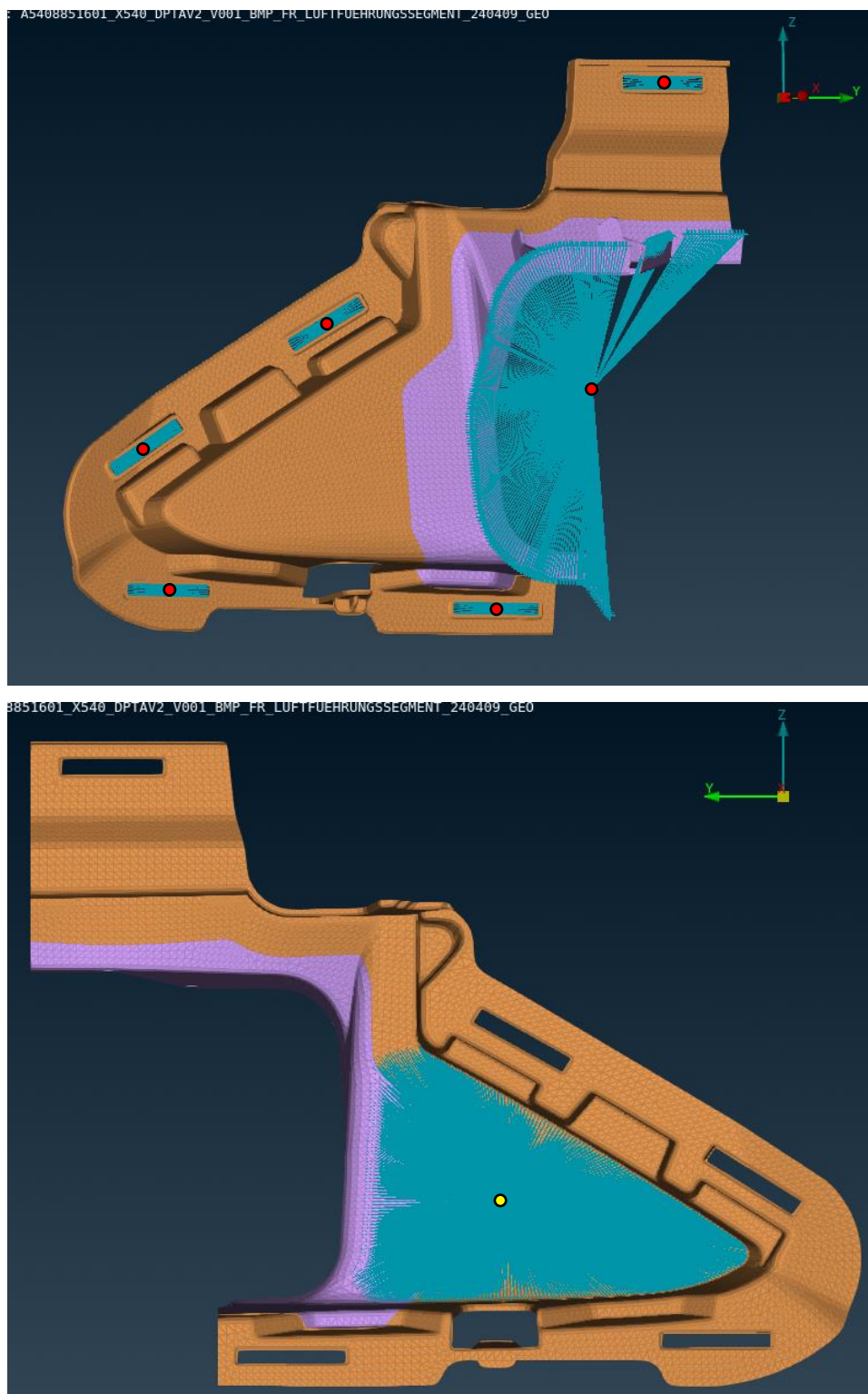
	0.38		1.16
	0.42		1.17
	0.47		1.20
	0.50		1.55
	0.59		1.55
	0.80		1.60
	1.05		1.98
	1.17		2.00
	1.17		2.05
	1.38		2.20
	1.42		2.30

Obrázek 38 - Příklady hodnot koeficientu odporu pro různé tvary [20]

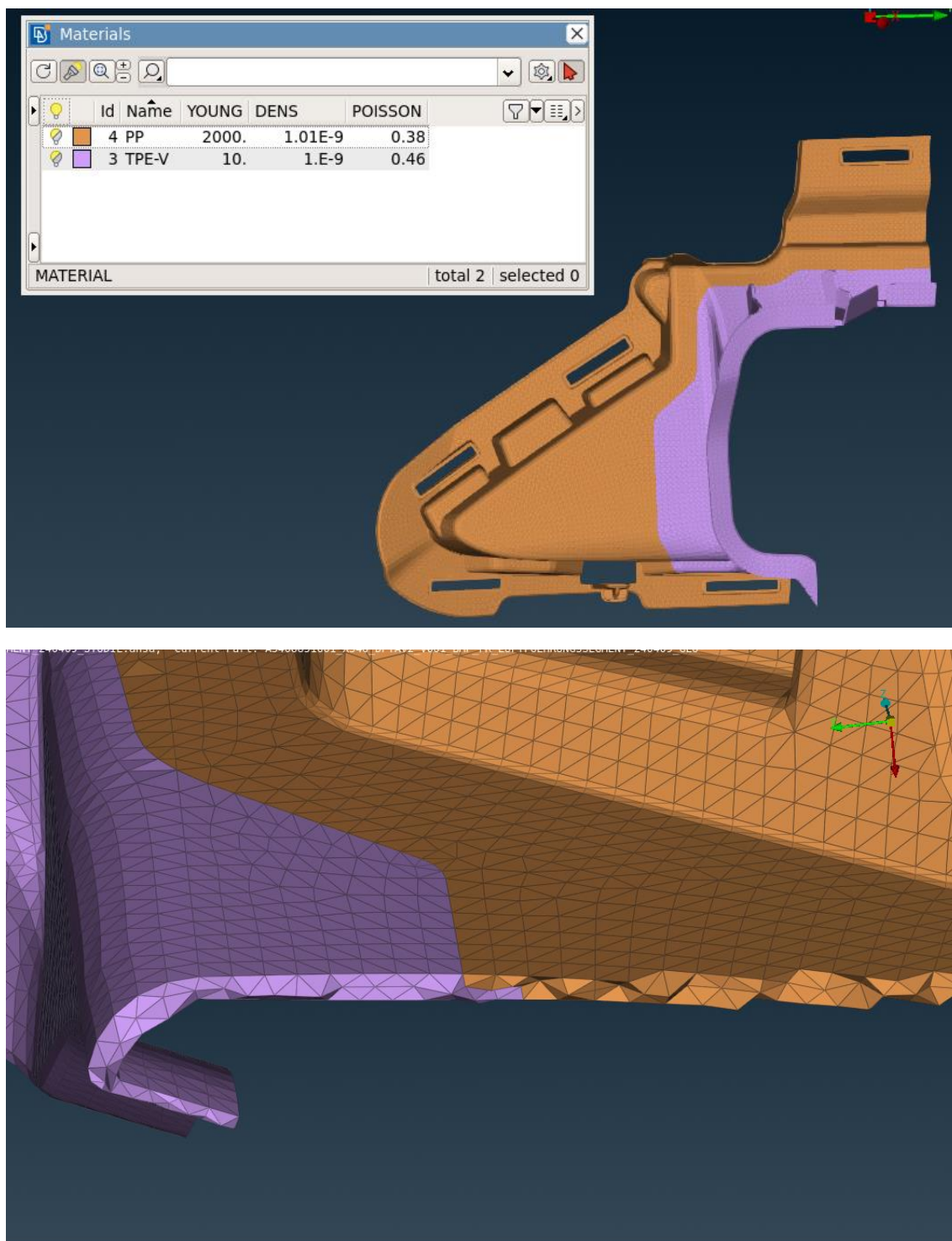
$$v = v_1 + v_2 = 41,7 + 15 = 56,7 \text{ m/s}$$

$$F = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 0,01 \cdot 1,25 \cdot 56,7^2 = 30,14 \approx 30 \text{ N}$$

Výsledná odporová síla – $F = 30 \text{ N}$



Obrázek 39 - Vysíťovaný model (tertahedron síť s velikostí elementů cca 3,5 mm) použité části dílu LFTF
(a) zobrazené body fixace ve všech stupních volnosti fixované pomocí RBE prvků,
(b) zobrazený bod zatížení se zatížením rozneseným na zátěžnou plochu pomocí RBE prvku



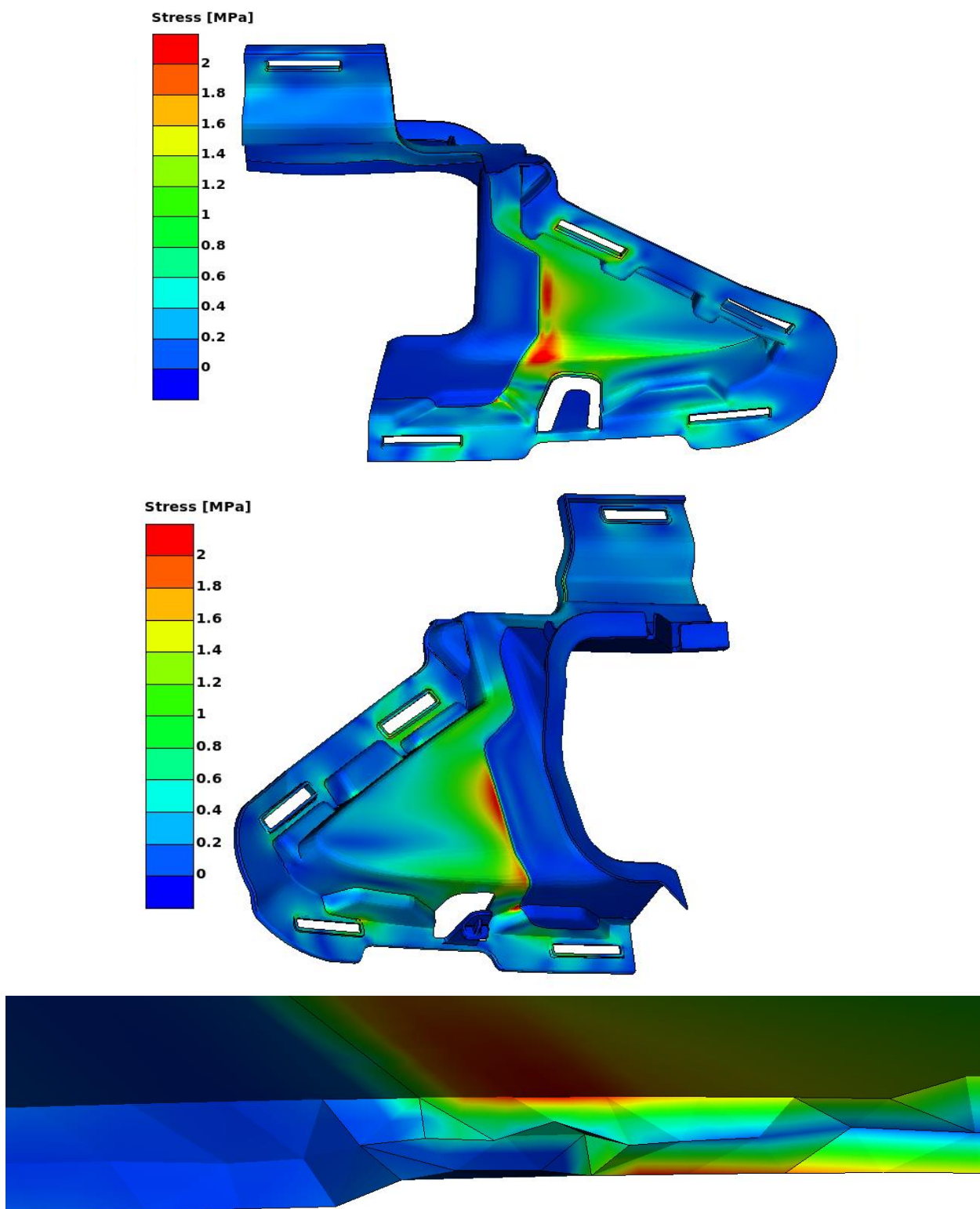
Obrázek 40 - Vysíťovaný model použité části dílu LFTF (a) pohled s přiloženou tabulkou materiálů, (b) detail na řez síti v místě spoje vstupní a výstupní části dílu

Výsledky numerické simulace

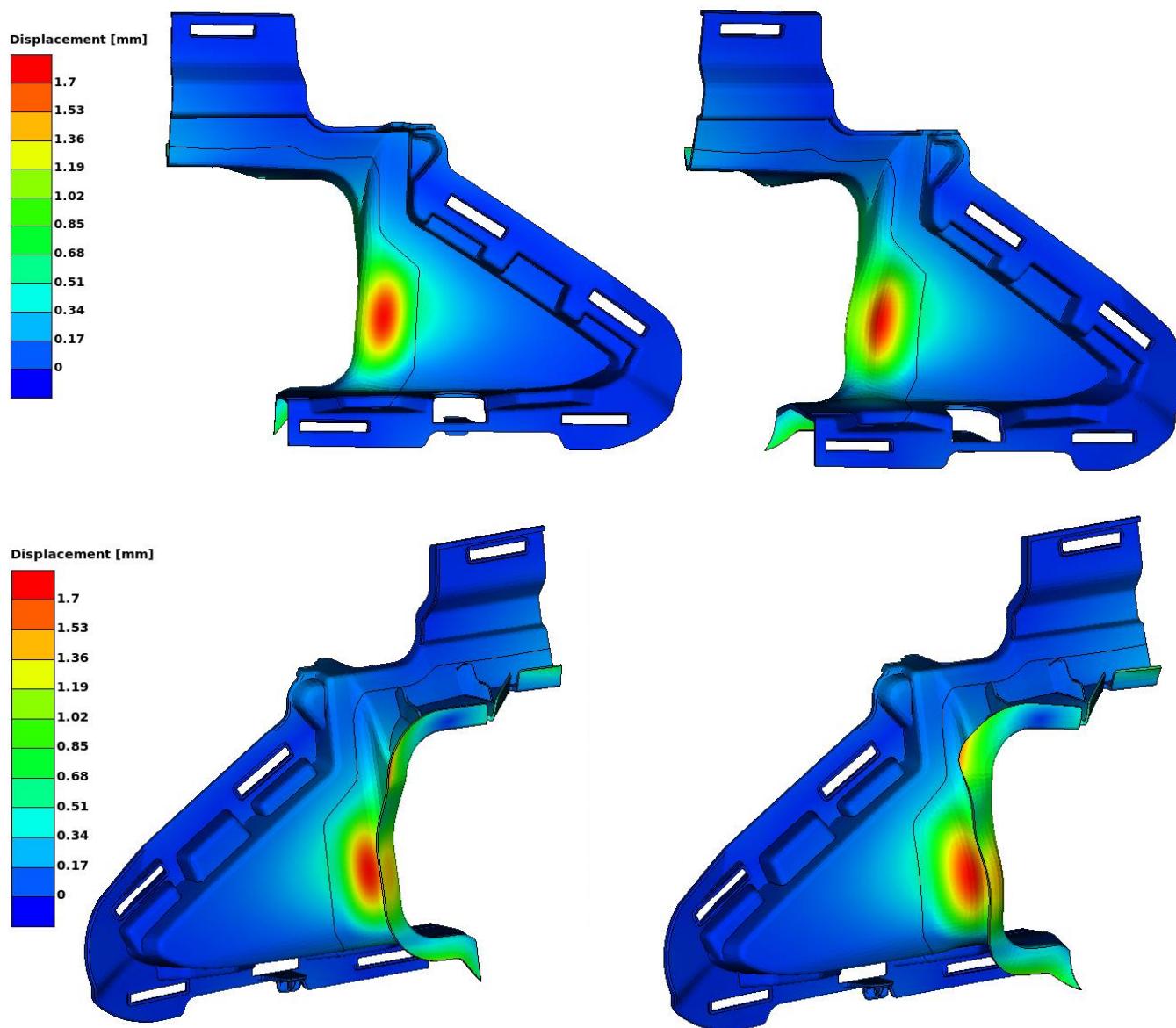
Výsledky numerické simulace ukázaly, že spojitě zatížení vyvozené tlakem proudícího vzduchu vyvolává ve zkoumané části dílu (vzhledem k modulu pružnosti v tahu (viz obrázek 40a) pouze zanedbatelné ohybové napětí. Toto napětí je navíc vyvolané převážně ve vstupní části dílu z materiálu PP (viz obrázek 41), který má modul pružnosti výrazně větší, než materiál TPE-V.

Největší deformace byly naopak zjištěny ve výstupní části z materiálu TPE-V (viz obrázek 42). Tyto deformace zformují při jízdě v této části dílu malou kapsu, která by mohla negativně ovlivnit proudění vzduchu. Jedná se ovšem o deformace zformované za jízdy rychlostí vyšší, než je maximální povolená rychlost v ČR, kombinovanou s vysokou rychlostí vzduchu působící proti směru jízdy.

Touto zjednodušenou simulací byla ověřena funkčnost dílu z hlediska odolnosti vůči silám vyvolaným tlakem proudícího vzduchu. Pro přesnější výsledky by bylo zapotřebí provést simulace proudění vzduchu ve větrném tunelu, čímž by bylo možné zjistit přesnější hodnoty součinitele odporu vzduchu a lépe definovat polohu, velikost a směr zatěžujících sil. Pro potřeby konstrukce v této fázi vývoje byl po shodě se zákazníkem díl LFTF vyhodnocen jako vyhovující z hlediska deformací vyvolaných prouděním vzduchu za jízdy.



Obrázek 41 - Průběh napětí vyvolaného tlakem proudícího vzduchu ve zkoumané části dílu LFTF
(a) pohledová strana, (b) zadní strana, (c) detailní řez v místě spojení vstupní a výstupní části



Obrázek 42 - Deformace vyvolané tlakem proudícího vzduchu ve zkoumané části dílu LFTF (vlevo) skutečné deformace, (vpravo) 10000x zvětšené deformace

4 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá optimalizačním návrhem vnitřních částí nárazníku osobního silničního vozidla. Cílem bylo zlepšení funkčních vlastností, zjednodušení montáže a efektivity výroby plastových dílů nárazníku. Práce se skládá z teoretické části, kde jsou rozebrány základní kritéria konstrukce nárazníků, použité materiály, prováděné nárazové zkoušky a numerické simulace a z části praktické, kde jsou podrobně popsány jednotlivé fáze vývoje nárazníku a optimalizační návrhy konkrétních dílů.

Hlavním přínosem práce je kapitola "Optimalizační návrh vybraných dílů sestavy nárazníku", která se zaměřuje na specifické úpravy a vylepšení několika vybraných komponent. Například, u dílu Abdeckung (ABDK) a PTS Adapteru (PTS-2) bylo dosaženo významného snížení hmotnosti, zjednodušení a urychlení kompletace na montážní lince díky použití optimalizovaného konstrukčního konceptu dané podsestavy. Tento přístup byl aplikován i na další díly, jako jsou Zeirleiste (ZRLS), Abdeckung Abschleppöse (ABSCH), Befestigungsschiene (BFST) a Luftfuehrungssegment (LFTF). U dílů ZRLS a LFTF byly provedeny analýzy pomocí metody konečných prvků (MKP), které měli za úkol ověřit pevnost dílů při zatížení nebo montáži. Pro přesnější výsledky těchto simulací by ovšem bylo za potřebí větší množství vstupních dat jako například přesné velikosti a směry působení zátěžujících sil a další doplňující informace ideálně získané z experimentální testů.

Praktická část diplomové práce se dále zabývá hodnocením změn a úprav dílů s ohledem na jejich vyrobiteľnosť, montáž, lakovatelnosť a ďalší technické a funkční aspekty. Bylo zjištěno, že optimalizované díly nejenže zlepšily celkovou funkčnost a smontovatelnost nárazníku, ale také přispěly k efektivnější výrobě a snížení nákladů. Toto je zvláště důležité v kontextu automobilového průmyslu, kde je tlak na minimalizaci výrobních nákladů a zároveň na zvyšování kvality a bezpečnosti výrobků.

Mimo zaměření na optimalizační návrhy dílů nárazníku práce poskytuje také širší kontext týkající se konstrukce nárazníků a plastových dílů obecně. Teoretická část obsahuje detailní přehled o typech materiálů používaných při výrobě nárazníků, jako jsou ABS, ASA, TPE, PC, PMMA a PP a jejich specifických vlastnostech a aplikacích. Dále jsou popsány různé typy nárazových zkoušek, které jsou klíčové pro hodnocení bezpečnosti nárazníků, včetně testů při nízké a vysoké rychlosti a zkoušek srážky s chodcem a také základní informace o matematických modelech a pevnostních výpočtech metodou konečných prvků.

Výsledky a poznatky z této práce mohou sloužit nejen jako základ pro vývoj dalších dílů nárazníků v zadávající firmě, ale také jako praktický návod pro inženýry a designéry pracující na podobných projektech. Závěrem lze konstatovat, že práce splnila stanovené cíle a přinesla uspokojivé výsledky, které přispívají k efektivnější a funkční konstrukci daných dílů automobilového nárazníku.

5 Použité zdroje

- [1] ČAPEK, Lukáš, HÁJEK Petr, HENYŠ Petr a kolektiv. *Biomechanika člověka*. Grada Publishing a.s., 1. vydání, 2018, Praha.
- [2] DAVOODI, M.M.; SAPUAN, S.M.; AIDY, A.; ABU OSMAN, N.A.; OSHKOUR, A.A. et al. Development process of new bumper beam for passenger car: A review. Online. *Materials & Design*. 2012, č. 40, s. 304-313. ISSN 0261-3069. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306912002348>. [cit. 2023-10-13].
- [3] Dopocitej.cz. Online. 2024. Dostupné z: https://www.dopocitej.cz/odporova_sila.html. [cit. 2024-05-11].
- [4] DUBSKÝ, Petr. *Optimalizace konstrukce a technologie plastového dílu*. Diplomová práce, vedoucí Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006.
- [5] FUKAL, David. *Optimalizace upevnění nárazníku osobního automobilu*. Diplomová práce, vedoucí Doc. Ing. Ladislav Ševčík, CSc. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004.
- [6] FUSEK, Martin a FOJTÍK, František. *Týmová cvičení z předmětu MKP I: návody do cvičení předmětu "MKP I"*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2011. ISBN 978-80-248-2729-2.
- [7] KANDUS, Bohumil. *Technologie zpracování plastů (HTZ): Přednášky a cvičení. Obor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno*, 2016.
- [8] KAZMER, David O. *Injection Mold Design Engineering*. Mnichov: Hanser, 2007. Mold Cost Estimation, s. 37-66.
- [9] KOLÍNKOVÁ, Andrea. *Numerická simulace pádu horolezce*. Bakalářská práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2021.
- [10] KREBS, Josef.: *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Liberec: TU v Liberci, 2001. 25 s. ISBN 80-7083-449-8.
- [11] LENFELD, Petr.: *Zvyšování kvality plastových dílů pomocí měření a simulace*. Habilitační práce. Liberec: TU v Liberci, 2000.
- [12] MALLOY, Robert. *Plastic Part Design for Injection Molding: An Introduction*. Mnichov: Hanser, 2011, ISBN 3446404686.
- [13] NAIJAR, Petr. *Konstrukce plastových dílů předního nárazníku sportovního automobilu*. Diplomová práce, vedoucí Ing. Daniel Koutný, Ph.D. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011.
- [14] Resinex.cz. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.resinex.cz/polymerove-typy/tpe.html>. [cit. 2024-05-08].
- [15] ŠAFAŘÍK, Miroslav.: *Nástroje pro tváření kovů a plastů I*. Liberec: VŠST v Liberci, 1987, ISSN 55-823-86.
- [16] Tech Portál. Online. 2015. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/>. [cit. 2024-02-15].
- [17] *Titan Multiplast*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.titan-multiplast.cz/>. [cit. 2024-02-15].

[18] VÁCLAVÍK, Lukáš. *Optimalizace výstupní kontroly kvality v sériové výrobě ve ŠKODA AUTO a.s.* Bakalářská práce, vedoucí Ing. et Ing. Martin Foltá, Ph.D., EUR ING. Mladá Boleslav: Škoda Auto Vysoká škola, o.p.s., 2017. Dostupné také z: <https://theses.cz/id/z8qb4t/23676236>.

[19] *Vstřikovací stroj*. Online. In: Publi.cz. 2014. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/01.html>. [cit. 2023-12-04].

[20] Wikipedia. Online. 2023. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cintel_odporu. [cit. 2024-05-11].