



Konstrukční návrh uložení mlhového světlometu

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: **Bc. Jan Fryc**
Vedoucí práce: Ing. Jan Novák, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Fryc**
Osobní číslo: **S12000674**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce strojů a zařízení**
Název tématu: **Konstrukční návrh uložení mlhového světloometu**
Zadávací katedra: **Katedra vozidel a motorů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte tvarový návrh součástí upevňujících světlomet v nárazníku s ohledem na funkci a výrobu.
2. Navrhněte způsob upevnění jednotlivých součástí mezi sebou (smontovatelnost).
3. Navrhněte a porovnejte možné spojovací prvky.
4. Zkontrolujte kinematiku montáže sestavy.
5. Ověřte pevnost analýzou MKP ve vybraných bodech na Pendulum test (simulace nárazu).
6. Při řešení spolupracujte s firmou BEKO Engineering spol. s r.o..

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

50 stran + CD

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. PEŠÍK, L.: Části strojů. 1. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4.
2. PEŠÍK, L.: Části strojů 2. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-939-2.
3. VLK, F.: Karoserie motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno, 2000.
4. Firemní podklady a www.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Novák, Ph.D.

Katedra vozidel a motorů

Datum zadání diplomové práce:

15. listopadu 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

15. února 2017

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



Ing. Robert Voženílek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2015

Prohlášení

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.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

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

Datum: 25.5.2016

Podpis: Jan Fyge

Anotace

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem uložení mlhového světloometu v přední části vozidla. Plastové součásti jsou navrženy s ohledem na funkci, design, montáž, výrobitelnost a technologické zásady vstřikování plastových dílů. Vedle tvarového návrhu součástí se práce věnuje způsobům spojení s okolními díly. Jednotlivé možnosti spojení jsou mezi sebou porovnány a na základě jejich vlastností vybrány vhodné prvky, které plní všechny požadované atributy. Velká pozornost je věnována způsobu a náročnosti montáže, která se předpokládá v řádech tisíců kusů. Na závěr je provedena pevnostní analýza metodou konečných prvků, která odhaluje nejslabší místo sestavy. Simulace nárazu kyvadla do určeného bodu definuje místo vzniku prvních trvalých deformací při určité rychlosti nárazu.

Klíčová slova

Háčkový spoj, mlhový světloomet, plastové díly, přední nárazník, vstřikování plastů

Annotation

This diploma thesis is dealing with structural layout of fog light mounting in the front part of a vehicle. Plastic components are drafted with regard to functionality, design, assembly, producibility and technological principal of plastic component injection. Besides outlining the shape of the components, this paper is also dealing with methods of connecting these components with surrounding parts. Individual methods of connection are compared and based on their properties, suitable ones that fulfil all the required attributes are chosen. Major attention is given to the method and difficulty of assembly, which is presumed to be in the order of thousands of pieces. In conclusion, using the finite element method, a strength analysis which reveals the weakest point of the structure, is performed. Simulation of pendulum impact into designated point determines the location of origin of initial permanent deformations at specific impact speed.

Key Words

Cantilever snap hook, foglamp, front bumper, injection molding, plastic parts

Obsah

Seznam zkratek	10
Seznam tabulek	11
Seznam obrázků	12
Úvod.....	14
1. Problematika přední části vozidla	15
1.1 Front-End modul	15
1.2 Požadavky na přední mlhový světlomet.....	17
2. Zásady konstruování vstřikovaných plastových dílů.....	18
2.1 Tloušťka stěn	18
2.2 Zaoblení hran a rohů	19
2.3 Návrh žebrování	20
2.4 Úkosy.....	21
2.5 Posuvné jádra	21
2.6 Plastové díly v automobilovém průmyslu	22
2.7 Plastové materiály používané v automobilovém průmyslu	23
2.7.1 Termoplasty	24
2.7.2 Elasticky modifikovatelné plasty	24
2.8 Způsoby spojování plastových dílů	25
2.8.1 Pružné spoje - háčkový spoj (klip)	25
2.8.2 Plastové nýty (push-piny)	27
2.8.3 Šroubové spoje.....	28
2.8.4 Kovové nýty.....	29
3. Požadavky na vypracování	30
3.1 Zásady pro vypracování a vymezení cílů práce	30
3.1.1 Tvarový návrh součástí s ohledem na funkční a technologické požadavky	30
3.1.2 Smontovatelnost jednotlivých součástí	31
3.1.3 Porovnání jednotlivých spojovacích prvků.....	32
3.1.4 Ověření pevnosti pomocí MKP Analýzy.....	33
3.2 Vstupní data.....	34
3.2.1 Jednotka mlhového světlometu	35
3.2.2 Přední nárazník, spodní spoiler a ostatní díly	36
3.3 Parametrické modelování.....	37
3.3.1 Tvorba modelu	37
3.3.2 Struktura modelu	38
3.3.3 Sestava a vazby mezi modely	39

3.4	Kontrolní analýzy	40
3.4.1	Draftová analýza	40
3.4.2	Analýza tloušťky stěn modelu	41
3.5	Zvolené materiály	42
3.5.1	PP/EPDM T20	42
3.5.2	ASA.....	43
4.	Spojovací prvky.....	44
4.1	Porovnání spojovacích elementů	44
4.2	Návrh háčkového spoje.....	47
4.2.1	Diskretizace modelu	47
4.2.2	Okrajové podmínky a zatížení	48
4.2.3	Výsledky výpočtu.....	49
5.	Konstrukční návrh uchycení mlhového světlometu.....	51
5.1	Hlavní držák mlhového světlometu.....	51
5.1.1	Podmínky konstrukce a vstupní parametry	52
5.1.2	Primární tvarování dílu.....	53
5.1.3	Spojení s nárazníkem.....	54
5.1.4	Uchycení jednotky mlhového světlometu.....	57
5.1.5	Realizace tunelu pro proudění vzduchu k brzdám	60
5.1.6	Spojení držáku s předním spoilerem	62
5.1.7	Spojení s předním podběhem.....	64
5.1.8	Kontrolní analýzy.....	66
5.2	Externí kryt mlhového světlometu	68
5.2.1	Podmínky konstrukce a vstupní parametry	68
5.2.2	Tvarování dílu	69
5.2.3	Spojení s hlavním držákem mlhovky	70
5.2.4	Povrchová úprava chromováním.....	74
5.2.5	Kontrolní analýzy.....	76
6.	Montáž sestavy	78
6.1	Montážní požadavky a podmínky	78
6.2	Postup montáže.....	79
6.2.1	Montáž podsestavy mlhového světlometu	79
6.2.2	Postup montáže sestavy	80
6.3	Komponenty montáže - katalog.....	83
6.3.1	Katalog hlavních komponentů	83
6.3.2	Katalog spojovacích prvků	84

7. Pevnostní analýza	85
7.1 Pendulum test držáku mlhovky.....	85
7.1.1 Podmínky a cíle simulace	86
7.1.2 Příprava modelů a sestavy (preprocesor).....	87
7.1.3 Diskretizace modelu	89
7.1.4 Okrajové podmínky sestavy.....	90
7.1.5 Výpočet nárazové síly	92
7.1.6 Distribuce zatěžující síly	93
7.1.7 Výsledky analýzy	94
Závěr	97
Seznam použité literatury	98
Seznam příloh	100

Seznam zkratek

ABS	-	Akrylonitril-butadien-styren
ASA	-	Acrylester-styrol-acrylnitril
CATIA	-	Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application
CAD	-	Computer Aided Design
	-	Počítačová podpora navrhování
EHK	-	Evropská hospodářská komise
EPDM	-	Etylen-propyl-dien
EPDM T20	-	Etylen-propyl-dien s přídavkem talku 20%
FEM	-	Front-End modul
	-	Přední modul vozidla
iges	-	univerzální formát pro přenos plošné geometrie
MKP	-	Metoda konečných prvků
NX	-	program pro podporu činnosti v konstrukci a výrobě
PA	-	Polyamid
PBT	-	Polybutylen-tereftalát
PC	-	Polykarbonát
PE	-	Polyethylen
PMMA	-	Polymethylakrylát
POM	-	Polyoxymetylén
PP	-	Polypropylen
PS	-	Polystyren
PUR	-	Polyuretan
PVC	-	Polyvinylchlorid
SAN	-	Styrén-akrylnitril

Seznam tabulek

Tabulka 1: Tloušťky stěn pro vybrané plastové materiály	19
Tabulka 2: Vlastnosti materiálu PP/EPDM T20.....	42
Tabulka 3: Vlastnosti materiálu ASA	43
Tabulka 4: Výsledky porovnání spojovacích prvků	44
Tabulka 5: Hodnoty koeficientu důležitosti	45
Tabulka 6: Celkové výsledky porovnání spojovacích prvků	46
Tabulka 7: Výsledky MKP analýzy háčkového spoje	49
Tabulka 8: Katalog hlavních součástí sestavy	83
Tabulka 9: Katalog spojovacích součástí sestavy	84
Tabulka 10: Tuhost sestavy.....	93
Tabulka 11: Síla nárazu impactoru	93

Seznam obrázků

Obrázek 1: Front-End modul vozu Audi Q7	15
Obrázek 2: Sestava Front-End modulu	16
Obrázek 3: Pozice předních světlometů osobního vozu	17
Obrázek 4: Příklady poškození dílů s proměnnou tloušťkou stěny	18
Obrázek 5 : Krabicový efekt a jeho řešení pomocí zaoblení.....	20
Obrázek 6: Ukázka propadliny a rozměrů pro konstrukci žeber	20
Obrázek 7: Úkos stěn plastového dílu.....	21
Obrázek 8: Příklad posuvného jádra	22
Obrázek 9: Sestava předního blatníku z plastu vozu BMW X5	23
Obrázek 10: Příklad použití plastů v automobilovém průmyslu	23
Obrázek 11: Příklady pružných spojů	25
Obrázek 12: Typy pružných spojovacích klipů	26
Obrázek 13: Rozměry klipu	27
Obrázek 14: Torzní háčkový spoj.....	27
Obrázek 15: Typy plastových nýtů	28
Obrázek 16: Příklad plechových pružných matic	28
Obrázek 17: Princip funkce kovového nýtového spoje	29
Obrázek 18: Náklady vstřikovaných dílů.....	31
Obrázek 19: MKP - Velikost sítě.....	34
Obrázek 20: Vstupní data pro konstrukci.....	35
Obrázek 21: Jednotka mlhového světlometu.....	35
Obrázek 22: Způsob spojení vstupních dílů mezi sebou.....	37
Obrázek 23: Struktura startovacího modelu v programu NX10.....	39
Obrázek 24: Draftová analýza	41
Obrázek 25: Pavučinový diagram vlastností spojovacích prvků	45
Obrázek 26: Celkové výsledky porovnání spojů	46
Obrázek 27: Ohyb klipu při montáži	47
Obrázek 28: Skica klipu a detail sítě modelu	47
Obrázek 29: Zatížení definované vertikálním posunem	48
Obrázek 30: Zatížení definované silou	49
Obrázek 31: Ukázka výsledku MKP analýzy klipu	50
Obrázek 32: Držák mlhového světlometu a okolí	51
Obrázek 33: Vstupní pohledová plocha (A-surface)	52
Obrázek 34: Spojovací prvky držáku.....	54
Obrázek 35: 2D řez C-kanálem	55

Obrázek 36: 3D řez C-kanálem	56
Obrázek 37: Řez spodním klipovým spojem nárazníku s držákem.....	57
Obrázek 38: Návrh domečků pro uchycení jednotky mlhového světlometu	58
Obrázek 39: Montážní sestava jednotky mlhového světlometu s hlavním držákem.....	59
Obrázek 40: Sestava ve smontované podobě	60
Obrázek 41: Vzduchový kanál držáku mlhového světlometu v sestavě	61
Obrázek 42: Otvory pro spojení se spodním spoilerem.....	62
Obrázek 43: Výztužná žebra spojovací konzole, pohled ve směru osy y	63
Obrázek 44: Spojovací díry předního podběhu	64
Obrázek 45: Spojení hlavního držáku s podběhem	65
Obrázek 46: Draftová analýza hlavního držáku mlhovky.....	66
Obrázek 47: Analýza tloušťky stěn modelu	67
Obrázek 48: Externí kryt a okolní díly.....	68
Obrázek 49: Vstupní designová plocha externího krytu	69
Obrázek 50: 2D řez profilem externího krytu	70
Obrázek 51: Externí kryt mlhového světlometu.....	71
Obrázek 52: Řez spojovacím prvkem	72
Obrázek 53: Torzní klip	72
Obrázek 54: Oblast klipového spoje	73
Obrázek 55: Úchytné žebro pro proces chromování (červeně)	75
Obrázek 56: Draftová analýza externího krytu mlhovky.....	76
Obrázek 57: Analýza tloušťky stěn externího krytu	77
Obrázek 58: Montáž podsestavy mlhového světlometu	80
Obrázek 59: Hlavní montážní sestava části front-end modulu.....	81
Obrázek 60: Výztuhy pro MKP analýzu.....	86
Obrázek 61: Zatěžující síla (zeleně)	87
Obrázek 62: 3D a 2D kolize přítlačného žebírka.....	88
Obrázek 63: 3D elementy programu Catia V5	89
Obrázek 64: 3D síť pracovní sestavy	90
Obrázek 65: Okrajové podmínky sestavy	91
Obrázek 66: Schéma kyvadla	92
Obrázek 67: Výsledky distribuce deformační síly mezi jednotlivé spoje.....	94
Obrázek 68: Místo prvních plastických deformací v sestavě.....	95
Obrázek 69: Pevnostní analýza nejzatíženějšího klipu	96

Úvod

Mlhový světlomet umístěný ve spodní části předního plastového nárazníku je součástí tzv. předního modulu automobilu (front-end modul), který tvoří samostatnou montážní jednotku. Téměř všechny jeho vnější díly jsou dnes konstruovány z plastových materiálů, které se čím dál častěji uplatňují i v dalších odvětvích strojírenství a automobilového průmyslu. Nově vyvinuté druhy a směsi termoplastů dosahují stále lepších mechanických vlastností a odolnosti vůči vnějším povětrnostním vlivům, čímž pomalu nahrazují součásti z kovových materiálů. Aplikace plastů v neposlední řadě snižuje hmotnost vozidel, což má za následek zlepšení jízdních vlastností a snížení vypouštění škodlivých emisí prostřednictvím nižší spotřeby paliva. Pevnostní vlastnosti plastů jsou v porovnání s kovy samozřejmě nižší, ale vhodně zvoleným tvarem plastových dílů lze tuto vlastnost díky technologii vstřikování částečně kompenzovat. Vytvořením komplexních celků z plastových součástí je možné dosáhnout pevných a funkčních sestav, které dosahují nízké hmotnosti a snadné montáže při nižších výrobních nákladech. Geometricky složité díly vyvíjené v příslušných CAD systémech je potřeba tvořit formou parametrických modelů, které s ohledem na předpoklad vysokého počtu změn během vývoje lze snadno modifikovat a editovat. Tvorba jednoduše upravitelného modelu za účelem snadných budoucích změn závisí pouze na šikovnosti konstruktéra, který má daný díl na starosti.

Cílem této práce je navrhnout uchycení mlhového světlometu v oblasti předního nárazníku vozidla s ohledem na zástavbový prostor, funkci, design a montáž. Navržené díly z plastových materiálů musí svým tvarem a vhodným uspořádáním tvořit funkční celky, které dosahují požadovaných vlastností. Samotná montáž celé sestavy předního modulu vozidla má, při úvaze montování tisíců kusů na montážní lince, vysoké časové a ekonomické nároky na tvorbu modelů a sestav. Proto je důležité zvolit přiměřený způsob spojování jednotlivých součástí mezi sebou, který by vyhovoval nejen zadaným montážním podmínkám, ale i z hlediska pevnosti a funkce spojů. Závěrem je v práci provedena statická analýza metodou konečných prvků, která odhaluje nejslabší místo nebo spoj sestavy při potenciálním střetu s tuhou překážkou v oblasti mlhového světlometu.

1. Problematika přední části vozidla

U dnešních moderních automobilů se přední část vozu skládá z mnoha částí, na které jsou kladeny vysoké požadavky nejen z oblasti bezpečnosti ale také designu nebo výroby - jednoduché a rychlé montáže jednotlivých dílů či podsestav mezi sebou. V neposlední řadě je také kladen důraz na snižování odporu vzduchu a hmotnosti, což přímo souvisí s globálním záměrem o snižování spotřeby a vypouštění škodlivých emisí vozidel. V automobilovém průmyslu se tak pomalu, ale jistě čím dál více uplatňují plastové materiály, a to především díky jejich mechanickým vlastnostem jako houževnatost, nízká měrná hmotnost nebo odolnost proti vlhkosti a slunečnímu záření. U některých vozidel se můžeme setkat nejen s plastovým krytem nárazníku, ale například i s plastovými předními blatníky. Hlavním požadavkem na přední část vozu je však pohlcování deformační energie vzniklé při střetu s překážkou. Celá tato oblast vozu by měla být schopna pohltit určité elastické deformace při nižších provozních rychlostech (např.: popojíždění v koloně), a tím předejít trvalým deformacím jednotlivých dílů. Důležitý a velmi sledovaný je rovněž potenciální střet s chodcem, a proto se výrobci a konstruktéři plastových nárazníků musí vyvarovat například ostrých hran. [1], [2]

1.1 Front-End modul

Ucelená sestava pohledových i nepohledových dílů přední části vozu je v překladu označována jako čelní modul vozidla (z anglického Front-End modul neboli FEM). Při konstrukci se musí dbát především na přesnost montážních tolerancí, celkovou váhu a zajištění bezvadného plnění požadovaných funkcí, kterými jsou například ochrana automobilu, cestujících a chodců při nižších rychlostech, zajištění požadovaného přísunu vzduchu k chladicí soustavě a snadné nastavení odstupů pohledových dílů.

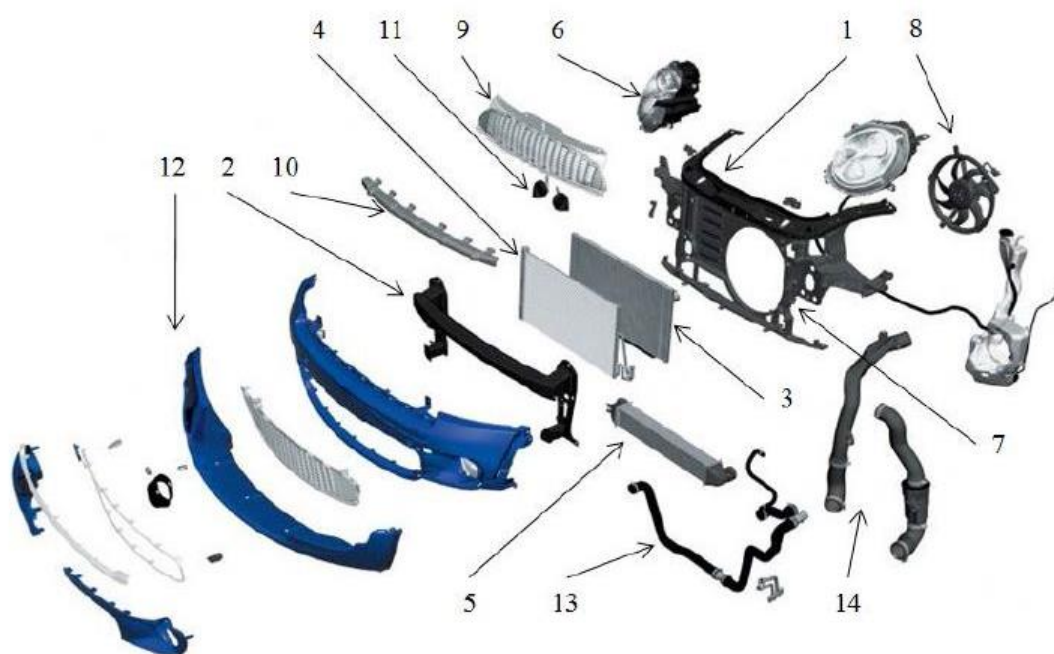


Obrázek 1: Front-End modul vozu Audi Q7

Zdroj: [3]

Výroba a montáž celého FEM je vzorovým příkladem outsourcingu, kterého využívá většina výrobců sériových osobních automobilů. Vývoj a výrobu zajišťuje dodavatel, který přebírá odpovědnost za kvalitu těchto dílů a do automobilky dorazí již smontovaný celek. Automobilky tím redukuje náklady spojené s výrobou či provozem další montážní linky a získání celého čelního modulu v celku výrazně usnadňuje finální proces montáže vozidla.

Samotná skladba FEMu je tvořena pohledovými a nepohledovými díly. Pohledové díly musí splňovat přísné požadavky na kvalitu povrchu a řadí se mezi ně přední maska, světlomety a plastový kryt nárazníku. Hlavním nosným prvkem celé sestavy a zároveň jádrem nepohledových dílů tvoří montážní nosník, který je pevně spojen s karoserií vozu a nese většinu okolních dílů. Vedle montážního nosníku patří mezi nepohledové díly sestava chladicích modulů a prvky vedoucí vzduch, asistenční systémy (radary, parkovací senzory, kamera nočního vidění a další) nebo systémy pro ochranu chodců a posádky. [4]



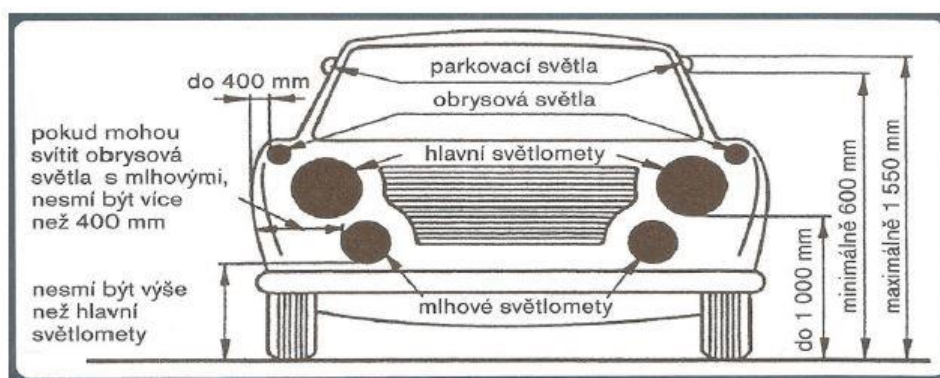
Obrázek 2: Sestava Front-End modulu

1-montážní nosník, 2-výztuha předního nárazníku, 3-hlavní chladič, 4-kondenzátor klimatizace, 5-chladič, 6-chladič stlačeného vzduchu, 7-ventilátorová stěna, 8-ventilátor, 9-mřížka vrchní masky, 10-přední pěnový díl, 11-klaksony, 12-rozpad sestavy přední mřížky, 13-hadice hlavního chladiče, 14-hadice chladiče stlačeného vzduchu.

Zdroj: [4]

1.2 Požadavky na přední mlhový světlomet

Přední mlhový světlomet slouží ke zlepšení osvětlení oblasti před vozidlem v případě zhoršených podmínek viditelnosti či mlhy. Na rozdíl od zadního mlhového světlometu nejsou přední mlhovky v povinné výbavě vozidla, avšak dnes se s nimi můžeme setkat téměř u všech nových modelů osobních vozidel. Doby, kdy byly přední mlhovky ve výbavě vozu výhradně za příplatek, jsou pryč. Jejich poloha je popsána normou EHK předpis číslo 48, který uvádí krajní hodnoty rozměrů pro umístění dvou symetrických mlhových či denních světlometů (levý a pravý). V horizontálním směru musí být krajní viditelný bod mlhovky vzdálen od vnějšího okraje vozidla více než 400 mm. Ve vertikálním směru musí být umístěn minimálně 250 mm nad vozovkou. U vozidel třídy M1 (vozidla, která mají nejvýše osm míst k přepravě osob) a N1 (vozidla do 3500 kg) je maximální přípustná výška 800 mm nad vozovkou. Vždy však musí být tento světlomet umístěn pod hlavními potkávacími světlomety. [5]



Obrázek 3: Pozice předních světlometů osobního vozu

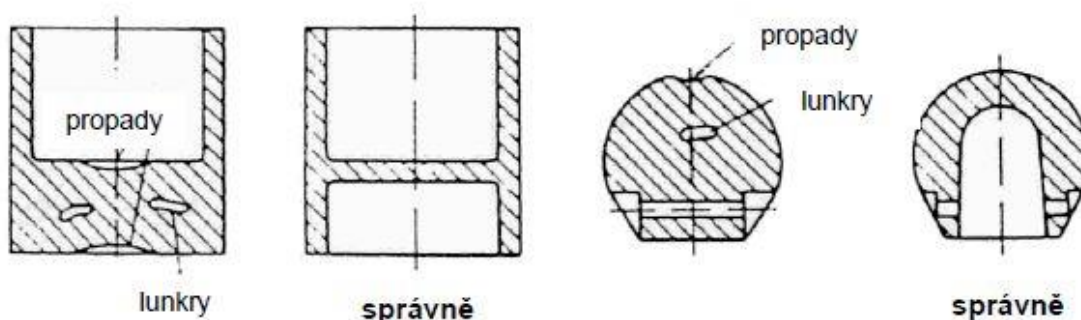
Zdroj: [6]

2. Zásady konstruování vstřikovaných plastových dílů

Během návrhu a vývoje vstřikovaného plastového dílu musí konstruktér dbát na několik zásad a hledisek, které je potřeba dodržet aby bylo docíleno požadovaného tvaru, funkce a vlastností budoucího dílu. Vedle zásad vyrobitelnosti jsou důležité i výrobní náklady, které se výrobní podniky při sériové výrobě mnoha dílů snaží neustále snižovat.

2.1 Tloušťka stěn

Tloušťka stěn má vedle zvoleného materiálu zásadní vliv na pevnost a tuhost výrobku. Požadavkem je zachovat konstantní hodnotu tloušťky ve všech částech dílu, aby tavenina chladla rovnoměrně a nedocházelo k výskytu staženin a propadlin, které mohou mít za následek trvalé porušení tvaru. V místech s větším průřezem může docházet k výskytu vzduchových kapes (lunkrů) nebo k povrchovým vadám ve formě propadů. Ve většině případů je snaha o co nejmenší tloušťku stěny, avšak vždy se při návrhu dosahuje optimální hodnoty kompromisem mezi protikladnými požadavky, jako je pevnost versus hmotnost nebo trvanlivost versus finanční náklady. Často je při požadavku navýšení tuhosti u plochých dílů využíváno například žebrování či zakřivení, které nemá vliv na celkovou změnu tloušťky materiálu. [7]



Obrázek 4: Příklady poškození dílů s proměnnou tloušťkou stěny
Zdroj: [7]

Optimální tloušťka stěny se liší s použitým materiálem. V tabulce níže můžeme vidět minimální, maximální a doporučené hodnoty tloušťky pro nejpoužívanější polymery.

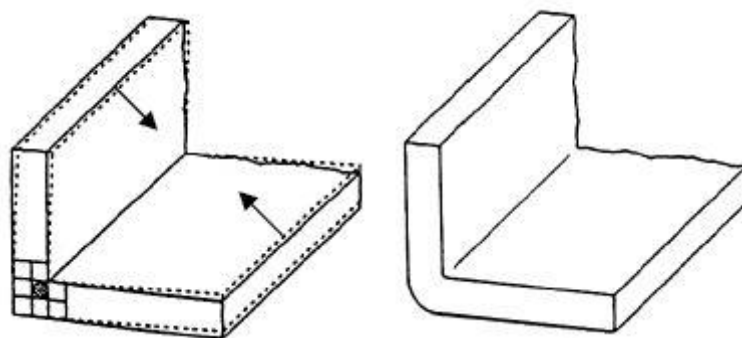
Tabulka 1: Tloušťky stěn pro vybrané plastové materiály

Plast	Min. tloušťka stěny (mm)	Doporučená tloušťka stěny (mm)	Max. tloušťka stěny (mm)
1PE	0,50	1,60	6,30
rPE	0,90	1,60	6,30
PP	0,60	2,00	7,60
PS	0,80	1,60	6,30
SAN	0,80	1,60	6,30
ABS	0,80	2,30	3,20
PA	0,40	1,60	3,20
PC	1,00	2,70	9,50
POM	0,80	2,00	9,50
PVC	1,00	2,40	9,50
PUR	0,60	12,70	38,0

Zdroj: [8]

2.2 Zaoblení hran a rohů

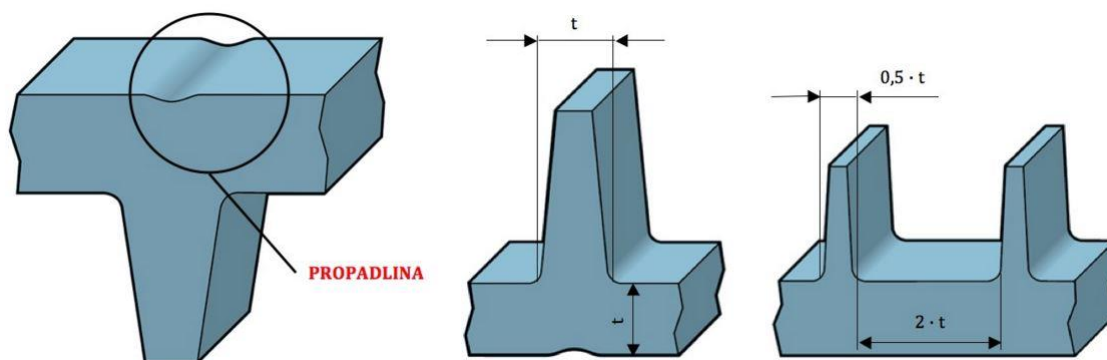
Tvoření zaoblených hran a rohů má několik podstatných důvodů. Jedním z nich je usnadnění průtoku taveniny (snížení hydraulického odporu), a tím dosažení menší kontrakce napětí v místě ohybu. Dalším důvodem je usnadnění výroby forem, pro které platí, že minimální poloměr zaoblení je dán poloměrem zaoblení tvaru frézy, která frézuje dutinu formy. Zároveň by hodnota minimálního zaoblení neměla být menší než čtvrtina tloušťky stěny. I v těchto místech se musí zachovat konstantní tloušťka, což znamená, že vnější rádius má hodnotu vnitřního zaoblení větší o tloušťku stěny. V neposlední řadě zaoblení hran a rohů omezuje vznik tzv. krabicového efektu, což je deformace rovinných stěn zapříčiněná nerovnoměrným chlazením rohu, ve kterém se stěny stýkají. Vnější hrana je totiž chlazena intenzivněji (větší povrch dutiny) na rozdíl od vnitřní hrany, kde tavenina tuhne pomaleji. Tento nežádoucí jev má za důsledek vznik vnitřního pnutí a borcení stěn směrem dovnitř. Obecně tvorba zaoblení zlepšuje pevnost a jakost navrhovaného dílu, snižuje vnitřní pnutí či možnost prasknutí. [8], [9]



Obrázek 5 : Krabicový efekt a jeho řešení pomocí zaoblení
Zdroj: [7]

2.3 Návrh žebrování

Žebra mají za úkol především zvýšení pevnosti a tuhosti vstřikovaného dílu. Dalšími důvody jejich použití může být zajištění vzájemného lícování součástí, dorazy či zlepšení navedení dílů při montáži. Tvar a geometrii žeber ovlivňuje mnoho faktorů. Při příliš velké tloušťce žebra mohou vlivem chladnutí materiálu vzniknout na protější stěně dílu propadliny, proto se žebra navrhují tenčí, než je základní stěna dílu. Pro zaručení odformovatelnosti dílu se žebra opatřují úkosem minimálně $0,5^\circ$. Při větších hodnotách úkosů hrozí pokles tloušťky žebra a tím problém s plněním vstřikovací formy. [8], [9]



Obrázek 6: Ukázka propadliny a rozměrů pro konstrukci žeber
Zdroj: [9]

Výška žeber je opět ovlivněna technologickými a pevnostními limity. U vyšších žeber hrozí velká náchylnost k porušení při zatížení. Malá tloušťka žebra po opatření úkosem může mít problém s plněním formy taveninou. Proto, pokud je to možné, je lepší navrhnout více menších žeber s výrazně lepší vyrobiteľností a podobným vyztužujícím účinkem. Jediným omezením je vzdálenost žeber mezi sebou, která by měla být větší než

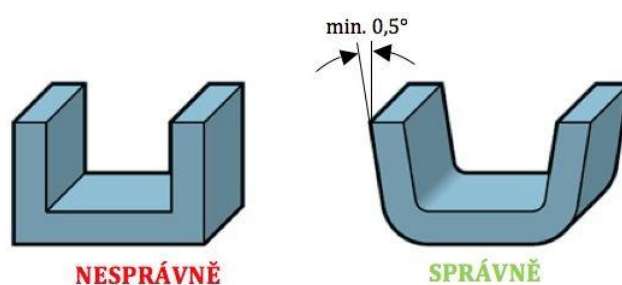
dvojnásobek nominální tloušťky stěny. Pro zajištění rovnoměrného rozložení napětí je nejvhodnější způsob žebrování křížení žeber, ale ne vždy je to designově vhodné. [8], [9]

Souhrn pravidel určujících tvar a geometrii žeber:

- Tloušťka žeber by se měla pohybovat mezi 50 - 60 % tloušťky stěny.
- Maximální výška by neměla přesahovat trojnásobek tloušťky stěny.
- Zaoblení hran by nemělo být větší než 50% tloušťky stěny.
- Vzdálenost mezi žebry by měla být dvojnásobkem nominální tloušťky stěny.
- Pro zvýšení pevnosti je lepší zvýšit počet žeber než jejich tloušťku či výšku.
- Žebra by měla mít vždy normálové napojení do stěny dílu.
- Optimální hodnota úkosů stěn žeber je cca. $0,5^\circ$.

2.4 Úkosy

Úkosy stěn vstřikovaného dílu jsou vyžadovány pro zajištění jednoduššího vyjmutí dílu z formy. Jsou vždy rovnoběžné se směrem odformování. Doporučené hodnoty úkosů jsou pro vnitřní stěny 1° až 2° a pro vnější stěny $0,5^\circ$ až 1° . Pro dezénovaný povrch se na každých 0,2 mm hloubky dezénu povrchu formy přidává jeden stupeň úkosu. Obecně se však velikost úkosů mění v závislosti na použitém materiálu, geometrii dílu a drsnosti povrchu. [8], [9]

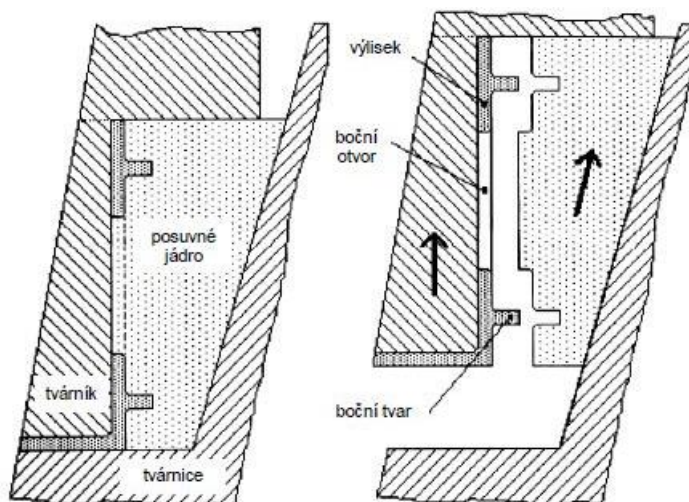


Obrázek 7: Úkos stěn plastového dílu
Zdroj: [9]

2.5 Posuvné jádra

Posuvné jádra neboli tzv. "šíbry" (z německého slova "der Schieber", v překladu "tahač") slouží k vytvoření geometrie, která není vyrobitelná v hlavním formovacím směru, protože

by tyto prvky bránily otevření formy a vyhození vylisku. Posuvná jádra se vysouvají v jiném než hlavním směru. Při návrhu je snaha o co nejmenší počet těchto jader, protože celkově zvyšují složitost a cenu formy. Obvykle se vyskytují v místech podkosů, bočních otvorů či klipů. [7], [9]



Obrázek 8: Příklad posuvného jádra
Zdroj: [7]

2.6 Plastové díly v automobilovém průmyslu

Polymerní materiály jsou v automobilovém průmyslu na vzestupu. Uplatnění nachází nejen v interiéru, ale stále více nahrazují i plechové a kovové části karoserie. Můžou za to především jejich vlastnosti, které se vývojem termoplastů s plnivý neustále posouvají kupředu. Například několik vhodně spojených plastových dílů, které dohromady tvoří tzv. "sendvič" dokážou plnohodnotně vyrovnat mechanické vlastnosti dílu z kovových materiálů. Jinak jsou samozřejmě pevnostní vlastnosti plastů nižší. Jejich výhodou je možnost vyrábět tvarově velmi složité komponenty. Často prostřednictvím jednoduchých mechanických spojů vznikají ucelené montážní celky a sestavy, které snižují výrobní náklady a usnadňují montáž. V neposlední řadě mají tyto sestavy nižší hmotnost redukcí spotřebu paliva a zatížení přední nápravy což vede k lepším jízdním vlastnostem vozidla. [1], [7]



Obrázek 9: Sestava předního blatníku z plastu vozu BMW X5
Zdroj: [10]

Na obrázku 9 je zobrazena sestava předního blatníku a nárazníku, která využívá výhody houževnatosti a pružnosti plastů při potenciální srážce. Díly z tohoto materiálu umožňují deformace až několik desítek milimetrů. Plastové materiály jsou používány někdy i na místech, kde bychom je nehledali. Například komponenty sání, víko hlavy motoru, celá přední kapota nebo boční dveře jsou u některých vozidel již také z termoplastu. [1], [7]



Obrázek 10: Příklad použití plastů v automobilovém průmyslu
Zdroj: [11]

2.7 Plastové materiály používané v automobilovém průmyslu

Ve stavbě karosérií mají z plastových materiálů největší uplatnění termoplasty. Při výběru optimálního materiálu musí konstruktér uvažovat schopnost tečení a teplotu tuhnutí taveniny, houževnatost, mechanické vlastnosti a další důležité materiálové parametry.

2.7.1 Termoplasty

Termoplasty jsou teplem tvárné plasty. Rozhodujícím parametrem je teplota měknutí, které by díl neměl být během svého provozu vystaven (tvarová paměť, deformace výrobků).

- **ABS (akrylnitril-butadien styrol)** - vysoce houževnatý materiál, který se používá především na namáhané a tvarově složité díly - mřížky krytu chladiče, rámečky světlometů, kryty zrcátek, přístrojová deska, velkoplošné díly (kapoty).
- **PVC (polyvinylchlorid)** - rázová houževnatost, chemická odolnost. Jsou měkčené (fólie, výlisky, hadice) a neměkčené (málo namáhané výlisky, profily, trubky, desky).
- **PE (polyetylen)** - dobrá chemická odolnost, nízká nasákavost. Použití ve výrobě výlisků a vyfukovaných nádob (palivové nádrže).
- **PP (polypropylen)** - křehký při teplotách pod 0 °C, lepší mechanické vlastnosti než PE. Použití na schránky, rozvody topení, pouzdra a mřížky.
- **PA (polyamid)** - vyšší houževnatost při nižší teplotě než ABS, špatná lakovatelnost. Využívá se u namáhaných lisovsříkových dílů (kličky ovládání oken).
- **PMMA (polymethylmetakrylát)** - naprostá čírost, prostupnost světelného záření nad 90 % v rozsahu celého spektra, neodolává vyšším teplotám. Používá se při zasklení obytných přívěsů nebo sportovních automobilů.
- **PS (polystyrén)** - rázuvzdorný, špatná rázová houževnatost. Číré i barevné kryty světel.
- **PC (polykarbonát)** - velká pevnost v tahu, velká rázová houževnatost, odolnost proti UV záření, vysoká cena. Ochranné číré kryty.
- **PUR (polyuretan)** - dobrá zatékavost, vysoká houževnatost, vysoká cena. Použití - manžety kloubů, tenkostěnné výlisky. PUR pěna - výplně dutin karoserie (izolace hluku, tepelná izolace), vložky sedadel, bezpečnostní obklady a výplně (dobrá absorpce energie). [1], [12]

2.7.2 Elasticky modifikovatelné plasty

- **PP-EPDM (polypropylen + etylén-propyl-dien)** - směs homogenizované směsi polypropylenu a kaučuku (30 % i více). Technologické vlastnosti PP (vynikající zatékavost taveniny), mechanické vlastnosti na pomezí elastomerů a termoplastů.

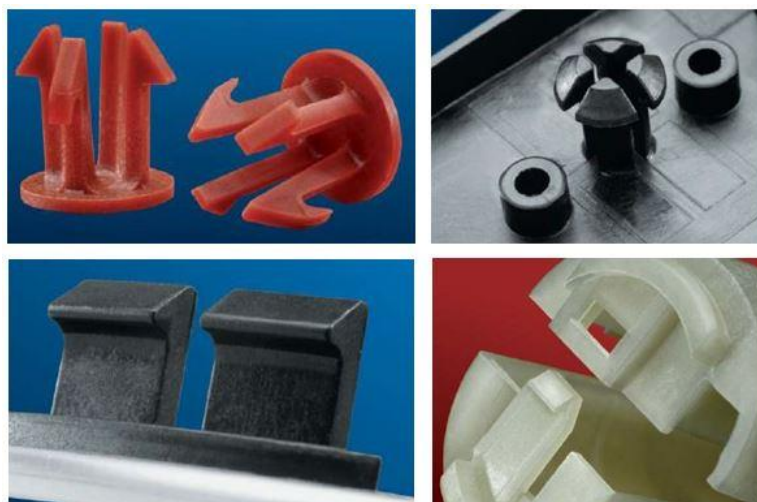
- **EPDM (kaučuk)** - dle složení má vlastnosti termoplastů nebo reaktoplastů. Použití na plastové kryty nárazníků, přístrojové desky, elastické přídě, vnitřní kryty. [1], [12]

2.8 Způsoby spojování plastových dílů

Velmi důležitým hlediskem při návrhu jednotlivých dílů plastových sestav je způsob jejich spojení. Spoje lze rozdělit na rozebíratelné a nerozebíratelné. Typ spoje se musí volit s ohledem na funkci, použití a montáž. Pro potřebu časté montáže a demontáže je vhodnější použít rozebíratelné spoje, které představují například šrouby, pružné spoje (klipy) nebo spoj pomocí nalisování. Nerozebíratelného spojování lze dosáhnout pomocí lepení, svařování nebo nýtování. Pro účely návrhu jsou v této práci blíže popsány pouze způsoby rozebíratelných spojů.

2.8.1 Pružné spoje - háčkový spoj (klip)

Pružné spoje se u plastových výrobků vyskytují velmi často a obecně lze říct, že jejich použití má vzrůstající tendenci. Jejich výhodou je umožnění snadné montáže a demontáže (většinou jen zacvaknutí), čímž dochází k úspoře montážního času a financí. Ve velké míře tyto pružné elementy, které jsou integrovány v samotném výrobku, nahrazují klasické šroubové spoje, a proto společnosti ušetří peníze za extra spojovací materiál a celkovou dobu montáže, která je výrazně rychlejší. Montážní pracovník například místo šroubování několika vrutů či šroubů díl jednoduše zacvakne. [15]



Obrázek 11: Příklady pružných spojů
Zdroj: [13]

Na obrázku číslo 11 je zobrazeno několik variant pružných elementů, avšak princip spojovacích operací je stejný - spočívá v elastické deformaci v ohybu pružného členu během spojení, který se poté vrátí do původního tvaru a může plnohodnotně zastávat svoji funkci. Samotná geometrie a tvar těchto elementů se navrhuje s ohledem na tuto montážní deformaci a předpětí spoje během jeho provozu. Při konstrukčním návrhu tvaru a počtu háčkových spojů se také uvažuje předpokládaný počet rozpojení a požadovaná pevnost spoje. [15]

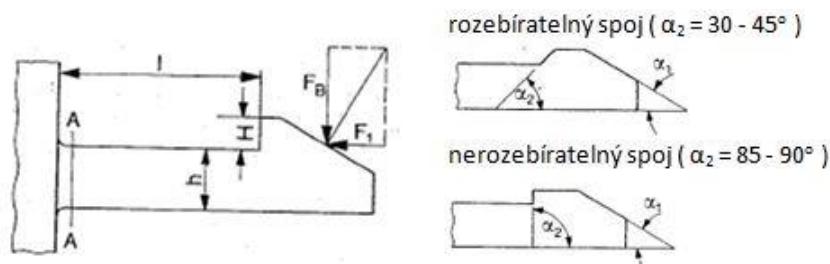
Zápornou vlastností pružných spojů je jejich náchylnost k poruchám, jejichž příčinou může být poddimenzování výrobku nebo nevhodná manipulace. Problém nastává v případě, kdy se část elementu zcela ulomí a dojde k znehodnocení celého výrobku. Oprava těchto rozměrů je mnohdy dokonce nemožná. Běžně se díly osazené těmito prvky dimenzují tak, aby byly schopny vykonávat bezvadně svoji funkci například i s jedním ulomeným klipem (vyrobí se větší počet spojovacích elementů). [15]

Obecně lze pružné spoje používané v konstrukci plastových dílů rozdělit na dvě skupiny - tzv. háčkové spoje (klipy) a spoje kulového či cylindrického tvaru. Nejrozšířenější je klipový háčkový spoj, který může mít několik tvarových variant viz obr. 12. [15]



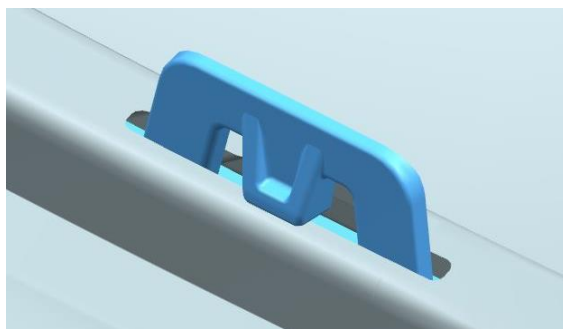
Obrázek 12: Typy pružných spojovacích klipů
Zdroj: [13]

Vetknutý háčkový spoj je používán nejčastěji. Jeho funkce, jak už bylo popsáno výše spočívá v ohybové deformaci. Pevnost tohoto spoje a síly potřebné pro montáž či demontáž ovlivňuje výška záklipu (H), sklon spojovací (α_1) a sklon klipovací plochy (α_2). Pro nerozebíratelné spoje se volí úhel zaklipovací plochy 90° . Takto vytvořený spoj lze rozpojit pouze manuálním ohnutím háčku. Samotnému návrhu těchto spojů bude věnována samostatná kapitola v praktické části této práce. [14], [15]



Obrázek 13: Rozměry klipu
Zdroj: [14]

Torzní háčkový spoje se používá na místech kde je menší zástavbový prostor, který neumožňuje použití klasických vetknutých klipů. Zároveň při procesu spojení je zapotřebí menších montážních sil, a proto se používá u tvrdších plastových materiálů, které jsou náchylnější na deformace způsobené ohybem. Obecně se vyskytují například u pochromovaných součástí, které se vyznačují vyšší tvrdostí. Lze je opět dimenzovat jako rozebíratelné či nerozebíratelné. [14]



Obrázek 14: Torzní háčkový spoj
Zdroj: [14]

2.8.2 Plastové nýty (push-piny)

Mají podobný tvar a funkci jako kovové šroubové spoje nebo nýty, a jejich využití je velmi oblíbené. Hlavní výhodou je snadná výměna poškozeného kusu, avšak při montáži je to další díl sestavy navíc, který tak prodlužuje dobu montáže. V dnešní době často nahrazuje tradiční kovové šroubové spoje pro jejich snadnější montáž, manipulaci a menší hmotnost. Výhodou je možnost realizovat spojení pouze z jedné strany otvoru. Nevýhodou jsou slabší mechanické vlastnosti. Existuje mnoho různých druhů nýtů podle funkce, pevnosti, umístění, velikosti a rozebíratelnosti. Pro účely této práce zde budou představeny pouze tři nejpoužívanější typy plastových nýtů využívaných při spojování plastových dílů v automobilovém průmyslu.

Zarážecí nýty - Nýt, jenž se za pomoci tlaku zarazí do předem připraveného otvoru. Montáž probíhá bez potřeby speciálního nářadí, možnost zarazit i do závitové díry.

Zatlačovací nýt se zámkem - Po zasunutí nýtu do zámku vzniká nerozebíratelný spoj. Zámek brání uvolnění nýtu. Montáž bez potřeby speciálního nářadí.

Šroubovací nýty - Při montáži tohoto spoje je potřeba použít externí nářadí (momentový utahovač). Výhodou tohoto spoje je možnost snadné demontáže.



Obrázek 15: Typy plastových nýtů
Zdroj: [14]

2.8.3 Šroubové spoje

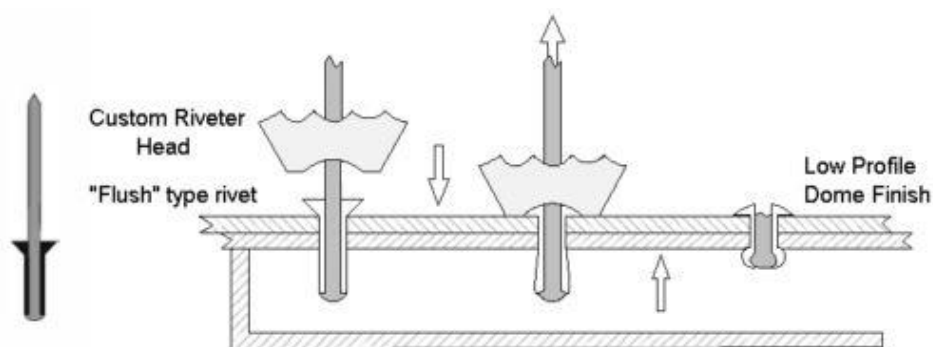
V dnešní době je používání šroubových spojů při spojování plastových součástí na ústupu. Nahrazují je montážně a cenově výhodnější pružné háčkové spoje, které jsou již integrovány v samotném díle. Jejich výhody a nevýhody byly popsány výše v kapitole 2.8.1., avšak v některých případech je jejich použití nezbytné. Vyskytují se především v případech nutnosti vytvoření velmi pevného spoje, který je snadno rozebíratelný například za účelem servisu či výměny. Lze se s nimi setkat také v případech, kdy je potřeba spojovanou součást ukotvit ve více směrech, a není tak možné z důvodu bezvadné montáže použít pouze spoje vytvořené rovnou na těle dílu. V oblasti front-end modulu vozidla se obecně používají šroubové spoje ve spojení s plechovou maticí, kterých je více druhů. Běžně se vyskytuje plechová pružná matice a cenově dražší plechová pružná matice s metrickým závitem.



Obrázek 16: Příklad plechových pružných matic
Zdroj: [14]

2.8.4 Kovové nýty

V případě nutnosti vytvořit opravdu pevný a nerozebíratelný spoj se používají nýty z kovových materiálů. Většinou slouží ke spojení dílů, u kterých se nepředpokládá vzájemná demontáž během provozu vozidla. Pro realizaci spoje je zapotřebí použít speciální nýtovací kleště, které vysunou vnitřní osu nýtu, čímž se zdeformuje jeho tělo a vytvoří stejný efekt, který by vytvořila matice našroubovaná na závit šroubu. Výhodou oproti šroubovému spoji je možnost realizovat spoj pouze z jedné strany slícovaných otvorů.



Obrázek 17: Princip funkce kovového nýtového spoje
Zdroj: [16]

3. Požadavky na vypracování

Cílem práce je konstrukční návrh uložení mlhového světlometu v předním nárazníku vozidla nižší střední třídy s důrazem na funkci, montáž, design a samotnou výrobu jednotlivých plastových dílů. Při návrhu sestavy, která drží mlhový světlomet je kladen důraz především na vytvoření vhodných spojovacích prvků mezi díly s ohledem na zástavbový prostor a pomocí pevnostní analýzy zjistit, zda tyto spoje jsou schopny odolat zadané deformaci. Konstrukční celek na levé i pravé straně je totožný bez konstrukčních odlišností a požadavků. Jednotlivé díly jsou vytvořeny pomocí parametrického modelování za pomoci CAD aplikací.

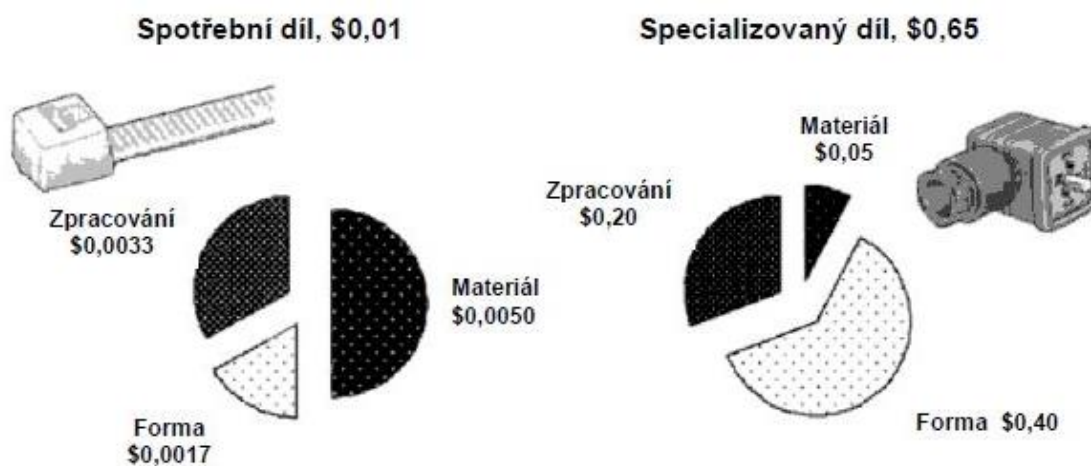
3.1 Zásady pro vypracování a vymezení cílů práce

V následující kapitole budou shrnuty hlavní cíle, ke kterým by práce měla směřovat, naplnit je a náležitě zodpovědět všechny problémy vzniklé při samotném vypracování.

3.1.1 Tvarový návrh součástí s ohledem na funkční a technologické požadavky

Jelikož se jedná o díly, které jsou situovány v exteriéru přední části vozu a jsou součástí tzv. front-end modulu je nutné dbát i na jejich tvar neboli design. Pohledové plochy dílů (plochy, které jsou jasně viditelné z venku automobilu) podléhají vysokým nárokům na estetiku a kvalitu a jsou tvořeny speciálními softwary např. ICEM Surf. Obecně jsou tyto plochy označovány jako *A-class surfaces* a před samotnou konstrukcí jsou prvním vstupním parametrem modelu. Konstruktor při konstruování musí respektovat tuto plochu, která musí zůstat nezměněna a nesmí ji nijak editovat. Vnitřní strana geometrie (směrem do automobilu) je tvořena již podle konstruktéra, její tvar je dán především zástavbovým prostorem, požadavkem na spojení a slícování s okolními díly a zajištění požadovaných mechanických vlastností (výztuhy, odebrání materiálu za účelem snížení hmotnosti). Během konstrukce vnitřních ploch (*B-class surfaces*) musí konstruktor brát zřetel na případný vliv této geometrie na vnější pohledovou plochu, která nesmí být při výrobě porušena - například vyvarovat se případným vznikům propadlin. Důležitým požadavkem na výrobu je přirozeně dosáhnout pokud možno nejnižších nákladů spojených s procesem vstřikování plastového dílu. Při uvažování sériové výroby několika tisíc kusů tvoří hlavní položky nákladů mzdy zaměstnanců, pracovní cyklus vstřikovaného dílu, kovová forma

a množství materiálu ve formě granulátu, přičemž největší náklady jsou spojené se vstřikovací formou (60-70 %). Složitost vstřikovací formy může konstruktér nepřímo ovlivnit geometrií a snadno zformovatelným tvarem vyráběného dílu. Další snížení nákladů může dosáhnout vhodným odlehčením dílu při nezměněných mechanických vlastnostech. Pokud konstrukce umožní, je vhodné odstranit nebo maximálně redukovat tvary, jejichž zaformování vyžaduje použití posuvných jader. Dalším faktorem ovlivňujícím například životnost formy jsou výstupky s malým průřezem, které se po několika cyklech mohou lehce opotřebovat. Tvary, u nichž je z prostorových důvodů horší chlazení, opět snižují kvalitu plastového dílu a životnost formy. Proto je dobré již při samotném vývoji dílu konzultovat konstrukci součásti s technologií budoucího výrobce. [7]



Obrázek 18: Náklady vstřikovaných dílů
Zdroj: [7]

Uchycení mlhového světlometu budou zajišťovat dva díly. Hlavní držák světlometu, který bude spojen s předním plastovým krytem nárazníku, předním spodním spoilerem a předním podběhem vozidla a přední externí kryt, který bude nasazen z vnější strany a bude vykonávat především estetickou funkci. Samotné podmínky pro konstrukci a návrh součástí jsou popsány v kapitole 3.2, kde jsou představena vstupní data.

3.1.2 Smontovatelnost jednotlivých součástí

Upevnění jednotlivých dílů mezi sebou musí být řešeno s ohledem na rychlost montáže a pevnost spoje. Samotná jednotka mlhového světlometu bude upevněna k držáku pomocí šroubových spojů a s takto smontovanou podsestavou se bude dále pracovat vcelku. Podmínky pro montáž tvoří zástavbový prostor a realizace spojení ovlivňuje fakt, zda se

v průběhu životnosti vozu počítá s demontáží těchto dílů například z důvodu servisu či nikoliv. Upevnění držáku s mlhovkou do předního plastového krytu nárazníku bude tvořeno pouze mechanickými tvarovými spoji ve směru montáže tak, aby bylo umožněno na montážní lince rychlé a jednoduché smontování bez nutnosti speciálního nářadí. Tento proces je vykonán v kladném směru osy x , což je hlavní směr pohybu vozidla. Ve směru osy z musí být dle zadaných podmínek držák spojen s předním podběhem kola a spoilerem, který lemuje spodní část nárazníku. Z důvodu předejít potenciálnímu poškození při montáži musí být v tomto směru použity přídatné spojovací prvky typu plastového nýtu. Tyto prvky fungují podobně jako entita vrut - hmoždinka. Po spojení za pomoci šroubování, nebo pouze za pomoci tlaku ve směru osy kolíku, dojde k roztažení těla hmoždinky, do které se kolík "zakousne". Tento typ spoje již nelze bez poškození rozebrat.

3.1.3 Porovnání jednotlivých spojovacích prvků

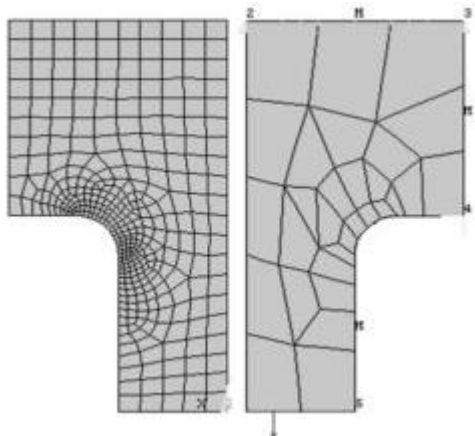
Jak již bylo zmíněno v předcházející kapitole správný výběr spojovacích prvků je velmi důležitý a ovlivňuje ho mnoho někdy i protichůdných faktorů. V dnešní době jsou preferovány takové prvky, které jsou jednoduché, spolehlivé, levné a rychlé na smontovatelnost. Zástavbový prostor, složitost montáže a požadavek na upevnění ve více směrech určuje, který prvek bude tím vhodným. Nejoblíbenější je tvarové spojení, které představuje prvek, jenž je přímo vyroben na těle součásti. Mezi jeho přednosti patří rychlá montáž bez potřeby speciálního nářadí, avšak je to spoj nerozebíratelný a mnohdy i neopravitelný. Mechanické vlastnosti jsou dány samotným tvarem a rozměry geometrie. Pravidlem při vývoji je zajistit kvalitní vyrobiteľnosť (ideálně bez použití posuvných jader) a dimenzovat prvek tak, aby nedošlo k trvalým deformacím během montáže, kde se například háčkový spoj výrazně ohne. Dimenzování háčkového spoje v závislosti na průhybu během montáže je v této práci věnována samostatná kapitola číslo 4.2. Druhým velmi používaným spojením plastových dílů jsou plastové nýty. V kapitole 2.8 jsou uvedeny základní typy. Jelikož tyto prvky představují další díly sestavy, je potřeba delšího montážního času. Ve většině případů je tento typ také nerozebíratelný, nebo snese jen pár demontážních cyklů, avšak jeho výměna je levná a lehká. V případech, kdy je potřeba díl zajistit ve více souřadných směrech, se obvykle tyto prvky kombinují.

3.1.4 Ověření pevnosti pomocí MKP Analýzy

Již během samotného vývoje dílu je potřeba vedle tvarového a funkčního hlediska zajistit také potřebnou pevnost a dimenzovat součást na předpokládané napětí, kterému je vystavena za běžného provozu. Slouží k tomu simulační programy, například výpočetní metoda konečných prvků (MKP). Aplikace této metody umožní konstruktérům zjistit kritická místa modelu, kde je potřeba díl vyztužit nebo naopak, ve kterých místech si mohou dovolit součást odlehčit a ušetřit materiál. Je tak možné předcházet situacím, kdy je nutné geometrii nebo konstrukci dílu dodatečně pozměnit pro nevyhovující mechanické vlastnosti. Často se za účelem zkrácení výpočetního času musí model a zatěžující parametry zjednodušit. Pro simulační výpočty pevnosti klipových spojů je v této práci použit software Catia V5R19 a jeho modul *Generative Structural Analysis*. Samotný proces simulace a výpočtu se řídí určitými pravidly, které je potřeba dodržovat, aby bylo dosaženo věrohodného a přesného výsledku.

Preprocessing - Tvorba geometrického modelu a definice jeho vlastností (materiál). Diskretizace modelu, což je rozdělení systému na konečný počet geometricky jednoduchých prvků určených k výpočtu, které dohromady tvoří síť modelu. Čím je síť modelu jemnější, tím je dosaženo přesnějších výsledků, ale výpočetní čas je delší, proto se musí velikost elementů volit s ohledem na tyto protichůdné požadavky. Pro plastové díly se používá většinou 3D prostorová síť, rovinná 2D síť se využívá například pro díly skořepinové povahy. Před samotným síťováním je vhodné model upravit a zjednodušit tak, aby výpočet sítě proběhl rychleji, ale celková změna geometrie nesmí výrazně ovlivnit mechanické vlastnosti. Prostorová 3D síť může být tvořena různými geometrickými prvky. Pro modely vytvořené v této práci budou použity elementy tvaru čtyřstěnu, které pokryjí model objemově a jednotlivé odpovídající uzly z protějších povrchů budou spojeny. V preprocessingu se také definují okrajové podmínky spolu s uchycením modelu a zatížením. [17]

Processing - Simulace modelu při zadaných okrajových podmínkách a zatíženích. Výpočetní čas simulace může přesahovat i desítky hodin s ohledem na velikost modelu a jemnost vygenerované sítě v preprocessingu. [17]



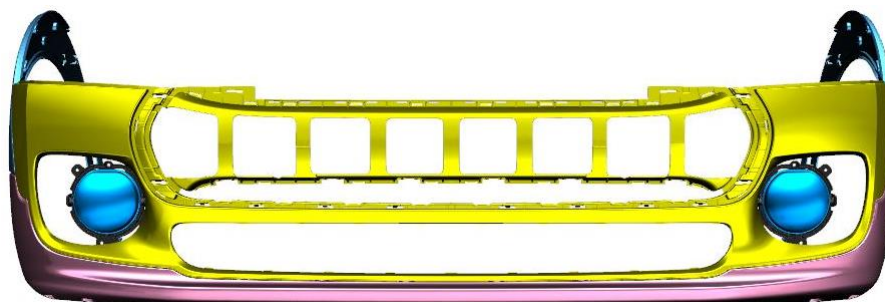
Obrázek 19: MKP - Velikost sítě
Zdroj: [17]

Postprocessing - Výsledky celého procesu. Konstruktor nebo výpočtář musí zkontrolovat špičky napětí a posoudit, zda-li jsou hodnoty napětí a posuvů reálné. Zároveň je potřeba rozpoznat napětí, které vznikne například v důsledku úpravy geometrie modelu a toto napětí neuvažovat jako racionální výsledek. Klasickým příkladem je například odstranění zaoblení hrany, na které potom v jejím vrcholu vznikne špička napětí. [17]

3.2 Vstupní data

V rámci zadání byly poskytnuty vstupní 3D data, které definují pozici a částečně i tvar budoucích modelů upevňujících mlhový světlomet. Během konstrukčního návrhu nesmí dojít k jejich změně s výjimkou doplnění nutných spojovacích prvků s nově vytvořenými díly, v žádném případě však nesmí být ovlivněna externí geometrie na pohledové straně součástí. Vstupní sestava všech dílů zahrnuje:

- Kompletní jednotka mlhového světlometu,
- Přední plastový kryt nárazníku, dále zjednodušeně nárazník (žlutý),
- Spodní spoiler předního nárazníku (ružový),
- Boční lemy podběhů vozidla (modrý),
- Plastový podběh předních hnaných kol (nezobrazen).



Obrázek 20: Vstupní data pro konstrukci
Zdroj: vlastní

S výjimkou předního nárazníku jsou všechny díly dodány s již připravenými otvory či elementy pro spojení s držákem světlometu. Těmto prvkům musí být hlavní držák přizpůsoben a vedle samotného světlometu je to další geometrie, která určí primární tvar modelu, který musí být spojen se zmíněnými díly. Například samotná jednotka mlhového světlometu je již osazena třemi otvory pro spojení šroubovým spojem a párem otvorů pro centrovací element, který díl vystředí a zároveň ulehčí proces montáže. Podrobněji se propojení jednotlivých modelů věnují samostatné kapitoly konstrukčního návrhu jednotlivých dílů.

3.2.1 Jednotka mlhového světlometu

Jednotka mlhového světlometu je dodána včetně světlometu. Celá tato sestava je již opatřena úchytnými prvky, které jsou popsány výše a zobrazeny na obrázku číslo 21. Plastová objímka mlhového světlometu je vyrobena z tvrdého polykarbonátu a její nominální tloušťka stěny je 2 mm.



Obrázek 21: Jednotka mlhového světlometu
Zdroj: vlastní

3.2.2 Přední nárazník, spodní spoiler a ostatní díly

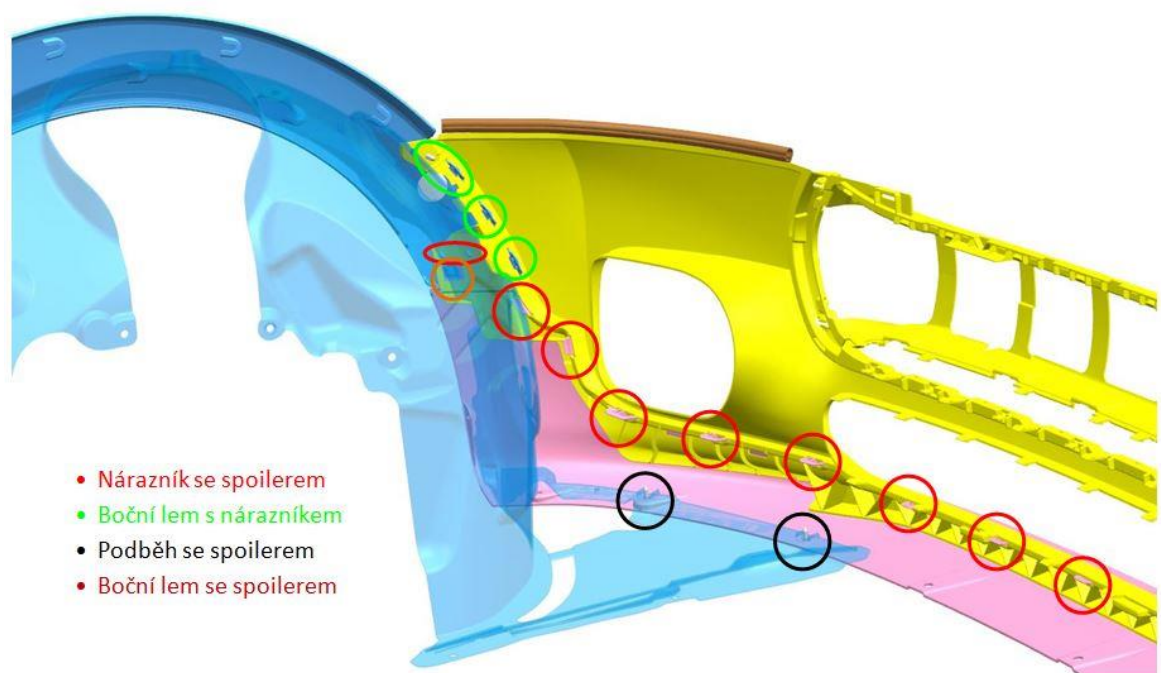
Celá sestava vstupních dat s vyznačenými spojovacími prvky je zobrazena na obrázku 22. Oproti sestavě zobrazené výše je doplněna o plastový podběh vozidla, který je pro přehlednost zprůhledněn na 75 %. Hnědou barvou je zobrazeno těsnění, které bude nasazeno na hlavní držák mlhovky.

Přední nárazník - na obrázku žlutý model, který je spojen se spodním spoilerem pomocí torzních a vetknutých klipů (vyznačeno červeně). Krajiní spoj je řešen pomocí kovových nýtů, které vytvářejí pevný nerozebíratelný spoj. S bočním lemem je spojen opět torzními klipy a jedním nasazeným plastovým nýtem (zeleně). Nárazník je vyroben z polypropylenu s označením PP/EPDM T20 a jeho nominální tloušťka stěny je 2,8 mm.

Spodní spoiler - v sestavě růžový model, jenž je osazen torzními a vetknutými klipy pro zasunutí do nárazníku (červeně). Pro spojení s podběhem vozidla prostřednictvím plastových nýtů jsou ve spoileru umístěny příslušné otvory (černě). S bočním lemem je tento díl spojen dvojicí protilehlých klipů (oranžově). Spoiler je vyroben z materiálu PP/EPDM T10, který je o trochu měkčí než nárazník, do něhož bude montován. Tloušťka stěny má stejnou hodnotu jako plastový nárazník - 2,8 mm.

Boční lem - tmavě modrý díl je pomocí dvojice klipů spojen se spoilerem (oranžově). Pro spojení s nárazníkem je osazen třemi torzními klipy a pouzdem pro umístění hlavy plastového nýtu, který spojuje tyto díly (zeleně). Materiál je stejný jako u předního nárazníku (PP/EPDM T20) s tloušťkou stěny 3 mm.

Plastový podběh vozidla - na obrázku světle modrý, částečně průhledný model je v relaci k ostatním dílům spojen pouze za použití samostatných spojovacích prvků. V této sestavě je spojen pouze se spodním spoilerem (černě). Podběh je spojen s dalšími prvky karoserie a nosné části vozidla, které však nejsou známy. Vyroben je z materiálu PP/EPDM T10 s tloušťkou stěny 2 mm.



Obrázek 22: Způsob spojení vstupních dílů mezi sebou
Zdroj: vlastní

3.3 Parametrické modelování

Návrh a konstrukce součástí uchycení mlhového světlometu bude realizován v softwaru Siemens NX10, a to z důvodu požadavku zadavatele na výstup dat v tomto formátu. Pro tvoření geometricky složitých plastových dílů, které obecně vychází z importovaných designových ploch, je modelování v tomto CAD programu ideální. Řešení návrhu dílu bude provedeno pomocí parametrického modelování s následným ověřením vhodnými analýzami.

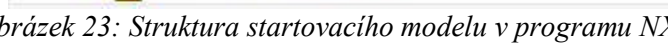
3.3.1 Tvorba modelu

Za účelem tvorby modelu pomocí parametrického CAD modelování bude využito následujících modulů softwaru Siemens NX. Modul *Shape studio* je vhodný pro práci s A-plochami. Konkrétně se využívá pro zpracování importovaných izolovaných designových ploch a tvorby složitější geometrie za pomoci ploch a křivek. Avšak modul *Modeling* a jeho nástroje, slouží pro objemové i plošné modelování a přechází se k němu z důvodu jednodušší struktury, snadnější editace vytvořené geometrie a rychlejší aktualizace modelu. Tento modul je vhodnější a pro potřeby modelování plastových dílů

zcela dostačující. Parametrické modelování se uplatňuje za účelem dosažení lehce modifikovatelného modelu, který je konstruktér nucen během jeho vývoje neustále editovat například z důvodu výrobních a pevnostních změn (tloušťka stěny, počet žeber, velikost úkosu). Veškerá geometrie musí být ve struktuře modelu dohledatelná a pokud možno lehce modifikovatelná. Vstupními parametry jsou pouze souřadný systém vozidla, designové plochy a směr formování dílu. Další tvorba modelu musí vycházet z této geometrie, na kterou jsou navázány další příkazy, jejichž postup a historie se ukládá a zobrazuje ve struktuře (stromu) modelu. Obecně je nepřipustné, aby se v modelu vyskytovaly odkazy na jiné modely či soubory, které by je v případě změny automaticky aktualizovaly.

3.3.2 Struktura modelu

Během konstrukce samotného dílu je důležité dodržovat určitou strukturu modelu, která je na počátku vzniku dána tzv. *start modelem*. Jeho struktura je dána podnikovými normami a používá se pro všechny součásti sestavy tak, aby každý model byl tvořen obdobně. Obvykle každá automobilka nebo společnost má svůj startovací výchozí model, který slouží konstruktérům a dodavatelům 3D dat jako šablona. Vhodná struktura modelu v podobě start modelu se používá za účelem snadné práce s modelem, lehké editace, rychlé aktualizace geometrie či bezproblémové rozšiřitelnosti o další prvky. Na obrázku 23 je zobrazen strom modelu s pracovní strukturou pro tvorbu parametrického modelu v programu Siemens NX10. Veškerá vstupní i pracovní geometrie se vkládá do adresáře *Model History*, kde se odehrává celá pracovní činnost. Obecně se při tvorbě dílu využívají jen některé geometrické sety (složky), které přímo souvisí s tvorbou 3D modelu. V adresáři *External_References* slouží složka *Styling geometry* pro vkládání vstupních designových ploch, které není možné editovat a většinou jsou dány zadavatelem. V geometrickém setu *Adapter_Geometry* jsou umístěny všechny prvky, které ovlivňují tvar modelu. Jedná se obvykle o plochy či prvky (klipy, otvory) okolních součástí, se kterými je pracovní model přímo spojen nebo je mezi nimi stanovena určitá vůle. Model je touto geometrií přímo ovlivněn, například zde může být umístěn klip vedlejšího dílu, pro který je potřeba v pracovním modelu vytvořit adekvátní otvor. Ve složce *References* v setu *Basic_Coordinate_System* je umístěn výchozí souřadný systém, jehož pozice je ve středu přední nápravy automobilu. Geometrický set *Parting_Elements* zahrnuje hlavní směr formování dílu, dílčí směry formování posuvných jader formy a dělicí rovinu modelu,



30

globálnímu souřadnému systému vozidla. Odpadá tak nutnost aktualizace vazeb polohy při každém tvoření sestavy či podsestavy během vývoje dílu, což by bylo velmi pracné a časově náročné. Obvykle má každý díl svůj lokální souřadný systém, který je umístěn v prostoru dílu a jeho počátek je definován souřadnicí vůči globálnímu souřadnému systému. Výhodné je umístit tento souřadný systém na nějaký významný bod modelu, u kterého se předpokládá, že již nebude měnit svoji polohu. Pro kontrolu vzájemné polohy modelů je možné jednotlivé díly načíst do sestavy, kde se automaticky uspořádají podle jejich výchozího, tedy globálního souřadného systému. Tento systém je velmi jednoduchý a efektivní a to především v prostředí sestav s velkým počtem dílů, kde jsou jednotlivé modely často dodány různými, na sobě nezávislými subjekty.

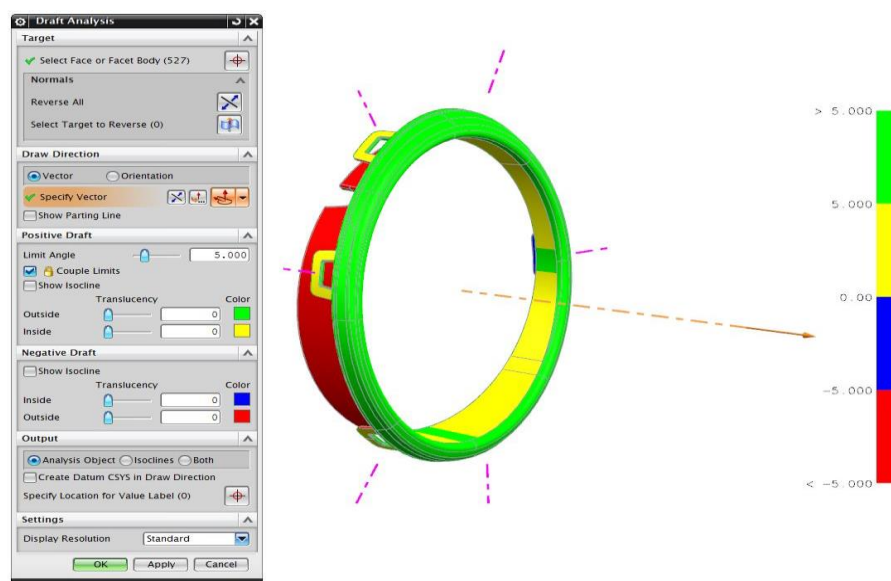
3.4 Kontrolní analýzy

Již během konstrukce a vývoje je potřeba brát zřetel na technologické požadavky vyplývající ze způsobu výroby daného dílu. K průběžné i finální kontrole geometrie modelu slouží mnoho užitečných nástrojů, které obsahuje každý renomovaný software pro zpracování CAD dat.

3.4.1 Draftová analýza

Důležitou technologickou vlastností dílu je jeho odformovatelnost, která je dána hlavním směrem formování. Směr formování definuje směr odjezdu pohyblivé části formy a zároveň je v tomto směru výsledný výlisek z formy vyhozen. Vůči tomuto vektoru a odpovídající dělicí rovině se navrhují úkosy jednotlivých stěn modelu, které usnadňují otevření formy a vyhození výlisku. Směr formování je v modelu vyznačen úsečkou, která definuje polohu dílu ve formě a většinou je navržen samotným konstruktérem daného dílu. Software Siemens NX, stejně jako řada dalších CAD systémů nabízí nástroj pro kontrolu velikosti úkosů neboli odformatelnosti dílu, tzv. *Draft Analysis*. Po zvolení směru formování a daného modelu se jednotlivé oblasti dílu zbarví dle nastavené stupnice hodnot úkosů. Pro hlubší analýzu úkosů lze na stupnici nastavit paletu více barev, která je odstupňována podle velikosti úkosů. Analýza je vhodná především pro odhalení oblastí modelu, kde se vyskytuje nedostatečné zformování či dokonce podkoso, které nelze vyrobit. Z tohoto důvodu je potřeba provádět analýzu průběžně během samotné konstrukce

modelu, aby případné nedostatky byly odstraněny včas. Kontrolu zformovatelnosti dílu lze využít nejen pro hlavní formovací směr, ale i pro dílčí směry bočních posuvných jader.



Obrázek 24: Draftová analýza
Zdroj: vlastní

Pro účely rychlé kontroly aktuálního stavu všech ploch postačuje stupnice čtyř barev rozčleněná rovnoměrně, například po pěti stupních.

3.4.2 Analýza tloušťky stěn modelu

Během konstruování vstřikovaných plastových dílů je potřeba také dbát na technologické zásady spojené s kvalitou výrobku. Jedním z hlavních faktorů, které mají vliv na celkovou kvalitu výlisku, je tloušťka stěn modelu. Obecným požadavkem je zachovat nominální tloušťku stěny konstantní po celé geometrii modelu, aby nedocházelo k propadům a jiným nežádoucím jevům spojených s tuhnutím taveniny, viz kapitola 2.1. Pro průběžnou kontrolu tloušťky stěn slouží v programu Siemens NX nástroj *Check Wall Thickness*, který dokáže barevně rozlišit oblasti s různou hodnotou tloušťky materiálu. Konstruktor by měl v průběhu vývoje dílu průběžně kontrolovat stav tloušťky stěn, a to především v kritických místech, kde dochází k napojení více prvků (např. klipy, žebra, komínky).

3.5 Zvolené materiály

Pro konstruované díly musí být před samotným tvarovým návrhem určen příslušný materiál, který bude vyhovovat zadaným požadavkům a splňovat mechanické a funkční vlastnosti. V této kapitole je stručný popis použitých materiálů.

3.5.1 PP/EPDM T20

Pro konstrukční návrh hlavního držáku mlhového světloometu, který je popsán v kapitole 6.1 byl zvolen materiál ze směsi polypropylenu a etylén-propyldienů s příměsí talku 20 %. Tento materiál nese označení PP/EPDM T20, a důvod jeho volby vychází z materiálů okolních vstupních dílů, které jsou vyrobeny rovněž z tohoto velmi rozšířeného termoplastu. Semikrystalický polypropylen se vyznačuje střední pevností, tuhostí a dobrou houževnatostí, nevýhodou z oblasti mechanických vlastností je jeho sklon ke křehnutí a nízká povrchová tvrdost. Mezi termoplasty má nízkou hustotu - jen 900 kg/m^3 a prezentuje se relativně dobrou chemickou i tepelnou odolností. Výsledná vyšší hustota je dána příměsmi. Vstřikuje se vyšší vstřikovací rychlostí za vysokého tlaku do formy o teplotě $10-80 \text{ }^\circ\text{C}$. Z důvodu eliminace propadů způsobených větší mírou smrštění se využívá delší doby dotlaku. Elastomer EPDM se do polypropylenu přidává za účelem zlepšení odolnosti vůči vnějším vlivům (kyseliny, UV záření), odolnosti proti zestárnutí a zvýšení hodnot mechanických vlastností, zejména houževnatosti. Talek neboli mastek je anorganické minerální plnivo na bázi křemičitanů, vyznačující se dobrou odolností proti vysokým teplotám a kyselinám. V tomto materiálu má zastoupení 20 % a jeho přítomnost přináší zlepšení pevnosti v ohybu a snížení ceny materiálu. Důležité mechanické vlastnosti materiálu jsou shrnuty v následující tabulce. [12], [14], [19]

Tabulka 2: Vlastnosti materiálu PP/EPDM T20

PP/EPDM T20			
Vlastnost	Označení	Jednotky	Hodnota
Hustota	ρ	kg/m^3	960
Mez pevnosti	R_m	MPa	25
Mez kluzu	R_e	MPa	18
Modul pružnosti v tahu	E	MPa	1700
Poissonova konstanta	μ	-	0,4

Zdroj: [14]

3.5.2 ASA

Přední pohledový vnější kryt mlhového světlometu konstruovaný v kapitole 6.2 je navržen ze styrenového polymeru Acrylesteru-Styrolu-Acrylnitrilu, jenž nese zkrácené označení ASA. Hlavním důvodem volby je estetická funkce tohoto krytu, který musí odolávat vnějšímu prostředí a zároveň splňovat vysoké designové požadavky. Styrenové polymery jsou obecně tuhé a pevné amorfnní plasty, jejichž povrch je lesklý. Hustota materiálu je 1070 kg/m^3 , vyznačuje se lepší rázovou houževnatostí ($E = 2600 \text{ MPa}$) a hodnota meze kluzu je vyšší než u termoplastu na bázi polypropylenu. Jak již název napovídá, materiál se skládá ze tří složek. Akrylátový kaučuk výrazně vylepšuje odolnost proti stárnutí a zlepšuje teplotní stabilitu. Styrenová složka ovlivňuje lesklost, hladkost povrchu a ovlivňuje mechanické vlastnosti. Na teplotní a chemickou odolnost má pozitivní vliv také akrylonitril. Obecně se ASA vyznačuje dobrou odolností vůči kapalným a agresivním chemikáliím (ředěné kyseliny, oleje, tuhy, alkoholy) a vysokou odolností proti stárnutí. [12], [14]

Tabulka 3: Vlastnosti materiálu ASA

ASA			
Vlastnost	Označení	Jednotky	Hodnota
Hustota	ρ	kg/m^3	1070
Mez pevnosti	R_m	MPa	60
Mez kluzu	R_e	MPa	50
Modul pružnosti v tahu	E	MPa	2600
Poissonova konstanta	μ	-	0,4

Zdroj: [14]

4. Spojovací prvky

Vzhledem k povaze a požadavkům na spojení držáku mlhového světlometu s okolními díly, bude potřeba použít více druhů spojovacích prvků. Jejich obecný přehled byl proveden v kapitole 2.8. Požadavky na propojení mezi jednotlivými díly sestavy bude shrnuto v kapitole pojednávající o konstrukci samotných součástí.

4.1 Porovnání spojovacích elementů

V této kapitole je vytvořeno srovnání jednotlivých spojovacích prvků vztažených k sestavě předního modulu vozidla. Při volbě způsobu spojení jsou hlavními faktory rychlá a jednoduchá montáž, zástavbový prostor, pevnost, požadavek na rozebíratelnost spoje a cena. Hodnocení bylo vytvořeno skupinou konstruktérů zabývajících se vývojem a konstrukcí plastových částí vozidel a front-end modulů s minimální praxí pět let. V následující tabulce jsou zobrazeny výsledky srovnání.

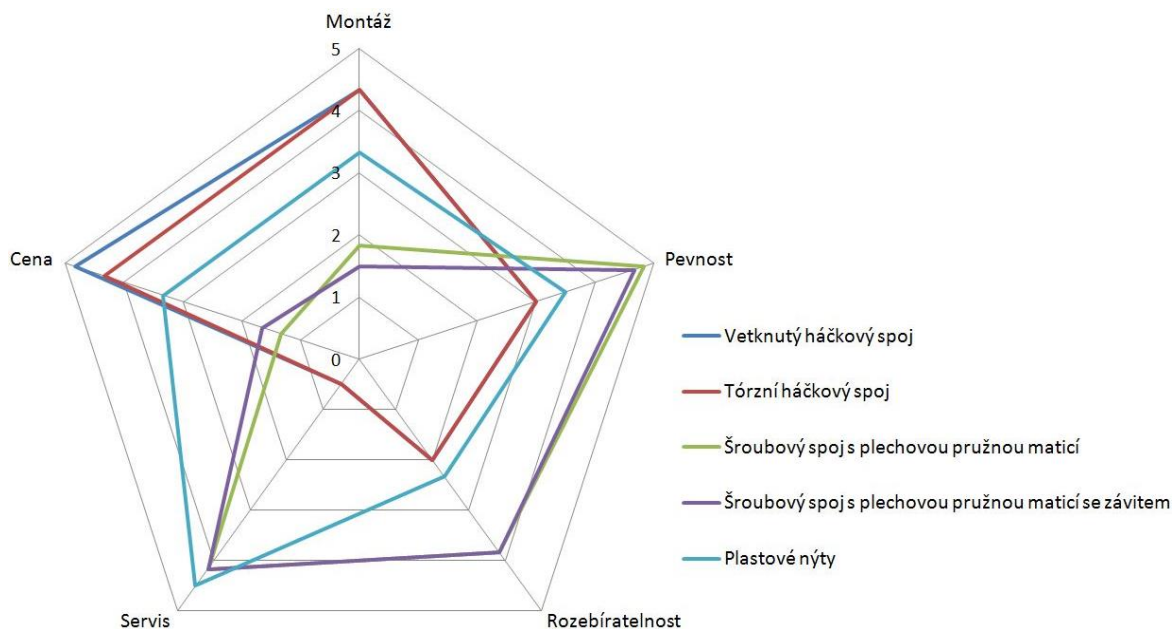
Tabulka 4: Výsledky porovnání spojovacích prvků

Typ spoje	Obrázek	Montáž	Pevnost	Rozebíratelnost	Servis	Cena	CELKEM
Vetknutý háčkový spoj		4,3	3	2	0,5	4,8	14,7
Tórní háčkový spoj		4,3	3	2	0,5	4,3	14,2
Šroubový spoj s plechovou pružnou maticí		1,8	4,8	3,8	4,2	1,3	16,0
Šroubový spoj s plechovou pružnou maticí se závitem		1,5	4,7	3,8	4,2	1,7	15,8
Plastové nýty		3,3	3,5	2,3	4,5	3,3	17

Zdroj: vlastní

Jednotlivé parametry byly hodnoceny hodnotami v intervalu od nuly do pěti, přičemž číselná hodnota 5 znamená nejlepší plnění zadané vlastnosti - nejjednodušší montáž, nejpevnější, lehce rozebíratelný, snadno nahraditelný při poškození a nejlevnější. Hodnota

nula v hodnocení vyjadřuje přesný opak - nejobtížnější montáž, nejslabší, nerozebíratelný, nenahraditelný při poškození, nejdražší. Pro přehlednost jsou výsledky zobrazeny prostřednictvím pavučinového diagramu na obrázku 25.



Obrázek 25: Pavučinový diagram vlastností spojovacích prvků
Zdroj: vlastní

V tabulce číslo 6 jsou jednotlivé výsledky vynásobené příslušným koeficientem důležitosti (tab. 5), který vyjadřuje váhu jednotlivých vlastností při volbě vhodného spoje.

Tabulka 5: Hodnoty koeficientu důležitosti

Vlastnost	Koeficient
Montáž	5
Pevnost	5
Rozebíratelnost	3
Servis	1
Cena	4

Zdroj: vlastní

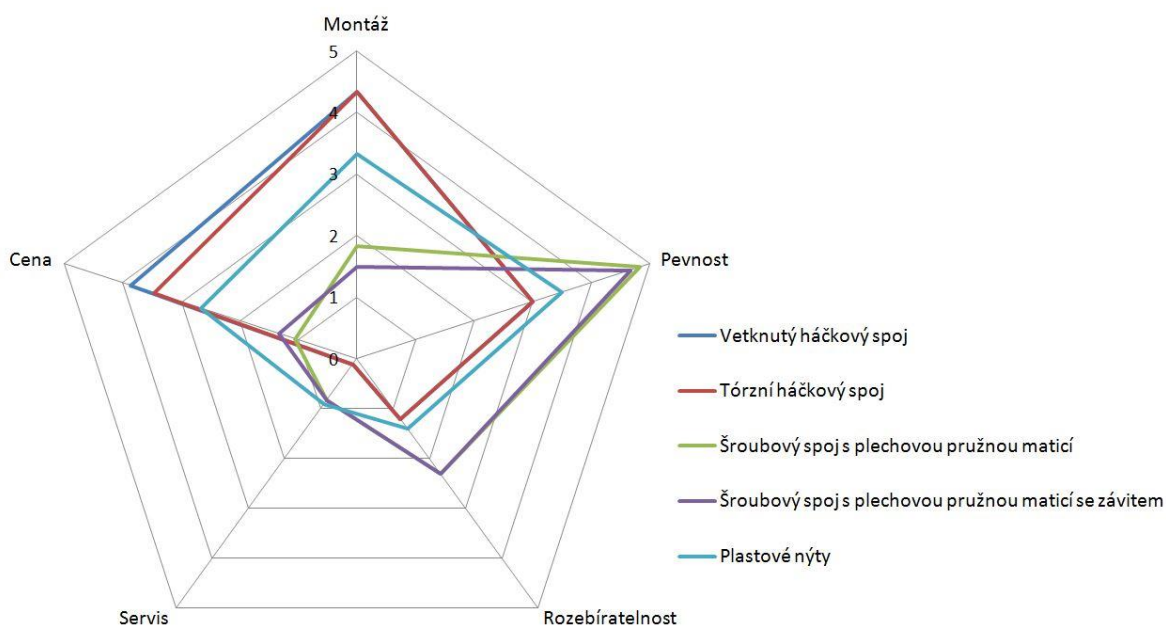
Čím je hodnota koeficientu vyšší, tím je daná vlastnost důležitější při vývoji a konstrukci a v tomto důsledky i při samotné volbě. Číselná hodnota koeficientu se pohybuje v intervalu od 0 do 5. Například hlavním požadavkem, který musí spojovací prvky splňovat je především rychlá a jednoduchá montáž, cena a pevnost. Na servis nebo rozebíratelnost je při vývoji kladena nižší priorita, viz tabulka číslo 5.

Tabulka 6: Celkové výsledky porovnání spojovacích prvků

Typ spoje	Obrázek	Montáž	Pevnost	Rozebíratelnost	Servis	Cena	CELKEM
Vetknutý háčkový spoj		4,3	3	1,2	0,1	3,9	12,5
Tórní háčkový spoj		4,3	3	1,2	0,1	3,5	12,1
Šroubový spoj s plechovou pružnou maticí		1,8	4,8	2,3	0,8	1,1	10,9
Šroubový spoj s plechovou pružnou maticí se závitem		1,5	4,7	2,3	0,8	1,3	10,6
Plastové nýty		3,3	3,5	1,4	0,9	2,7	11,8

Zdroj: vlastní

Vzhledem k požadovaným vlastnostem spoje vyšel z tohoto porovnání jako ideální vetknutý háčkový spoj. Pro přehlednost jsou výsledky zobrazeny také v pavučinovém diagramu (obr. 26).

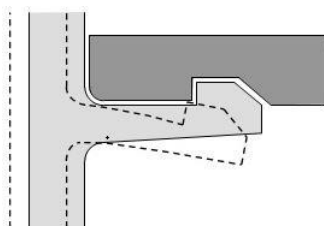


Obrázek 26: Celkové výsledky porovnání spojů

Zdroj: vlastní

4.2 Návrh háčkového spoje

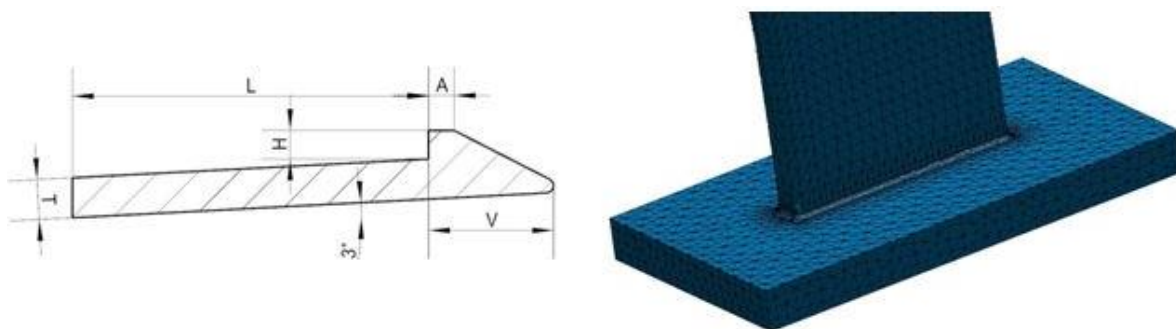
Tvar a geometrie klipu musí být dimenzována a volena s ohledem na montážní a provozní síly, kterým musí tento prvek bezvadně odolat. Pro ověření a stanovení mezních rozměrů je použita metoda konečných prvků provedená v softwaru Catia V5R19. Dosažené výsledky analýzy jsou dále použity a aplikovány při samotném vývoji jednotlivých dílů.



Obrázek 27: Ohyb klipu při montáži
Zdroj: [13]

4.2.1 Diskretizace modelu

Model háčkového spoje je vytvořen tak, aby co nejpřesněji představoval jeho reálný stav a respektoval zásady konstrukce vstřikovaných plastů. V této analýze jsou ověřovány klipy umístěné na předním plastovém nárazníku, jehož nominální tloušťka stěny je 2,8 mm. Jejich stěžejní funkcí je spojení nárazníku s hlavním držákem mlhového světloometu, do kterého se budou tyto klipy "zacvakávat".



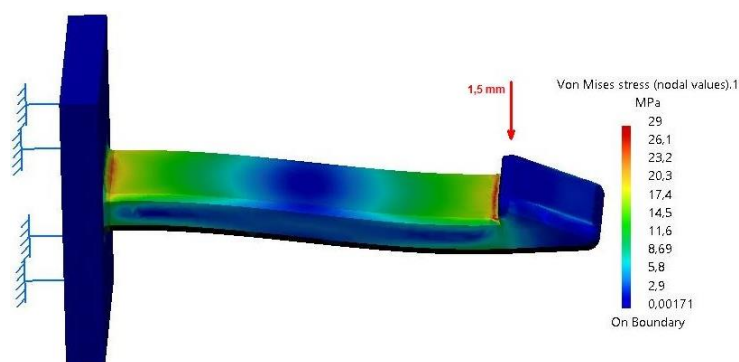
Obrázek 28: Skica klipu a detail sítě modelu
Zdroj: vlastní

Pro co nejpřesnější výsledky je důležité zvolit vhodný tvar a velikost elementů, které rozdělují těleso. Jejich četnost a velikost významně ovlivňuje čas simulace. Jelikož se nejedná o skořepinové těleso, je vhodné použít prostorovou síť, která vyplní model elementy typu čtyřstěnu. V programu Catia V5R19 je k dispozici několik typů prvků, z nichž nejvhodnější je element *parabolic tetrahedron*, který představuje velmi přesné

výsledky ve 3D prostoru. Pro model je zvolena síť s elementy velikosti 0,5 mm a lokálním zjemněním v oblasti vetknutí do svislé stěny, kde se předpokládá největší ohybové napětí na 0,2 mm. Zjemnění sítě přináší přesnější výsledky než u automaticky generované sítě při ještě přijatelném výpočetním čase. Relativní chyba sítě v podobě deformační energie se pohybuje okolo přijatelné hodnoty 0,7 %.

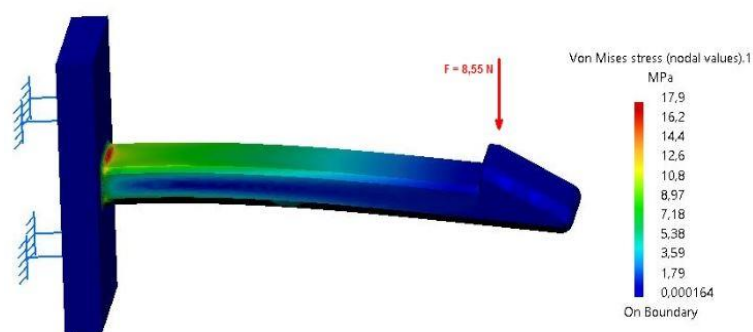
4.2.2 Okrajové podmínky a zatížení

Již zasíťovaný model je potřeba opatřit příslušnými okrajovými podmínkami a zatížením, které v tomto případě simuluje reálný ohyb klipu při jeho montáži. Vstupním parametrem je tloušťka klipu ve vetknutí, kde je nominální hodnota tloušťky rovna tloušťce stěny dílu, ze kterého vychází - v tomto případě se jedná o přední plastový nárazník, jehož tloušťka je 2,8 mm. Sledovaným parametrem je minimální přípustná délka klipu v závislosti na velikosti ohybu, který je určen výškou zaklipávací plochy H (viz obr. 28).



Obrázek 29: Zatížení definované vertikálním posunem
Zdroj: vlastní

Za účelem reálné simulace ohybu byl klip vetknut pomocí funkce *Clamp* za jeho spodní plochu. Pro definici ohybu byl nejprve použit příkaz *enforced Displacement*, který zajišťuje posunutí zobáčku o hodnotu H. Avšak při tomto příkazu došlo k posunutí pouze ve vertikálním směru, aniž by bylo zahrnuto podélné prodloužení klipu při ohybu. V tomto důsledku se klip deformuje nejen v ohybu, ale i na vzpěr, což je nežádoucí (obr. 29). Maximální hodnota napětí vzniká přímo pod samotnou zaklipávací plochou, což neodpovídá realitě. Proto je nutné zatížení definovat silou působící ve směru ohybu (vertikálně), která svým působením vytvoří požadovaný ohyb.



Obrázek 30: Zatížení definované silou
Zdroj: vlastní

Velikost síly je v tomto případě zvolena metodou pokus-omyl tak, aby korespondovala s požadovaným ohybem zobáčku o délku H . Pro tento účel, je metoda zcela dostačující, byť nepřilíš sofistikovaná. Věrně simuluje ohyb klipu během montáže, což dokazuje obrázek číslo 30, kde se klip ohybuje zcela přirozeně bez dalších nežádoucích deformací.

4.2.3 Výsledky výpočtu

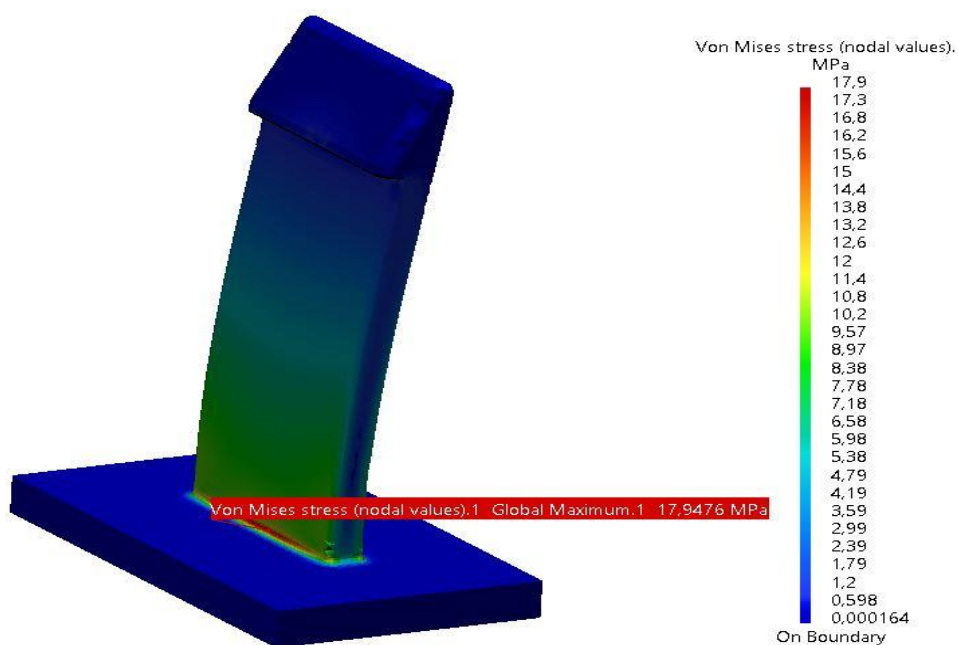
Hledaným parametrem je mezní délka klipu L dané tloušťky v závislosti na výšce zobáčku H . Maximální dovolené napětí je dáno mezí kluzu materiálu, jehož hodnota je 18 MPa. V rámci simulace byla provedena série výpočtů pro zaklípávací plochy výšky 1,5 mm - 2,5 mm s krokem po 0,1 mm. Šířka klipu byla zvolena hodnotou 18 mm a zaoblení v místě uchycení do svislé stěny hodnotou 0,5 mm. Nejvyšší hodnoty napětí bylo dosaženo dle předpokladů na patě klipu. Výsledky simulace jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tabulka 7: Výsledky MKP analýzy háčkového spoje

Tloušťka klipu H [mm]	Šířka klipu B [mm]	Velikost záklipu T [mm]	Délka klipu L [mm]
2,8	18	1,5	26,8
		1,6	27,6
		1,7	28,6
		1,8	29,7
		1,9	30,7
		2	31,5
		2,1	32,7
		2,2	33,5
		2,3	34,5
		2,4	35,4
		2,5	36,2

Zdroj: vlastní

Analýza byla provedena pro zaklipovací stěnu umístěnou na předním nárazníku vozidla. Ve většině případů jsou však háčkové spoje konstruovány ve složitější geometrii a je nutné je ověřovat v celku s modelem, na kterém jsou umístěny. V praxi se klipy vetknuté přímo kolmo do stěny vyskytují jen zřídka.



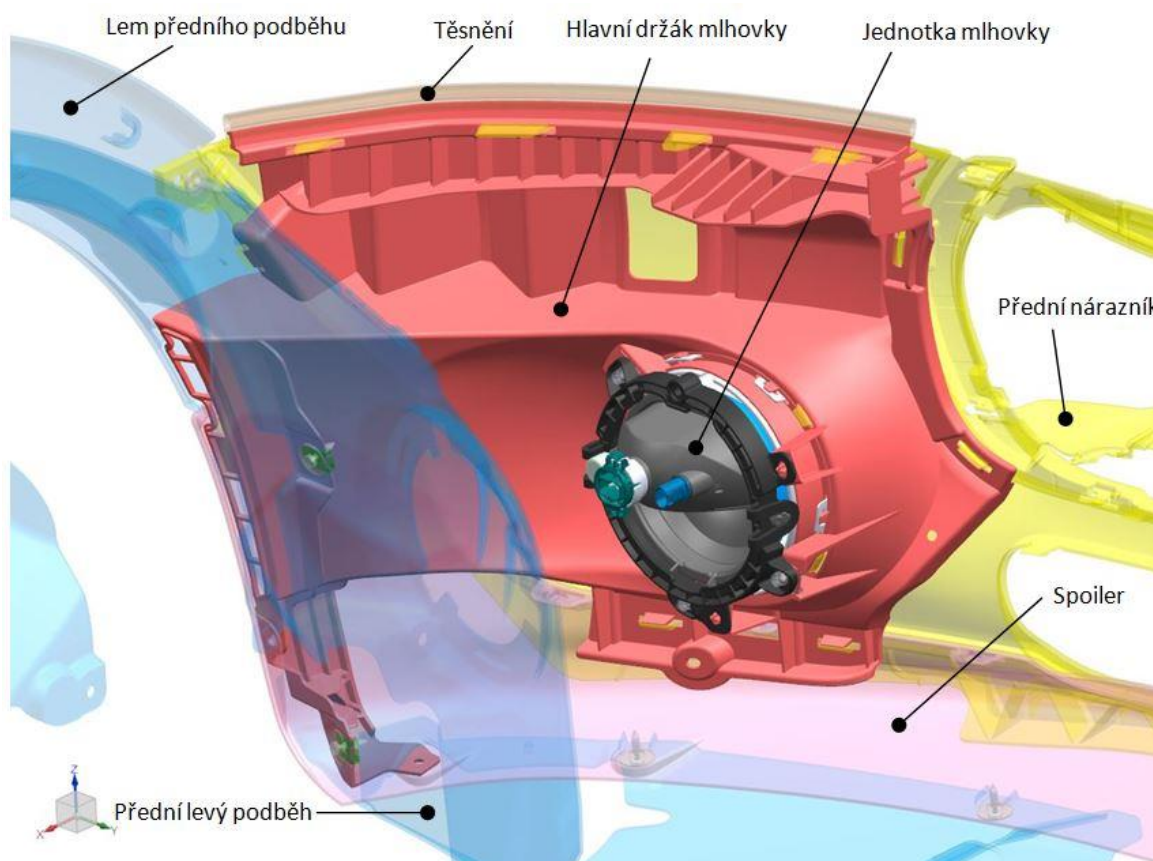
Obrázek 31: Ukázka výsledku MKP analýzy klipu
Zdroj: vlastní

5. Konstrukční návrh uchycení mlhového světlometu

Celá funkční a montážní sestava oblasti mlhového světlometu se bude skládat ze dvou navržených dílů - hlavního držáku mlhového světlometu a externího pohledového krytu, který má především estetickou funkci. Samotný návrh dílů a volba spojovacích elementů je provedena s ohledem na výrobu, montáž s okolními díly, pevnostní požadavky, cenu a samotnou funkci sestavy po dobu životnosti vozidla.

5.1 Hlavní držák mlhového světlometu

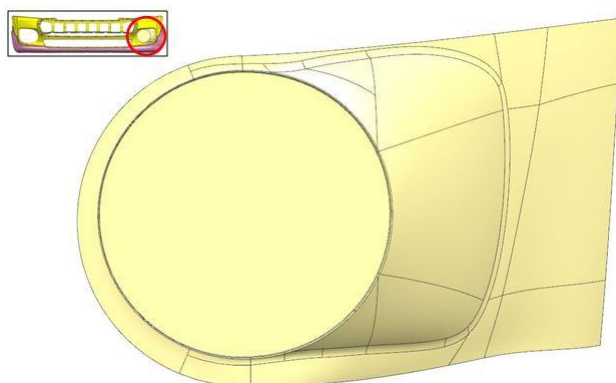
Jedná se o hlavní nosný díl, do kterého bude upevněna jednotka mlhového světlometu, a který bude vymezovat její pozici. Držák na levé i pravé straně je symetrický bez jakýchkoliv odlišností v geometrii modelu.



Obrázek 32: Držák mlhového světlometu a okolí
Zdroj: vlastní

5.1.1 Podmínky konstrukce a vstupní parametry

Hlavním vstupním parametrem je pohledová vstupní plocha (*A - surface*), která definuje tvar a geometrii na vnější straně dílu. Tuto plochu není dovoleno upravovat a všechny prvky (žebra, domečky, konzoly), které jsou vytvořeny na vnitřní straně modelu nesmí nijak degradovat kvalitu této plošné geometrie. Tvar plochy například definuje prostor pro proudění vzduchu k brzdám mezi ní, a předním plastovým nárazníkem.



Obrázek 33: Vstupní pohledová plocha (*A-surface*)
Zdroj: vlastní

Materiál je volen stejný jako u předního nárazníku, tedy termoplast na bázi polypropylenu - PP/EPDM T20, jehož vlastnosti jsou podrobněji popsány v kapitole 3.5.1. Stejný materiál stykových ploch má například výhodu v eliminaci vrzání. Nominální tloušťka stěny dílu je volena obvyklou hodnotou 2,5 mm. Směr formování dílu byl zvolen ve směru osy *x* globálního souřadnicového systému vozu, což je směr shodný se směrem odformování předního nárazníku. Obecně se předpokládá montáž jednotlivých dílů v tomto směru. Jednou z hlavních podmínek na tvar a geometrii dílu je jeho spojení s okolními díly. Vstupním požadavkem je spojení dílu s předním nárazníkem, spodním spoilerem a podběhem pro přední kola vozidla, což výrazně ztěžuje montáž celé sestavy a volbu typu spojení mezi těmito díly.

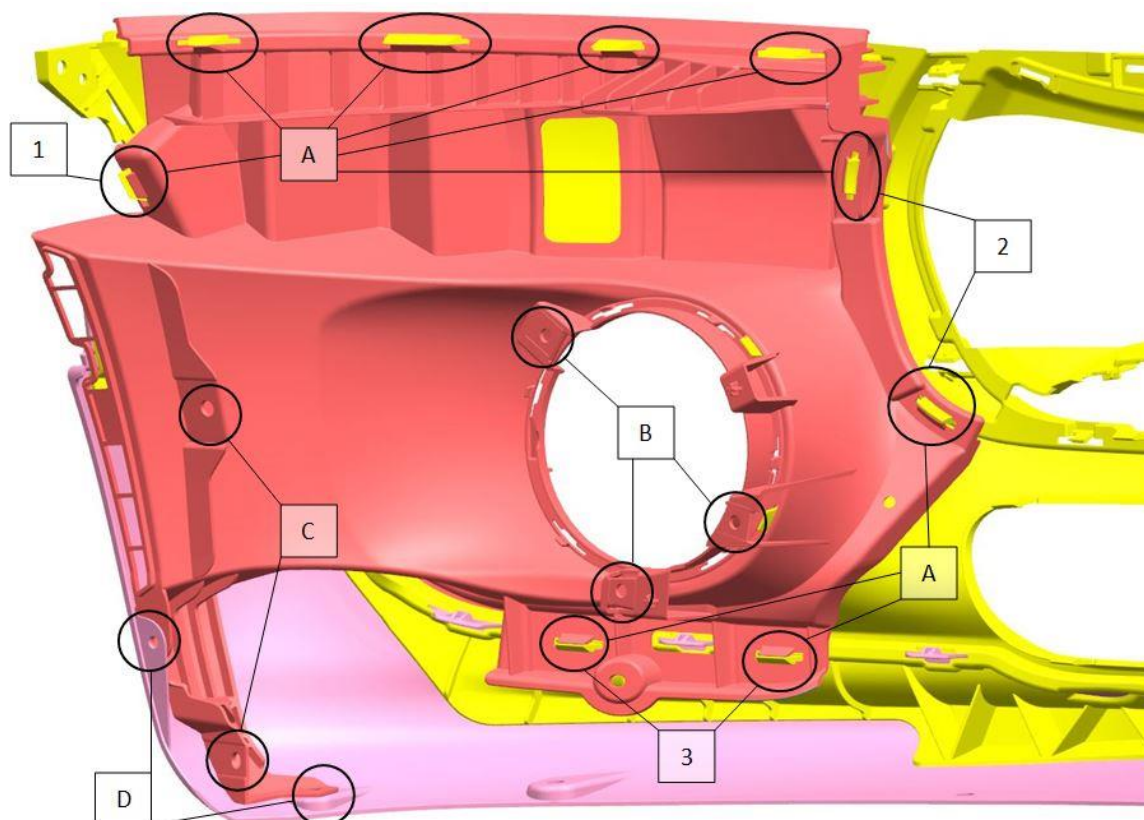
Shrnutí podmínek návrhu:

- Materiál PP/EPDM T20,
- Nominální tloušťka stěny 2,5 mm,
- Odformování dílu ve směru osy *x* globálního souřadnicového systému vozu,
- Respektování prostoru pro proudění vzduchu k předním brzdám,

- Spojení s okolními díly:
 - jednotkou mlhového světlometu
 - předním nárazníkem
 - spodním spoilerem
 - předním podběhem.

5.1.2 Primární tvarování dílu

Tvar samotného dílu a jeho jednotlivých částí vychází výhradně z jeho funkce. Vstupní designová plocha je prodloužena a plynule kopíruje vnitřní stranu nárazníku, od které je odsazena v normálovém směru o 1 mm. Jednotlivé dorazy k nárazníku, které vymezují danou vzájemnou polohu, jsou řešeny v rámci spojovacích prvků. V horní části dílu je tvar řešen s ohledem na tuhost a zároveň odlehčení materiálu. Výška držáku je dána vnějším těsněním, pro které je na vrchní části vytvořen lem pro snadné nasazení. Vnější hranice modelu jsou definovány s ohledem na požadovaná spojení s okolními díly. Jelikož je nutné z různých podmínek realizovat spoje v různých směrech montáže, jsou tyto spojovací prvky tvarově složité a na první pohled neestetické, avšak zcela funkční. Spodní okraj držáku je opět vymezen umístěnými klipy v předním nárazníku a "domečkem" pro upevnění kabeláže. Tvar dílu v jeho horní polovině je navržen "schodovitě" za účelem zvýšení tuhosti, kterou ještě navyšuje množství příčných žeber spojujících protilehlé stěny profilu. Horizontální žebra umístěná v této geometrii jsou navržena s tloušťkou 1,5 mm a úkosy o hodnotě 2,5 stupně vůči hlavnímu formovacímu směru. Avšak tloušťka 3 mm v místě napojení žeber do stěny modelu je neobvykle vysoká a vzhledem k nominální tloušťce stěny dílu 2,5 mm znamená rizika ve výskytu povrchových vad, kterými jsou propady. Protože je tato část dílu nepohledová, nehrají zde propady důležitou roli a tuhost je tak upřednostněna před kvalitou. Vertikální žebra umístěná v "U" profilu mají tloušťku stěny 2 mm při stejné hodnotě zkosení stěn. Rozestup mezi žebry činí 25 mm a hodnota tloušťky žebra v místě napojení do stěny je stejná jako u níže položených horizontálních žeber.



Obrázek 34: Spojovací prvky držáku

A - spoje s předním nárazníkem; B - spoje s jednotkou mlhového světlometu;

C - spoje s předním podběhem; D - spoje s předním spoilerem

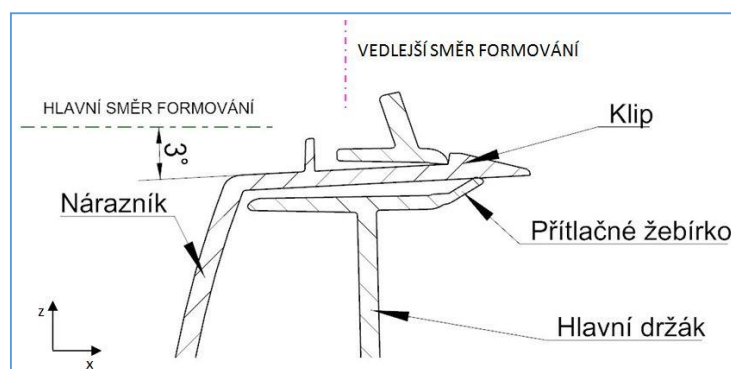
Zdroj: vlastní

5.1.3 Spojení s nárazníkem

Zajištění spojení hlavního držáku mlhového světlometu s předním plastovým nárazníkem je realizováno pomocí mechanických poddajných prvků - klipů. Výhodou tohoto řešení je jednoduchá montáž bez potřeby speciálního nářadí. Z obrázku číslo 34 (detail A) je patrné osazení celkem devíti klipy na předním nárazníku, jejichž umístění kopíruje obvod držáku, aby spojení bylo zajištěno rovnoměrně. Tvar klipů je tvořen za účelem bezproblémové montáže v hlavním formovacím směru obou dílů, kterým je osa x globálního souřadnicového systému vozidla. Shodný směr formování usnadňuje tvoření vzájemných dosedacích a vymezovacích ploch obou dílů.

Na horní hraně nárazníku jsou pro účely spojení s hlavním držákem navrženy jednoduché vetknuté klipy, jejichž rozměry jsou určeny formou metody konečných prvků v kapitole 4.2. Klipy jsou vytvořeny v prodloužení horní stěny nárazníku, která zajistí dostatečnou

délku pro jejich funkční ohyb při montáži. Kvůli zamezení vnějšímu pohledu dovnitř spojované oblasti je na nárazníku vytvořen krycí lem (obr. 36), který však z hlediska výroby činí tvorbu klipů složitější a odsuzuje ji k výrobě ve vedlejším formovacím směru (obr. 35 - růžová čerchovaná úsečka) umístěného v ose z globálního souřadného systému vozidla. Díky tomu je potřeba do konstrukce výrobní formy přidat posuvná jádra, která ji činí technicky náročnější a dražší. Boční stěny klipů však musí dosahovat zkosení minimálně 7 stupňů, protože zde dochází ke styku ploch tvárníku a tvárnice formy. Pro jejich bezproblémový provoz je nutné jejich stykové plochy konstruovat pod úhlem 7-10°. Tvar a princip funkce klipů je znázorněn v řezu na obrázku číslo 35. Rozstup mezi jednotlivými klipy je 115 mm.

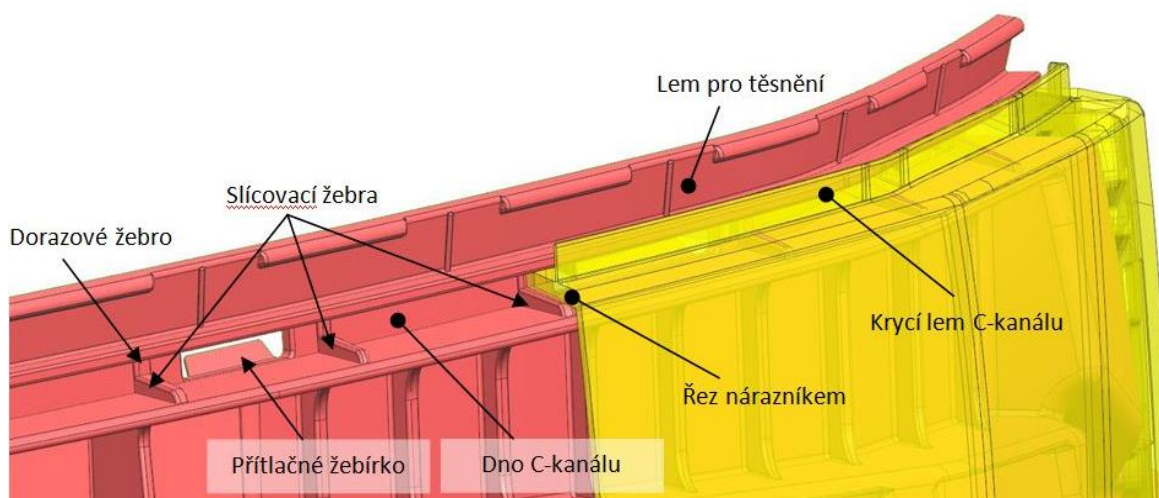


Obrázek 35: 2D řez C-kanálem

Zdroj: vlastní

Na hlavním držáku je pro zasunutí klipů umístěných na horní hraně nárazníku vytvořen kanál s profilem tvaru písmene "C" tzv. C-kanál. Jeho hloubka je dána délkou klipů, pro které jsou na dně kanálu vytvořeny otvory pro zaklipnutí. Na spodní hraně otvorů držáku pro klipy jsou umístěna přítlačná žebra, která zajišťují klipy v jejich funkční poloze a zabráňují jejich samovolné demontáži během provozu. Pro plynulé navedení stěny nárazníku s klipy do C-kanálu jsou na jeho spodní stěně vymodelovány tzv. naváděcí (slícovací) žebra, která jsou umístěná rovnoměrně po obou stranách všech otvorů pro klipy. Od hrany otvoru jsou odsazena o 7 mm a zkosení stykové plochy lícovacího žebra je shodné s úkosem stěny nárazníku, se kterým je v kontaktu. Jelikož jsou oba díly vyrobeny ve stejném formovacím směru, dojde při stejné hodnotě úkosu stykových ploch k jejich dokonalému kontaktu (jsou rovnoběžné). Naváděcí žebra přecházejí plynule v dorazy na dně kanálu, které zároveň slouží jako pomocné prvky pro montáž. Umožňují drobné prohnutí stěny s klipem pro snazší zasunutí klipu za hranu otvoru v hlavním držáku. Tato stěna je s držákem v kontaktu pouze prostřednictvím těchto žebírek s dorazy, které jednak usnadňují montáž plynulým navedením a zároveň vystředí pozici nárazníku vůči

hlavnímu držáku. Svislá stěna (ve směru osy z) umístěná na nárazníku před C-kanálem má za účel skrýt celou geometrii spoje, a zabránit tak možnosti vidět skrz otvory dovnitř vozu.

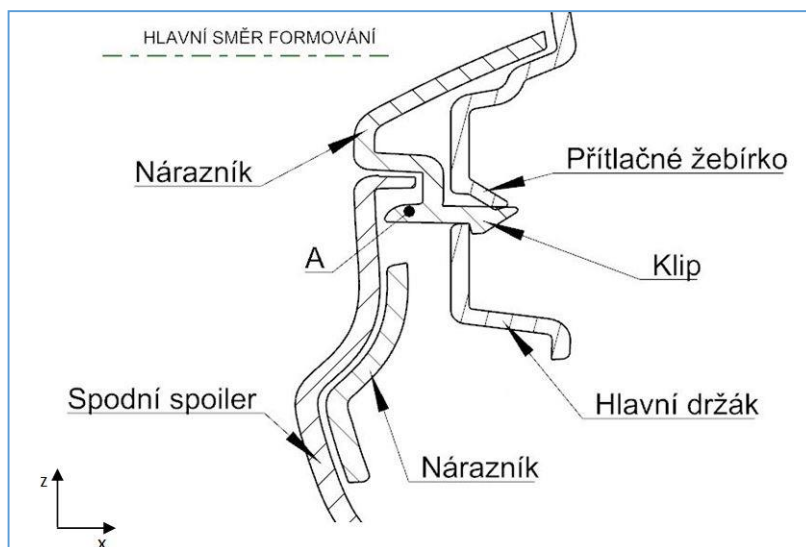


Obrázek 36: 3D řez C-kanálem
Zdroj: vlastní

Pro spojení dílů na levém okraji (obr. 34 - detail 1) je vytvořen jednoduchý vetknutý klip na prodloužené hraně nárazníku. V této oblasti je nárazník ohnut do směru formování a výrobě geometrie klipu v tomto směru nic nebrání. Pro účel spojení je v držáku mlhového světloometu vytvořen domeček s příslušným otvorem, do kterého se klip jednoduše zasune.

Klipy umístěné vůči držáku v jeho pravé části (obr. 34 - detail 2) opět vznikly v nepohledové geometrii nárazníku. Při volbě jejich pozice bylo využito již připraveného C-kanálu pro montáž s přední mřížkou vozu. Z vnější stěny kanálu jsou vytaženy dva klipy s příslušným otvorem na dně kanálu pro jejich snadné odformování v hlavním formovacím směru nárazníku a montáže (osa x). Držák je opatřen příslušnými zaklipávacími otvory s přítlačnými žebírky.

Ve spodní části sestavy (obr. 34 - detail 3) jsou použity dva vetknuté klipy, které opět využívají již vytvořené geometrie pro spojení nárazníku s předním spodním spoilerem. Klipy jsou v prodloužení vnější stěny C-kanálu, čímž se zvyšuje jejich funkční plocha pro ohyb (obr. 37), a opticky tak nedosahují takové výšky jako klipy vetknuté za spodní plochu. V držáku mlhovky je vyrobena konzola s otvory pro zaklipnutí s příslušnými přítlačnými žebírky. Mezi těmito otvory je vytvořena díra, která vytváří dostatečný zástavbový prostor pro torzní klip zajišťující spojení mezi nárazníkem a spoilerem.



Obrázek 37: Řez spodním klipovým spojem nárazníku s držákem
Zdroj: vlastní

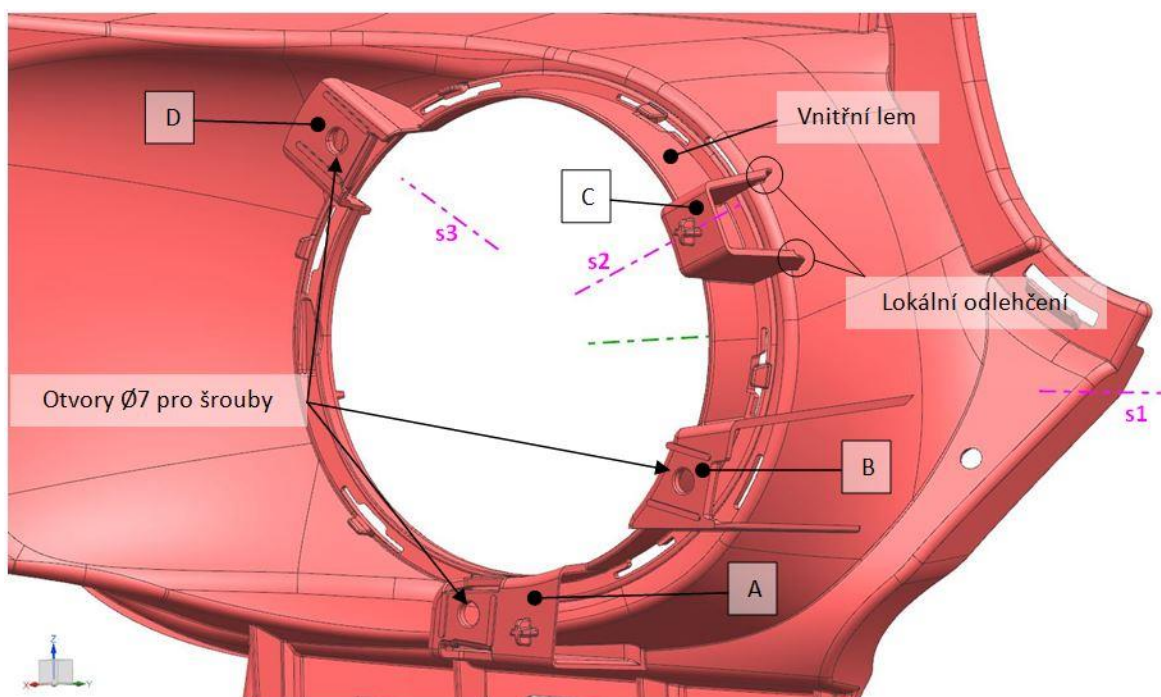
Pro zvýšení tuhosti je konzola opatřena obvodovým lemem a čtyřmi vertikálními žebry. Adaptér pro kabeláž je připraven pro držák opatřený pinem, jenž se do tohoto adaptéru jednoduše zacvakne.

5.1.4 Uchytení jednotky mlhového světlometu

Tvar, poloha a samotné pozice úchytných bodů (obr. 38 - B) jednotky mlhového světlometu jsou v rámci zadání pevně definovány a popsány v kapitole 3.2.1. Na vnitřní straně (*B - Surface*) hlavního držáku tohoto světlometu musí být vytvořeny příslušné elementy, které budou tuto polohu zajišťovat, a to vše při respektování základních pravidel konstrukce vstřikovaných plastů. Hlavní těleso mlhové jednotky je po obvodu osazeno konzolami, v kterých jsou již vytvořeny otvory pro spojení (obr. 21). Jedná se o tři díry připravené pro aplikaci šroubového spoje, dva otvory pro centrování a navedení dílu při montáži a jeden otvor pro manuální nastavení sklonu svitu mlhovky. Nerovnoměrné rozmístění těchto otvorů má zamezit pochybení při montáži (poka-joke prvek). Směr montáže je shodný se směrem formování všech hlavních dílů této sestavy, kterým je osa x globálního souřadnicového systému vozidla.

Pro realizaci spojení držáku s jednotkou mlhovky jsou postaveny na vnitřní straně držáku tzv. domečky, které vymezují vzdálenost mezi základní stěnou dílu a polohou mlhovky. Celkem bylo potřeba vetknout do stěny držáku čtyři domečky. Dva mají funkci spojovací (obr. 38 - B,D) - jsou opatřeny otvory pro šroubový spoj, jeden je osazen pouze naváděcím

pinem (obr. 38 - C) a jeden nese oba tyto elementy (obr. 38 - A). Prvky jsou umístěny analogicky vůči jednotce mlhového světlometu. Otvory pro šrouby v jednotce mlhového světlometu mají průměr 6 mm a jsou určeny pro použití šroubů velikosti M5. Odpovídající díry ve stěně "dómů" držáku mají velikost průměru 7 mm. Tolerance 1 mm vyrovná případné výrobní nepřesnosti. Šroubový spoj je složen celkem ze tří šroubů velikosti M5 s hlavou typu *torx* a tří plechových pružných matic, které jsou nasazeny na otvory domečků. Pro snadnější nasazení matic na domeček jsou na jeho stěně vytvořeny dvě žebírka, mezi které se matice nasadí a vystředí do již připraveného otvoru. Náběžná hrana domečků pro matice je sražena pod úhlem 45°. Při montáži mlhovky na hlavní držák (obr. 39) je potřeba nejprve nasadit matice na dómy držáku, navést jednotku mlhovky pomocí středících pinů na držák a poté pomocí momentového utahovače a šroubů připevnit díly mezi sebou. V tomto případě je montáž poměrně složitá, avšak vytváří pevný a rozebíratelný spoj, což v případě poškození světlometu umožňuje snadný servis.

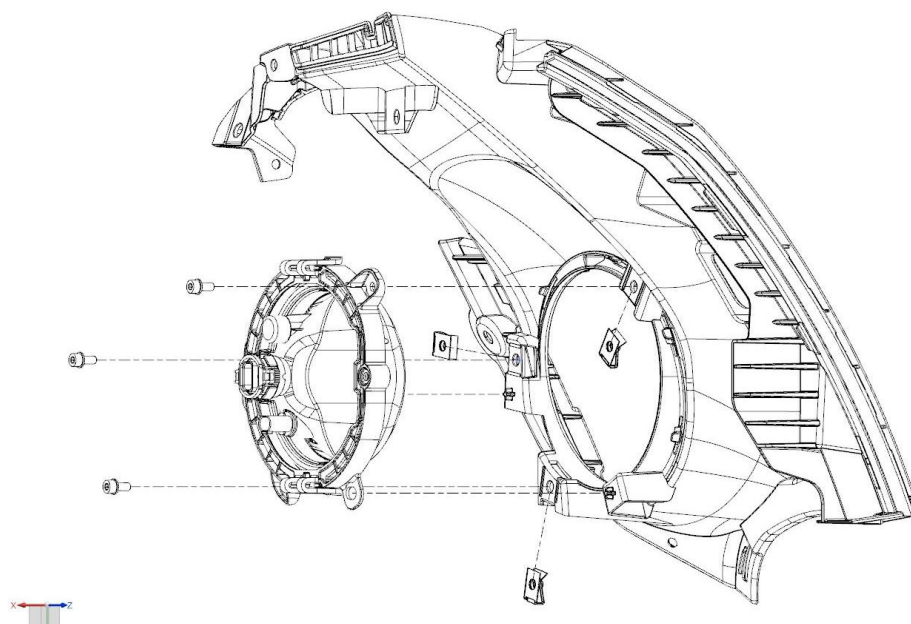


Obrázek 38: Návrh domečků pro uchycení jednotky mlhového světlometu
Zdroj: vlastní

Samotný návrh domečků je velice různorodý. V podstatě každý domeček podléhá vlastním technologickým požadavkům na konstrukci a výrobu. Společnou vlastností je jejich tvar. Vnitřní hranicí domečků je samotný otvor pro mlhový světlomet, který je opatřen lemem o tloušťce 2 mm. Lem se lokálně stává součástí některých domečků a uzavírá jejich vnitřní profil. Vnitřek domečků musí být dutý, aby bylo dosaženo rovnoměrného tuhnutí taveniny

a nedocházelo k nahromadění materiálu v jednom místě. Druhým důvodem je bezproblémové nasazení plechových pružných matic na vrchní stěnu domečků, které nesou své funkční prvky. Vnější plochy stěn domečků, otvory pro šrouby a piny jsou formovány v hlavním formovacím směru držáku (obr.38 - tmavě zelená čerchovaná čára), avšak dutiny domečků v tomto směru formovatelné nejsou a je potřeba pro jejich výrobu použít ve formě jednoduchá posuvná jádra. Směr formování posuvnými jádry je na obrázku číslo 38 označen růžovou čerchovanou úsečkou.

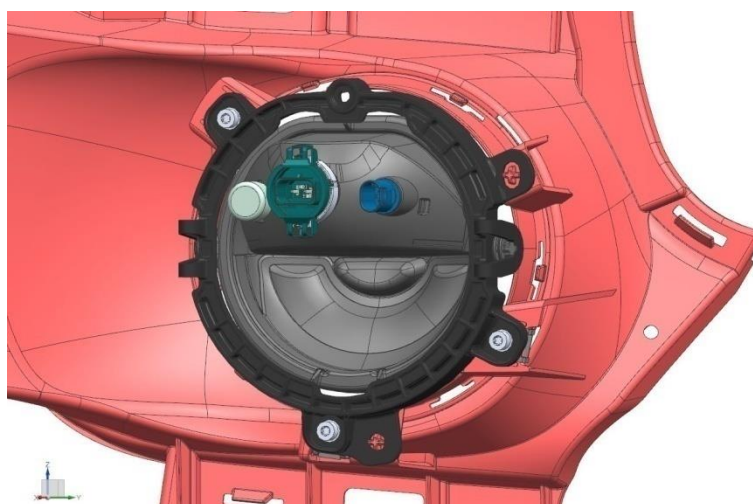
Domečky s označením A a B (obr. 38) jsou umístěny v nepohledové části dílu, proto tloušťka jejich stěn může být vetknuta přímo do stěny držáku bez nutného odlehčení materiálu, který by zabránil vzniku propadů. Pro výrobu těchto dvou dómů je zvolen jeden vedlejší směr formování (obr. 38 - s1), který je shodný s osou y globálního souřadného systému vozidla. Pro tento účel je nutné vytvořit v dutině formy posuvné jádra. Tloušťka stěny domečků je konstantní a shodná s tloušťkou stěny držáku - 2,5 mm.



Obrázek 39: Montážní sestava jednotky mlhového světlometu s hlavním držákem
Zdroj: vlastní

Domeček označený písmenem C je osazen "pouze" naváděcím pinem, který díl jednotky mlhovky vystředí a drží v pozici pro snadnější montáž šroubových spojů. Tento prvek se nachází v oblasti, kde protilehlá vnější plocha držáku je pohledová a je tedy nutné striktně dohlédnout na potenciální povrchové vady, které mohou vzniknout při vstřikování a následném chladnutí taveniny ve formě. Tloušťka stěny domečku v napojení do stěny držáku je z tohoto důvodu snížena na 1 mm, což zabrání vzniku propadů na protější

designové ploše. Odlehčení je aplikováno pouze v oblasti napojení, dále se již hodnota tloušťky stěny vrací na obvyklých 2,5 mm. Tato hodnota je zachována i v napojení na vnitřní lem otvoru pro mlhovku a proto celková tuhost domečku lokálním odlehčením u stěny držáku není významně oslabena. Směr formování posuvného jádra pro tento domeček je pootočen od osy y globálního souřadného systému o $23,5^\circ$ (obr. 38 - s2).



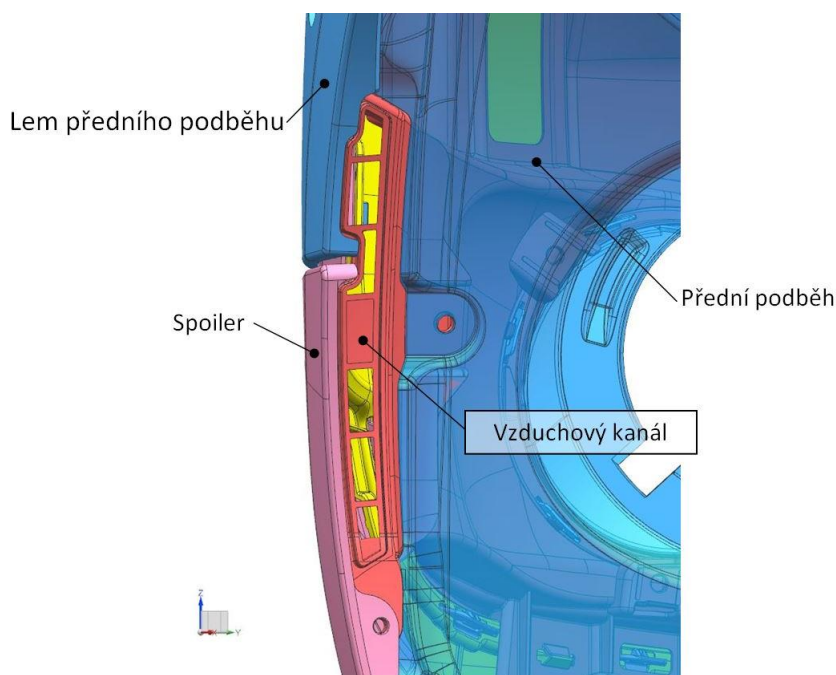
Obrázek 40: Sestava ve smontované podobě
Zdroj: vlastní

Čtvrtý domeček je na obrázku označen písmenem D. Jeho funkce je pouze spojovací a za tímto účelem je osazen otvorem pro šroub a příslušnými žebry pro nasazení plechové pružné matice. Svislé stěny jsou opět v místě napojení do hlavní stěny držáku lokálně odlehčeny, aby nedošlo ke vzniku propadlin. Lem, který je po obvodu vnitřního otvoru pro mlhový světlomet, není v tomto případě součástí dómu, ale je v této oblasti přerušen. Důvodem je umístění posuvného jádra, které formuje domeček ve směru pootočeném vůči ose y o 145 stupňů v záporném směru (obr. 45 - s3). Ostatní stěny jsou v rámci zachování tuhosti prodlouženy až do plynulého proniknutí s hlavní stěnou držáku.

5.1.5 Realizace tunelu pro proudění vzduchu k brzdám

Základní funkcí tohoto prvku, který je součástí hlavního držáku mlhového světlometu, je umožnění proudění vzduchu k předním brzdám za účelem jejich chlazení a zvýšení účinnosti při zatížení. Tvarový návrh a umístění kanálu je do značné míry definován zástavbovým prostorem. Požadavkem na konstrukci je orientace kanálu v rovině yz (kolmo na směr jízdy), a plynulá změna průřezu kanálu pro eliminaci vzniků turbulencí při proudění vzduchu. Pozice kanálu je dána z jedné strany vstupní designovou plochou

(obr. 33) držáku, která je prodloužena až do místa napojení s předním podběhem. V tomto místě musí být vzduchový kanál vymezen mezi podběhem, lemem předního podběhu a předním spodním spoilerem vozu. Vedle samotného proudění vzduchu tedy musí zajistit vymezení polohy mezi těmito díly, a být opatřen dostatečnou tuhostí. Předozadní pozice vzduchového kanálu je zvolena přímo na vstupu do podběhu předního kola a jeho hloubka směrem do přední části vozu je pouze 5 mm. Je tak relativně dobře ukryt mezi ostatními díly přední části vozidla a nezasahuje do pohledové oblasti vozu.

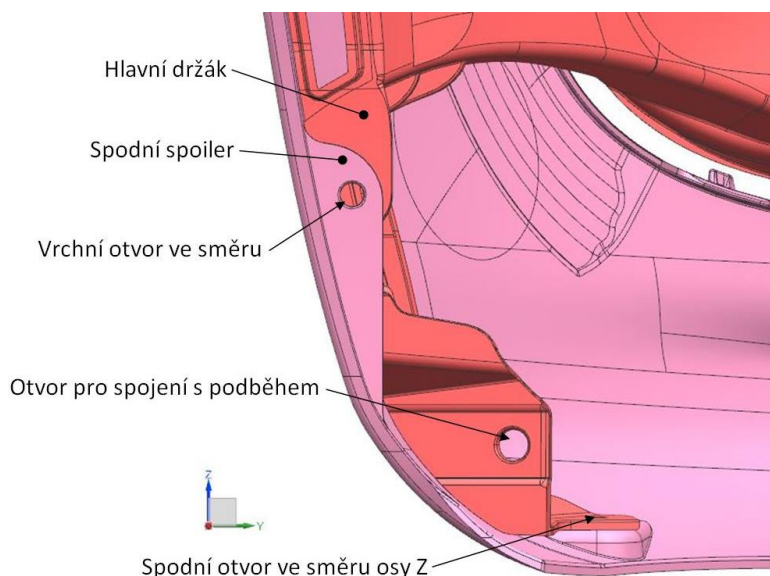


Obrázek 41: Vzduchový kanál držáku mlhového světlometu v sestavě
Zdroj: vlastní

Kanál je vytvořen se sedmi průduchy, z nichž prostřední je zaslepen pro vytvoření vyšší tuhosti dílu a pevnější možnosti vymezení vzdálenosti mezi tělem držáku mlhovky a bočními díly - spoilerem a lemem podběhu. Tvarové spojení s bočním lemem podběhu a předním spodním spoilerem je realizováno pomocí obvodového lemu, který se zasune za vnitřní hranu těchto dílů a s určitými výrobními tolerancemi zajistí tyto díly vůči sobě ve směru osy x a ve směru osy y globálního souřadného systému vozu. Vzduchový kanál je vzhledem k jeho kolmé orientaci na osu x snadno formován v hlavním formovacím směru držáku (osa x) a vnitřní stěny průduchů jsou zkoseny vůči této ose pod úhlem tří stupňů.

5.1.6 Spojení držáku s předním spoilerem

Pro spojení s předním spoilerem jsou na geometrii spoileru určeny otvory o průměru 6 mm označené na obrázku 34 písmenem D. Oba otvory mají odlišnou orientaci, vrchní díra je orientovaná ve směru osy x , spodní otvor je vytvořen ve směru osy z (obr. 42). Na tělese hlavního držáku je potřeba navrhnout příslušnou geometrii, která bude kopírovat tvar těchto prvků a umožní jejich bezproblémové spojení. Vzhledem k jejich orientaci se tímto rozšířením model značně komplikuje a to především po výrobní stránce. Vstřikovací formu bude nutné opatřit několika posuvnými jádry, které učiní její konstrukci složitější a dražší. Vhodným spojovacím elementem těchto součástí byl zvolen plastový nýt se zámkem, který stačí snadno zasunout do otvoru bez nutnosti dalších speciálních částí či nářadí.

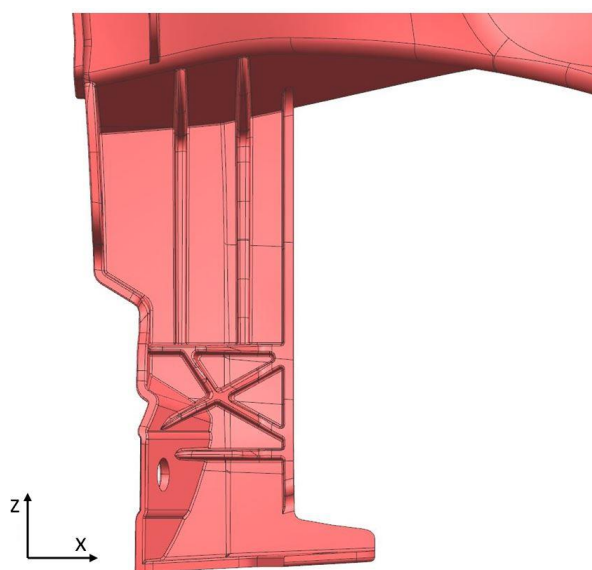


Obrázek 42: Otvory pro spojení se spodním spoilerem
Zdroj: vlastní

Hlavním argumentem pro výběr byl především hůře přístupný montážní prostor, rychlost samotné montáže a možnost snadného servisu v případě poškození tohoto prvku, který lze lehce vyměnit za nový.

Pro účely spojení byla na hlavním držáku jednotky mlhového světlometu vytvořena konzola, která kopíruje vnitřní stranu předního spoileru s odsazením 1 mm a plynule přechází do spodní části, kde je zakončena u vertikálního otvoru. Tloušťka stěny zde musí dodržovat technologické zásady vstřikovaných plastů, a stejně jako hlavní tělo držáku má hodnotu 2,5 mm. Pro zvýšení pevnosti není možné akumulovat materiál ve formě tlustších stěn, ale je potřeba konzolu řádně opatřit ztužujícími žebry. Vzdálenost mezi otvory ve

směru osy x je 55 mm. Tato hodnota slouží jako vstupní parametr pro určení hloubky konzoly a je zcela dostačující pro umístění několika vnitřních žeber. Tvar a geometrie žeber je zřejmá z obrázku číslo 43, z kterého je patrné, že všechna vnitřní žebra je nutné vstříkovat ve vedlejším formovacím směru, který je zvolen stejně jako u domečků A a B popsaných v kapitole 5.1.2 ve směru osy y , tedy kolmo na hlavní formovací směr. Kolmá orientace směrů alespoň částečně ulehčí ovládací mechanismus posuvných jader ve výrobní formě. Jelikož se jedná o nepohledovou část dílu, je tloušťka žeber v napojení do hlavní stěny držáku 2,5 mm, což má za následek vytvoření tužší struktury na úkor možnosti výskytu propadů na protilehlé ploše.



Obrázek 43: Výztužná žebra spojovací konzole, pohled ve směru osy y
Zdroj: vlastní

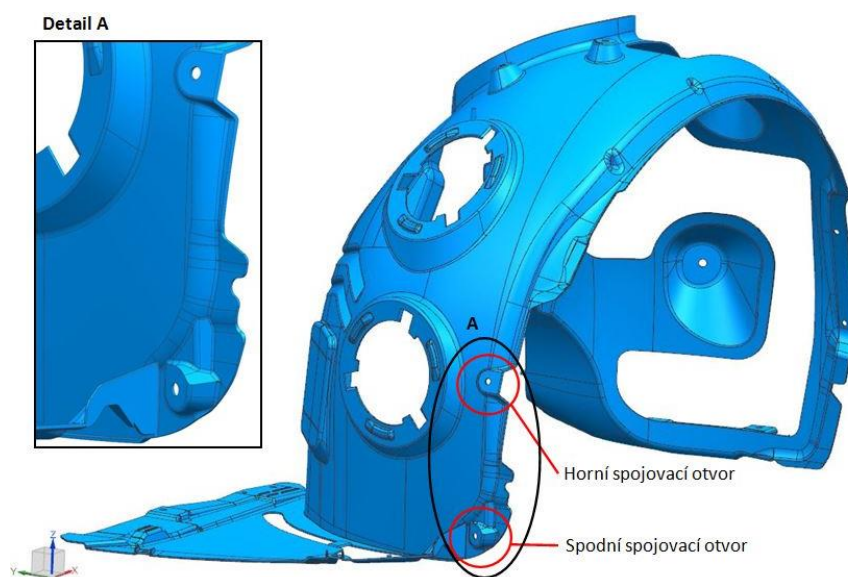
Konzola je pro spojení se spoilerem opatřena dvěma příslušnými spojovacími otvory o průměru 7 mm. Horní otvor je lehce vyrobitelný v hlavním směru formování. Pro spodní otvor, který je orientován ve směru osy z je nutné vytvořit ve vstřikovací formě posuvné jádro, které tento otvor vytvoří. Složitost geometrie konzoly vyjadřuje nutnost jejího formování ve všech třech směrech souřadného systému, což celý výrobní proces činí náročnějším.

Problém v této oblasti může vzniknout při montáži těchto dílů mezi sebou. Obecně se předpokládá montáž ve směru osy x , což by mělo za následek kolizi konzoly držáku se spojovací stěnou spoileru, za kterou se musí dostat. Vzhledem k použitým plastovým materiálům na bázi polypropylenu, které jsou relativně měkké a poddajné se při montáži oba dva prvky pružně deformují a překonají toto překrytí, které má hodnotu cca 2 cm. Po

uvedení obou dílů do požadované pozice je jejich spojení zajištěno dvěma plastovými náty, které v otvorech vytvoří pevný a nerozebíratelný spoj. Výhody použití těchto spojovacích prvků jsou popsány v kapitole 4.1, která se podrobně zabývá spojovacími elementy.

5.1.7 Spojení s předním podběhem

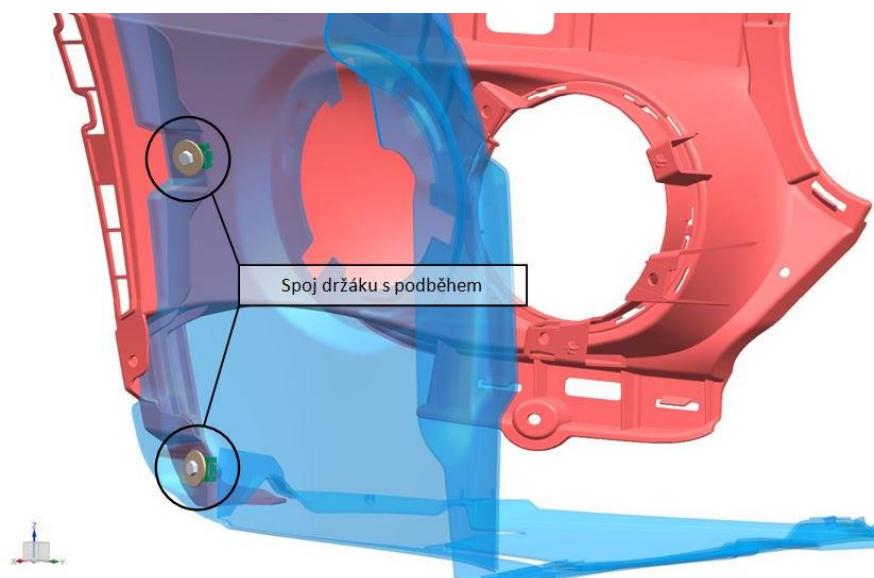
Přední plastový podběh vozidla není součástí předního front-end modulu a neúčastní se samotné montáže této sestavy. Jelikož se však jedná o sousední stykový díl, musí s ním být pevně a jednoduše spojen. Za tímto účelem bylo v podmínkách práce zadáno nutné spojení nejen se spodním předním spoilerem vozu, ale i s hlavním držákem mlhového světlometu. Pro spoj s tímto dílem je přední podběh opatřen dvěma otvory o průměru 8 mm - horní otvor je vytvořen ve směru osy x , spodní je pootočen vůči této ose o 20° v kladném směru. Protože je podběh spojen i s dalšími funkčními celky vozidla, je potřeba volit velmi pevný a lehce montovatelný prvek, který zaručí snadnou montáž.



Obrázek 44: Spojovací díry předního podběhu
Zdroj: vlastní

Hlavním spojovacím prvkem je zde stejně jako pro spojení držáku s jednotkou mlhového světlometu použit šroubový spoj s plechovou pružnou maticí nasazenou na protikusu (hlavní držák). Vytvoří se tak velmi pevný, rozebíratelný a poměrně snadno vyměnitelný spoj. Při montáži však bude nutná manipulace s těmito prvky a jejich smontovatelnost je podmíněna použitím momentového utahovače.

Na těle hlavního držáku je pro účely horního spoje vytvořeno dosedací žebro, které je dobře viditelné na obrázku 34 (horní spoj C). Jeho geometrie a pozice je určena převzatými dosedacími plochami horního otvoru předního podběhu, aby bylo docíleno přesného slícování. Na žebro je vytvořeno odsazení pro umístění pružné plechové matice, do které bude během montáže zašroubován šroub velikosti M5. Tloušťka žebra v místě napojení do stěny držáku je 3 mm. Tato relativně vysoká hodnota je způsobena požadovanou tuhostí žebra a možností tolerovat výrobní vady na protilehlé ploše, která není zvenku přímo viditelná. Tvar a pozice žebra opět vyžaduje přidání dalšího posuvného jádra do konstrukce formy. Zatímco vnější strana žebra je formovatelná v hlavním formovacím směru osy x , jeho vnitřní strana v tomto směru vyrobit nelze a je nutné ji stejně jako domečky A a B v kapitole 5.1.4 formovat ve směru osy y globálního souřadného systému vozu. Plocha je vůči tomuto vedlejšímu směru zkosená pod úhlem jednoho stupně. Pro spodní spoj je vytvořen otvor na konzole (obr. 42), která slouží i pro spojení se spodním spoilerem. Její návrh a konstrukce byla popsána v kapitole 5.1.6. Příslušná dotyková stěna konzoly s podběhem je opatřena otvorem a odsazením pro pružnou plechovou matici. Pro její snadné nasazení a navedení slouží samotné odsazení, které vytváří stejný efekt jako případná naváděcí žebra. Díra je formována v hlavním směru osy x byť její pozice musí být kolmo na směr pootočený vůči této ose o 20 stupňů. Toho je docíleno proměnnou hodnotou úkosu vnitřní strany otvoru vůči formovacímu směru.

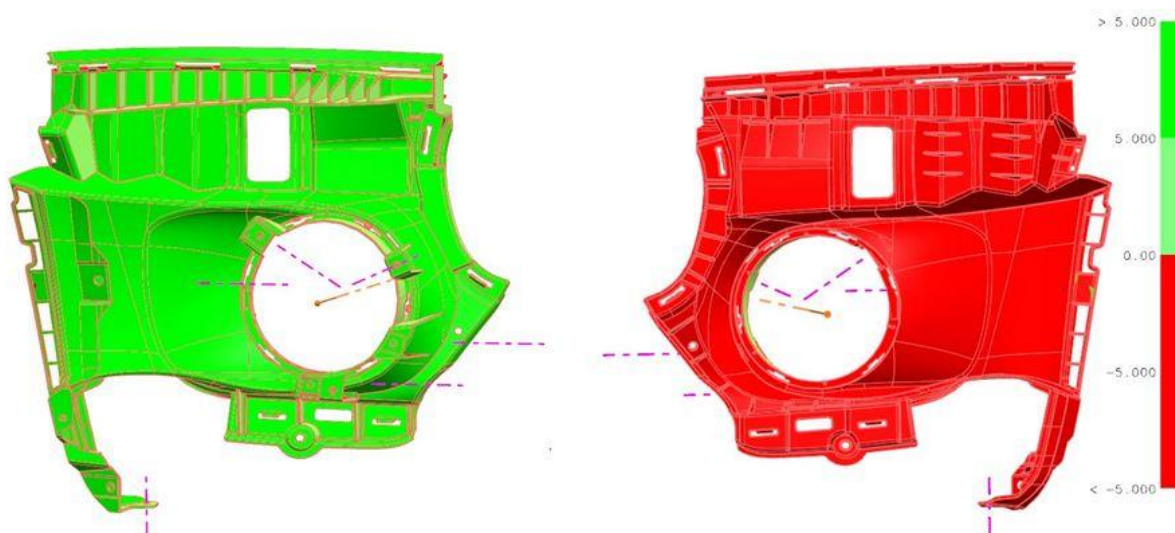


Obrázek 45: Spojení hlavního držáku s podběhem
Zdroj: vlastní

5.1.8 Kontrolní analýzy

Pro závěrečnou kontrolu modelu, kterou je nutné učinit vždy před odevzdáním zadavateli, slouží draftová analýza popsaná v kapitole 3.4.1 a analýza tloušťky stěn modelu, která je popsána v kapitole 3.4.2.

Hlavní směr formování držáku jednotky mlhového světlometu je definován ve směru osy x . Pro dílčí části dílu, které nelze vyrobit v hlavním formovacím směru je určeno celkem šest vedlejších formovacích směrů (tmavě růžové čerchované úsečky). Jejich vyrobitelnost je zaručena prostřednictvím posuvných jader umístěných ve výrobní formě vstřikovaného plastu. V práci je uvedena kontrola formovatelnosti pouze pro hlavní formovací směr.

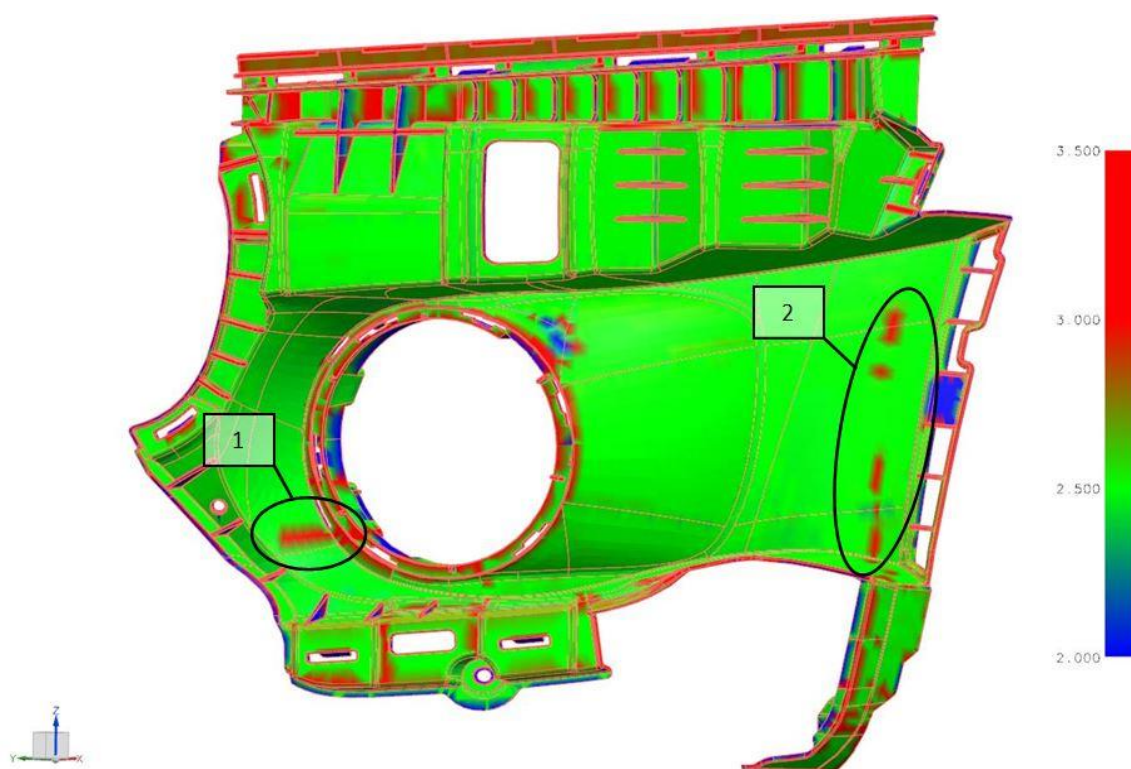


Obrázek 46: Draftová analýza hlavního držáku mlhovky
Zdroj: vlastní

Pro první základní kontrolu plně postačuje definovat na stupnici velikosti úkosů pouze dvě barvy - kladný (obr. 46 - zelená) a záporný (červená) směr formování. Na jejich hranici vzniká dělicí rovina, která definuje styk tvárníku a tvárnice a je obvykle vyznačena křivkou určité barvy. Pro prvky vyráběné ve vedleším formovacím směru je nutné tuto analýzu provést pro jejich příslušný vektor, vyjadřující směr posuvu jader. V případě nutnosti lze provést přesnější analýzu s více stupni barev, na které je možné nastavit hranici na hodnotě primárního úkosu stěn.

Analýza tloušťky stěn pomáhá odhalit místa, kde se tloušťka materiálu odchyluje od nominální vstupní hodnoty tloušťky stěny, což je v případě držáku mlhového světlometu 2,5 mm. Na hodnotící stupnici byly nastaveny tři režimy tloušťky - zelená barva vyjadřuje

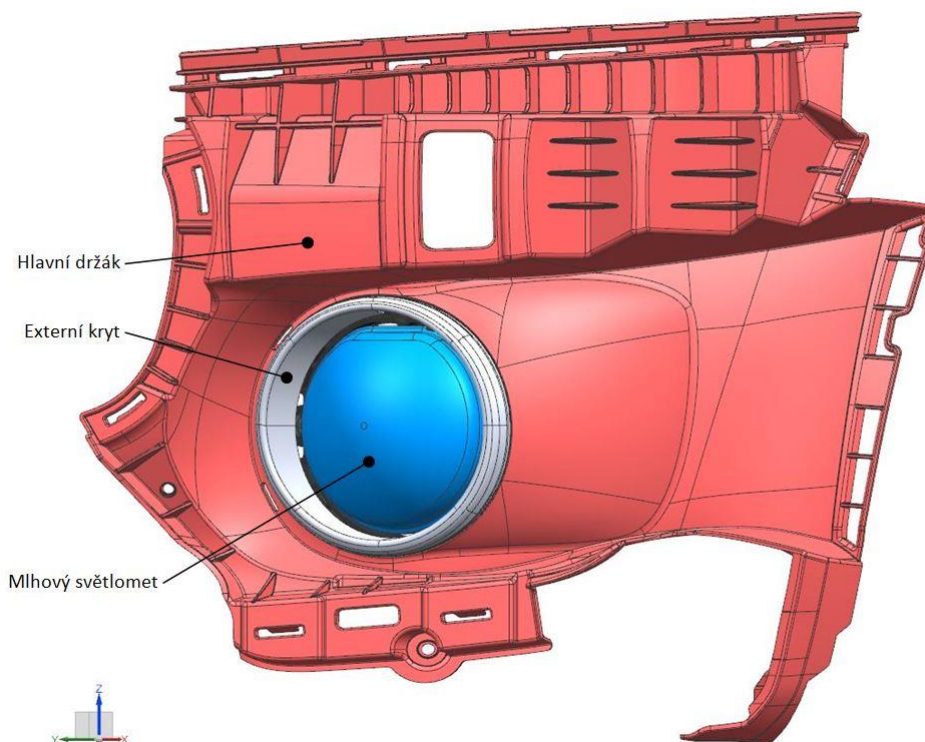
základní požadovanou tloušťku 2,5 mm, modrá barva vyjadřuje menší tloušťku stěny a červená větší. Na obrázku 47 jsou zobrazeny výsledky analýzy pro držák mlhovky. V oblasti označené číslicí 1 je vidět větší akumulace materiálu než je požadováno a hrozí zde poměrně vysoké riziko vzniku povrchových vad. Příčinou vzniku je příliš velká tloušťka stěny domečku vytvořeného na protilehlé straně modelu. Jelikož se jedná o pohledovou oblast, na kterou jsou kladeny vysoké požadavky na jakost, je potřeba tuto chybu odstranit. V této situaci lze aplikovat podobné řešení jako u ostatních domečků umístěných v pohledové oblasti modelu - lokálním snížením tloušťky stěny neboli odlehčením v místě napojení do hlavní stěny držáku. Stejný problém se vyskytuje v oblasti označené číslicí 2. V tomto případě se jedná o vyšší tloušťku způsobenou konstrukcí dosedacího žebra pro spojení s předním plastovým podběhem. Tato oblast však není pohledová a jsou zde upřednostněny pevnostní vlastnosti žebra před případnými propady na protější straně, které jsou vyznačeny červenou barvou.



Obrázek 47: Analýza tloušťky stěn modelu
Zdroj: vlastní

5.2 Externí kryt mlhového světlometu

Na vnější pohledové straně předního modulu je kolem mlhového světlometu umístěn plastový "kroužek", který má za úkol především skrýt mezeru mezi nárazníkem a mlhovkou a zároveň učinit tuto oblast více estetickou. Vnější kryt je tedy plastový rotační díl s důrazem na jeho tvar, snadnou výrobitelnost a montáž. Oblasti má dodat vkusný vzhled a zpravidla se dle úrovně výbavy dodává v základní černé barvě nebo luxusnější chromové variantě.

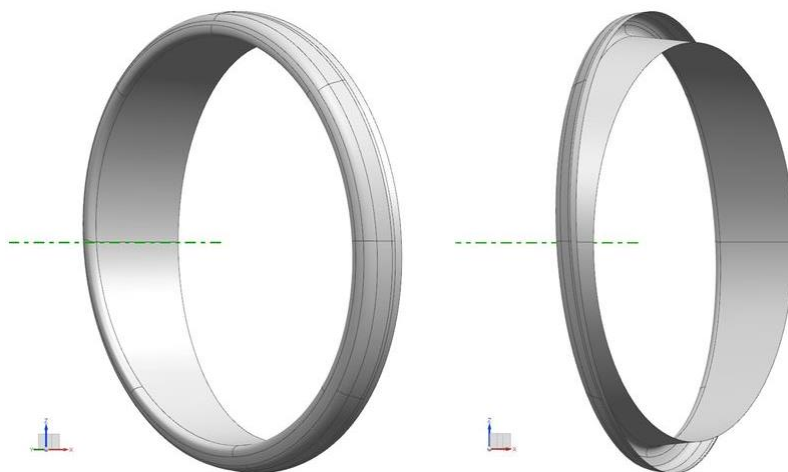


Obrázek 48: Externí kryt a okolní díly
Zdroj: vlastní

5.2.1 Podmínky konstrukce a vstupní parametry

Stejně jako u hlavního držáku jednotky mlhového světlometu se jedná o symetrický díl, který je nasazen okolo obou mlhovek. Primární tvar je dán vstupní designovou plochou (obr. 49, pohledy otočeny vůči sobě o 60°), kterou není možné měnit a je nutné s ohledem na estetickou funkci modelu dbát na zachování její maximální možné kvality. S kvalitou povrchu souvisí volba materiálu. Na rozdíl od hlavního držáku, je pro kryt mlhovky zvolen tvrdší amorfnní styrenový polymer - ASA, který je blíže specifikován v kapitole 3.5.2. Jeho hlavní výhodou je lesklost povrchu, chemická odolnost a stálost související s jeho vysokou

odolností vůči stárnutí. Nominální tloušťka stěny dílu je zvolena na obvyklou hodnotu 2,5 mm. Hlavní směr formování je umístěn ve směru osy x globálního souřadného systému vozu. V tomto směru jsou vstřikovány všechny okolní díly sestavy, což usnadňuje konstrukci stykových prvků a ploch. Zároveň se předpokládá montáž externího krytu na hlavní držák v tomto směr. Požadavkem na spojení je vytvoření pevné a snadno montovatelné vazby s hlavním držákem mlhovky.



Obrázek 49: Vstupní designová plocha externího krytu
Zdroj: vlastní

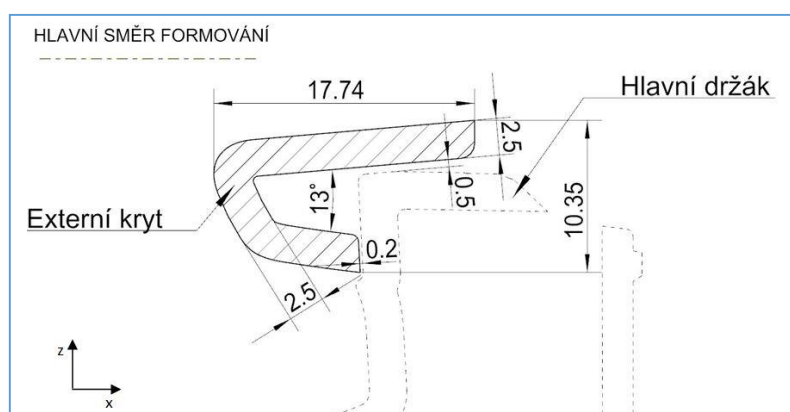
Shrnutí podmínek návrhu:

- Materiál ASA,
- Nominální tloušťka stěny 2,5 mm,
- Odformování dílu ve směru osy x globálního souřadnicového systému vozu,
- Spojení s hlavním držákem jednotky mlhového světloometu.

5.2.2 Tvarování dílu

Základní tvarování dílu vychází ze vstupní pohledové plochy, která určuje jeho vnější geometrii a hloubku, ze které je analogicky odvozen vnitřní lem hlavního držáku. Vnitřní stěna dílu je odsazena od designové plochy o hodnotu tloušťky stěny 2,5 mm. Prvním možným problémem při vzniku vnitřní plochy modelu je způsob jejího tvoření. Nejjednodušším způsobem je vytvoření paralelních ploch odsazením o zmíněnou tloušťku stěny modelu, který lze vzhledem k hodnotě křivosti zaoblených hran vnější plochy aplikovat i v tomto případě. Vznikne tak objemové těleso s konstantní hodnotou nominální

tloušťky stěny, což je vzhledem k umístění a funkci dílu velmi důležité. Pokud by hodnoty zaoblení na hranách vnějších ploch měly nižší hodnotu křivosti než je samotná velikost požadovaného odsazení, vzniklo by na čele profilu místo s větším objemem materiálu. Tavenina by v těchto místech chladla pomaleji a vlivem smrštění by na vnější ploše mohly vzniknout propady.



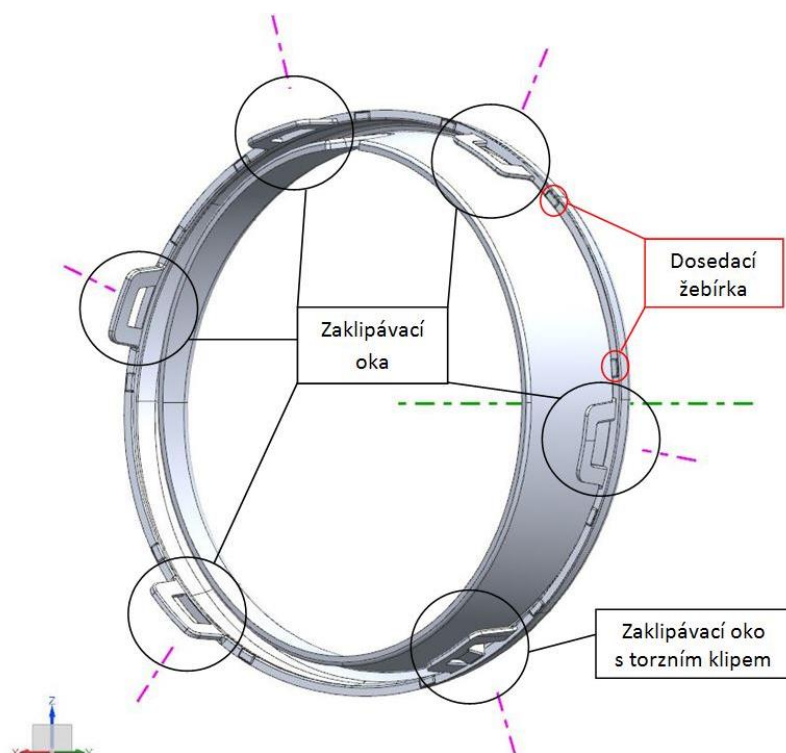
Obrázek 50: 2D řez profilem externího krytu
Zdroj: vlastní

Řešením by bylo vytvoření přechodové plochy (pro plynulost chladnutí), která by snížila tloušťku jedné stěny například o půl milimetru a umožnila posun vnitřního rádiusu čela profilu blíže k jeho vrcholu tak, aby v tomto místě byla zachována požadovaná tloušťka stěny. Vnitřní profil externího krytu splňuje i rozměrové požadavky na vytvoření výstupků v dutině formy, které mají v určitých případech, kdy je profil příliš úzký problém s chlazením a následným rychlým opotřebením.

5.2.3 Spojení s hlavním držákem mlhovky

Spojení externího krytu s hlavním držákem jednotky mlhového světloometu je realizováno pomocí mechanického poddajného spoje, jehož hlavní výhodou je jednoduchá montáž bez potřeby speciálního nářadí. Za tímto účelem je rovnoměrně po obvodu profilu krytu vymodelováno šest zaklipávacích ok vytvořených ve směru montáže osy x . Analogicky jsou na geometrii hlavního držáku umístěny klipy, za které jsou oka krytu při montáži zaklipnuta. Vytvoří tak velmi pevnou a těžce rozebíratelnou vazbu. Nevýhodou tohoto spoje je nevyhnutelné použití posuvných jader ve vstřikovací formě, které vyrobí zaklipávací otvory v očích, jenž nelze formovat v hlavním formovacím směru modelu (obr. 51 - tmavě zelená čerchovaná úsečka). Každý spojovací prvek má svůj vlastní

originální formovací směr (obr. 51 - růžové čerchované úsečky). Entita zaklipávací oko - klip zde nahradila klasickou funkční vazbu klip - otvor, kterou lze často vyrobit bez nutnosti přidání vedlejších formovacích směrů. Důvodem volby je eliminace rizika vzniku poškození dílů při montáži, jelikož vnější kryt bude do sestavy montován i ve variantě s pochromovaným povrchem. Tato povrchová úprava má za následek zvýšení tvrdosti a pevnosti.

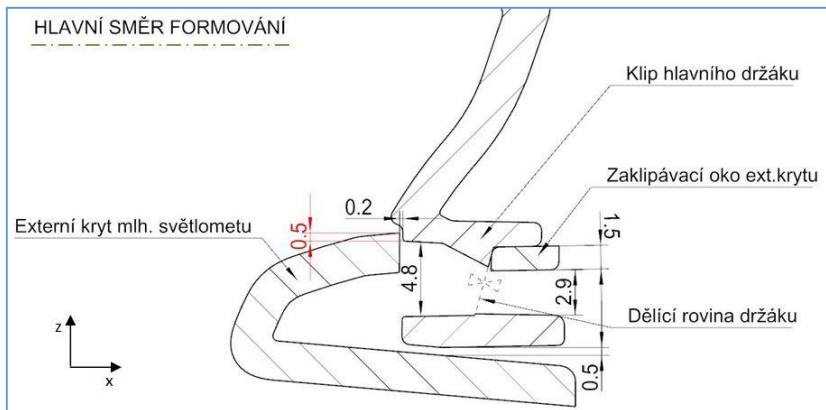


Obrázek 51: Externí kryt mlhového světlometu
Zdroj: vlastní

Při montáži, která vyžaduje ohyb spojovacích prvků je potřeba větších deformačních sil, jenž mohou spojovací prvek nenávratně poškodit například ulomením. Zároveň se zvyšuje náročnost samotné montáže, pro jejíž úspěšné provedení je nutné tyto síly překonat. V neposlední řadě představuje zvýšená tvrdost povrchu riziko vzniku rýh od ostrých hran pochromovaných částí, které jsou v kontaktu s díly vyrobenými z měkkého polymeru. V případě použití zaklipávacích ok dochází ke kontaktu s klipy až za pohledovou hranou držáku, čímž se riziko vzniku poškození povrchu na pohledových plochách výrazně snižuje. Důležitou roli zde hraje i zručnost montážního pracovníka, který tuto operaci provádí.

Na vnitřní hraně vnější stěny externího krytu je umístěno celkem pět jednoduchých zaklipávacích ok (obr. 51) připravených pro spojení s klipem na hlavním držáku a jedno oko osazené vlastním klipem (obr. 53), který se zaklapne za hranu příslušného otvoru

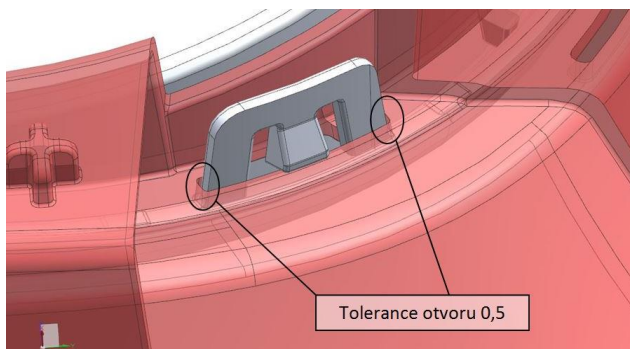
v geometrii držáku a vytváří plnohodnotný torzní klip. Tloušťka ok 1,5 mm respektuje technologické zásady vstřikovaných termoplastů, jejich poloha na vnitřní hraně je z důvodu nutnosti skryt otvory vytvořené v držáku mlhovky.



Obrázek 52: Řez spojovacím prvkem

Zdroj: vlastní

Tolerance otvoru v držáku je od vrchní a spodní plochy ok 0,3 mm. Vzdálenost vnější hrany externího krytu od otvorů pro zasunutí zaklipávacích ok je ve vertikálním směru 0,5 mm (obr. 52 - červená kóta), což zabraňuje možnosti prohlédnout skrz otvor dovnitř vozu. Boční stěny otvoru v držáku jsou odsazeny od zaklipávacích ok o 3 mm a vytváří tak dostatečný prostor pro jejich bezpečné navedení. Funkcí torzního klipu je zamezit pochybení při montáži, představuje tzv. poka-joke prvek. Tento prvek je nemožné zasunout do otvoru opatřeného klipem, tudíž zabraňuje montáži krytu pootočeného do špatné pozice.

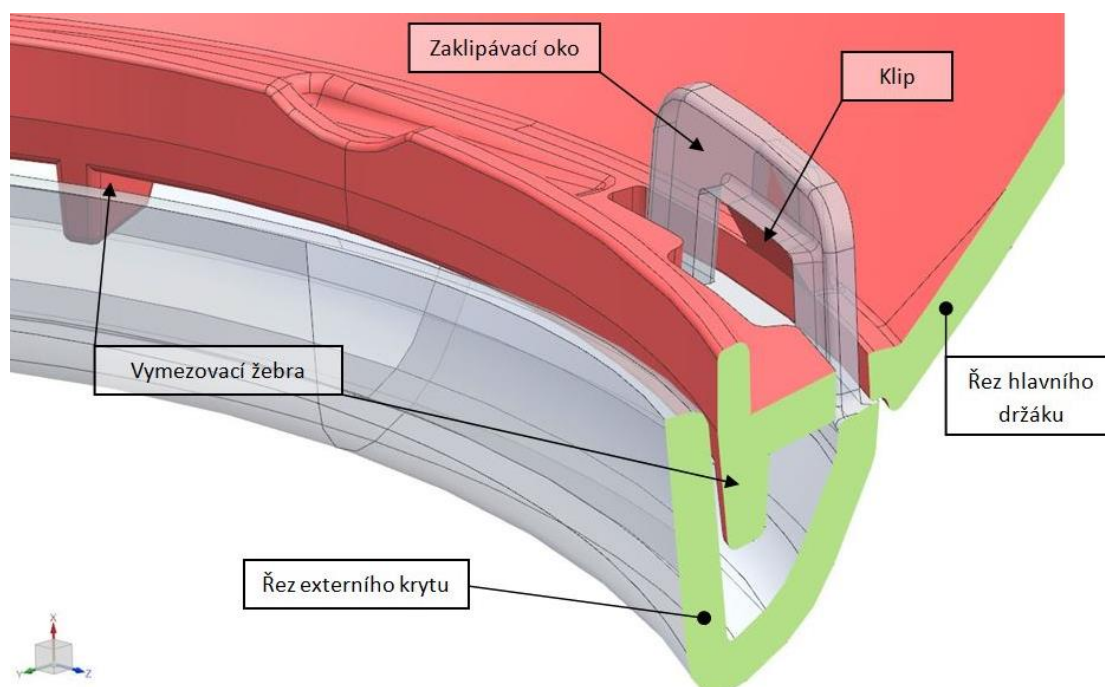


Obrázek 53: Torzní klip

Zdroj: vlastní

Zároveň jsou boční tolerance otvoru držáku pro toto oko sníženy na 0,5 mm za účelem vystředění dílu do požadované a přesné polohy (obr. 53). Otvor pro oko s torzním klipem je jako jediný bez klipu a spojení vytváří samotný torzní klip, který se zasune za vnitřní hranu díry. Jeho hrany jsou náležitě zaobleny, aby tvrdší chromová varianta nevytvořila při

montáži do protikusu rýhy. Zároveň je takto vytvořený spojovací prvek mohutnější než jednoduchý háčkový klip a tudíž snáz pohltí deformační energii vytvořenou větší montážní silou překonávající zvýšenou tvrdost, která je způsobena povrchovou úpravou. Rovnoměrně po stranách zaklipávacích ok jsou vytvořena dosedací žebra (obr. 51), která jsou v kontaktu s hlavním držákem mlhového světlometu. Jejich výška 0,2 mm vymezuje vzdálenost mezi externím krytem a držákem ve směru montáže - osy x . Zároveň slouží jako funkční prvek pro usnadnění procesu zaklipnutí, kdy prostor mezi žebírky umožní drobný a pružný průhyb zaklipávacích ok směrem za hranu příslušného klipu. Po vnitřním obvodu pohledové strany držáku je rovnoměrně umístěno šest vymezovacích žebírek (obr. 54), které jsou napolohovány na vnitřní profil externího krytu. Jejich funkcí je vymezit pozici vnějšího krytu mlhového světlometu ve směru osy y a z globálního souřadného systému vozidla (směr osy x zajišťují klipy). Jejich tvar kopíruje vnější plochu vnitřního profilu externího krytu s odsazením 0,2 mm. Žebírka zajišťují pevnou polohu externího krytu vůči držáku mlhovky a zamezují výrazným změnám tvaru geometrie krytu způsobených například teplotní roztažností nebo stárnutím. Tato žebra jsou tvořena s ohledem na pozdější možnost jejich úpravy po prvních několika kusech výroby. Na počátku se žebra navrhují kratší, protože je jednodušší na protikusu ve vstřikovací formě materiál odebírat (brousit) než případně přidávat (navarovat).



Obrázek 54: Oblast klipového spoje
Zdroj: vlastní

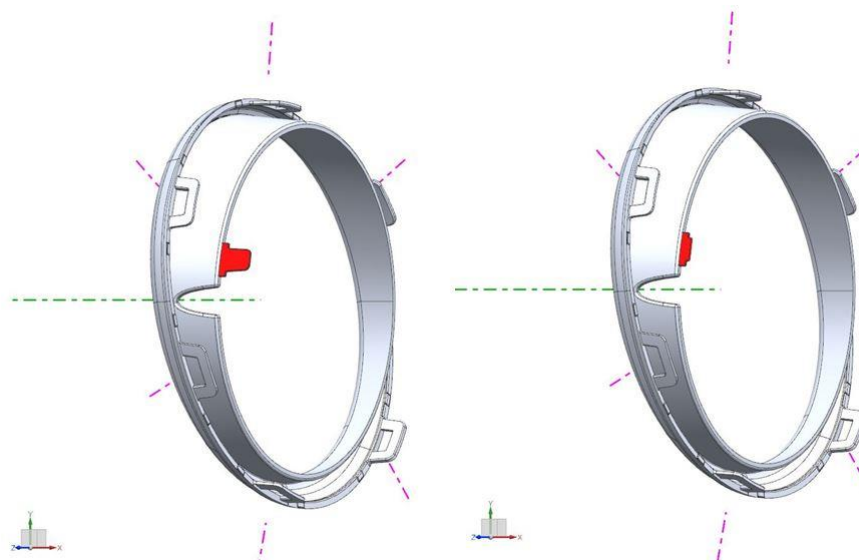
5.2.4 Povrchová úprava chromováním

Chromování plastů se provádí pomocí galvanického pokovování nevodivých materiálů. Povrchová úprava termoplastů se využívá za účelem zlepšení vzhledu, mechanických vlastností a odolnosti vůči povětrnostním i chemickým vlivům. Důležitým parametrem materiálu pro pochromování je jeho adheze. Z termoplastů jsou nejvhodnějšími materiály ABS a ASA, u kterých je možné dosáhnout velmi dobré přilnavosti povrchu. Před samotným procesem galvanického chromování se musí na dílu určenému k pokovení vytvořit vodivá vrstva, které se dosáhne chemickým bezproudovým pokovením. [14], [20]

Na počátku je potřeba díl důsledně odmastit a speciálním mořením v lázni kyseliny sírové při teplotě 50-70 stupňů Celsia vytvořit na povrchu mikroskopické dutiny sloužící k pevnějšímu uchycení kovového povlaku. Následné ponoření do aktivačního roztoku (chlorid cínatý, kyselina solná, destilovaná voda) vyloučí do těchto dutin cínaté soli, na které se během bezproudové metody chemického postříbření uchytí jemná a stejnosměrná vrstva stříbra. Po tomto procesu se díl opět důkladně omyje, a je tím dokonán základ k vytvoření vodivé podložní vrstvy na nevodivém materiálu. Ta vznikne ještě bezproudově chemickým poměděním tlustší vrstvou mědi, která se vytvoří na stříbrném povlaku a více odolává případnému poškození. Na takto připraveném povrchu již lze bez problému provést klasickou povrchovou úpravu galvanickým pokovením za účinku stejnosměrného elektrického proudu. Díl určený k pokovení se vloží do předem předepsané lázně a připojí se k zápornému pólu katody. Anody jsou vyrobené ze stejného kovu, který se vylučuje na povrch součásti a připojené ke kladnému pólu zdroje jsou rovněž zavěšeny v lázni. Pracovní teplota lázně při pochromování je 35-45 °C. [20]

Pro účely chromování externího krytu mlhového světlometu je potřeba zvolit nebo vytvořit úchytný prvek, za který bude díl vnořen do galvanické lázně. Zde je možné zvolit dvě potenciální varianty způsobu zavěšení. První možností je uchytit prvek za již vytvořené oko pro zaklápávání s hlavním držákem mlhovky. Nevýhodou tohoto způsobu je samotná geometrie spojovacího oka, které je mírně zaobleno (kopíruje tvar těla krytu) a při uchycení hrozí poškození tohoto tvaru. Zároveň během procesu chromování dochází k celkové deformaci úchytného elementu, například vlivem vysoké teploty lázně, kdy dojde k poklesu hodnot mechanických vlastností materiálu a upínací část se torzně deformuje. Takto zdeformované zaklápávací oko nese riziko ztráty funkčnosti. Obecně se proto nedoporučuje používat k zavěšení dílu v lázni geometricky přesné části dílů

(např. spojovací a středící prvky). V důsledku této skutečnosti se velmi často plastové součásti určené k pokovení osazují speciálními úchytnými prvky.



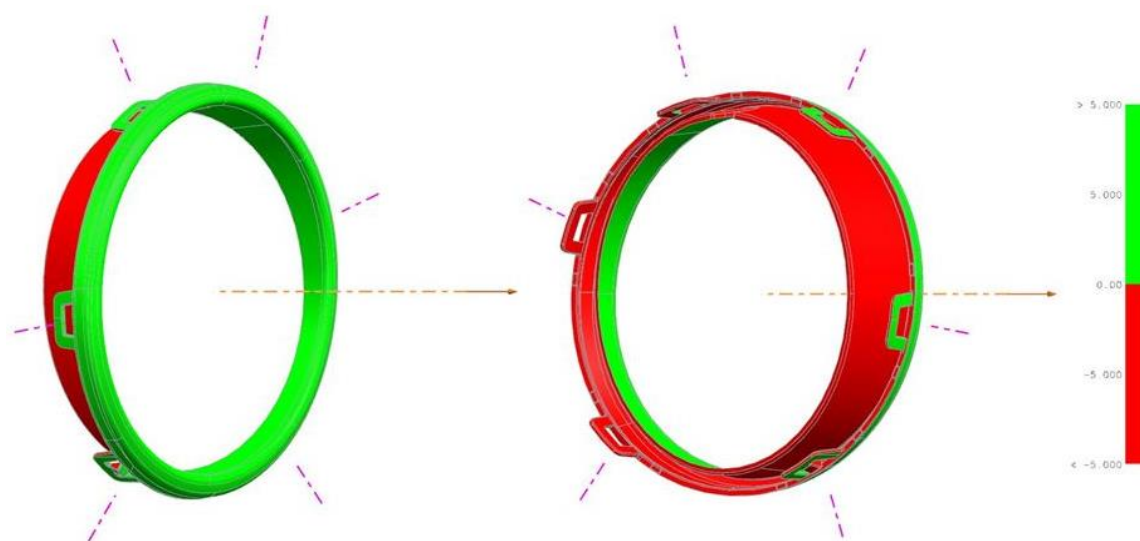
Obrázek 55: Úchytné žebro pro proces chromování (červeně)
Zdroj: vlastní

Za tímto účelem je možné externí kryt osadit speciálním žebírkem určeným k výkonu ponoření externího krytu do galvanické lázně. Prvek je zobrazen červeně na obrázku číslo 55. Vzhledem k velikosti dílu je pro operaci ponoření do lázně dostačující jeden úchytný element. Výhodou tohoto systému je zachování kvality všech prvků a ploch externího krytu (vlivem pochromování se deformuje pouze úchytné žebro). Nevýhodou je nutnost odstříhnutí tohoto žebírka po dokončení operace (obr. 55 - vpravo), aby po montáži nezasahoval do zástavbového prostoru, kde by byl v kolizi s přilehlými díly. Po odstříhnutí vzniknou na hlavním těle krytu velmi ostré hrany, které nesou riziko poranění pracovníka montážní linky při špatné manipulaci či montáži. Možné poškození poškrábáním protikusu těmito ostrými hranami také nelze zcela vyloučit. Zároveň je proces stříhání další výrobní operací navíc, která časově prodlužuje a ekonomicky zdražuje výrobu dílu při maximálním zachování kvality celé geometrie součásti. Jelikož se většinou chromují jen pohledové součásti, na které je kladen vysoký jakostní standart, realizuje se uchycení a ponoření do galvanické lázně tímto extra přidaným žebírkem, které se následně odstříhne.

5.2.5 Kontrolní analýzy

Stejně jako u hlavního držáku mlhového světlometu je po dokončení návrhu modelu nutné provést kontrolní analýzy geometrie součástí.

Hlavní formovací směr externího krytu (obr. 56, oranžová čerchovaná úsečka) je umístěn ve směru osy x globálního souřadného systému vozidla. Pro výrobu otvorů zaklipávacích ok je nutné vstřikovací formu opatřit příslušnými posuvnými jádry, protože tyto otvory nejsou v hlavním formovacím směru vyrobitelné. Jejich vektory formovatelnosti (růžové čerchované úsečky) jsou kolmé na hlavní směr a jsou vůči sobě pootočený o 60° - kopírují geometrii ok, která jsou rovnoměrně rozmístěna po obvodu externího krytu. Na obrázku číslo 56 je znázorněna základní analýza úkosů pro hlavní formovací směr. Na hranici kladného (zelená) a záporného (červená) směru je pomyslná dělicí rovina, která vyjadřuje styk tvárníku a tvárnice formy. Na základě této analýzy nebylo v celé geometrii modelu zjištěno nevyrobitelné místo s podkosem, a tudíž lze v tomto ohledu model označit za bezvadný.



Obrázek 56: Draftová analýza externího krytu mlhovky
Zdroj: vlastní

Analýza tloušťky stěn má za účel odhalit příliš tlustá či tenká místa modelu. Zelená barva je opět přiřazena k nominální požadované tloušťce stěny - 2,5 mm. U analýzy externího krytu byly vzhledem k velké diferenci tloušťky některých prvků zvoleny čtyři úrovně stupnice barev s odstupem 0,5 mm. Dle výsledků analýzy (obr. 57) není na důležitých pohledových plochách narušena požadovaná tloušťka stěny, takže nehrozí výskyt povrchových vzhledových vad. Nižší tloušťka spojovacích ok odpovídá technologickým,

výrobním a montážním požadavkům na funkci a vyrobiteľnosť a její hodnota 1,5 mm je vyjádřena žlutou barvou.



Obrázek 57: Analýza tloušťky stěn externího krytu
Zdroj: vlastní

6. Montáž sestavy

Montáž hraje velmi důležitou úlohu už při samotném návrhu a vývoji jednotlivých součástí montážní sestavy. Konstruktor musí uvažovat spoustu faktorů, které mohou montáž ovlivnit a učinit ji tak lehčí a rychlejší. Dnešní trend je konstruovat funkční sestavy za účelem co nejjednodušší smontovatelnosti, protože rychlejší montáž rovná se více smontovaných kusů a vyšší ekonomický profit. Proto je potřeba uvažovat počet montážních operací, pracovníků a potřebných nástrojů. Také vyšší počet použitých spojovacích prvků (šrouby, podložky, matice) navyšují cenu a náročnost montážních operací (potřeba momentových utahovačů). Ačkoliv se v dnešní době montážní celky (sestavy) dělí na stále menší segmenty, které se montují samostatně za účelem zrychlení montážních časů, funkční a pevnostní požadavky sestav zůstávají zachovány.

6.1 Montážní požadavky a podmínky

Hlavní požadavky byly téměř shrnuty v úvodu této kapitoly. Rychlost, snadná manipulace a co nejmenší počet součástí zajišťujících maximální funkci a pevnost vyjadřují obecné požadavky, které jsou kladeny na všechny montážní celky v automobilovém průmyslu. Uchycení mlhového světlometu v předním nárazníku vozu není výjimkou. Před samotným vývojem byl zvolen směr montáže hlavních komponent ve směru dopředného pohybu, čili v ose x globálního souřadného systému vozidla. Zajišťovací (spojovací) prvky mohou samozřejmě být montovány i v dílčích směrech, aby dostatečně zafixovaly pozice jednotlivých dílů mezi sebou. Vzhledem k pevnosti a nutnosti zajistit součásti v různých směrech globálního souřadného systému je nevyhnutelné použití externích spojovacích elementů (šrouby, nýty). Jejich množství by však mělo být omezeno na minimum za účelem co nejmenšího počtu logistických a utahovací operací spojených s použitím speciálního nářadí. Montážní linky, které produkují celé přední sestavy vozu v řádech tisíců kusů jsou již uzpůsobeny těmito podmínkám. Volba a umístění spojovacích prvků je tvořeno s ohledem na pevnost spoje, způsob montáže a možné riziko poškození dílů (laku) při manipulaci a samotné smontovatelnosti operačním pracovníkem linky. Je zde uvažováno i použití nářadí, které může při neopatrné manipulaci či malém zástavbovém prostoru též způsobit fatální kvalitativní deformace součástí.

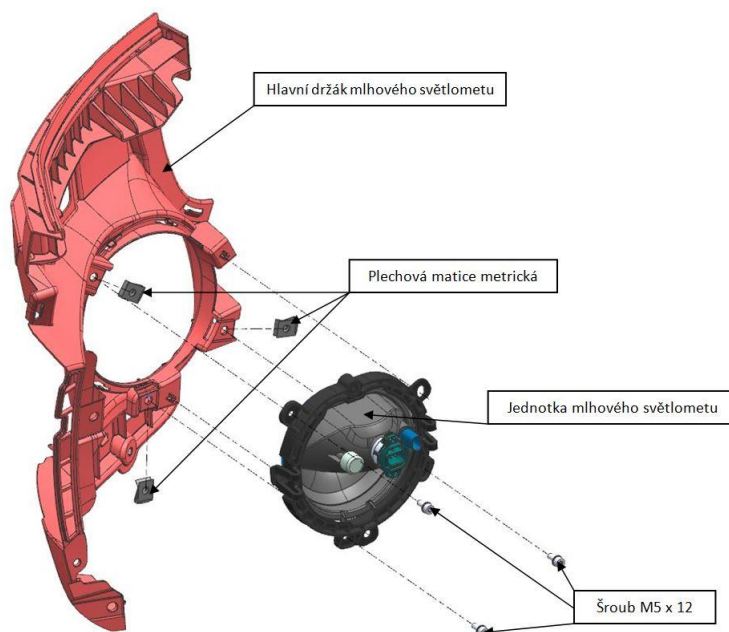
6.2 Postup montáže

V této kapitole bude popsán předpokládaný způsob montáže celé přední sestavy. Rozsah této práce zahrnuje pouze přední plastové díly a neuvažuje ostatní vnitřní kovové součásti, které také patří do tzv. front-end modulu (viz kapitola 1.2). Proto zde bude uvažována pouze předmontáž plastových dílů před samotným spojením se zbytkem vozidla. V rámci zvoleného postupu montáže lze tuto operaci rozdělit na samotnou montáž podsestavy mlhového světlometu, která poté bude integrována vcelku do finální sestavy přední části vozidla a vytvoří finální produkt.

6.2.1 Montáž podsestavy mlhového světlometu

Podsestava mlhového světlometu zahrnuje hlavní držák mlhovky, jednotku mlhového světlometu, tři plechové metrické matice a tři příslušné šrouby o velikosti M5 a délce 12 milimetrů s oválnou hlavou typu *torx*. Předpokládá se, že tato skupina bude montována na své samostatné montážní lince. Sestava pro pravou i levou stranu vozidla je naprosto stejná, pouze zrcadlově symetrická. K sestavení je z hlediska speciálního nářadí potřeba pouze elektrický momentový utahovač, kterým budou utahovány šroubové spoje umístěné mezi jednotkou mlhového světlometu a hlavním držákem příslušným utahovacím momentem.

Proces samotné montáže probíhající ve směru osy *x* je zahájen upnutím hlavního držáku mlhového světlometu navrženého v kapitole 5.1. Před samotným upnutím do přípravku jsou na domečky hlavního držáku manuálně nasazeny plechové matice s metrickým závitem, které vytvoří závit pro spojovací šroubové spoje. Následně je na držák navedena jednotka mlhového světlometu, která je držena naváděcími piny držáku a umožní tak bezproblémové zajištění šroubovým spojem, který je realizován manuálně elektrickým momentovým utahovačem. Optimalizace celého průběhu proběhne až během montáže několika prvních kusů. Proces montáže je pro přehlednost zobrazen na obrázcích 39 (kapitola 5.1.4) a 58. Sestava je ve smontované podobě je k dispozici na obrázku číslo 40.



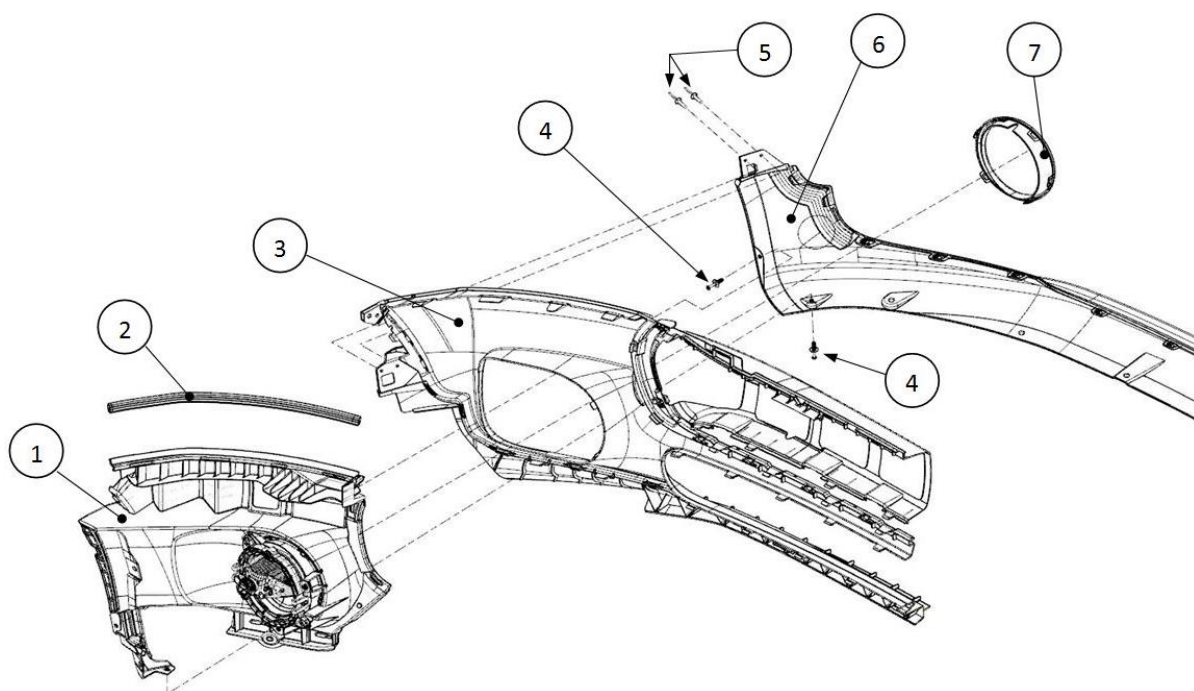
Obrázek 58: Montáž podsestavy mlhového světlometu
Zdroj: vlastní

6.2.2 Postup montáže sestavy

Hlavní pracovní sestava této práce zahrnuje zadaný přední plastový nárazník, přední spodní spoiler, přední plastové podběhy kol, lemy podběhů a jednotku mlhového světlometu. Následně byly vytvořeny symetrické součásti - hlavní držák mlhovky a přední externí kryt. Spojovací elementy jsou zastoupeny kovovými nýty, rozpěrnými plastovými nýty z polyamidu, šrouby a karosářskými maticemi. Některé spoje vyžadují použití nýtovacích kleští a momentových utahovačů (šroubovák). Z hlediska montáže je celá tato přední skupina obecně označována jako přední modul. V této práci jsou obsaženy pouze některé díly tohoto modulu a to především pohledové plastové díly. Ostatní vnitřní kovové či bezpečnostní prvky nebyly v rámci zadání specifikovány, a proto zde bude uvedena pouze předpokládaná sestava a montáž příslušných součástí zmíněných v této práci. Plastový podběh předních kol a lem předního podběhu není součástí tohoto tzv. front-end modulu a byly zde uvedeny pouze pro nutnost vytvoření spojovacích míst v geometrii hlavního držáku mlhového světlometu. Tyto dva díly budou na celkové vozidlo montovány až po spojení předního modulu se zbytkem vozidla.

Jak již bylo zmíněno hlavní montážní směr je zvolen ve směru osy x globálního souřadného systému automobilu. Všechny funkční, nosné i spojovací prvky byly konstruovány a voleny s ohledem na tuto skutečnost. V rámci celkové hlavní sestavy je

během předmontáže vytvořena podsestava mlhového světlometu popsaná v předchozí kapitole, která se dodá ve smontovaném stavu pro účel rychlejší a snadnější finální montáže. Na obrázku 59 je zobrazen montážní postup sestavy. Proces montáže je symetricky totožný, tzn. že na obou stranách z pohledu řidiče je montáž provedena stejným způsobem. Pro přehlednost je zobrazena pouze jedna polovina sestavy.



Obrázek 59: Hlavní montážní sestava části front-end modulu

Legenda: 1 - Jednotka mlhového světlometu; 2 - Těsnění; 3 - Přední plastový nárazník; 4 - Rozpěrné nýty; 5 - Kovové nýty; 6 - Přední spodní spoiler; 7 - Externí kryt

Zdroj: vlastní

První operací montáže je navedení podsestavy mlhového světlometu do předního nárazníku. Spojení je realizováno devíti tvarovými mechanickými poddajnými klipy, které se jednoduše "zacvaknou". Přesnější navedení dílů vůči sobě zajišťují naváděcí žebra na geometrii nárazníku. Na pohledové straně nárazníku je v rámci montáže nutné spojení nárazníku s předním spodním spoilerem, jejichž geometrie byla specifikována v rámci zadání. Spojení ve směru osy x je zajištěno opět tvarovými háčkovými prvky umístěnými na předním spoileru, které jsou navedeny do otvorů na dně C-kanálu předního nárazníku. Během nasazení předního spoileru do stávající sestavy nárazníku s podsestavou mlhovky je nutné jeho krajní lem určený pro spojení s hlavním držákem mlhovky dostat za jeho úroveň. Toho je docíleno jednoduchou elastickou deformací této části spoileru, která je tak "převlečena" přes spodní konzolu hlavního držáku (obr. 42). Materiál na bázi polypropylenu tuto krátkodobou výchylku (cca. 2 cm) díky svojí pružnosti umožňuje bez

rizika vážnějších deformací. Pozice a pevnější spojení nárazníku se spoilerem vůči sobě je poté zajištěno na každé straně dvěma ocelovo-hliníkovými nýty, pro jejichž spojení je nutné použít nýtovací kleště (obr. 59 - pozice 4). Vytvoří se zde velmi pevné a nerozebíratelné spojení. Posléze jsou přední spodní spoiler a podsestava mlhovsky spojeny na každé straně dvěma rozpěrnými nýty z polyamidu, jejichž montáž je provedena jen lehkým zatlačením těla nýtu za příslušné otvory v součástech. Osa nýtu, která se zasune směrem dovnitř, způsobí rozevření nýtu za úrovní otvoru a vytvoří v podstatě stejnou funkci jako hmoždinka. Tato vazba lze vyjmutím osy nýtu rozebrat, avšak během provozu vozidla se tento úkon nepředpokládá, jelikož nýty lze snadno a levně vyměnit za nové. Následně je z vnější (pohledové) strany nárazníku nasazen estetický externí kryt mlhového světlometu v černé nebo chromové variantě dle úrovně výbavy vozidla. Tento díl je lehce zasunut do příslušných otvorů, jeho spojení je realizováno tvarovými klipy. Ve směru osy z je nakonec nasazeno těsnění proti zatékání dešťové vody skrz hlavní držák dovnitř vozu. Další prvky předního modulu, které zde nejsou uvedeny, jsou do této sestavy montovány ve stejném směru, avšak pořadí operací lze těžko odhadnout. Jedná se především o bezpečnostní (deformační pěna, výztužné prvky), komunikační (kabely, senzory airbagu) a další plastové pohledové díly (přední maska a její ozdobné prvky). Takto vytvořený finální produkt předního modulu je nasazen zepředu na vozidlo a patřičně zajištěn. Plastový podběh vozidla je buď součástí zbytku vozu, na který se přední modul nasadí, nebo častěji je montován až na úplný závěr, aby byl umožněn lepší přístup montážních pracovníků do zástavbového prostoru vozidla. Pro spojení s předním podběhem je hlavní držák mlhového světlometu opatřen dvěma plechovými maticemi a samotný spoj je realizován šrouby velikosti M5 s šestihrannou hlavou (zástavbový prostor). Nakonec jsou na vozidlo namontovány lemy předního podběhu, které jsou lehce nacvaknuty prostřednictvím jednoduchých zarážecích nýtů, které jsou umístěny v příslušných pouzdrech. Pro detailnější představu montáže je v rámci příloh vytvořen výkres sestavy ve formátu A2.

6.3 Komponenty montáže - katalog

Pro přehlednost jsou níže uvedeny tabulky se všemi použitými díly sestavy. Ty lze rozdělit do dvou skupin: na hlavní komponenty a spojovací prvky. V příslušných katalozích jsou blíže specifikovány další vhodné parametry součástí. Celkem je v sestavě použito 12 hlavních funkčních dílů a 40 spojovacích součástí (podložky, šrouby, matice). V prvním sloupci je uvedena pozice dílu, která odpovídá jeho pozici na hlavním přiloženém výkresu.

6.3.1 Katalog hlavních komponentů

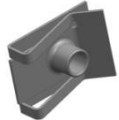
Tabulka 8: Katalog hlavních součástí sestavy

HLAVNÍ KOMPONENTY SESTAVY						
Pozice (L/P)	Název dílu	Počet kusů v sestavě (levá / pravá strana)	Materiál	Tloušťka [mm]	Hmotnost [g]	Obrázek
01	Nárazník	1	PP/EPDM T20	2,8	2112	
02	Přední spodní spoiler	1	PP/EPDM T10	2,8	1125	
03/04	Jednotka mlhového světlometu	1/1	PC / PBT	2	281	
05/06	Hlavní držák	1/1	PP/EPDM T20	2,5	518	
07/08	Externí kryt	1/1	ASA	2,5	57	
09/10	Podběh předního kola	1/1	PP/EPDM T10	2	1341	
11/12	Lem předního podběhu	1/1	PP/EPDM T20	3	520	
13/14	Těsnění	1/1	Přyz	-	-	

Zdroj: vlastní

6.3.2 Katalog spojovacích prvků

Tabulka 9: Katalog spojovacích součástí sestavy

SPOJOVACÍ PRVKY SESTAVY					
Pozice	Název dílu	počet kusů v sestavě (levá / pravá strana)	Rozměr	Materiál	Obrázek
15	Šroub s válcovou hlavou a drážkou <i>Torx</i>	3/3	M5x12	11 500	
16	Šroub se šestihrannou hlavou	2/2	M5x20	11 500	
17	Šroub se šestihrannou hlavou	2/2	M5x18	11 500	
18	Podložka karosářská	8	vnitřní průměr = 5,3 vnější průměr = 22 tloušťka = 1,6	11 423	
19	Plechová matice s metrickým závitem	3/3	M5	Pružinová ocel	
20	Plechová matice	2/2	M5	Pružinová ocel	
21	Plechová matice podběhu	2/2	M5	Pružinová ocel	
22	Rozpěrný plastový nýt	2/2	(průměr/délka) (6 / 15)	PA	
23	Trhací nýt	2/2	(průměr/délka) (4,8 / 22)	Hliník / Ocel	

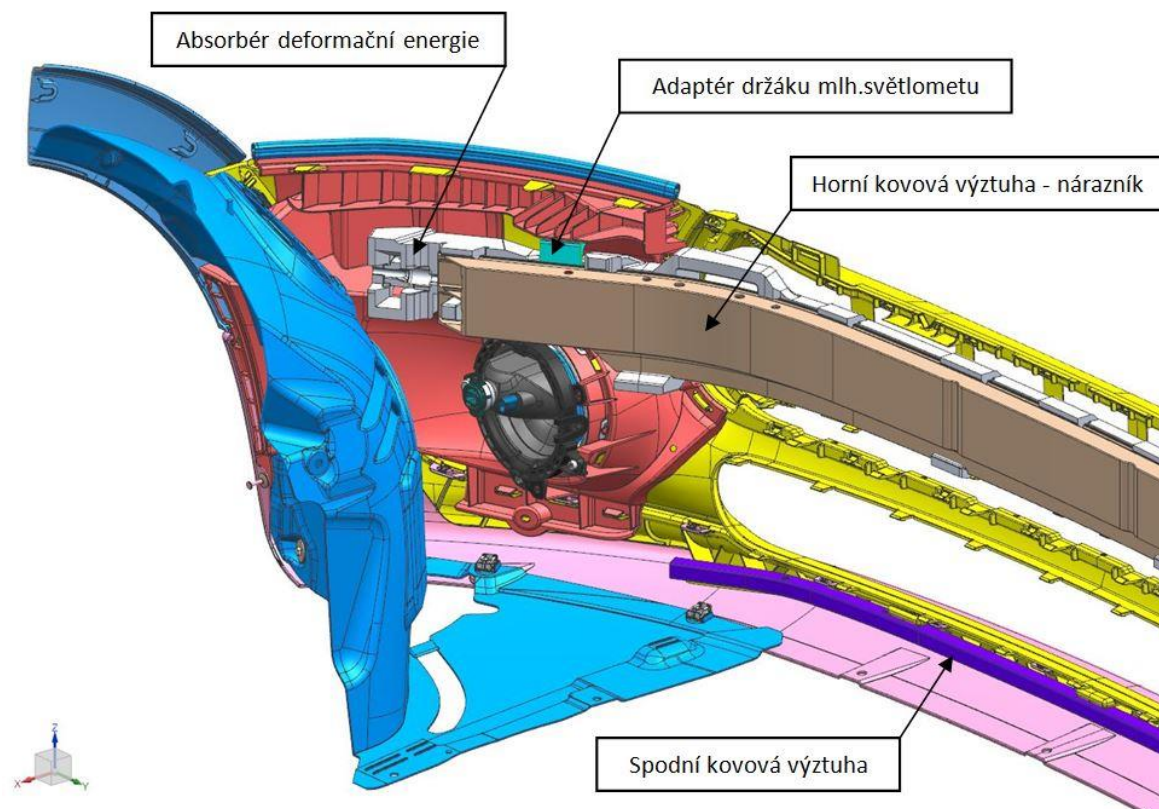
Zdroj: vlastní

7. Pevnostní analýza

Pevnostní analýza má za úkol posoudit funkční a pevnostní stav sestavy a jednotlivých dílů. Pomocí MKP analýzy, která je v současnosti nejrozšířenější numerickou metodou, lze sledovat mezní stavy jako plastické deformace vzniklé překročením meze kluzu materiálu nebo kritický průhyb v různých oblastech či bodech. Lze tak odhalit poddimenzované části, které je třeba vyztužit či zpevnit, nebo zjistit celkové chování při určitém zatížení a deformaci. Kapitola se bude zabývat pouze dílčími analýzami spojovacích prvků, jelikož pro hlubší a přesnější posouzení nárazových testů (crash-testy) je nutné mít k dispozici kompletní sestavu vozidla. Zároveň zvolený software, který je k dispozici, nenabízí možnost dynamických zkoušek, které by mohly reálně analyzovat například čelní střet vozidla s tuhou překážkou. Pro potřeby této práce však stačí posoudit pevnost vytvořených spojovacích prvků a odhalit nejslabší místo sestavy.

7.1 Pendulum test držáku mlhovky

Jak již název napovídá, hlavním zkoumaným parametrem této práce je pevnost hlavního držáku mlhového světlometu a příslušných spojovacích prvků, které jsou v přímém vztahu s tímto dílem. Podobně jako u pojišťovacích nárazů při nízkých rychlostech bude simulace provedena za pomoci kyvadla, které uhoďí na plochu držáku zcela zabrzděného vozidla. Je tak simulován například náraz při parkovacích manévrech nebo střet s tažným zařízením druhého vozu přímo do prostoru držáku. Pro simulaci byly dodány vnitřní ocelové příčníky (nárazník a spodní výztuha), adaptér držáku mlhového světlometu, který podpírá držák ve svislém směru (osy z) a absorbér nárazové energie ve formě polystyrénu, který je umístěn za předním pohledovým plastovým krytem nárazníku a pomáhá pohltit deformační energii. Avšak ostatní díly karoserie či vnitřku vozidla bohužel nejsou známy, a tak lze předpokládat, že výpočet bude zatížen relativně velkou výpočetní chybou danou omezenými počátečními podmínkami. Vzhledem k této skutečnosti bude výpočet zjednodušen a proveden pro nejhorší možnou variantu, která může nastat a vyvolat potenciálně největší deformace.



Obrázek 60: Výztuhy pro MKP analýzu
Zdroj: vlastní

7.1.1 Podmínky a cíle simulace

Samotný proces testu se skládá z nárazu kyvadla o hmotnosti ekvivalentní testovaného vozu (cca 1000 kg) do hlavního držáku mlhového světlometu o určité, relativně nízké rychlosti (0,5-2,5 km/h), která odpovídá pohybům vozidla při parkování. I když zde není zkoušena celá sestava předního modulu, lze vzhledem k povaze úlohy použít podobné hodnoty rychlostí jako při pojišťovacím testu dle EHK číslo 42. Hlavní držák je nasazen na předním plastovém krytu nárazníku prostřednictvím devíti tvarových poddajných háčkových spojů, které jsou vytvořeny na geometrii předního nárazníku (viz kap. 5.1.3). Cílem simulace je ověřit pevnost těchto spojení při zatížení držáku příslušnou deformační silou, která je zobrazena zeleně na obrázku číslo 61. Kyvadlo bude směřováno ve směru osy x globálního souřadného systému vozidla. Náraz je veden na vnější plochu těla držáku, která je přímo viditelná a umístěná v blízkosti jednotky mlhového světlometu.



Obrázek 61: Zatěžující síla (zeleně)
Zdroj: vlastní

Pro zadané parametry se bude hodnotit a posuzovat celkové chování sestavy a s tím spojených možností deformace. Teoreticky mohou nastat následující situace, které je potřeba vzít v úvahu a pomocí MKP analýzy zodpovědět následující otázku. Při zatížení držáku se dříve poruší jeho tělo, místa klipovacích spojů nebo samotné klipy umístěné na plastovém nárazníku? Dílčím cílem simulace je procentuálně vyjádřit rozložení nárazové síly mezi jednotlivé spojovací prvky za účelem zjištění, který klip je nejvíce namáhán. Míra poškození je velmi důležitá pro možnost snadného a levného servisu. Obecným požadavkem je v případě kolize měnit snadno vyměnitelné a cenově dostupné součásti. Z hlediska tohoto požadavku je určitě jednodušší vyměnit rozbitý hlavní držák mlhového světlometu, než montovat celý nový plastový nárazník kvůli ulomeným klipovým spojům. Lehce opravitelná poškození při nízkých rychlostech mohou dle pojišťovací zkoušky umístit vozidlo do nižší pojišťovací skupiny a cenově zvýhodnit jeho povinné ručení.

Shrnutí hlavních cílů:

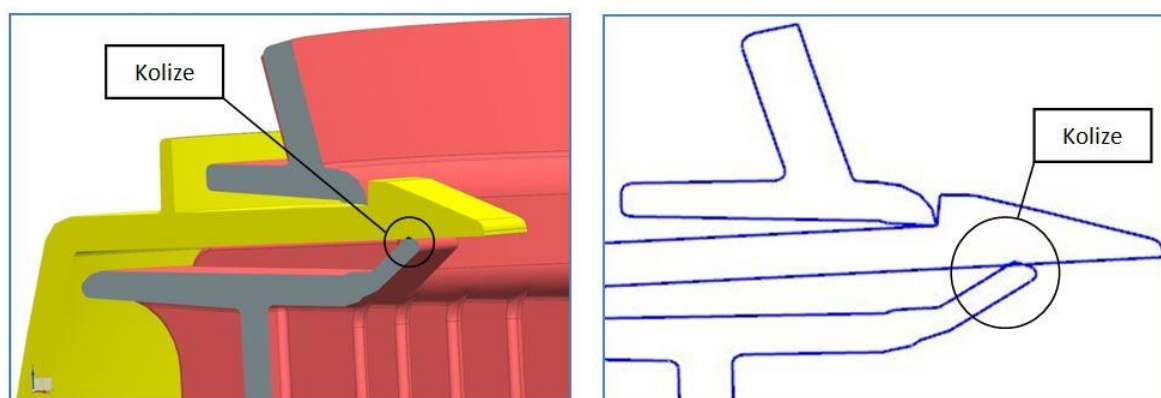
- Procentuálně změřit dílčí zatížení jednotlivých klipů.
- Co nastane dříve - poškození těla hlavního držáku, nebo háčkových spojů?

7.1.2 Příprava modelů a sestavy (preprocesor)

Důležitým procesem před samotným spuštěním MKP analýzy je úprava stávajících modelů, které se budou simulace účastnit. Zvláště jejich geometrická a tvarová úprava může velkou měrou přispět ke zkvalitnění a zpřesnění výsledků. Dalším důležitým

parametrem je výpočetní čas, který lze určitými úpravami a vhodnou volbou velikosti sítě zredukovat na přijatelnou hodnotu. Tato první část procesu se souhrnně označuje jako preprocesor.

Pracovní sestava se skládá celkem z devíti hlavních, geometricky poměrně složitých součástí, které se navzájem přímo ovlivňují. Přestože všechny spojovací elementy zde budou nahrazeny příslušnými vazbami (fyzicky se nebudou analýzy účastnit), složitost, počet a velikost zúčastněných dílů je natolik náročná, že s ohledem na výpočetní čas bude simulace probíhat pouze na jedné polovině sestavy, která je však naprosto symetrická s druhou polovinou. Další odlehčení celé soustavy proběhlo na jednotce mlhového světloometu, ze které byl pro analýzu použit pouze tvrdý plastový rám spojený s držákem mlhového světloometu šroubovými spoji. Ty jsou nahrazeny příslušnými vazbami v otvorech.



Obrázek 62: 3D a 2D kolize přitlačného žebírka
Zdroj: vlastní

Další nutností je odstranění vzájemných kolizí mezi jednotlivými díly, které mohou vnést do modelu značné výpočetní chyby. Jedná se například o kolizi mezi sledovanými klipy na nárazníku a přitlačovacími žebírky, které jsou v předpětí, aby dostatečnou silou zajišťovaly klipy v požadované poloze. Ve 3D modelu jsou za tímto účelem v lehkém průniku, který je potřeba odstranit a geometrii upravit přinejmenším na kontakt. Dalším úskalím je převod dat mezi jednotlivými programy, ve kterých jsou součásti vyvíjeny. Hlavní držák mlhového světloometu i externí kryt mlhovky byly zkonstruovány v softwaru NX 10. Po převedení do programu Catia však došlo k nepřesnému vyhlazení některých, především zaoblených ploch, které se při MKP analýze chovají jako samostatné prvky a znemožňují učinit výpočetní simulaci. Těžší než odstranit či opravit takovéto plochy je jejich objevení. Často je nutné model "cvičně" opatřit výpočetní sítí a zatížením, které pomůže při vhodné

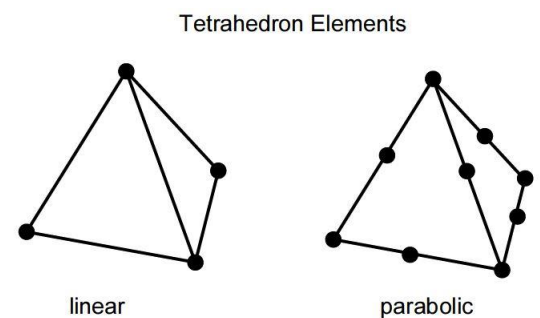
zobrazených dílčích výsledcích tyto poškozené plochy objevit. V neposlední řadě je nutné každému dílu přiřadit příslušný materiál s jeho přesně definovanými mechanickými vlastnostmi.

Shrnutí přípravy modelů před analýzou:

- Odstranění poškozených ploch vzniklých přenosem dat,
- Zjednodušení sestavy na minimální funkční celek,
- Odstranění kolizí jednotlivých dílů mezi sebou,
- Přiřazení příslušného materiálu.

7.1.3 Diskretizace modelu

Po zajištění všech výše uvedených podmínek následuje proces diskretizace modelu. Tento krok má za úkol pokrýt modely konečným počtem elementů, které se protínají ve vybraných bodech - uzlech. V programu Catia V5 je k dispozici 3D síť ve formě dvou rozdílných typů elementů tvaru čtyřstěnu. Lineární element se vyznačuje rychlejším výpočtovým časem, ale nižší přesností. Parabolický 3D element poskytuje přesnější výsledky na úkor delšího výpočtového času. Vyšší přesnost parabolického elementu je prezentována na obrázku 63, kde lze vidět vyšší počet uzlových bodů oproti základnímu lineárnímu elementu. Další výhodou sítě vytvořené z parabolických prvků je mnohem přesnější vyplnění zaoblených částí modelu (rádiusů).



Obrázek 63: 3D elementy programu Catia V5
Zdroj: [18]

Pro účely výpočtu v této práci byla zvolena síť sestávající se z parabolických 3D elementů, které poskytují vyšší přesnost. Avšak pro potřeby výpočtu v přijatelném čase byla velikost sítě velmi hrubá. V kritických místech vzájemných kontaktů jednotlivých dílů (klipy) nebo

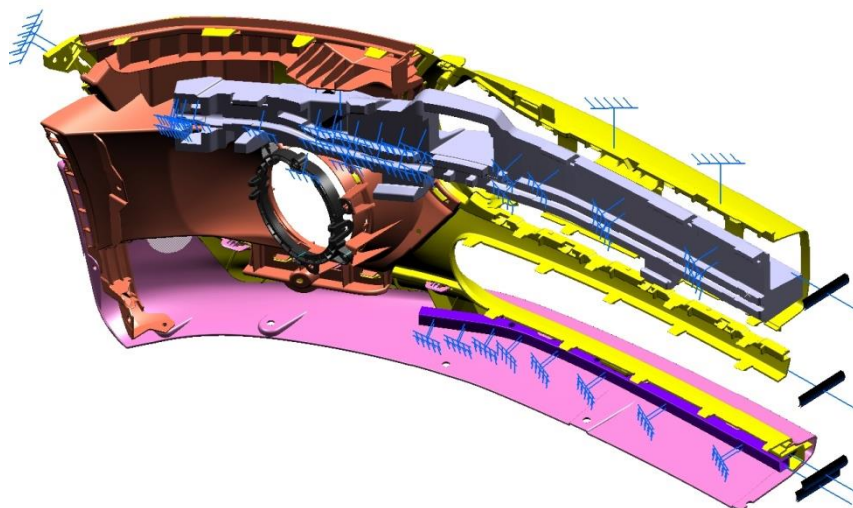
ve sledovaných oblastech byla lokálně zjemněna pro zjištění přesnějších výsledků. Jedná se o určitý kompromis mezi přesností výsledku simulace za určitý přijatelný časový úsek.



Obrázek 64: 3D síť pracovní sestavy
Zdroj: vlastní

7.1.4 Okrajové podmínky sestavy

Důležitou vlastností, která má významný vliv na přesnost a kvalitu výpočtu a jeho výsledků jsou počáteční podmínky. Správné a vhodné umístění vazeb je plně v rukou výpočtáře/konstruktéra a měly by věrně definovat pozice a chování součástí jako v reálné sestavě. Často je potřeba uvážit, které vazby jsou pro danou simulaci stěžejní, a které naopak je možné do výpočtu nezahrnovat, protože nemají stěžejní vliv na konečný výsledek. Zpočátku je třeba definovat vnější okrajové podmínky. Vetknutí neboli odebrání všech stupňů volnosti je umístěno na vnitřní kovové výztuhy (horní i spodní), které se tak stanou s ohledem na plastový materiál okolních dílů zcela tuhé. Vetknuta budou také místa ostatních dílů, která jsou přímo spojena s karoserií a rámem vozidla. Přední plastový nárazník je vetknut ve dvou takto určených bodech, zobrazených na obrázku 65. Poslední pevně uchycenou součástí je plastový podběh předních kol. Jelikož bohužel nejsou známy ostatní vnitřní díly vozu, jsou uchycující body zvoleny pouze orientačně. Na plochách vytvořených polovičním řezem sestavy jsou umístěny posuvné vazby, které umožňují pohyb těchto ploch a jejich příslušných dílů pouze v rovině zx globálního souřadného systému vozidla.



Obrázek 65: Okrajové podmínky sestavy
Zdroj: vlastní

Velmi jemnou a přesnou práci vyžaduje umístění vnitřních kontaktních vazeb, které definují pozici jednotlivých ploch mezi sebou a zamezují jejich případnému průniku. Především počet těchto vazeb je v celé sestavě čítající devět dílů velmi vysoký. Například jenom pro jeden klipový spojovací prvek je potřeba vytvořit vazby pro všechny stykové plochy s protikusy, kterými jsou nejen plochy, jenž jsou v přímém kontaktu, ale i plochy, které by mohly přijít během simulace do kolize, ačkoliv v nezátíženém stavu je mezi nimi viditelná vůle. Pro tento případ je potřeba zajistit nejen plochy samotného klipu s okolím, ale i dosedací žebírka umístěná v C-kanálu, nebo příslušné geometrii. Také je potřeba touto vazbou opatřit ostatní plochy geometrií, u kterých je během simulace podezření, že by se mohly dostat do vzájemné kolize. V sestavě bylo vytvořeno téměř 100 kontaktních vazeb.

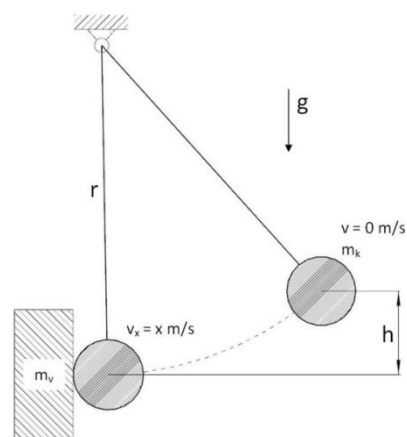
Spojení dílů mezi sebou prostřednictvím externích spojovacích prvků je nahrazeno virtuálními vazbami, které učiní tento spoj pevným a nedeformovatelným. Předpokládá se tedy, že všechny šrouby, nýty a matice odolají vyvolanému napětí a deformacím vzniklých při zatížení.

7.1.5 Výpočet nárazové síly

Pro statickou analýzu střetu kyvadla s hlavním držákem mlhového světometu je potřeba spočítat nárazovou sílu. Jak již bylo zmíněno v kapitole 7.1.1., bude zde uvažována nejhorší možná situace, která může nastat, a to střet do zcela zabrzděného vozidla. Zároveň lze tuto situaci hodnotit jako náraz automobilu do zcela tuhé a nepohyblivé překážky. Známé vstupní parametry jsou hmotnost kyvadla, která odpovídá hmotnosti vozidla, rychlost nárazu a poloměr zavěšení kyvadla, jenž vychází z normy EHK číslo 42 pro nárazový pojišťovací test. Výpočet je proveden analyticky podle následujícího postupu.

Vstupní parametry:

Hmotnost kyvadla	$m_k = 1000 \text{ kg}$
Hmotnost vozidla	$m_v = 1000 \text{ kg}$
Pro zjednodušení	$m_k = m_v = m$
Poloměr zavěšení kyvadla	$r = 3,3 \text{ m}$
Rychlost nárazu impactoru	$v_{0,5} = 0,5 \text{ km/h} = 0,139 \text{ m/s}$
	$v_1 = 1 \text{ km/h} = 0,278 \text{ m/s}$
	$v_{1,5} = 2 \text{ km/h} = 0,417 \text{ m/s}$
	$v_2 = 3 \text{ km/h} = 0,556 \text{ m/s}$
	$v_{2,5} = 4 \text{ km/h} = 0,694 \text{ m/s}$
Gravitační zrychlení	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$



Obrázek 66: Schéma kyvadla
Zdroj: vlastní

Hledané veličiny:

Nárazová síla impactoru $F = ? \text{ N}$

1) Určení výšky kyvadla ze zákona zachování mechanické energie

$$E_p = E_k \quad (1)$$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow h = \frac{1}{2} \frac{v^2}{g} \quad (2)$$

2) Deformační energie držáku mlhovky:

$$F = kw \quad (3)$$

$$E_{def} = \int_0^w F dx = \int_0^w kx dx = \left[k \frac{x^2}{2} \right]_0^w = k \frac{w^2}{2} = \frac{1}{2} kw^2 \quad (4)$$

Po dosazení rovnice (3) do rovnice (4):

$$E_{def} = \frac{1}{2} wF \quad (5)$$

3) Výpočet síly dopadu impactoru (F) na držák mlhového světlometu:

$$E_p = E_{def} \quad (6)$$

$$mgh = \frac{1}{2} wF \quad (7)$$

$$F = kw \rightarrow w = \frac{F}{k} \quad (8)$$

Po dosazení (8) do (7):

$$mgh = \frac{F^2}{2k} \rightarrow F \quad (9)$$

$$\underline{F = \sqrt{2mghk}} \quad (10)$$

4) Změření tuhosti sestavy:

Pro výpočet deformační energie je potřeba zjistit tuhost sestavy, která se spočítá jako podíl zvolené zatěžující síly v místě střetu s příslušnou deformací neboli průhybem (w), kterou tato síla vyvolá. Z měření pro zvolené síly vyplynuly následující výsledky:

Tabulka 10: Tuhost sestavy

Zvolená síla F[N]	Průhyb w [mm]	Tuhost k [N/m]
100	2,16	46296

Zdroj: vlastní

5) Výsledky výpočtu nárazové síly impactoru:

Tabulka 11: Síla nárazu impactoru

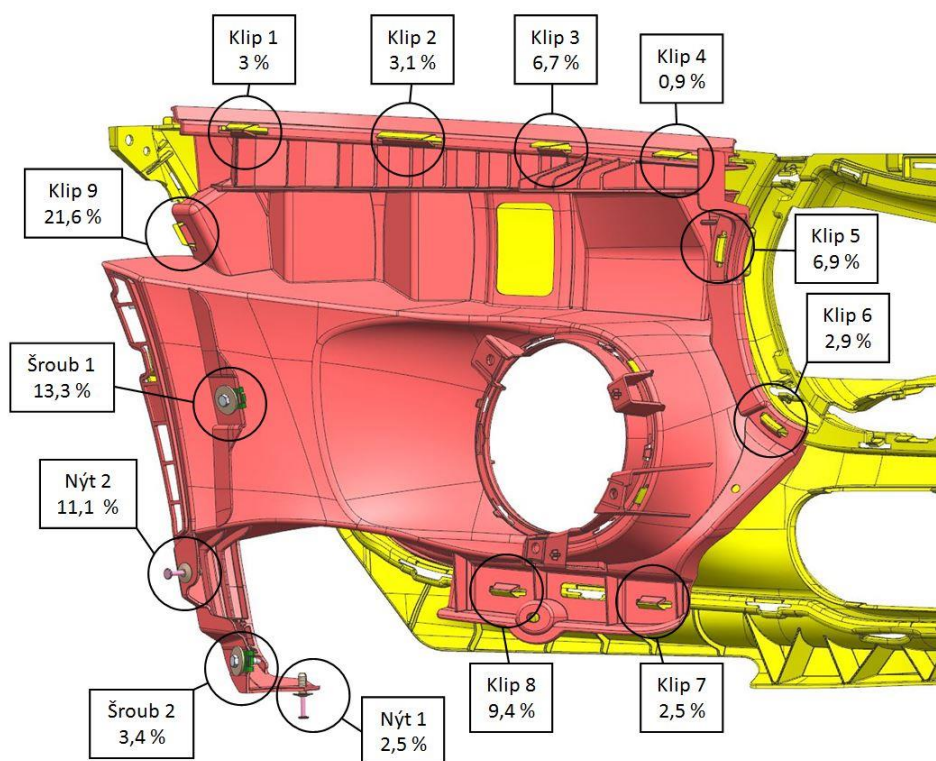
v [km/h]	v [m/s]	F [N]
2,5	0,694	4725
2	0,556	3780
1,5	0,417	2835
1	0,278	1890
0,5	0,139	945

Zdroj: vlastní

7.1.6 Distribuce zatěžující síly

V celkové sestavě nelze kvůli velmi hrubé síti dosáhnout přesných výsledků. Proto je pro posouzení pevnosti jednotlivých spojovacích prvků třeba znát jejich dílčí zatížení, aby každý spojovací prvek mohl být posouzen jednotlivě. K zjištění zatěžující síly v určité vazbě slouží v programu CATIA V5 příkaz *Reaction Sensor*, který zobrazí v příslušné vazbě silové a momentové rozložení. Tento příkaz je vložen do všech vazeb definujících spojení s ostatními díly, ve kterých se předpokládá přenos deformační síly. Odměřené

hodnoty jsou procentuálně vyjádřeny vzhledem k hlavní zatěžující síle a lze tak určit, který prvek je při deformaci nejvíce namáhán.



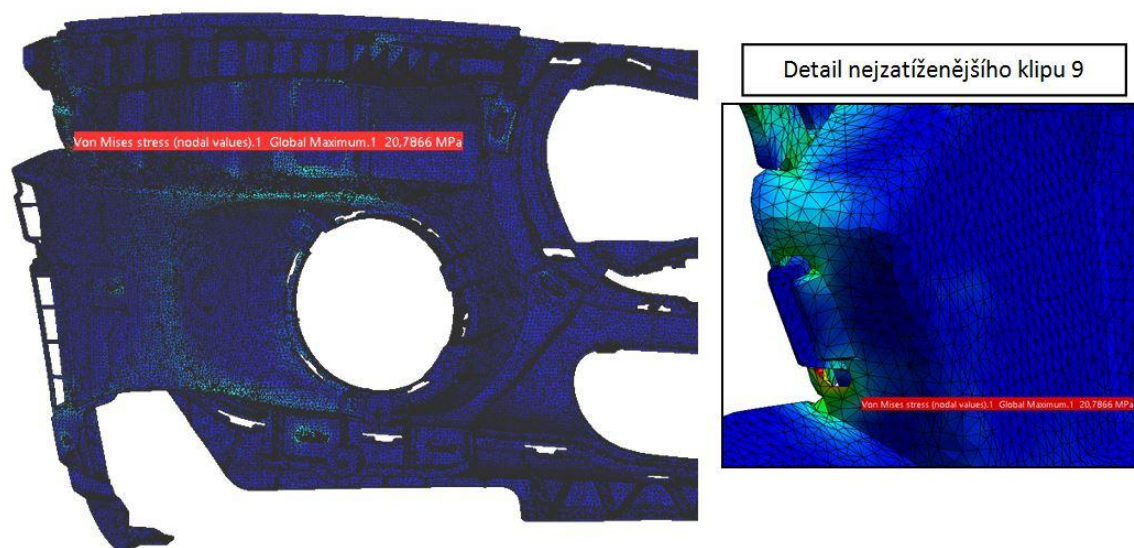
Obrázek 67: Výsledky distribuce deformační síly mezi jednotlivé spoje
Zdroj: vlastní

Na obrázku 67 jsou výsledky distribuce zatěžující síly o velikosti 100 N. Sílu zachycuje devět klipových spojů s plastovým předním nárazníkem, dva šroubové spoje s podběhem předního kola a dva plastové nýty, které hlavní držák spojují se spodním spoilerem (tyto díly nejsou pro přehlednost zobrazeny). Nejvíce zatíženým prvkem je klip číslo 9, na který se přenese 21,6 % zatěžující síly. Proto bude tento spoj analyzován jako první za účelem sledování deformačních sil a napětí.

7.1.7 Výsledky analýzy

Pro ověření místa vzniku prvních plastických deformací byla použita celá, byť velmi hrubou sítí osazená sestava přední části vozidla. Po zatížení nárazovou silou bylo zjištěno, že první skutečné porušení vznikne v oblasti klipu číslo devět (obr. 67). Lze tedy uvažovat, že dříve než tělo samotného držáku mlhového světlometu se začne deformovat oko pro tento klip, samotný klip na nárazníku nebo celé toto spojení. Na obrázku 68 je pro

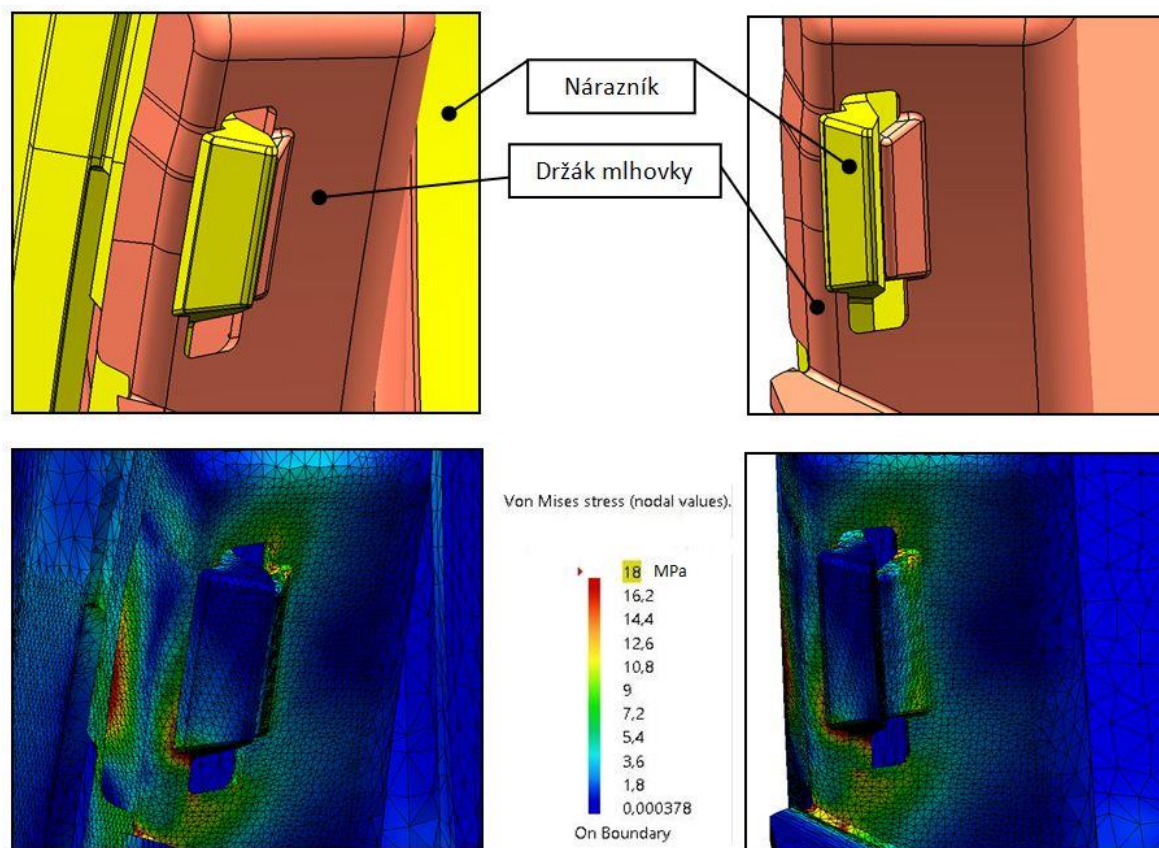
přehlednost zobrazen z hlavní pracovní sestavy pouze hlavní držák mlhovky a přední nárazník.



Obrázek 68: Místo prvních plastických deformací v sestavě
Zdroj: vlastní

V rámci posouzení pevnosti tohoto spoje je klip číslo devět posouzen pouze v menší sestavě nárazníku s hlavním držákem mlhovky. Jeho okolí je lokálně zjemněno pro potřeby zjištění přesnějších výsledků. Jelikož se jedná o relativně složitou geometrii, byly zvoleny elementy o velikosti 0,5 mm. Hlavní držák mlhového světlometu a nárazník byly osazeny prvky velikosti nominální tloušťky stěny dílů - tj. 2,8 mm. Sledovaným parametrem je šíření deformačního napětí a posouzení, v kterém místě spoje dojde k prvním trvalým neboli plastickým deformacím v závislosti na nárazové síle (viz tabulka číslo 11).

Po prvním výskytu napětí na mezi kluzu materiálu (18 MPa) již nelze následující vývoj simulace považovat za reálný, jelikož simulační metoda nadále počítá v lineární oblasti. Dle simulace nárazu při rychlosti 0,5 km/h vzniknou první trvalé deformace na háčkovém spoji číslo devět a zároveň na oku hlavního držáku, za který je zaklipnut. Vzniklé deformační napětí je však za hranicí meze kluzu materiálu. Napětí odpovídající mezi kluzu materiálu (obr. 69 - červeně) vzniká již při síle, která odpovídá nárazu kyvadla o rychlosti 0,44 km/h. Tato rychlost je tedy nejvyšší možnou, kterou je hlavní držák mlhového světlometu s ostatními díly sestavy schopen pohltnout a odolat jí bez trvalého poškození.



Obrázek 69: Pevnostní analýza nejzatiženějšího klipu
Zdroj: vlastní

Pro přehlednost je na obrázku číslo 69 zobrazen stav před simulací a po následném zatížení nárazovou silou. Deformace na mezi kluzu začíná na klipu umístěném na předním nárazníku a zároveň na oku hlavního držáku mlhovky. Lze tak velmi těžko odhadnout, který díl se bude deformovat jako první, nebo jestli dojde k porušení obou současně. Jako následná opatření zamezení poškození v tomto místě lze navrhnout lokální zpevnění pomocí ztužujících žeber, či přidání dalšího spojovacího prvku, který by pomohl odlehčit zatížení daného klipu. Nutno však podotknout, že tento díl není konstruován za účelem pohlcování deformační energie a vzhledem k jeho "zapuštění" do geometrie předního nárazníku se během jeho provozu nepředpokládá střet s tuhou bariérou.

Simulací nárazu na přední držák mlhového světloometu bylo zjištěno nejslabší místo, které se jako první začne deformovat. Vzhledem k omezeným vstupním parametrům testované sestavy nelze odhadnout jak velkou výpočetní chybou je analýza zatížena, avšak zjištění místa výskytu prvních trvalých deformací při zadaném zatížení lze považovat za přesné.

Závěr

Práce se zabývá uložením mlhového světlometu v přední části vozidla. Uchycení je navrženo pomocí dvou plastových součástí - hlavním držákem, který plní základní nosnou funkci a externím krytem, který lze považovat především za estetický pohledový díl. Zásadními faktory vývoje dílů je funkce, výrobitelnost, zásady konstrukce vstřikovaných plastů a jednoduchá montáž při splnění požadovaných podmínek spojení s okolními díly. Hlavní držák mlhového světlometu je zkonstruován z materiálu PP/EPDM T20 a ve směru osy x globálního souřadného systému automobilu (směr dopředného pohybu vozidla) je spojen prostřednictvím devíti háčkových spojů (klipů) s předním plastovým nárazníkem. Se spodním předním spoilerem a podběhem předních kol je spojení zajištěno šroubovými spoji a rozpěrnými nýty v různých směrech souřadného systému. Uložení samotné jednotky mlhového světlometu je realizováno pomocí šroubových spojů velikosti M5, pro které jsou na hlavním držáku vytvořeny příslušné "domečky". Externí kryt je vyroben z tvrdšího polymeru ASA a jeho základní funkcí je krytí otvoru mezi mlhovým světlometem a jeho držákem. Kryt je za účelem nasazení na hlavní držák opatřen šesti klipovacími oky, které umožňují jeho snadné nasazení ve směru osy x . Estetickou funkci tohoto dílu zvyrazňuje i provedení v chromové variantě. Analýza úkosů a tloušťky stěn neodhalila v modelech žádné vážné geometrické chyby, které by měly vliv na kvalitu výlisků. Celková sestava zahrnuje 12 hlavních funkčních dílů a 40 spojovacích součástí. Montáž hlavního držáku mlhového světlometu je relativně složitá, avšak zcela funkční a vyhovující vzhledem k zadaným požadavkům spojení s okolními díly v různých směrech globálního souřadného systému vozidla. V poslední kapitole byla provedena MKP (Metoda konečných prvků) analýza nárazu kyvadla na hlavní držák mlhového světlometu, která odhalila nejslabší místo sestavy. První trvalé deformace vzniknou na klipu číslo devět (obr. 67) při rychlosti nárazu kyvadla o ekvivalentní hmotnosti vozidla (1000 kg) rychlostí 0,44 km/h. Vzhledem k nedostupnosti všech okolních dílů sestavy a náročnosti simulace nelze přesně odhadnout jak velkou výpočetní chybou je analýza zatížena, avšak určení nejslabšího místa a spojení lze považovat za reálné.

Seznam použité literatury

- [1] VLK, F. 2000. *Karosérie motorových vozidel*. Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno. ISBN 80-238-5277-9.
- [2] VLK, F. 2003. *Stavba motorových vozidel*. Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno. ISBN 80-238-8757-2.
- [3] HBPO GmbH. 2014. *Frontend Audi Q7* [online]. Lippstadt, Německo: www.hbpogroup.com. [cit. 2015-10-26]. Dostupný z: <http://www.hbpogroup.com/wp-content/uploads/2015/06/HBPO_Q7.jpg>.
- [4] BÍLEK, O. *Návrh a porovnání montážních nosníků front-end modulu osobního automobilu v závislosti na použitých materiálech*. Plzeň, 2014. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta Strojní. Vedoucí práce Ing. Martin Kosnar.
- [5] ÚŘEDNÍ VĚSTNÍK EVROPSKÉ UNIE. 2011. *Předpis č. 48 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) - Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci* [online]. Dostupné z: <<http://www.vapp.cz/userfiles/file/EHK-OSN-48.pdf>>.
- [6] ČERNÝ, J. 1995. *Světla a osvětlení silničních vozidel I*. Praha, Nakladatelství dopravy a turistiky. ISBN 80-214-1868-0.
- [7] NAJVAR, P. *Konstrukce plastových dílů předního nárazníku sportovního automobilu*. Brno, 2010. Diplomová práce (Ing.). Vysoké učení technické v Brně, fakulta Strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Daniel Koutný, Ph.D.
- [8] AUSPERGER, A. 2014. *Proces vývoje vstřikovaného dílu* [online]. Plzeň: SPŠ strojnická a SOŠ profesora Švejcara Plzeň. [cit. 2015-10-12]. CZ.1.07/1.1.30/01.0038 Dostupné z: <<http://www.spstrplz.cz/admin/files/Media/PROJEKTY-OPVK/0038/prednasky2014/ausperger2.pdf>>.
- [9] BOBEK, J. 2015. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Svitavy: Střední odborné učiliště Svitavy. [cit. 2015-10-27]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <<https://publi.cz/books/179/Cover.html>>.
- [10] AUTOMOTIVE NEWS 2016. *Plastic pre-assembled fender module BMW X5* [online]. www.autonews.com [cit. 2016-01-20]. Dostupný z: <http://www.autonews.com/article/20070115/SUB/70112070/bmw-may-use-fender-modules-on-more-models>.
- [11] TOPWORKS PLASTICMOLD. 2016. *7 Plastic Parts* [online]. Huangyan, Zhejiang, China: www.myplasticmold.com [cit. 2016-01-21]. Dostupný z: <http://myplasticmold.com/wp-content/uploads/2012/07/autoparts.jpeg>.

- [12] BĚHÁLEK, L. 2006. Přehled základních termoplastů, reaktoplastů a termoplastických elastomerů. *Vlastnosti a inženýrské aplikace plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci. [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/VIP%20PLASTY.pdf.
- [13] O-BASF. 2015. *Snap - Fit Design Manual* [online]. [cit. 2015-10-30]. Dostupné z: <http://web.mit.edu/2.75/resources/random/Snap-Fit%20Design%20Manual.pdf>.
- [14] Podnikové normy a výukové podklady společnosti BEKO Engineering spol.s.r.o.
- [15] ŠUBA, Oldřich. 2010. *Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-80-7318-948-8.
- [16] ZENITH AURCRAFT COMPANY. 2016. *Blind Riveting* [online]. Mexico, Missouri, USA: www.zenithair.com. [cit. 2016-02-10]. Dostupný z: <http://www.zenithair.com/kit-data/use-tls.htm>.
- [17] GLOMBÍKOVÁ, V. 2014. *Simulace v konfekční výrobě s využitím metody konečných prvků* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci. [cit.2016-02-15] Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/predmety/PSI/Prednasky/prednasky_2015/prednaska_2014_6.pdf.
- [18] ZAMANI, N.G. 2012. *Catia V5 FEA Release 21*. Windsor: SDC Publications. ISBN: 978-1-58503-764-3.
- [19] BĚHÁLEK, L. 2005. *Vliv obsahu talku v pp na mechanické a reologické vlastnosti* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/p2/Talek.pdf.
- [20] ŠUBER, L. 2014. *Plasty a galvanická povrchová úprava. Časopis TriboTechnika* [online]. Žilina: Vydavateľstvo Techpark, o.z. [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22014/plasty-a-galvanicka-povrchova-uprava.html>.

Seznam příloh

Výkres: KVM-DP-685-01

CD-ROM