



NÁVRH KONSTRUKCE SPOJE PRO UPEVNĚNÍ SKLA NA RÁM DVEŘÍ OSOBNÍHO AUTOMOBILU

Diplomová práce

Studijní program:

N2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor:

2301T048 – Strojírenská technologie a materiály

Autor práce:

Bc. Jan Šoltýs

Vedoucí práce:

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld



Tento list
nahradíte
originálem
zadání.





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:

Podpis:





NÁVRH KONSTRUKCE SPOJE PRO UPEVNĚNÍ SKLA NA RÁM DVEŘÍ OSOBNÍHO AUTOMOBILU

Anotace:

Diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukcí plastových dílů pro upevnění skla na rám dveří osobního automobilu. Návrh se skládá z vytvoření 3D modelů plastových dílů, jejich výroby a zkoušek vlastností. Výsledkem této práce je nové řešení spoje pro upevnění pevného skla na rám dveří osobního automobilu.

Klíčová slova:

návrh konstrukce, pevné sklo, klip, rám dveří, 3D model, osobní automobil, laboratorní zkoušky

DESIGN OF JOINT FOR GLASS FIXATION INTO DOOR FRAME OF PERSONAL CAR

Annotation:

The master thesis deals with design and construction of plastic parts for fixation of glass on the door frame of personal car. The design consist of creation of plastic parts 3D models, their production and quality trials. The results of this thesis is new solution for fixation of fixed glass on the door frame of personal car.

Keywords:

structural design, fixed glass, clip, door frame, 3D models, personal car, laboratory tests





PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce panu prof. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi za odborné vedení, věnovaný čas a cenné připomínky, které mi poskytl při zpracování této práce. Významné poděkování patří celé mé rodině, zejména rodičům za podporu během studia.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže /SGS 21005/ ze strany Technické univerzity v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.





OBSAH:

1. ÚVOD	10
2. TEORETICKÁ ČÁST	12
2.1 Přehled dílů automobilového těsnění	12
2.1.1 Charakteristika montážního celku „pevné sklo“	13
2.2 Běžně používané plasty pro výrobu pevného skla	13
2.2.1. Polypropylen (PP)	14
2.2.2 Polyamid (PA)	16
2.2.3 Plněné polymery	18
2.2.3.1 Částicová plniva	18
2.2.3.2 Vlákenná plniva	19
2.2.4. Termoplastické elastomery (TPE).....	20
2.2.4.1 Termoplastické vulkanizáty (TPV).....	23
2.3 Výrobní technologie aplikované při výrobě pevného skla	26
2.3.1 Technologie vstřikování termoplastů a TPV.....	26
2.3.1.1 Obtřikování a vícekomponentní vstřikování s TPV	28
2.3.2 Doplnkové technologie uplatněné při výrobě pevného skla	28
2.4 Obecné zásady při návrhu plastových dílů	29
2.4.1 Funkčnost, technologičnost a ekonomičnost tvaru	30
2.4.2 Zásady návrhu vstřikovaných dílů z termoplastů a TPV	31
2.4.2.1 Dělicí rovina	31
2.4.2.2 Tloušťka stěn.....	32
2.4.2.3 Zaoblení a ostré hrany	33
2.4.2.4 Úkosy	34
2.4.2.5 Žebra	35
2.4.2.6 Upevňovací výstupky	36
2.4.2.7 Otvory.....	37
2.4.2.8 Pružné spoje, západkové spoje	38
2.4.2.9 Zásady pro konstrukci napojení obtřiku TPV a zálisku	40
2.5 Metodika konstruování plastových součástí	41



2.5.1 Metodický postup konstruování	41
2.5.1.1 Zadání	42
2.5.1.2 Analýza zadání.....	42
2.5.1.3 Koncipování řešení.....	43
2.5.1.4 Navrhování	43
2.5.1.5 Zpracování dokumentace	44
2.5.1.6 Realizace	44
2.6 Využití výpočetních techniky pro konstrukci plastových dílů.....	45
2.6.1 CATIA V5 a obecné zásady vytváření 3D modelů	45
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	48
3.1 Rozbor stávajícího řešení spoje a stanovení požadavků pro nový konstrukční návrh	48
3.2 Návrh nového konstrukčního řešení spoje a volba materiálu	50
3.2.1 Návrh konstrukce výměnného klipu a výběr materiálu.....	51
3.2.2 Návrh konstrukce protikusu pro montáž výměnného klipu a výběr materiálu	53
3.2.3 Návrh konstrukční úpravy obstříku skla dle geometrie protikusu .	55
3.2.4. Princip funkce jednotlivých dílů nového konstrukčního návrhu ...	56
3.3 Kontrolní výpočty nového konstrukčního návrhu	58
3.3.1 Kontrolní výpočet odolnosti konstrukce výměnného klipu při zatížení silou 500N	58
3.3.2 Kontrolní výpočet odolnosti spojení protikusu a obstříku skla při zatížení silou 650N	59
3.4. Výroba nových dílů dle konstrukčních návrhů a laboratorní zkoušky	60
3.4.1 Měření zádržných a montážních sil výměnného klipu.....	61
3.4.2 Montážní zkouška výměnného klipu do protikusu v pevném skle a měření montážní síly	64
3.4.3 Zkouška soudržnosti protikusu s obstříkem skla	65
3.4.4 Zkouška odolnosti spoje výměnného klipu a pevného skla.....	66
3.4.5 Montážní zkouška pevného skla s výměnným klipem na rám dveří	67



3.5 Návrhy úprav konstrukce výměnného klipu dle výsledků provedených laboratorních zkoušek	68
3.6. Laboratorní zkoušky dílů na základě upraveného výměnného klipu V1	70
3.6.1 Měření zádržných a montážních sil výměnného klipu V1	70
3.6.2 Montážní zkouška výměnného klipu V1 do protikusu v pevném skle	71
3.6.3 Zkouška odolnosti spoje výměnného klipu V1 a pevného skla	72
3.6.4 Montážní zkouška pevného skla s výměnným klipem V1 na rám dveří.....	73
4. DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	74
5. ZÁVĚR.....	77
SEZNAM LITERATURY	80
SEZNAM PŘÍLOH	82



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

TPE	Termoplastický elastomer
TPV	Termoplastický vulkanizovaný elastomer
TPO	Termoplastický polyolefinový elastomer
EPDM	Ethylen-propylen-dienový kaučuk
PE	Polyethylén
PP	Polypropylen
PA	Polyamid
PS	Polystyren
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
CAD	Computer Aided Design - počítačem podporované navrhování
FEM	Finite Element Method - metoda konečných prvků
MKP	Metoda Konečných Prvků
V1	Označení nové verze výměnného klipu



1. ÚVOD

Cílem této diplomové práce je návrh konstrukce spoje pro upevnění skla na rám dveří osobního automobilu. Podstatou je návrh takového řešení, které odstraní nebo minimalizuje nevýhody na základě provedeného rozboru současného konstrukčního řešení. Snahou bude navrhnout takový spoj, který zajistí splnění všech stanovených požadavků a současně minimalizuje náklady na opravu pevného skla při poškození montážního klipu.

Na spoj pevného skla s rámem dveří je kladena celá řada požadavků, kde jedním z nejdůležitějších je dodržení stanovené zádržné síly proti jeho uvolnění z otvoru v rámu dveří. Pevné sklo se nachází na zadních dveřích a v jeho oblasti dochází v případě nehody k aktivaci airbagu. Hlavový airbag se při aktivaci částečně opírá o pevné sklo, čímž na něj působí nemalou silou. Proto musí být pro spolehlivou funkci airbagu zajištěna dostatečná zádržná síla spoje pevného skla v rámu dveří

V případě nedostatečné zádržné síly spoje pevného skla v rámu dveří, může dojít při nárazu automobilu do překážky k uvolnění pevného skla a tím i k nesprávnému naplnění airbagu či dokonce k jeho zničení. Vysoký tlak plnění airbagu také může v případě nedostatečně dimenzovaného spoje vyrazit pevné sklo z uchycení, což by mělo opět za následek jeho nesprávné naplnění nebo zničení a tím ohrožení bezpečnosti pasažérů na zadním sedadle. Z toho důvodu je třeba k návrhu spoje přistupovat zodpovědně, a také proto je značná oblast experimentální části věnována sérii zkoušek reálných dílů, které mají zajistit bezchybnost návrhu nového konstrukčního řešení spoje pevného skla a rámu dveří.

Nezbytnou součástí experimentální části tak je vyhodnocení laboratorních zkoušek nových dílů a v případě zjištění nedostatků, návrh opatření s jejich následnou realizací a opakováním potřebných zkoušek k dosažení takových výsledků, které budou splňovat veškeré požadavky na nový konstrukční návrh.

Na závěr bude provedena diskuze získaných výsledků a nový konstrukční návrh bude porovnán se současným konstrukčním řešením z hlediska výrobní ceny dílů a nákladů na opravu dílů při poškození montážního klipu.



Teoretická část věnuje důležitým oblastem znalostí pro vypracování experimentální části této diplomové práce.

Tato práce vznikla ve spolupráci s vývojovou činností konstrukční kanceláře firmy Henniges Hranice s.r.o. (dále jen Henniges) s umístěním v Mladé Boleslavi.

2. TEORETICKÁ ČÁST

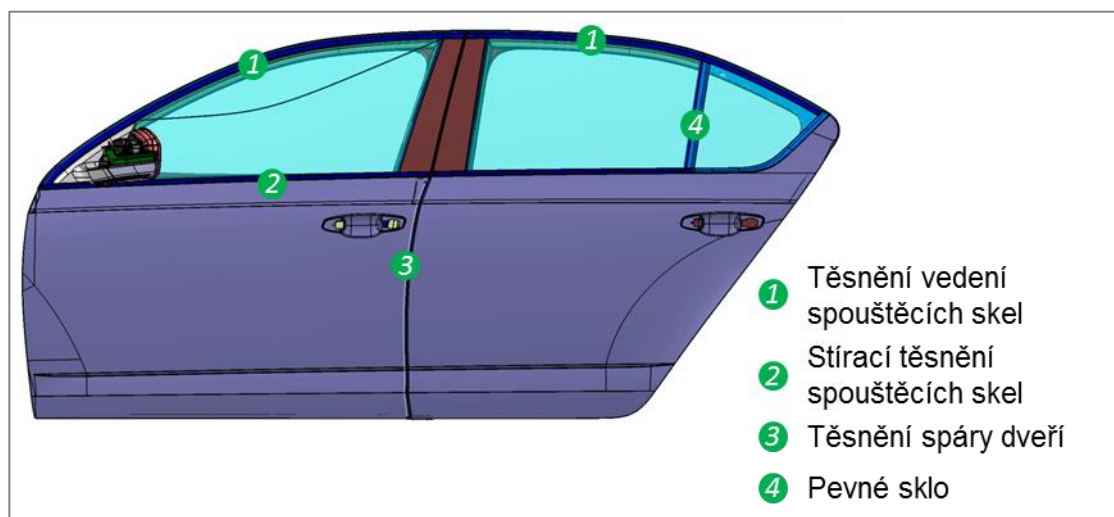
Na díly těsnících systémů osobních automobilů jsou kladeny vysoké požadavky na jejich těsnící funkci, pevnost, živostnost, tvarovou a rozměrovou stálost, hmotnost, estetiku a samozřejmě také na co nejnižší cenu. Tyto vlastnosti ovlivňuje řada parametrů od chemického složení použitých plastů až po technologii výroby, skladování ale i způsob montáže.

Vývoj těchto dílů je velmi nákladná záležitost a je proto nutné vycházet z teoretických znalostí o používaných materiálech, technologiích a postupech uplatňovaných při jejich výrobě, tak aby se minimalizovaly ztráty způsobené nevhodným konstrukčním návrhem, či nevhodným výběrem materiálu.

V následující kapitole je uveden přehled dílů automobilového těsnění spouštěcích skel a blíže popsána charakteristika pevného skla, jímž se tato práce zabývá.

2.1 Přehled dílů automobilového těsnění

Vnější těsnící systém dveří osobního automobilu zahrnuje těsnění vedení spouštěcích skel, stírací těsnění spouštěcích skel, těsnění spáry dveří a také pevné sklo (viz obr. 2.1).



Obr 2.1: Prostorové uspořádání dílů těsnění skel na dveřích automobilu

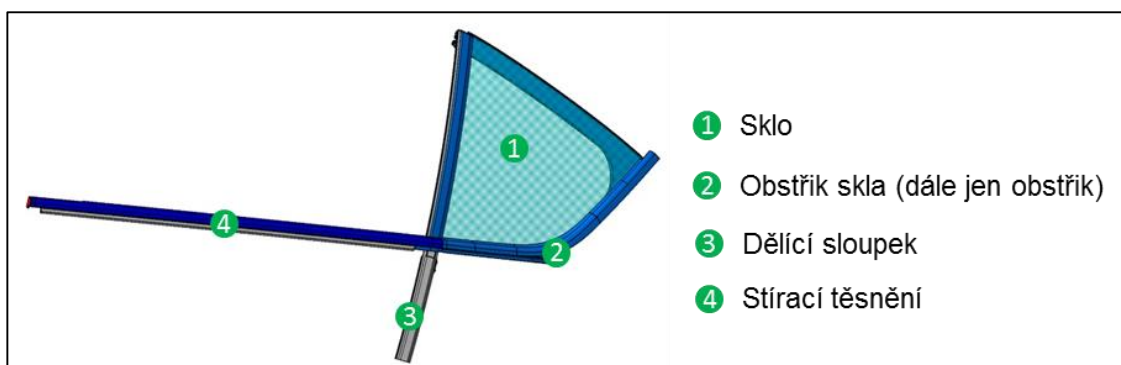
Primárním úkolem těchto dílů je samozřejmě plnit těsnící funkci, ale kromě toho musí také splňovat vysoké požadavky na jejich vzhled, jelikož jsou mnohdy významným optickým prvkem na dveřích osobních automobilů. Často

se také na tato těsnění montuje okrasná lesklá lišta, což dává dílům těsnění skel elegantní vzhled.

2.1.1 Charakteristika montážního celku „pevné sklo“

Montážní celek pevného skla (zkráceně „pevné sklo“) je komplikovaný díl automobilového těsnění, který zajišťuje utěsnění a upevnění skla na rám dveří osobního automobilu a dotváří tak vzhled zadních dveří v oblasti za pevným sloupkem.

Pevné sklo se skládá z několika základních konstrukčních částí, které jsou popsány na obrázku 2.2. Pojmenování jednotlivých částí dle tohoto obrázku bude použito v následujících textech této práce.



Obr. 2.2: Popis konstrukčních částí pevného skla

Typ pevného skla na obrázku 2.2 se obvykle používá na karoseriích typu „liftback“ a vyznačuje se tím, že vnější stírací těsnění a pevné sklo jsou spojeny v jeden díl. Pro karoserie typu „kombi“ je zpravidla vnější stírací těsnění od pevného skla odděleno a tvoří tak samostatné díly.

2.2 Běžně používané plasty pro výrobu pevného skla

Tato kapitola se zaměřuje na plasty, které jsou používány při výrobě pevného skla. Vedle standartních plastů jako je polypropylen nebo polyamid, se používá také vulkanizovaný termoplastický elastomer (TPV), který spadá do skupiny termoplastických elastomerů (TPE). Tento materiál se používá nejen k obstříku skla, ale také pro výrobu těsnění vedení skel, kde s úspěchem nahrazuje díly vyráběné z pryže. V poslední době zaznamenal TPV díky svým vlastnostem velmi dynamický rozvoj a nadále jeho vývoj pokračuje.



Jelikož ke klasickým termoplastům, jako je polypropylen nebo polyamid, existuje mnoho důležitých informací v kvalitních a snadno dostupných publikacích, bude významná část této kapitoly věnována popisu vlastností a aplikací termoplastických elastomerů.

2.2.1. Polypropylen (PP)

Patří mezi polyolefiny, které jsou největší skupinou syntetických polymerů, vznikající polymerací uhlovodíků (sloučenin uhlíku s vodíkem), tzv. olefinů (neboli alkenů), obsahující v molekulách jednu dvojnou vazbu. Mezi polyolefiny se řadí termoplasty i kaučuky a neznámějšími termoplasty jsou polyetylen (PE) a polypropylen (PP).

Vzhledem k vlastnostem jednotlivých materiálů se z oblasti polyolefinů v konstrukčních aplikacích využívá pouze polypropylen, do kterého se často pro zlepšení mechanických vlastností přidávají vyztužující plniva, zejména skelná vlákna. Polypropylen je semikrystalický termoplast, jehož vlastnosti jsou značně závislé na indexu izotakticity. Tato závislost je znázorněna v tabulce 2.1. [1]

Tab. 2.1: Vlastnosti polypropylenu v závislosti na prostorovém uspořádání substituentů v makromolekule [1]

Polypropylen	Hustota [g/cm ³]	Teplota tání [°C]	Mez pevnosti [MPa]	Rozpustnost v uhlovodících při 23°C
Izotaktický (čistý)	0,905 ÷ 0,920	176	vysoká	nerozpustný
Syndiotaktický	0,890 ÷ 0,910	135	střední	středně rozpustný
Ataktický (kašovitý stav)	0,850 ÷ 0,900	nemá	velmi nízká	snadno rozpustný

Obchodní produkty polypropylenu obsahují vždy určitý podíl ataktické složky a teplota tání je na rozdíl od čistého izotaktického polypropylenu nižší. Typické vlastnosti komerčního polypropylenu jsou uvedeny v tabulce 2.2. [1]



Tab. 2.2: Typické vlastnosti polypropylenů [1]

Polypropylen	Stupeň krystalinity [%]	Hustota [g/cm ³]	Teplota tání [°C]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]
Izotaktický	60 ÷ 70	0,905 ÷ 0,920	160 ÷ 176	1100 ÷ 1500	34 ÷ 38

Polypropylen se svými vlastnostmi značně blíží vysokohustotnímu polyethylenů. Jedná se o nepolární plast a obdobně jako polyethylen odolává polárními rozpouštědly, kyselinám, zásadám a solím. Tato odolnost je však vyšší než u polyethylenů, zejména pak za vyšších teplot. Neodolává UV záření, je hořlavý a při hoření odkapává. Od vysokohustotního polyethylenů se polypropylen liší nižší hustotou a menší odolností mrazu (teplota zesknutí je totiž ca. -15°C). Polypropylen má nejnižší hustotu ze všech nelehčených plastů. Na druhé straně má vyšší pevnost, tuhost, tvrdost a odolnost proti otěru. Vzhledem k vyšší teplotě tání má lepší tvarovou stálost za zvýšených teplot (dlouhodobě až 100°C). Lépe odolává vzniku napěťových trhlinek než polyethylen a má dobrou rázovou pevnost do oblasti teploty zesknutí. [1]

Polypropylen nachází využití pro výrobu různých předmětů spotřebního průmyslu, jako jsou např. fólie, misky a jiné obalové materiály, vlákna, lahve a další duté předměty. Pro svoje mechanické vlastnosti, příznivou cenu, možnosti kopolymerace a modifikace přísadami nebo jinými polymery, se polypropylen používá na součásti strojů a přístrojů ve strojírenství, k výrobě součástí kuchyňských přístrojů, výrobě automobilových nárazníků, dílů klimatizačních jednotek v automobilu, pro výrobu trubek a vodních armatur, spoilerů, reflektorů, mřížek chladiče, skříní akumulátorů, vrtulí ventilátorů, atd. Některé příklady výrobků z PP jsou uvedeny na obrázku č. 2.3. [1], [2]



Obr. 2.3: Příklady aplikací polypropylenu [1]

Polypropylen se také často modifikuje velkou řadou přísad a plnivů (např. talkem, skelnými vlákny, apod.). K nejčastějším technologiím zpracování polypropylenu patří vstřikování, vyfukování, vytlačování na trubky, desky, profily a výtlačné vyfukování na fólie. [1], [2]

2.2.2 Polyamid (PA)

Polyamidy jsou vysoce hodnotné konstrukční semikrystalické termoplasty. Jsou to lineární plasty charakterizované řetězcem, v němž se pravidelně střídají amidové skupiny $-\text{CO}-\text{NH}-$ s větším počtem methylenových skupin $-\text{CH}_2-$. Polyamidy se vyrábějí z různých monomerů několika odlišnými způsoby a nejčastěji se tak můžeme setkat s polyamidy: PA-6, PA-66, PA-610, PA-11, PA-12 apod. Čísla umístěná za označením polyamidu charakterizují výchozí monomery dle počtu atomů uhlíku v jejich molekulách. Např. PA-66 vzniká polykondenzací hexamethyldiaminu, obsahující 6 atomů uhlíku s kyselinou adipovou, obsahující rovněž 6 atomů uhlíku v molekule nebo polyamid PA-610, který vzniká z kyseliny sebakové, obsahující v molekule 6 atomů uhlíku s hexamethyldiaminem s 10 atomy uhlíku v molekule. Nejrozšířenějšími typy jsou PA-6 a PA-66. [1]

Polyamidy obsahují atomy kyslíku a dusíku, proto jsou silně polární. Přijímají tak velmi snadno vodu jak v přímém kontaktu, tak i z atmosféry. Dobře odolávají rozpouštědlům, ale v silných kyselinách se rozpouští. Amidová skupina umožňuje tvorbu vodíkových můstků mezi makromolekulami, které představují relativně silnou mezimolekulární vazbu, která je příčinou vysoké



pevnosti a vysoké teploty tání. Se stoupajícím obsahem vody klesá pevnost, tuhost a tvrdost, stoupá však houževnatost a tažnost.

Přídavkem skleněných a uhlíkových vláken lze zlepšit podobně jako u ostatních polymerů jejich mechanické vlastnosti. Při zpracování nevysušeného polyamidu se voda projeví napěňováním taveniny a hydrolyzou, proto je nutné je před zpracováním sušit. Polyamidy jsou náchylné na kríp, protože vlhkost snižuje modul pružnosti i teplotu zeskenění až pod 0°C. Vyznačují se dobrými kluznými vlastnostmi.

Souhrn typických vlastností polyamidů, které se mohou měnit v širokém rozmezí podle obsahu monomeru je uveden v tabulce č. 2.3. [1]

Tab. 2.3: Typické vlastnosti polyamidů [1]

Polyamid	Hustota [g/cm ³]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota tání [°C]	Navlhavost [%]
PA - 6	1,10 ÷ 1,14	1100 ÷ 3500	215 ÷ 225	2,5 ÷ 3,0
PA - 66	1,12 ÷ 1,14	2600 ÷ 3600	250 ÷ 260	2,5 ÷ 2,8
PA - 610	1,06 ÷ 1,08	2400	215	1,4
PA - 11	1,01 ÷ 1,04	1200 ÷ 1600	175 ÷ 187	1,0
PA - 12	1,01 ÷ 1,03	1300 ÷ 2100	170 ÷ 180	0,9 ÷ 1,8

Polyamidy se široce využívají pro různé konstrukční aplikace. Používají se pro výrobu ozubených kol (např. kancelářských strojů a měřících zařízení). Dále pro kluzná uložení a ložiska, kladky, řemenice, filtry, nádržky, vzduchová vedení, vlákna apod. Méně navlhavé polyamidy PA-610, PA-11 a PA-12 se používají zejména ve vlhkém prostředí, kde je požadována tvarová stálost.

Vyztužené polyamidy lze potom použít na automobilové pedály, kryty elektromotorů, upevňovací prvky, apod. Příklady aplikací polyamidů jsou znázorněny na obrázku č. 2.4[1]



Obr. 2.4: Příklady aplikací polyamidu [1], [3]

2.2.3 Plněné polymery

Plniva mohou zlepšovat mechanické vlastnosti materiálu, chemickou odolnost či tvarovou stálost při zvýšené teplotě, nebo mohou plast pouze zlevňovat. Dělí se například podle funkce na vyztužující a nevyztužující. Vyztužující plniva jsou zpravidla ve formě vláken. Nevyztužující plniva jsou nejčastěji ve formě prášků a mohou zlepšovat např. kluzné vlastnosti, tepelnou vodivost, či odolnost proti UV záření.

Nezřídka se také nevyztužující plniva přidávají pouze z důvodu snížení ceny materiálu. Plniva se podle tvaru rozdělují na částicová a vláknitá. [4]

2.2.3.1 Částicová plniva

U polymerů s částicovými plnivými jsou kromě tvaru částic důležité jejich termomechanické vlastnosti jako např.: teplotní roztažnost, tuhost, deformační vlastnosti. Anorganická plniva (uhličitan vápenatý, oxidy křemíku, skleněné kuličky o velikosti 5 až 500 mikrometrů, mletá slída, talek, mikroskopické částice kovů, atp.) jsou tužší a obvykle i pevnější než polymerní matrice, ale jsou málo plastické a proto jimi tvořené plasty jsou tužší než matrice a podle typu plniva získávají i některé speciální fyzikální a mechanické vlastnosti, například větší elektrickou a teplotní vodivost, menší teplotní roztažnost, lepší kluzné vlastnosti, apod.

U termoplastických elastomerů, které obsahují málo tuhé elastomerní částice, zmenšují tyto částice tuhost matrice a současně zvětšují její houževnatost. [7]

2.2.3.2 Vlákniťá plniva

Pro dosažení požadované tuhosti a pevnosti je nutné zvolit vhodný typ vláknů a také jeho objemový podíl v materiálu. Jako vláknitá plniva se nejčastěji používají vlákna ze skla, dále konopí, len, sisál, apod. Objemové naplnění se pohybuje od 5 do 60 (i více) procent. O plastech plněných vláknitými plnivými se často hovoří jako o kompozitech.

Kompozit je charakterizován jako materiál skládající se ze dvou nebo více složek, čímž je dosaženo takových vlastností, kterých nedosahují jednotlivé složky samostatně. Tento jev se nazývá synergický efekt. Vnější síly jsou ve vláknitých kompozitech přenášeny především vláknitou výztuží, přičemž matrice zde má za úkol zajistit jejich vzájemnou soudržnost až do lomu kompozitu. Při použití vláknitých plniv je důležitá jejich délka vztažená k jejich průměru. Délka izolovaného vlákna musí být delší, než je kritická délka vlákna, která je definována jako cca 10-ti násobek průměru jednoho vlákna. Tento požadavek je dán tím, že konce vláken nepřenášejí tahová napětí. [5], [6]

Skleněná vlákna patří k nejrozšířenějším vyztužujícím plnivům a jejich průměr se pohybuje od cca 2,5 do 24 μm . Před zamícháním do polymerní taveniny je nutné je opatřit tzv. apretací.

Apretací se rozumí úprava povrchu plniva, díky které dojde ke zvýšení vzájemné soudržnosti fází a k omezení difúze cizích molekul mezifázovým rozhraním. Tato úprava povrchu plniva se provádí nanášením vhodné chemické látky na povrch částic nebo vláken. Jestliže jsou sekundární fáze anorganické povahy, obsahuje apretační látka jednak anorganické funkční skupiny reagující s jejich povrchem a funkční skupiny organické, reagující s polymerní maticí. Nejčastějšími apretacemi jsou různé typy silanů a organické sloučeniny titanu. [5], [7]

Vláknitá plniva se mohou dělit podle své délky v granulátu na granulát s krátkými nebo dlouhými vlákny. Mezní hodnotou pro rozlišení dle jejich délky je obvykle stonásobek průměru vlákna.

Krátká skleněná vlákna v granulátu (délka je nižší než stonásobek jejich průměru), zvyšují modul pružnosti, zvyšují tepelnou odolnost a mají za následek výraznou anizotropii smrštění i mechanických vlastností. Materiály




s krátkými skelnými vlákny se využívají u aplikací, kde jsou zvýšené požadavky na tuhost.

Granulát s dlouhými skelnými vlákny (délka vláken je obvykle větší než stonásobek jejich průměru) je zpravidla vyráběn kontinuálními technologiemi pultruze, kdy je na nekonečné vlákno nanášena ve vytlačovací hlavě matrice a po ochlazení pramence se seká na granule o délce 10 až 16 mm. Délka granule potom odpovídá délce vlákna obsaženého v granulátu. Při vstřikování pak vzniká trojrozměrná struktura, která má zásadní vliv na vlastnosti výstřiků s dlouhými vlákny. Výrazně se zlepšuje anizotropie vlastností, zejména smrštění a rozměrová stabilita, zvýší se rázová houževnatost, tepelná odolnost, odolnost proti šíření trhliny, výstřiky mají dobré krípkové vlastnosti - odolnost proti toku za studena, zvýšení modulu pružnosti je úměrné tloušťce výstřiku. [5].

2.2.4. Termoplastické elastomery (TPE)

Termoplastické elastomery jsou polymerní systémy, které spojují aplikační vlastnosti elastomerů (ohybnost, elasticitu) a zpracovatelské vlastnosti termoplastů (snazší zpracování a recyklovatelnost). Zkombinování těchto vlastností je možné vlivem přítomnosti měkkých elastických a tvrdých segmentů ve struktuře plastu. Tvrdé a měkké segmenty musí být vzájemně nemísitelné, aby tvořily oddělené fáze. Měkké segmenty jsou tvořeny elastomery, které se snadno deformují a mají nízkou teplotu skelného přechodu. Tvrdé segmenty, které vytvářejí uzly sítě, jsou tvořeny amorfním nebo semikrystalickým termoplastem. Tvrdé segmenty se obtížně deformují, a tak omezují vzájemnou pohyblivost měkkých segmentů. Mají vysokou teplotu skelného přechodu nebo teplotu tání. Při ohřevu nad teplotu tání tvrdých segmentů (termoplastů) přechází TPE v taveninu použitelnou pro různé plastikařské technologie, např. pro vstřikování a vytlačování. Po ochlazení se tvrdé segmenty znovu shlukují, ztuhnou a vytvoří tuhé uzly sítě fyzikální povahy. V tabulce č. 2.4 je uveden přehled druhů termoplastických elastomerů připravených kopolymerací. [1]

Tab. 2.4: Druhy termoplastických elastomerů (připravených kopolymerací) [1]

Zkratka	Název	Charakteristika
TPE-S	Blokové styrenové kopolymery 	Styrenové bloky se střídají s elastomerem (např. SBS) → tvrdé bloky v makromolekule se střídají s elastomerními
TPE-E	TPE na bázi kopolyesterů	Polyesterové bloky se střídají s elastomerními
TPE-U	Termoplastické polyuretany	Polyuretanové bloky se střídají s elastomerními
TPE-A	TPE na bázi polyamidů	Polyamidové bloky se střídají s elastomerními

Hlavní odlišnost mezi TPE a pryžemi je dána rozdílem ve vlastnostech uzlů sítě. U TPE jsou tyto uzly fyzikální povahy, na rozdíl od pryží, které mají chemickou podstatu. Z hlediska zpracování tak jsou vlastnosti TPE výhodné, protože přechod ze zpracovatelské taveniny k pevnému, elastickému tělesu je rychlý, vratný a nastává pouhým ochlazením taveniny. Naopak při výrobě pryží musí kaučukové směsi k dosažení potřebných užitečných vlastností projít složitým vulkanizačním procesem.

Uzly sítě TPE tvoří obvykle určité množství nemísitelných termoplastických domén, rozptýlených v kontinuální elastomerní fázi. Zatímco u konvenčních směsí polymerů působí na rozhraní fází poměrně malé síly, u TPE se vytvářejí fyzikální vazby, jejichž energie je srovnatelná s energií kovalentních vazeb. Domény v TPE jsou daleko větší než chemické vazby tvořící uzly sítě v klasických pryžích. Domény tvrdé fáze proto působí v TPE i jako plnivo a mohou mít příznivý ztužující vliv na mechanické vlastnosti, zejména při větších deformacích.

Vlastnosti TPE tedy závisí jak na vlastnostech elastomeru, tak i na poměru mezi obsahem tvrdé a měkké fáze. Zpracovatelnost TPE ovlivňuje také molární hmotnost a stupeň mísitelnosti mezi měkkou a tvrdou fází. Odolnost proti olejům a rozpouštědlům je obvykle lepší, je-li tvrdá fáze krystalická, nebo pokud je možné do TPE přidat polymer schopný krystalizace. Rychlost stárnutí závisí na termooxidační a světelné odolnosti obou základních složek TPE. [8]

Pro svou vysokou houževnatost byly některé typy TPE použity k náhradě termoplastů. Nicméně hlavní oblastí, ve které se TPE staly komerčně důležité, je náhrada vulkanizovaných kaučuků. Při nahrazení kaučuků má aplikace TPE



i značné ekonomické výhody. Například vyloučení přípravy směsí kaučuků s dalšími (vulkanizačními) přísadami a také vyhnutí se drahému procesu vulkanizace, která je poměrně pomalá, nevratná a probíhá prakticky vždy za vyšších teplot.

Naproti tomu, přeměna TPE z kapaliny do kaučukovitého stavu je rychlá, vratná a probíhá při ochlazování. Tato schopnost TPE dává výrobně lepší možnost produkovat výrobky podobné pryži užitím rychlých postupů výroby vyvinutých pro zpracování termoplastů. Další důležitou a v dnešní době velice žádanou vlastností je recyklovatelnost většiny TPE.

Měkké TPE oproti tvrdým mají malou odolnost proti rozpouštědlům a olejům, proto mohou být použity pouze jen v oblastech, kde nejsou tyto vlastnosti tak důležité. (např. obuvnictví nebo izolace vodičů) a dále jako adheziva a polymerní modifikátory. Tvrdší produkty založené např. na polyuretanech, polyesterech a polyamidech, mají větší odolnost k olejům a rozpouštědlům. Proto jsou používány i v takových aplikacích, jako jsou brzdové hadice nebo těsnění a další součásti hnacích a řídicích systémů automobilů či lokomotiv. [8]

Při zpracování kaučukových směsí, se vzhledem k úspěšnému navulkanizování sleduje maximální teplota během zpracování. Na rozdíl při zpracování TPE musí technologický postup zajistit určitou minimální teplotu taveniny, aby v budoucím výrobku nevznikaly studené spoje. Proto jsou TPE citlivější na rozdíly teplot během zpracování.

Nevýhodou kaučuku je, že kaučukové směsi mohou prostupovat i otvory menšími než 0,03 mm a vyžadují proto vysoce těsné formy, kdežto formy pro zpracování TPE takovou těsnost nevyžadují. Při zpracování TPE tak není nutné věnovat přílišnou pozornost přetokům a jinému technologickému odpadu, jelikož jej lze drtit a znovu použít. Další výhodou TPE ve srovnání s klasickou pryží je levnější zpracování a možnost recyklace odpadu, nižší cena hotových výrobků, širší možnost volby barvy materiálu podle požadavků aplikace a rovnoměrnější kvalita výrobků.

Jedním z největších nedostatků TPE je již před začátkem zpracování obsah vlhkosti. Voda může již při obsahu 0,2 až 0,3% při zpracování TPE vyvolat defekty na povrchu nebo uvnitř materiálu. Proto pokud se TPE nezpracuje



bezprostředně po otevření originálního obalu, který je zajištěn výrobcem proti vlhkosti, je nutno materiál sušit, obvykle 2 až 4 hodiny. K dalším nedostatkům TPE ve srovnání s pryžemi patří v některých aplikacích horší vlastnosti za zvýšených teplot a větší trvalé deformace. [8]

Termoplastické elastomery jsou poměrně mladou, ale již široce využívanou skupinou polymerních materiálů. Jejich různé druhy mají velmi různé chemické složení a morfologii. Jejich využití stále stoupá díky jednoduché a poměrně levné technologii zpracování. Nejvíce je to zřejmé u velmi dynamicky se rozvíjející podskupiny termoplastických vulkanizátů, které nepotřebují drahá zařízení k výrobě a mají široký rozsah svých vlastností, vhodných pro nejrůznější aplikace. [9]

2.2.4.1 Termoplastické vulkanizáty (TPV)

Jednou z dynamicky se rozvíjejících skupin termoplastických elastomerů jsou termoplastické vulkanizáty (TPV). Prvním průmyslovým výrobkem byl Santopren od firmy Monsanto. Ten je směsí polypropylenu a ethylen-propylen-dienového kaučuku (EPDM). Kaučuk je rozptýlen v termoplastu ve formě částic o velikosti 1 až 5 μm a je v něm zcela vulkanizován. Tím se liší od široce používaných nevulkanizovaných směsí, tzv. termoplastických polyolefinů (TPO). Toto řešení přináší řadu výhod, jako větší odolnost proti rozpouštědlům, lepší mechanické vlastnosti a možnost použití přísad běžně zpracovávaných v průmyslu. Požadované vlastnosti nemohou být dosaženy běžnými způsoby míchání složek. Proto byl vyvinut speciální způsob, který se nazývá dynamická vulkanizace.

Dynamická vulkanizace má několik stupňů. Prvním krokem je roztavení termoplastu, potom se postupně přidává v malých množstvích nevulkanizovaný kaučuk, nebo se kaučuk a termoplast míchají najednou. Způsob a parametry míchání jsou nejdůležitějšími faktory pro vytvoření správné morfologie směsi. Při míchání je nutné dosáhnout rovnoměrného rozmístění složek v celém objemu materiálu. Během míchání se sleduje teplota směsi, tlak a krouticí moment. Proces se dělí zpravidla na tři etapy: příprava komponentů (sušení, ohřev, apod), předběžné míchání (suché míchání, homogenizace, rozbíjení spečených částic), vlastní míchání a odplynění. V současné době vyrábí TPV přes 20 firem.



Nejběžnější termoplastické komponenty jsou PE, PP, PA, PS a ABS. Elastickými složkami jsou často kaučuky přírodní, isoprenový, butadienový, butadien-styrenový, butadien-akrylonitrilový, butylový, ethylen-propylenový a ethylen-propylen-dienový. [9]

Velkou výhodou u TPV je možnost snadného získání materiálu s nízkou tvrdostí, jelikož ostatní druhy TPE mají jen zřídka kdy tvrdost nižší než 90 ShA.

Často se přidávají plniva pro zlepšení vlastností nebo snížení ceny. Vliv plniva ve formě nanočástic a jeho vlivy na vlastnosti TPV jsou zatím velmi málo prozkoumány.

Hustota TPV bez plniv se obvykle pohybuje od 0,94 do 0,97 g cm⁻³, plněné TPV mají hustotu kolem 1,1 až 1,4 g.cm⁻³. Tak nízká hustota přináší řadu výhod, jako možnost vyrábět z neplněných TPV plovoucí díly, a také ekonomickou výhodu, protože cena spotřebovaného materiálu se počítá podle jeho hmotnosti.

TPV mají poměrně dobrou odolnost zvýšeným teplotám, zejména ve srovnání s TPO, ale horší než mají teplovzdorné pryže. Hodnota modulu pružnosti v ohybu a modulu pružnosti v tahu se podle tvrdosti TPV mění od hodnoty typické pro tvrdé pryže do hodnoty typické pro měkké plasty. Strukturální pevnost a odolnost vůči oděru mají TPV srovnatelnou s pryžemi na základě EPDM. Také dynamické vlastnosti mají podobné jako běžné vulkanizované kaučuky. Teplotu křehnutí však mají mnohé TPV nižší.

Podobně jako pryže mají TPV vysokou rázovou houževnatost a vynikající odolnost vůči trvalému namáhání, která je vyšší než u vulkanizátů některých běžných kaučuků. Údaje o trvalé deformaci jsou důležité zejména z hlediska výroby různých těsnění, vložek apod. Trvalá deformace TPV je kolem 25 až 50 %, což je více než mají pryže podobné tvrdosti. Je zřejmé, že čím větší je tvrdost TPV, tím větší je jeho trvalá deformace, což je spojeno s obsahem termoplastu a také s jemností směsi a stupněm vulkanizace částic kaučuku. Přehled vybraných vlastností TPV je uveden v tabulce č. 2.5. [10]

Tab. 2.5: Přehled vybraných vlastností TPV [9]

Vlastnosti	Rozpětí hodnot
Hustota, [g/cm ³]	0,94 ÷ 0,97
Modul pružnosti v tahu, [MPa]	40 ÷ 900
Mez pevnosti v tahu, [MPa]	2 ÷ 30
Tažnost, [%]	200 ÷ 600
Trvalá deformace, [%]	6 ÷ 60
Rázová houževnatost Charpy, [kJ . m ⁻²]	>20
Tvrdost Shore	28 A ÷ 65 D
Tvarová stálost Vicat 5 kg, [°C]	40 ÷ 80
Teplota použití, [°C]	-60 ÷ 130
Měrný povrchový odpor, [Ω . m]	10 ¹² ÷ 10 ¹⁵
Nasákavost (za 24 h při 23 °C a relativní vlhkosti 50 %), [%]	0,1

Nejběžnějšími způsoby zpracování TPV jsou technologie vytlačování, lisování, vstřikování a vyfukování, pro které se TPV nejčastěji dodává ve formě granulátu (viz obr. 2.5).



Obr. 2.5: Granulát materiálu TPV [11]

Materiály TPV projevují dobrou adhezi k podobným materiálům, což dovoluje vyrábět dvou a vícevrstvé výrobky například koextruzí či vícekomponentním vstřikováním. Pro spojování s jinými materiály, např. kovy, se používají různé druhy lepidel. Zpracování TPV musí probíhat za stejné nebo částečně vyšší teploty, než za které probíhala jejich výroba.

Při zpracování TPV se morfologie materiálu nemění, jen částice z kaučuku mění svůj tvar. Po zpracování může narůstat stupeň krystalizace termoplastické matrice. [9]

Jak již bylo zmíněno, s výhodou se tento materiál používá na těsnících systémech automobilů (viz obr. 2.6), jehož hlavní výhody spočívají ve snížení hmotnosti dílů a to až o 30% (důvodem je nižší hustota oproti EPDM), možnost

kombinace měkkých a tvrdých extruzních a vstřikovacích materiálů vč. enkapsulace skel, náhrada kovových výztuh pomocí PP nosiče a možnost recyklace dílů a znovupoužití do stejných nebo podobných výrobků.

V neposlední řadě jsou výhodou nižší náklady na pořízení vytlačovacích linek, kratší časy cyklů při vstřikování, kratší časy potřebné na začištění dílů od přetoků, což se pozitivně projevuje jak ve mzdových nákladech tak investicích do strojního vybavení. [11]



Obr. 2.6: Aplikace TPV pro některé těsnící systémy [11]

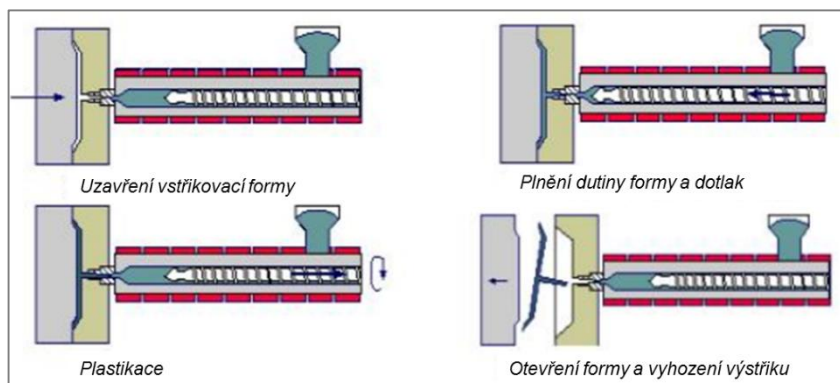
2.3 Výrobní technologie aplikované při výrobě pevného skla

Při výrobě pevného skla se využívají tvářecí a doplňkové technologie. Z oblasti tvářecích technologií se jedná o vstřikování a vytlačování, z oblasti doplňkových technologií potom nanášení primeru na sklo a popř. ostatní zálisky pro zajištění adheze k TPV, příprava zálisků před vložením do formy a značení dílů.

2.3.1 Technologie vstřikování termoplastů a TPV

Výrobky vyráběné vstřikováním mohou mít charakter konečného výrobku, polotovaru nebo dílu pro další zkompletování samotného celku. Takto zhotovené výrobky se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností. Mají také dobré mechanické a fyzikální vlastnosti. Technologie vstřikování patří k nejrozšířenější technologii pro zpracování plastů, jedná se o proces diskontinuální, cyklický.

Při vstřikování je nejprve potřebná dávka plastu převedena v taveninu a následně vstříknuta z pomocné tlakové komory velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a díky šnekovému mechanismu se zásoba vstřikovaného materiálu během cyklu neustále doplňuje. Princip vstřikování je znázorněn na obrázku č. 2.7.



Obr. 2.7: Vstřikovací cyklus [4]

Mezi výhody vstřikování patří krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou, ale i konstrukční flexibilita, která umožňuje, odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací.

Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem. [4]

Pro termoplastické vulkanizáty (TPV) je vstřikování nejběžnější způsob zpracování. Umožňuje velkosériovou výrobu součástí se složitou geometrií a minimálními tolerancemi, na rozdíl od termosetických kaučuků, které dosahují značných odchylek. Při zpracování TPV vstřikováním lze používat vstřikovací stroje přizpůsobené na zpracování jak termosetických, tak termoplastických kaučuků. Doba cyklu se odvíjí zejména od tloušťky součásti a pohybuje se v řádech jednotek až desítek sekund. V automobilovém průmyslu se využívá vstřikování TPV ke spojování extrudovaných profilů vedení skel, nebo k obštitku (enkapsulaci) skel (viz kap. 2.1, obr. 2.1). [11]

2.3.1.1 Obstříkování a vícekomponentní vstříkování s TPV

Při obstříkování je TPV vstříkován okolo kompatibilního substrátu za použití zálisků. Nejprve se vstříkuje zálisek, který se následně přenesení do druhé formy kde je kolem něj obstříknut TPV, čímž se vytvoří výsledný díl. Tento postup používá levné vstříkovací stroje a poměrně jednoduché nástroje. Díky tomuto postupu není nutné vlastnit vstříkovací stroj pro zálisky, jelikož tyto zálisky mohou být nakupovány od externích dodavatelů. Příklad dílu vyrobeného tímto způsobem nalezneme v pevném skle os. automobilu, kde je nejprve vstříkován dělicí sloupek (popř. další plastové zálisky) a následně přenesen do formy pro obstřík skla (viz obr. 2.2).

Druhým způsobem je vícekomponentní (vícevtokové) vstříkování, které vyžaduje speciální vstříkovací lis s více válci, které dovolují vstříkování různých materiálů do stejné formy. Nejčastěji se tak používá dvoukomponentní – dvouvtokové vstříkování, ale některé díly vyžadují např. i tři nebo čtyřvtokové vstříkování. Výhodou je celkové snížení výrobních časů, vynikající jakost dílů a nižší požadavky na množství pracovníků. Z ekonomického hlediska je tento postup rentabilní při plánování 250 000 a více dílů za rok. [11]

Obstříkování tvrdých zálisků sebou nese také jistá úskalí z hlediska návrhu konstrukce uzavírání oblastí mezi TPV a tvrdým substrátem, jejichž zásady jsou popsány v kapitole 2.4.2.9. V některých případech je také nutná speciální úprava zálisků před jejich vložením do formy např. primerováním, což je popsáno v kapitole 2.3.2 o doplňkových technologiích.

2.3.2 Doplňkové technologie uplatněné při výrobě pevného skla

Příprava zálisků

Vhodná příprava a manipulace se zálisky je velmi důležitá pro jejich adhezní chování. Obecně lze říci, že čím čistější je zálisek, tím lepší bude mít spojení s materiálem obstříku. Optimální je obstříkování zálisků ihned po jejich výrobě, čímž se minimalizuje riziko hromadění nečistot na povrchu zálisku. Jestliže je skladování zálisků nevyhnutelné, měly by být přísně chráněny proti prachu nebo špíně. Ti, kdo manipulují se zálisky, by měli nosit rukavice, protože také kožní maz může zhoršit adhezi. Také je vhodné, vyhnout se separačním činidlům forem, protože vážně poškozují pevné spojení mezi TPE a substrátem. Zlepšení adhezní pevnosti je také možno dosáhnout předešle



zálisků, avšak toto zlepšení je závislé na stupni kompatibility mezi materiálem zálisku a materiálem obštíku. Odpovídající teplota zálisku je závislá na použitém materiálu zálisku a TPE a určuje se většinou ve spolupráci s dodavateli těchto materiálů. Dalším způsobem pro zlepšení adhezní pevnosti je nanášení primeru. [11]

Nanášení primeru

Nanášení primeru se v případě obštíku zálisků používá ke zvýšení adheze mezi vstřikovaným materiálem a záliskem (zejména sklem). Tím se zvýší jeho smáčivost a lépe tak vytvoří se vstřikovaným materiálem adhezní vazby. Před nanášením primeru musí být zálisek odmaštěn a zbaven všech nečistot. Vzhledem k vysokému obsahu rozpouštědel, také primer částečně plní čistící funkci stykových ploch.

Značení dílů potiskem

Potiskování je úprava povrchu jednou nebo více barvami, které se mohou nanášet různými technikami. Technologické postupy, kterých se při značení dílů potiskem využívá, jsou v mnoha případech odvozeny technikami při potiskování papíru, textilu atd. Potiskování dílů se používá k jejich identifikaci, zápisu šarže, kavity atd.

2.4 Obecné zásady při návrhu plastových dílů

Konstrukce plastových dílů musí splňovat následující hlediska.

- 1) Funkci plastového dílu v daném zařízení, užité, estetické, ergonomické a bezpečnostní hledisko
- 2) Zásady vyrobiteľnosti, konstrukční zásady
 - a) Zaformovatelnost
 - b) Optimální tloušťka stěn, žeber, nálitků, rádiusů
 - c) Výrobní úkosy
 - d) Tvary stěn z pohledu jejich možných deformací, při vstřikování amorfních nebo semikrystalických plastů
 - e) Tolerance výlisků z pohledu technologických možností dané technologie [12]



2.4.1 Funkčnost, technologičnost a ekonomičnost tvaru

Funkčností tvaru se rozumí zajištění všech hlavních funkcí, které jsou od výrobku požadovány minimálně po dobu stanovené životnosti. Pro dodržení této podmínky je vhodné pro konstrukční návrh provést pevnostní výpočty. Pro zajištění správné funkčnosti a pro kontrolu vyrobených dílů je také nutné stanovit rozměrové tolerance, které musí být v souladu s chováním materiálu při provozu výrobku a s technologickými možnostmi. Vyžadování velké rozměrové přesnosti je drahé a často nesmyslné vzhledem k relativně velkým provozním deformacím výrobků z plastů.

U mechanicky zatěžovaných výrobků je nutné se vyvarovat vrubům, které způsobují silnou koncentraci napětí, vyloučit okliky a zakřivení dráhy silového toku, aby nevznikaly složité stavy napjatosti, omezit možnost vzniku vnitřních pnutí a vyloučit vlastní deformace při dynamickém zatěžování, teplotních dilatací apod. Extrémní napětí může vzniknout v různých částech jinak málo namáhaných výrobků, jako jsou závěsná oka, úchyty, opěrné výstupky apod.

Technologičnost tvaru u vstřikovaných výrobků znamená dodržovat zásadu co nejplynulejšího a nejrychlejšího naplnění dutiny formy taveninou. Náhlé změny průřezu, ostré rohy a kouty, zářezy a otvory, jsou prvky, které představují překážky proudu taveniny a ty mají za následek víření proudu, orientaci makromolekul, vnitřní pnutí, studené spoje, nerovnoměrné smrštění apod. Ideální je tedy při navrhování výrobků z plastů používat zaoblené tvary se stejnou tloušťkou stěny, pozvolnými změnami tloušťky stěny atd.

Z ekonomického hlediska je vyžadován především jednoduchý tvar, aby vstřikovací forma byla levná, provozně spolehlivá a umožňovala výrobu na automatických obráběcích centrech. Díky jednoduššímu tvaru je také možné uspořit materiál pro navrhovaný plastový díl, jelikož umožňuje např. použití tenčích stěn, vede k zaoblování hran a rohů, což je navíc výhodné z hlediska technologie i z hlediska mechanických vlastností. Z ekonomického hlediska závisí tvarové řešení rovněž na velikosti výrobní série. Zejména u malých sérií můžeme připustit i menší dodatečné opracování (např. odstranění přetoků, vtokové soustavy apod.), zlevní-li to podstatně výrobní náklady formy. [13]

2.4.2 Zásady návrhu vstřikovaných dílů z termoplastů a TPV

V této kapitole budou uvedeny základní konstrukční zásady, které jsou nezbytné pro návrh kvalitního plastového výrobku.

Konstrukční zásady vstřikovaných dílů z TPV se v některých případech liší od zásad používaných pro konstrukci vstřikovaných dílů z termoplastů. Proto jsou některé následující kapitoly o tyto zásady rozšířeny.

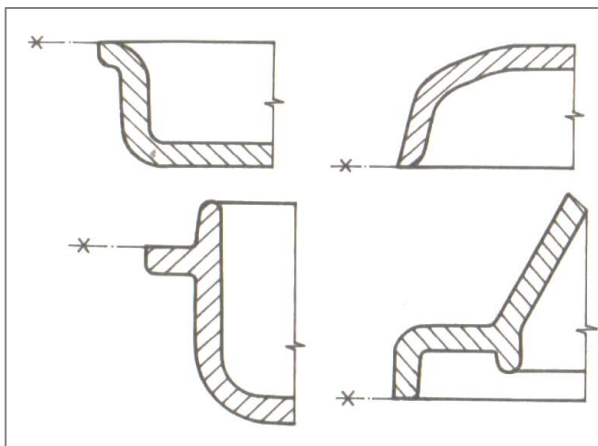
2.4.2.1 Dělicí rovina

Dělicí rovina je rovina, ve které dosedá jedna část formy na druhou a uzavírá tak tvarovou dutinu formy. Její určení se provádí hned při prvním návrhu výrobku a tím se stanoví také odformovatelnost výrobku. V souvislosti s odformováním je vhodné stanovit také způsob vyhazování a určit, zda bude možno vyhnout se bočním jádrům. Pro co nejjednodušší výrobu tvarové dutiny formy má být dělicí rovina jednoduchá a samozřejmě musí umožňovat vyjímání výrobku.

Dělicí roviny se rozdělují na hlavní a vedlejší, kde hlavní dělicí rovina je většinou kolmá na směr vstřikování a vedlejší dělicí roviny jsou kolmé na hlavní dělicí rovinu. Vedlejší dělicí roviny jsou umístěny zejména v místech záložek, podkosů, otvorů, apod. Ve všech dělicích rovinách mohou při špatném zaformování vzniknout přetoky, resp. stopy na výrobku. V případě využití lomené dělicí roviny nebo zaoblené dělicí plochy dochází k prodražení výroby formy.

Při návrhu dělicí roviny je vhodné uvažovat o optimálním umístění vtoků, které ovlivňují proudění taveniny ve formě a tím i vlastnosti a rozměry výstřiku. Z hlediska výrobních nákladů nástroje se má tvar výrobku volit tak, aby bylo zapotřebí co nejméně dělicích rovin. Při konstrukci plastových dílů je také dobré brát ohled na možnost budoucí optimalizace, to znamená, konstruovat především montážní prvky či dosedací plochy tak, aby bylo možné provést jejich dodatečnou modifikaci při minimálních finančních nákladech.

K analýze odformovatelnosti lze použít speciální nástroje v různých CAD programech určených pro konstrukci plastových dílů. Na obrázku č. 2.8 je zobrazeno přípustné provedení ostrých hran v dělicí rovině. [12], [13]



Obr. 2.8: Přípustné provedení ostrých hran v dělicí rovině [13]

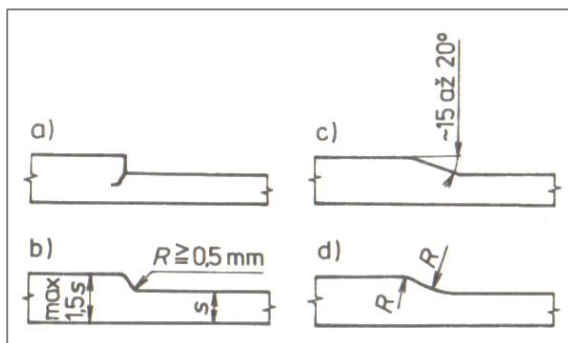
2.4.2.2 Tloušťka stěn

Tloušťka stěn musí být konstruována tak, aby splnila požadavek na pevnost a tuhost dílu. Tuhost je spolu s pevností závislá kromě tloušťky stěny na volbě plastu. Správná konstrukce tloušťky stěny musí splňovat požadavek vyrobiteľnosti z hlediska tečení plastu. Tato podmínka je dána pro každý typ plastu poměrem délky tečení a tloušťky stěny. Tento poměr je udáván výrobcem plastu. Z hlediska možnosti vzniku povrchových propadlin a vnitřních staženin by tloušťka stěny měla být pokud možno minimální. Vznik těchto propadlin a staženin zeslabuje nosný průřez a mohou působit jako vnitřní vruby. Proto je cílem snížit časový rozdíl mezi chladnutím povrchu a jádra stěny, snížit spotřebu materiálu a také zkrátit dobu chlazení ve formě. Menší výrobky je možné konstruovat s menšími tloušťkami stěn, než u rozměrných výrobků. [12], [13]

Dalším požadavkem na tloušťky stěn je jejich rovnoměrnost, díky které se zaručí rovnoměrná rychlost proudu taveniny ve formě, stejná rychlost chlazení ve všech místech výstřiku, stejné smrštění a minimální vnitřní pnutí.

U výstřiku s různou tloušťkou stěny může vzniknout víření taveniny, nerovnoměrná orientace makromolekul a také větší vnitřní pnutí. Tlustší stěny chladnou pomaleji a mají proto větší procento smrštění než tenké stěny. Následkem tohoto rozdílného smrštění vzniká v místě styku obou stěn další vnitřní pnutí, případně deformace nebo praskání výrobku. K tomu může dojít ihned po vyhození vylisku z formy, ale také se vnitřní pnutí může projevit až

po několika týdnech od výroby. Je-li nezbytné použít různou tloušťku stěny, pak přechod musí být pozvolný nebo zaoblený, aby nevznikaly ostré kouty s vrubovým účinkem. Znázornění různých řešení je na obrázku 2.9. [13]



a) špatný (možnost trhlin ve vnitřní ostré hraně), b) mírně zlepšený, c) dobrý, d) velmi dobrý

Obr. 2.9: Přechody v tloušťce stěny [13]

Výše uvedené zásady v podstatě platí také pro vstřikování TPV. Doporučené tloušťky pro vstřikování TPV jsou uvedeny v tabulce 2.6

Tab. 2.6: Doporučené tloušťky stěn TPV [10]

Tloušťka stěny	mm
Minimální	0,5
Preferovaná	2,0 ÷ 3,0
Maximální	6

2.4.2.3 Zaoblení a ostré hrany

Z hlediska snadného proudění taveniny jsou výhodné oblé tvary. Z pravidla čím větší je rádius zaoblení, tím menší jsou hydraulické odpory proti průtoku materiálu a tím menší koncentrace napětí v místě ohybu. Vnější rádius zaoblení stěny by měl být o tloušťku stěny větší než vnitřní rádius, to proto, aby stěna měla v celém průřezu zakřivení konstantní tloušťku. V případě potřeby zesílení v místě zaoblení se vnitřní rádius zvětšuje asi o jednu čtvrtinu. Minimální rádius zaoblení stěny má být přibližně jedna čtvrtina tloušťky stěny. V některých případech, např. při spojování dvou stěn, by však velký rádius znamenal nežádoucí hromadění materiálu a používá se tedy zmíněná minimální hodnota $R = 0,25 s$, kde „s“ je tloušťka stěny.

Vnější ostré hrany jsou přípustné tam, kde stěna výstřiku končí v dělicí rovině formy. Ostatní vnější hrany mají být z bezpečnostních důvodů (z hlediska nebezpečí poranění) zaobleny rádiusem minimálně 0,3 mm. Vnitřní hrany se zaoblují vždy, a to rádiusem minimálně rovným jedné čtvrtině tloušťky stěny. [13]

Na rozdíl od vstřikování termoplastů pro materiál TPV platí minimální doporučený rádius 0,5 mm [10]

2.4.2.4 Úkosy

Pro snadné vyjímání vylisku z formy se stěny rovnoběžné se směrem otevírání formy opatřují úkosy. Jejich doporučené minimální hodnoty platné pro termoplasty jsou 0,5° až 1°. U drobných dílů, mohou být úkosy výjimečně menší. Větší úhly usnadňují spolehlivé vyhazování formy a proto úhly menší než doporučené minimální se volí jen ve zvláštních případech. Velikost úkosů ovlivňuje také úprava povrchu vstřikovaného dílu. Je-li je povrch dezénovaný, potom platí, že na každý 1° výrobního úkosu může být hloubka dezénu maximálně 0,02 mm. [12], [13]

Pro vstřikování TPV závisí úhly úkosů také na tvrdosti použitého materiálu. Přehled doporučených úkosů pro různé tvrdosti TPV je uveden v tabulce 2.7.

Tab. 2.7: Doporučené úhly úkosů vstřikovaných dílů z TPV [10]

Tvrdost TPV	Úhel úkosu na každé straně
Měkké: 35 ÷ 80 ShA	0,25°
Tvrde: 87 ShA ÷ 50 ShD	0,5°

Díky nižšímu modulu pružnosti TPV je možné vyjmout z formy také díly s nulovými nebo dokonce se zápornými úkosy (tzv. podkosy) bez použití speciálních jader nebo desek. To je samozřejmě závislé na tvrdosti TPV a také tvaru a velikosti podkosu.

V tabulce 2.8 jsou uvedeny doporučené maximální hloubky úkosů pro různé tvrdosti TPV bez potřeby použití speciálních jader. [10]

Tab. 2.8: Maximální hloubky podkosu TPV v závislosti na jeho tvrdosti [10]

Tvrdoost TPV	Maximální hloubka podkosu [mm]
35 ÷ 55 ShA	2,0
64 ÷ 73 ShA	1,6
80 ÷ 87 ShA	1,0
40 ÷ 50 ShD	0,7

2.4.2.5 Žebra

Žebra jsou u plastových výrobků velmi často využívána k vyztužení výstřiků a umožňují tak použít tenké stěny. Tloušťka žebra by se měla pohybovat mezi 50-75% tloušťky stěny, aby nenastaly nežádoucí deformace. I přesto se na zadní stěně proti žeburu obvykle objeví malá mělká rýha následkem nahromadění materiálu v místě připojení žebra ke stěně. Tomuto vzhledovému porušení lze předejít úmyslným vytvořením drážky, výstupku nebo rýhování. [13]

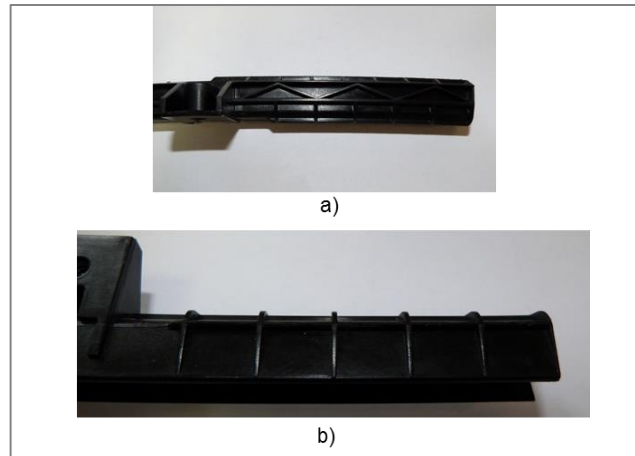
Žebra lze rozdělit dle použití na technická (vyztužují a zvyšují pevnost), technologická (proti deformacím a borcení stěn vlivem vnitřního pnutí, pro zakrytí povrchových vad) a ozdobná (zlepšují vzhled ploch). Z hlediska konstrukce se žebra rozdělují dle jednoduchého nebo křížového žebrování. Vybrané typy žebrování a jejich aplikace na díle pevného skla jsou uvedeny na obrázku 2.10. [12]

1) Jednoduché žebrování

- Rovnoběžné – zvyšuje tuhost v ohybu v jednom směru
- Diagonální – zvyšuje tuhost v ohybu a krutu

2) Křížové žebrování – značné zvýšení tuhosti v ohybu a krutu

- Rovnoběžné s bočními stěnami
- Diagonální se sloupkem
- Přesazené mřížkové s minimálním hromaděním materiálu a minimálním pnutím v místě styku (nákladná výroba nástroje)



Obr. 2.10: Typy žebrování na integrovaném dělicím sloupku pevného skla
a) diagonální b) rovnoběžné

Pro výčnělky, žebra, obruby a ztužovací prvky z TPV by měla být tloušťka stěny rovna 50% tloušťky sekce, na které jsou aplikovány. [10]

2.4.2.6 Upevňovací výstupky

Úchyty jsou velmi častým komponentem při návrhu plastových dílů. Tyto prvky slouží zejména jako spojovací elementy při tvorbě sestavy, ale mnohdy také zvyšují pevnostní kvalitu plastu. Stejně jako u žeber, i u konstrukce úchytů je třeba zvažovat tloušťku jejich stěn. Tloušťka stěny úchytu by měla být vyšší než 60% nominální tloušťky stěny. Pokud je však tloušťka stěny dílu větší než 4 mm, tloušťka úchytu by neměla přesáhnout 40% této nominální tloušťky. Výška úchytu by neměla přesáhnout 2,5 násobek průměru díry úchytu. Pokud se úchyty umístí v rozích nebo se včlení do stěn, způsobí zhutnění materiálu. Příklad upevňovacího výstupku pro vrut je uveden na obrázku 2.11.

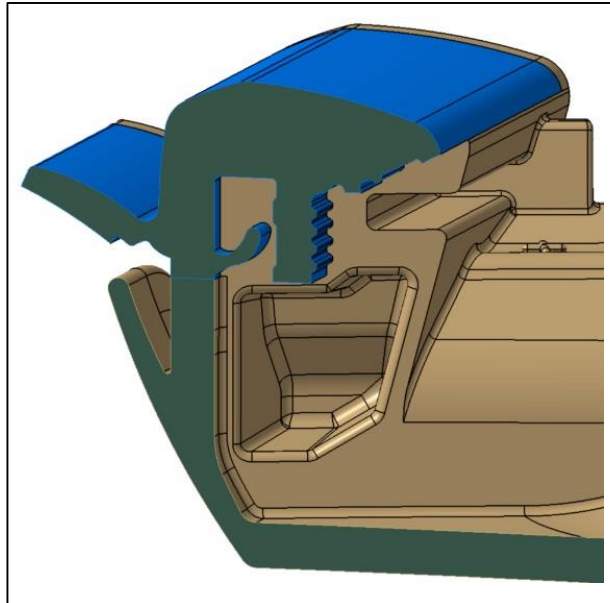


Obr. 2.11: Upevňovací výstupek pro vrut na integrovaném dělicím sloupku

2.4.2.7 Otvory

Otvory jsou při výrobě tvořeny částí formy tzv. jádrem a mohou být slepé nebo průchozí. Při tuhnutí ve formě se materiál smršťuje na jádro, a proto má mít kvůli snadnějšímu vyhazování asi o 1° větší úkos než dutina v tvárnici. Vzhledem k jednoduchosti formy se má otvor řešit tak, aby se jádra vyťahovala z otvoru ve směru otevírání formy. Délka otvoru závisí na jeho průměru, resp. průřezu. Čím je otvor o stejném průřezu delší, tím větší síla je zapotřebí k vytažení jádra. Z výše uvedeného vyplývá, že tato síla závisí také na velikosti úkosu vnitřních stěn otvoru. [13]

Příklad otvoru v rohu napojení těsnících profilů je uveden na obr. 2.12. Tento slepý otvor slouží k odlehčení dílu.



Obr. 2.12: Slepý otvor pro odlehčení dílu z TPV

2.4.2.8 Pružné spoje, západkové spoje

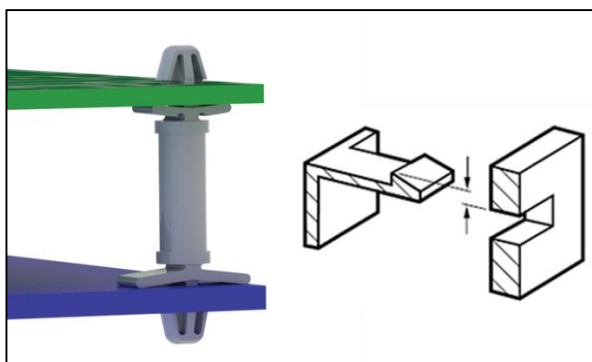
V oblasti konstruování výrobků z plastů má použití pružných spojení vzrůstající tendenci. Spojované součásti pomocí těchto spojů vyhovují požadavku jak snadné montáže, tak demontáže. Díky tomu, že spoj může být integrální součástí výrobku, přináší použití pružných spojů také ekonomické výhody. Výhodou těchto spojů je také fakt, že operace spojování plastových dílů pomocí pružných elementů je jednoduchá, vyžadující obvykle pouze přímé zasunutí. Pružné spoje mohou být navrhovány jako reverzibilní, čímž je umožněna snadná demontáž, usnadňující opravy nebo recyklaci výrobků. [14]

V technické praxi se pružné spoje vyznačují značnou variabilitou svým provedením a geometrií, ale jejich princip je zpravidla společný. Během spojovací operace dochází ke krátkodobé deformaci určitého pružného členu, po níž se deformovaná část vrátí do původního tvaru, bez výraznějších viskoelastických či plastických efektů. V případech jednorázových spojení mohou deformace nabývat relativně značných hodnot. Pokud se vyžaduje časté spojování a demontáž, volí se nižší úroveň deformací. [14]

Nevýhodou pružných spojení je jejich náchylnost k poruchám, které mohou být způsobeny nesprávným návrhem nebo nesprávnou manipulací. Tento problém se týká zejména křehkých a plněných typů plastů. Jelikož je spojovací element většinou integrální součástí plastového výrobku, představuje porucha

pružného spoje obvykle i znehodnocení celého výrobku. Oprava porušeného spoje je obtížná, často nemožná. V některých případech je užitečné z tohoto hlediska předimenzovat počet spojovacích pružných členů tak, aby náhodným ulomením jednoho členu nedošlo k znehodnocení celého výrobku. Ze stejného důvodu je možné také navrhnout řešení s výměnným západkovým členem.

Další nevýhodou pružných spojů spočívá v nutnosti dodržení mnohdy relativně úzkých tolerančních polí funkčních rozměrů spoje. Správná funkce spoje je ovlivňována jeho výslednou geometrií a tím i stavem napětí v průběhu a po spojení dílů. Nadměrná interference spojovaných částí může vést k případné poruše, zatímco její nedostatek způsobuje nedostatečnou soudržnost spoje. Typy západkových spojů lze zařadit do dvou skupin. První skupina je tvořena tzv. háčkovými spoji a druhá spoji cylindrického a kulového tvaru, tzv. klipy. Příklady těchto spojů jsou znázorněny na obrázku 2.13. [14]



Obr. 2.13: Příklad klipu a háčkového spoje [3], [4]

Klipy do kruhových otvorů se osvědčily také u aplikací na díly automobilového těsnění (pevné sklo, těsnění spáry dveří). Při použití klipu pro spoj pevného skla a rámu dveří je klip součástí integrovaného dělicího sloupku. Při montáži projde otvorem v plechu a dojde k jeho zapadnutí za hranu plechu, čímž dojde k vytvoření pevného spojení a s rámem dveří. Pevnost spojení a částečně také síla potřebná k montáži jsou závislé na konstrukci klipu a jeho materiálu. Příklad použití klipů na dílech automobilového těsnění je uveden na obrázku 2.14.

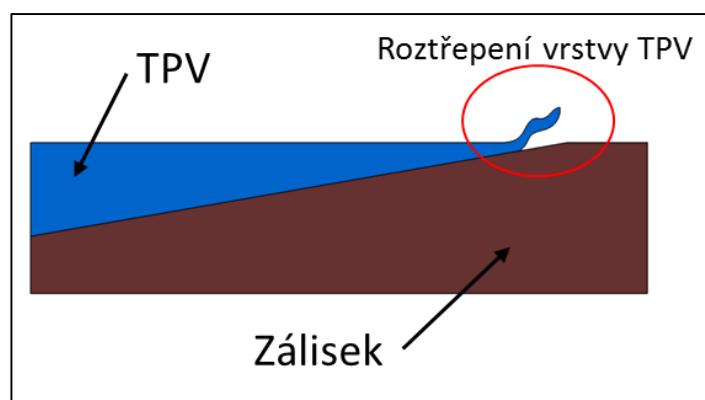


Obr. 2.14: Příklad aplikace klipů na dílech těsnění skel osobních automobilů

2.4.2.9 Zásady pro konstrukci napojení obštířku TPV a zálisku

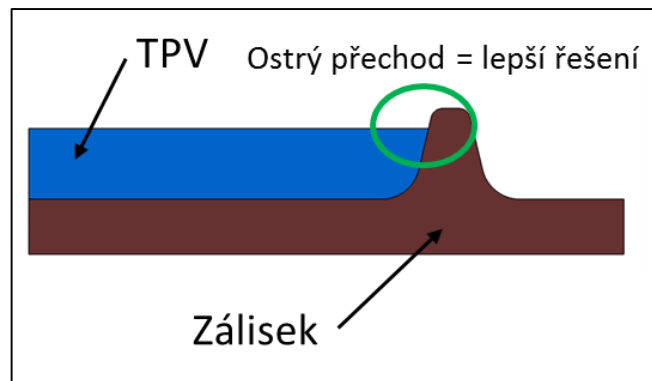
Při obštířování kompatibilních materiálů zálisků dojde k vytvoření chemické vazby mezi záliskem a obštířkem. Výsledkem je kohezní vazba mezi nimi. Pro tuto adhezi je však kritická oblast přechodu mezi obštířkem a záliskem nebo jeho uzavírání.

Konstrukční řešení by se měla vyhnout takovému spojení obštířku a zálisku, při kterém dochází k pozvolnému přechodu mezi oběma materiály. Tenká vrstva, která tímto vznikne, způsobuje nedokonalé spojení a může vést k vlnění, roztřepení nebo kroucení vrstvy TPV v zúžených okrajích (viz obr. 2.15). [11]



Obr. 2.15: Roztřepení vrstvy TPV při vzniku tenké vrstvy vlivem nevhodné konstrukce napojení obštířku TPV a zálisku [11]

Daleko vhodnější řešení napojení obštířku TPV a zálisku je takové, kde se vytvoří ostrý přechod. To může být dosaženo například vytvořením výstupku na zálisku, čímž se vytvoří s obštířkem ostrý přechod (viz obr. 2.16). [11]



Obr. 2.16: Ostrý přechod mezi obstřikem TPV a záliskem [11]

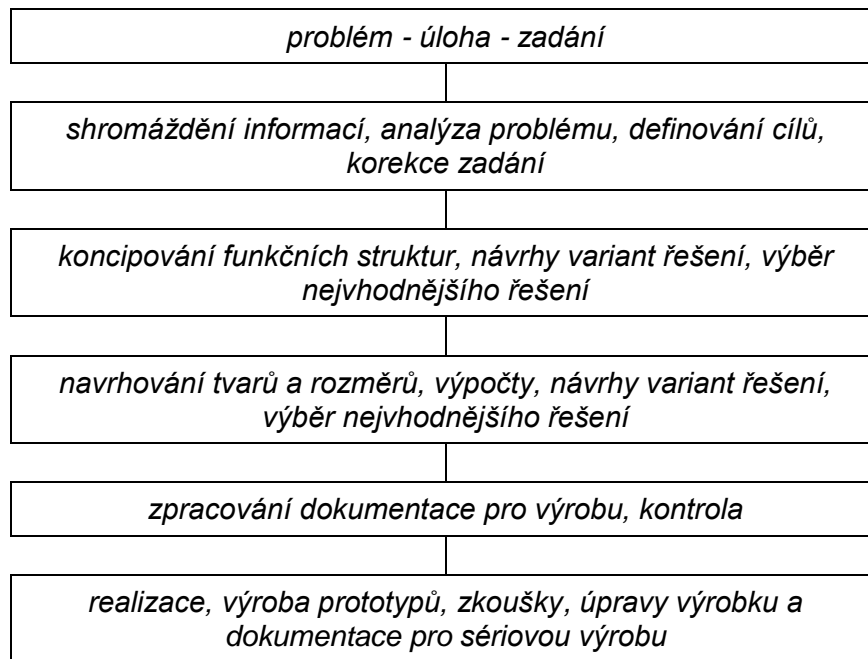
Pro zvýšení pevnosti spojení zálisku s obstřikem nebo při obstřikování nekompatibilních materiálů zálisků může být použito vytvoření mechanického zámku. Tento princip spočívá ve vytvoření otvorů nebo podkosů na zálisku, které po zatečení TPV vytvoří pevný mechanický spoj.

2.5 Metodika konstruování plastových součástí

Konstruování je tvořivý proces, který se urychlí a zkvalitní, pokud se postupuje podle určitých pravidel pro dané podmínky. Metodika konstruování se zabývá optimálními pracovními postupy, které dle zadání úlohy, logicky, racionálně a efektivně zabezpečí definování konstrukce budoucího výrobku. [15]

2.5.1 Metodický postup konstruování

I přesto, že konstruování je kreativním procesem, kde nejdůležitější úlohu má konstruktér, je nutné dodržovat určité metodické postupy konstruování. Obecně správný metodický postup je uveden na obrázku 2.17. Ten se však musí přizpůsobit charakteru zadané úlohy. [15]



Obr. 2.17: Obecná metodika konstruování [15]

2.5.1.1 Zadání

Konstrukční proces začíná zpravidla zadáním (objednávkou). Autorem zadání může být zákazník, nebo interní oddělení firmy. V zadání jsou shrnuty informace, nejméně ty, které zadavatel požaduje za důležité a nevyhnutelné pro funkčnost budoucího výrobku. Zadání může být velmi detailní a přesné, může stanovit přesné hranice řešení, algoritmus konstruování i výsledek. Naopak může být zadání velmi všeobecné, např. jen definice problému, který je potřeba řešit konstrukčními prostředky. Všechny ostatní požadavky a podmínky, které jsou vstupními informacemi konstrukční úlohy, jsou věcí další etapy konstrukčního procesu – analýzy problému. [15]

2.5.1.2 Analýza zadání

Znamená určení a charakterizování počátečních podmínek a zpřesnění zadání pro návrh technického řešení. V této etapě se konstruktér snaží o zjištění anebo určení parametrů všech vstupů a výstupů, všeobecných i zvláštních požadavků, vlastností použitých materiálu, technologie výroby atd. Na základě shromáždění těchto informací je nutné odpovědět na následující otázky:

- k jakému účelu má konstrukce sloužit
- které základní problémy bude konstrukce řešit



- jaké vlastnosti díl mít musí a jaké nesmí
- jaké jsou podmínky výroby, popř. distribuce apod.
- jaké očekávání má objednavatel
- jaké jsou rizikové oblasti, popis rizik
- jaké řešení jsou známé, konkurenční řešení

Obsah a forma výstupu této etapy konstrukčního procesu je závislá od charakteru konstrukční úlohy. Výsledkem této etapy konstrukčního procesu by mělo být upřesněné zadání. [15]

2.5.1.3 Koncipování řešení

Úlohou této etapy konstrukčního procesu je najít koncepci řešení – určit hlavní a základní principy řešení úlohy:

- formulovat hlavní cíle
- požadovanou funkci konstruovaného výrobku či sestavy rozložit na elementární funkce jednotlivých členů a sestavit funkční strukturu
- nalézt nejvhodnější fyzikální principy na zvládnutí určených funkcí a sestavit kinematickou strukturu systému
- vytvořit hrubou představu konstrukčního řešení výrobku, ověření orientačními výpočty, výběr dodavatelů s ohledem na možnosti zabezpečení kvality, realizace, splnění časových termínů a kvantitativních požadavků
- navrhnout způsob a postup řešení [15]

2.5.1.4 Navrhování

V této etapě konstrukčního procesu se budoucímu výrobku definují jeho vnitřní vlastnosti, které determinují jeho vnější vlastnosti. Hrubá představa o konstrukci výrobku z předchozích etap se konkretizuje a upřesňuje. Výrobek dostane tvar a hlavně rozměry, vnitřní vazby mezi prvky, určí se materiál, způsob výroby, dodavatelů apod. V této etapě je možné odhadnout náklady na výrobu a ceny výrobku. Pracovní činnosti při navrhování obsahují:

- stanovení prostorových návazností a hlavních rozměrů výrobku
- upřesnění tvarů, rozměrů, přesnosti a kvality povrchu z hlediska funkcí, vlastností a kvality
- upřesnění tvarů a rozměrů z hlediska působících namáhání



- volba materiálu dle požadovaných vlastností (pokud není stanoveno při hledání koncepce)
- korekce tvarů, rozměrů, tolerancí a kvality povrchu v závislosti na výrobních možnostech
- analýza problematických detailů (např. kinematická, dynamická, pevnostní atd.)
- hodnocení konstrukce – posuzování z různých hledisek a průběžné zlepšování

Výsledkem etapy navrhování je takový návrh výrobku, podle kterého je možné zpracovat jeho detailní konstrukční dokumentaci. [15]

2.5.1.5 Zpracování dokumentace

Návrh konstrukce výrobku je třeba zpracovat dokumentačně do takové formy, aby celý výrobek a každý jeho prvek byl přesně a úplně definovaný, aby vztahy uvnitř navrhovaného systému byly jednoznačně určené a vnější vlastnosti výrobku byly jasně čitelné a zaručené. Zpracováním konstrukčního návrhu se rozumí zpracování konstrukční dokumentace, která má za úkol poskytnout podklady pro výrobu a použití výrobku.

Tato dokumentace má obsahovat všechny informace o výrobku potřebné pro jeho výrobu, kde každá součást musí být úplně definována. Pro vyráběné součástky je to výrobní výkres a často se připojují také 3D model dílu. Na výrobním výkrese součástky musí být definován tvar, rozměry, přesnost, jakost povrchu, materiál, popř. polotovar a technologické požadavky.

Dokumentace musí respektovat platné normy ISO, současně ale také může být obsahem přizpůsobená zvyklostem v konkrétní organizaci. Dokumentace musí být vyhotovená tak, aby umožnila zavádět změny konstrukce v zájmu zlepšování vlastností (např. podle výsledku zkoušek prototypu nebo ověřovací série) a další vývoj výrobku. [15]

2.5.1.6 Realizace

Smyslem realizace je zhmotnit – realizovat konstrukční návrh, který je přesně definovaný v konstrukční dokumentaci. Podle mnohých názorů proces konstruování končí vyhotovením a odevzdáním konstrukční dokumentace. To



však není pravda. Do konstrukčního procesu je třeba zahrnout také spolupráci při výrobě, spolupráci při zkouškách a ověřování prototypu, spolupráce při přípravě ověřovací série a sériové výroby, příprava podkladů pro zavádění změn, vypracování změnové dokumentace, sledování vlastností výrobku v provozu, vyhodnocování získaných poznatků a uplatňování zkušeností v konstrukci nových výrobků. [15]

2.6 Využití výpočetních techniky pro konstrukci plastových dílů

Pomocí CAD systémů lze provést průzkum, zda má výrobek požadovaný tvar a také umožňují otestovat vhodnost povrchových úprav a barevných řešení. Na základě CAD dat je kromě fotorealistické vizualizace také možné za pomoci „rapidprototypingu“ vyrobit hmatatelný model. Na 3D modelech navržených dílů se také často provádí analýzy výrobní technologie pro navržený díl, nebo pevnostní výpočty pomocí MKP. V následující kapitole bude popsán software, který byl využit v rámci zpracování experimentální části této práce a budou zde také zmíněny obecné zásady pro vytváření 3D modelů konstrukčních návrhů. [11]

2.6.1 CATIA V5 a obecné zásady vytváření 3D modelů

CATIA V5 (dále jen Catia) je systém firmy Dassault Systèmes – Francie. *Computer – Graphics Aided Three Dimension Interactive Application*.

Počítačovou grafikou podporovaná třírozměrná interaktivní aplikace Catia patří mezi nejpoužívanější CAD systémy v leteckém a automobilovém průmyslu. Catia poskytuje soubor nástrojů pro vývoj výrobku v nejrůznějších průmyslových oborech. Mnoho významných uživatelů (např. automobilky) má vyvinuté vlastní funkce, které potřebují pro jejich konstrukce. Vedle základních funkcí modeláře, tvorby sestav, výkresů atd., má velice dokonalé nástroje pro tvorbu ploch, vlastní FEM modul, modul pro řešení kinematiky sestav, modul pro tvorbu montážních návrhů a plánů, Speciální modul pro programování NC strojů, ergonomii atd. [16]

Při modelování plastových dílů v Catii je využíváno převážně parametrického navrhování v modulech *Generative Shape Design* (dále jen *GSD*) a *Part Design*. Modul *GSD* se používá k vytváření plošné geometrie, 2D skicářů, importu ploch okolních dílů atd. Tato geometrie se ukládá do tzv.



geometrických setů. Modul *GSD* nabízí velmi široké možnosti pro vytváření ploch od jednoduchých až po velmi složité tvarové plochy.

Složité plochy jsou vytvářeny na základě křivek a popř. již stávajících ploch či bodů, například z geometrie plechů karoserie, výplní dveří, spouštěcího skla atp. Pro vytváření plošné geometrie je možné využít několik funkcí, které v podstatě umožní vytvoření jakéhokoliv geometrického tvaru.

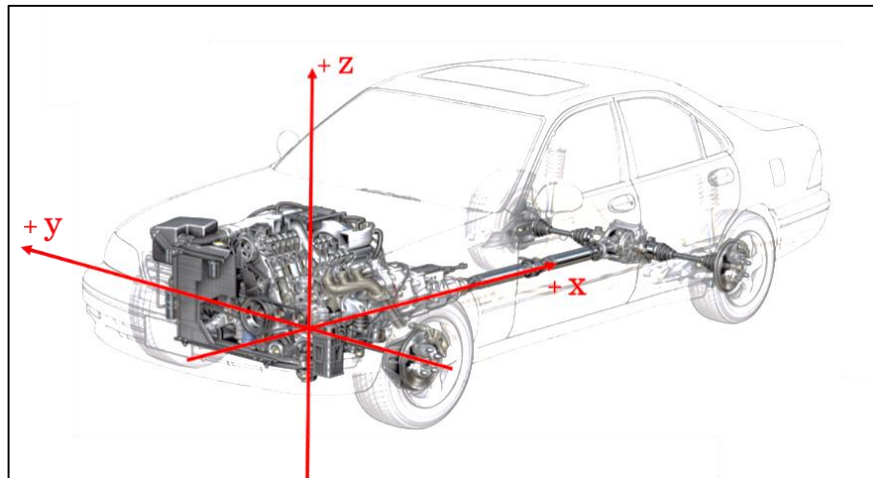
Navržený model by měl být převážně parametrický, to znamená, že v případě požadavku na změnu základních proporcí 3D modelu se tato změna provede pouze úpravou požadovaného parametru ve struktuře modelu. Zachování parametrického stromu je v případě složitého dílu velmi obtížné. Proto je mimo jiné snaha co nejdříve přejít od plošného k objemovému modelování, ke kterému se používá modul *Part Design*. Díky tomuto modulu je možné převést plošnou geometrii, například ve formě skořepiny (obálky z ploch) do plného objemu tzv. *Solidu*, který je umístěn v *PartBody*. V modulu *Part Design* lze vytvářet jednoduchou geometrii, jako jsou např. sražení a rádiusy hran, otvory, drážky, žebra apod. Nedílnou a velmi důležitou součástí tohoto modulu jsou Boelovy operace, které slouží k přičítání, odčítání a průniku vytvořených těles.

Jednou ze zásad při parametrickém modelování je zachování přehledné struktury vytvářené geometrie. Proto je v *GSD* zavedena logická struktura uspořádání geometrických setů v pracovním stromu, ve které je tvořena podpůrná geometrie k vytvoření solidu, ale i geometrie nutná pro měření, analýzy atp. Důležité je rozdělení geometrických setů na vstupní, pracovní a výstupní data. Do geometrického setu pro vstupní data se ukládá pouze převzatá geometrie například z plechů karoserie, výplní dveří, spouštěcích skel atd. Dodržování této struktury je velmi důležité pro rychlé ověření vstupních dat, která byla použita k vytváření geometrie nového dílu.

Dle požadavků zákazníka jsou výstupem izolované soubory s 3D daty dílů. Jedná-li se například o díl pevného skla, je výstupem pouze jeden soubor, který obsahuje všechny komponenty tohoto dílu a to i v případě, že při vytváření 3D dat jsou jeho jednotlivé části rozděleny do samostatných souborů a pohromadě se s nimi pracuje pouze v sestavě. K práci v sestavě je určen modul *Assembly Design*. Tento modul umožňuje stanovit pozici jednotlivých

dílů v prostoru pomocí různých vazeb. Při vývoji dílů okované karoserie se však tento postup vytváření vazeb nevyužívá a přesné údaje o poloze v prostoru musí být obsaženy v každém souboru daného dílu. To zajistí, že po vytvoření sestavy z daných komponent jsou díly vždy umístěny ve správné poloze vzhledem ke globálnímu souřadnicovému systému automobilu a není tak nutné jejich polohu v prostoru upravovat.

Globální souřadnicový systém (viz obr. 2.18) je dle standardů umístěn uprostřed přední nápravy.



Obr. 2.18: Umístění a orientace globálního souřadnicového systému

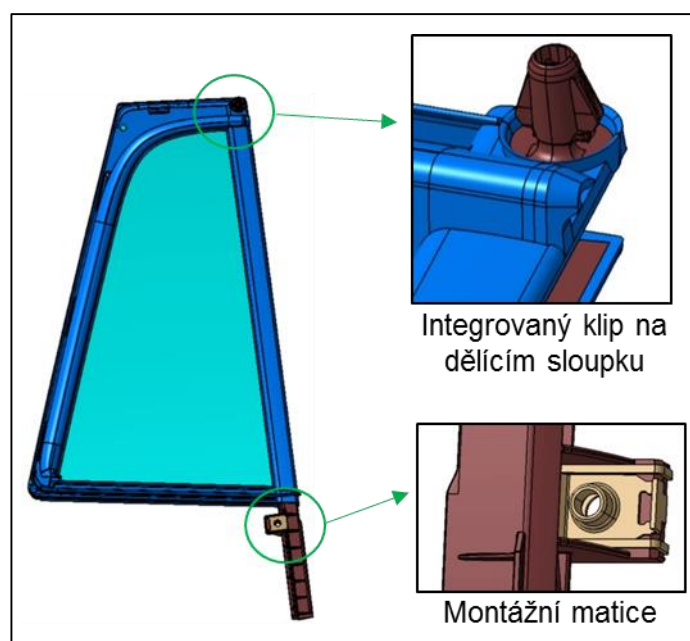
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální části je vypracování konstrukčního návrhu spoje pevného skla a rámu zadních dveří osobního automobilu. Jedná se o nový typ spoje, který umožní jeho vyměnitelnost, např. při poškození.

Nejprve bude proveden rozbor stávajícího řešení a stanovení bodů, kterými se musí nový konstrukční návrh řídit. Další kapitoly budou věnovány návrhům modelů dílů, výběru materiálu a výrobě prototypových dílů. Následovat bude rozsáhlá část zabývající se laboratorními testy nových dílů, jejich vyhodnocením a popř. návrhy úprav a jejich zpětnou realizací na základě získaných výsledků. Na závěr experimentální části bude provedena diskuze výsledků a ekonomické zhodnocení návrhu.

3.1 Rozbor stávajícího řešení spoje a stanovení požadavků pro nový konstrukční návrh

Na pevné sklo jsou kladeny vysoké požadavky, a proto je třeba přistupovat k vývoji jednotlivých konstrukčních částí s jasně danými cíli a prioritami. Montážní celek pevného skla se skládá z několika částí, které byly popsány v kapitole 2.1 a ukázány na obrázku 2.2. V současném řešení spojení pevného skla a rámu dveří jsou použity různé montážní prvky (viz obr. 3.1), které splňují požadavky na odolnost vůči předepsanému zatížení a zajišťují dlouhodobé spojení pevného skla s rámem dveří.



Obr. 3.1: Montážní prvky pevného skla stávajícího konstrukčního řešení



Toto stávající řešení spoje pomocí integrovaného klipu na dělicím sloupku ale přináší několik nevýhod, které se bude snažit návrh nového konstrukčního řešení eliminovat.

Jednou z nevýhod současné konstrukce spoje je, že zádržný klip je součástí dělicího sloupku. Díky tomu je dělicí sloupek složitější jak na výrobu nástroje, tak na jeho zakládání do formy pro obstřík, což stěžuje výrobní postupy a samozřejmě zvyšuje ceny nástrojů na vstřikování dělicího sloupku a také na jeho obstříkování. Navíc v případě poškození integrovaného klipu, například nevhodnou montáží či manipulací, dojde k znehodnocení celého dílu a jeho oprava není možná.

Pro obě tyto nevýhody by bylo řešením přesunout spoj mimo integrovaný dělicí sloupek a zajistit jeho vyměnitelnost. Tato myšlenka sebou samozřejmě nese značná rizika, jelikož se jedná o zcela nové pojetí tohoto spoje na dílu pevného skla.

Rozhodujícím faktorem pro případnou aplikaci nového konstrukčního řešení budou výsledky laboratorních testů a porovnání výrobních nákladů pevného skla s novým konstrukčním řešením spoje pomocí výměnného klipu a stávajícím řešením.

Jedním ze základních požadavků na konstrukční návrh spoje je zajištění zádržné síly pevného skla na rámu dveří min. 500N pomocí montážního klipu. Tato síla je stanovena výrobcem automobilů (zákazníkem) a její velikost je dána především charakterem působících sil například při aktivaci hlavového airbagu nebo při pokusu o násilné vniknutí do vozu.

V souvislosti s ergonomickými předpisy pro montáž pevného skla je stanovena také maximální montážní síla do otvoru v plechu 80N.

Nový konstrukční návrh musí také zajistit požadovanou polohu pevného skla při a po montáži. To znamená, že spoj by měl mít takovou geometrii, která umožní snadné navedení klipu do otvoru v rámu dveří a po montáži pomůže zajistit pozici skla v předepsané poloze v rámci daných tolerancí.

Při návrhu spoje je také nutné brát ohled na dodržení co nejnižšího objemu, resp. hmotnosti dílů, nízkých výrobních nákladů, výběr kvalitního a levného materiálu s ohledem na jeho ekologičnost atp.

3.2 Návrh nového konstrukčního řešení spoje a volba materiálu

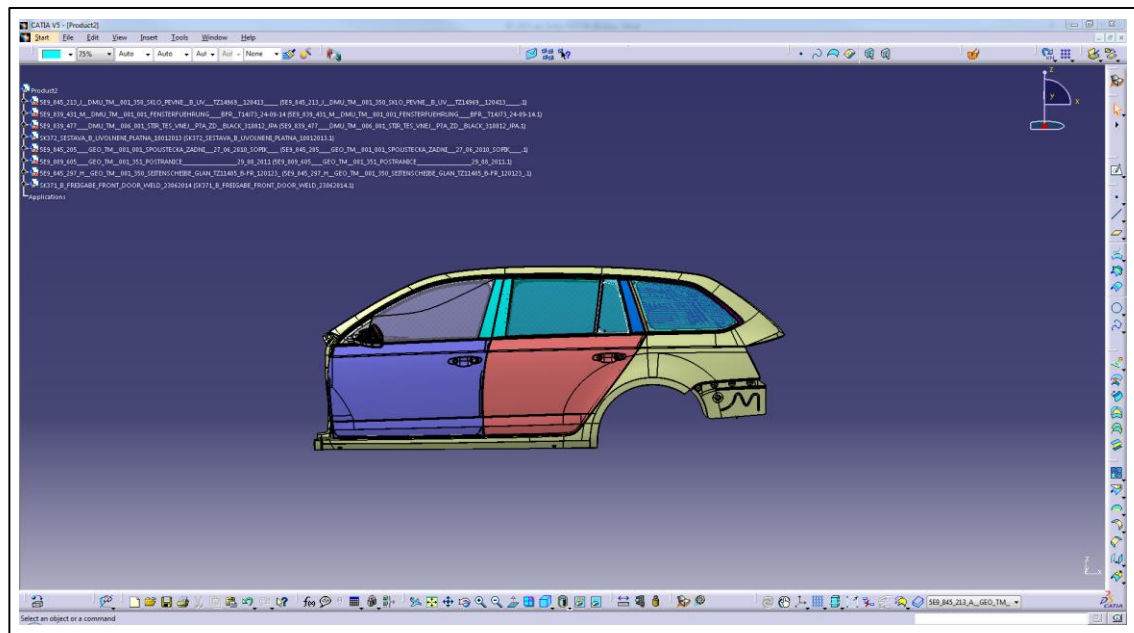
Základní myšlenkou návrhu spoje je vytvoření nové pozice pro klip na obstřiku pevného skla co nejbližší dělicímu sloupku s ohledem na umístění montážního otvoru o průměru 11 mm v rámu dveří.

Jelikož je materiál obstřiku z měkkého TPV, který má nedostatečnou pevnost pro aplikaci výměnného klipu, bude zapotřebí vytvořit protikus, který bude záliskem v obstřiku pevného skla. Tento protikus bude sloužit k upevnění výměnného klipu a také zajistí jeho vyměnitelnost. Již při návrhu konstrukce nového výměnného klipu tak musí být brána v úvahu konstrukce protikusu a konstrukční úprava obstřiku skla dle protikusu.

Při vytváření konstrukčních návrhů modelů dílů musí být také brán ohled na zásady vytváření geometrie 3D modelů uvedené v kapitole 2.7.1.

Návrh 3D modelů dílů bude realizován pomocí parametrického modelování v CAD programu Catia V5 (dále jen Catia) s následným ověřením výstupů pomocí analytických nástrojů obsažených v tomto softwaru. Software Catia je zvolen hlavně z toho důvodu, že automobilky využívají právě tento software pro vývoj dílů karoserie a tak veškerá 3D data jejich dílů jsou ve specifickém formátu „*CATPart*“ tohoto programu, který v podstatě znemožňuje jejich přímé otevření v jiném programu. Práce s 3D daty v jiném programu je možná za pomoci jejich překladu do požadovaného formátu. Nicméně překlad 3D dat tak složitých dílů, jako jsou plechy karoserie, je velmi zdoluhavý a může při něm vzniknout množství chyb. Proto je používání totožného software pro vytváření dat, jaký používá daná automobilka, nezbytné. Náhled pracovního prostředí programu Catia je uveden na obrázku 3.2.

Ověření geometrie 3D modelů vstřikovaných dílů z hlediska dostatečných úkosů bude prováděno pomocí nástroje *Draft Analysis*. Jedná se o jednoduchý a rychlý nástroj, který po určení směru odformování zbarví plochy dílu dle zvoleného stupně úkosů.



Obr. 3.2: Pracovní prostředí software Catia V5

Materiály jednotlivých dílů budou stanoveny v následujících kapitolách, které se zabývají samotným konstrukčním návrhem nových dílů.

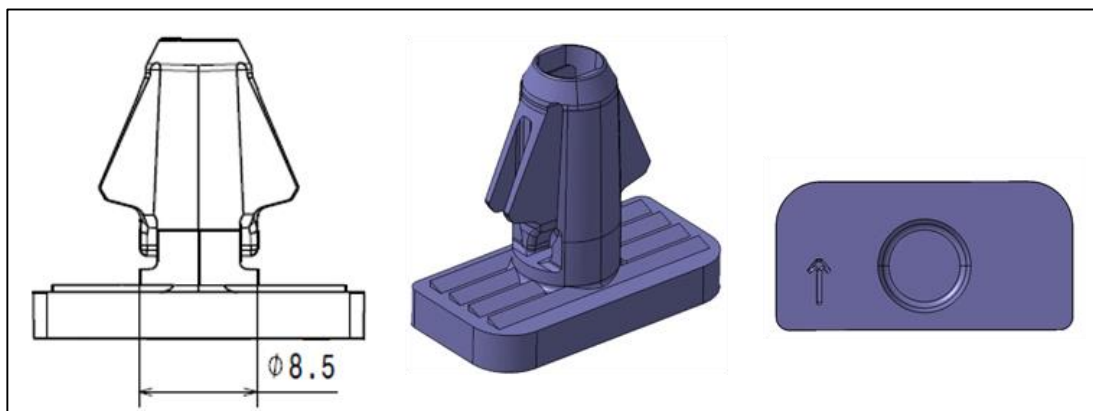
3.2.1 Návrh konstrukce výměnného klipu a výběr materiálu

Jako vzor pro návrh konstrukce výměnného klipu sloužila stávající geometrie integrovaného klipu v dělicím sloupku (kap. 3.1, obr. 3.1), která vyhovuje požadavkům na zádržnou sílu 500N v otvoru v rámu dveří. Zádržná síla je maximální síla, které je výměnný klip při zatěžování otvorem o průměru 11 mm schopen odolat, než dojde k jeho porušení.

Na rozdíl od integrovaného klipu v dělicím sloupku musí být stanovena také maximální zádržná síla. Ta bude stanovena vzhledem k podmínce, že výměnný klip v protikusu na pevném skle, se musí při zatížení porušit vždy jako první. Z této podmínky vyplývá, že soudržnost spojení protikusu a obštíku pevného skla musí odolat velikosti zatížení při vytržení výměnného klipu z otvoru v rámu dveří. Maximální síla pro vytržení výměnného klipu z otvoru v rámu dveří byla stanovena na 650N.

Nový konstrukční návrh výměnného klipu je uveden na obrázku 3.3. Obdélníková podstava výměnného klipu má po montáži do protikusu v pevném skle zajišťovat dostatečně pevné spojení. Pro zajištění polohy v protikusu byla tato podstava opatřena výstupky, které mají zamezit pohybu výměnného klipu

v protikusu v ose Z v rámci zadaných tolerancí. Pro stanovení správného směru montáže byla na spodní stranu podstavy umístěna šipka (viz obr. 3.3)



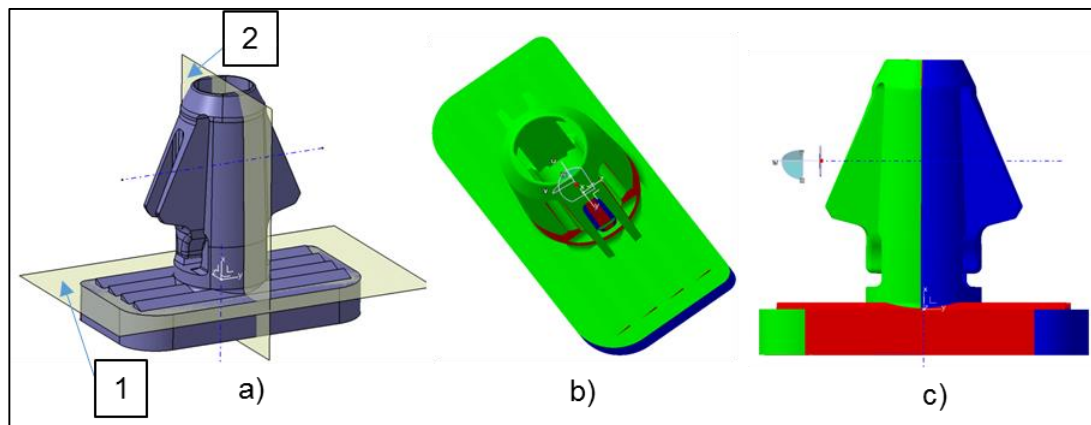
Obr. 3.3: Návrh konstrukce výměnného klipu

Vzhledem k vysokým požadavkům na zádržnou sílu výměnného klipu v otvoru v rámu dveří (500N) byl pro nový klip zvolen materiál polyamid 66, plněný 40% skelných vláken. Tento materiál vyniká vysokou pevností v tahu a dobrou rozměrovou stabilitou. Výpis z materiálového listu je uveden v tabulce 3.1. Materiálový list od výrobce je uveden v příloze č. 1.

Tab. 3.1: Výpis vlastností polyamidu z materiálového listu

Vlastnost	Hodnota	Jednotky	Norma
Hustota	1,47	g/cm ³	ISO 1183
Obsah skelných vláken	40	%	ISO 3451/4
Smrštění, tloušťka stěny 2.0mm	0,85 ÷ 0,95	%	ISO 294-4
Navlhavost - 24 hodin	0,7	%	ISO 62
Pevnost v tahu při porušení	225	MPa	ISO 527
Poměrné prodloužení	3	%	ISO 527
Modul pružnosti v tahu	12300	MPa	ISO 527
Modul pružnosti v ohybu	10300	MPa	ISO 178
Pevnost v ohybu	320	MPa	ISO 178
Vrubová houževnatost Charpy při 23 °C	13	kJ/m ²	ISO 179
Vrubová houževnatost Charpy při -40 °C	10	kJ/m ²	ISO 179
Vrubová houževnatost Izod při 23 °C	13	kJ/m ²	ISO 180
Teplota tání při ohřevu 10 °C/min	262	°C	ISO 11357
Teplota průhybu při zatížení 0,45 MPa	260	°C	ISO 75
Teplota průhybu při zatížení 1,82 MPa	250	°C	ISO 75

Jednou z hlavních zásad, které bylo nutné při návrhu konstrukce výměnného klipu dodržet je odformovatelnost. Výměnný klip byl konstruován se dvěma dělicími rovinami, které na sebe byly navzájem kolmé, jak je znázorněno na obrázku 3.4a.



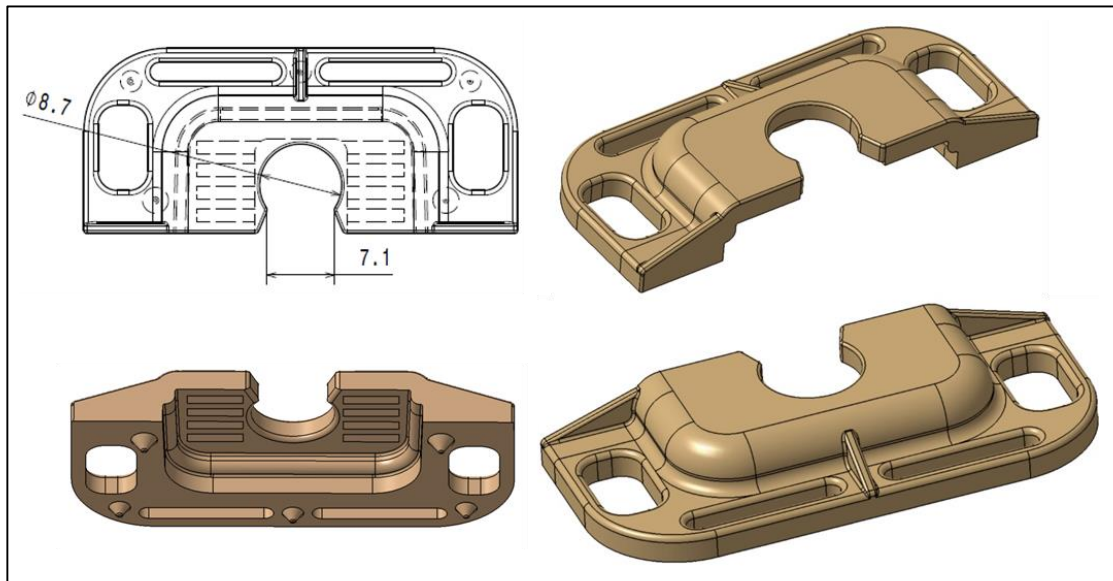
Obr. 3.4: Dělicí roviny a analýza úkosů nového klipu

Jak již bylo zmíněno, odformovatelnost byla kontrolována na 3D modelu v CAD systému Catia pomocí analýzy úkosů. Na obrázku 3.4b jsou zelenou barvou označeny plochy s úkosem větším jak $0,5^\circ$ pro směr odformování kolmý na dělicí rovinu č. 1 a modře jsou označeny plochy s úkosem větším jak $0,5^\circ$ v opačném směru. Na obrázku 3.4c je princip zbarvení ploch stejný jako na 3.4b, ale směr odformování je v tomto případě kolmý na dělicí rovinu č. 2. Červenou barvou jsou obarveny plochy, jejichž úkosy nevyhovují danému směru odformování, nicméně v obou případech se jedná o plochy, které se sledovaným směrem odformování nesouvisí, nebo je jejich vliv zanedbatelný. Návrh konstrukce výměnného klipu byl dle analýzy úkosů vyhovující.

3.2.2 Návrh konstrukce protikusu pro montáž výměnného klipu a výběr materiálu

Zároveň s tvorbou geometrie výměnného klipu byl vytvořen také návrh konstrukce protikusu. Základním požadavkem na tento díl bylo, aby zajišťoval takové spojení s obštíkem, které odolá zatížení při vytržení klipu z otvoru v rámu dveří (až 650N). Síla, které musel protikus v obštíku při zatížení klipu odolat, musela tedy být vyšší než 650N. Protikus musel také zajistit snadnou montáž a stabilní polohu výměnného klipu v rámci zadaných tolerancí. To bylo

zajištěno přesahem vstupního otvoru vůči dřívku klipu a vruby umístěnými na vnitřní stykové ploše, jak je znázorněno na obrázku 3.5.



Obr. 3.5: Návrh konstrukce protikusu pro montáž nového klipu

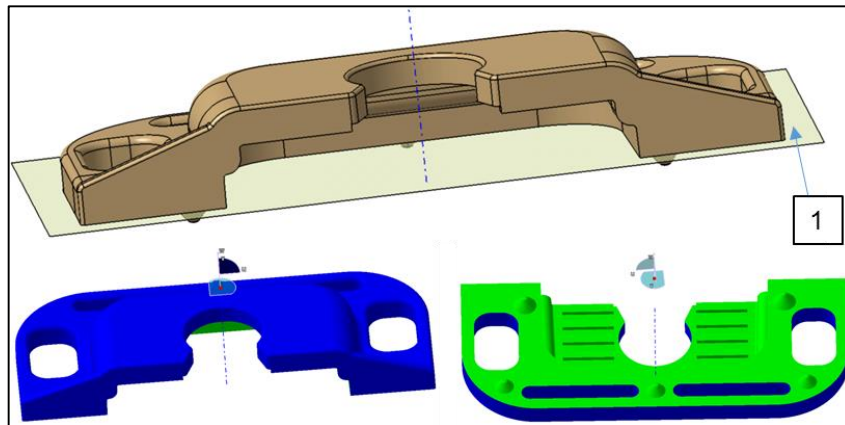
Pro pevné spojení protikusu a obstříku bylo vytvořeno několik otvorů, které tvoří po zatečení TPV mechanické zámky.

Vzhledem k požadavku zajištění co nejlepší adheze protikusu a TPV bez nutnosti primerování, byl zvolen materiál polypropylen s 40% skelných vláken, který má pro danou aplikaci vyhovující mechanické vlastnosti. Výpis z materiálového listu je uveden v tabulce 3.2. Materiálový list od výrobce je uveden v příloze č. 2.

Tab. 3.2: Výpis vlastností polyamidu z materiálového listu

Vlastnost	Hodnota	Jednotky	Norma
Index toku taveniny	8	g/10 min	ISO 1133 230°C; 2,16 kg
Hustota	1,2	g/cm ³	ISO 1183
Obsah skelných vláken	40	%	ISO 3451/4
Pevnost v tahu při porušení	83	MPa	ISO 527
Poměrné prodloužení	4	%	ISO 527
Modul pružnosti v ohybu	7100	MPa	ISO 178
Vrubová houževnatost Charpy při 23 °C	11	kJ/m ²	ISO 179-1/1eU
Bez-vrubová houževnatost Charpy při 23 °C	40	kJ/m ²	ISO 179-1/1eU
Teplota měknutí dle Vicata	164	°C	ISO 306 metoda A 50

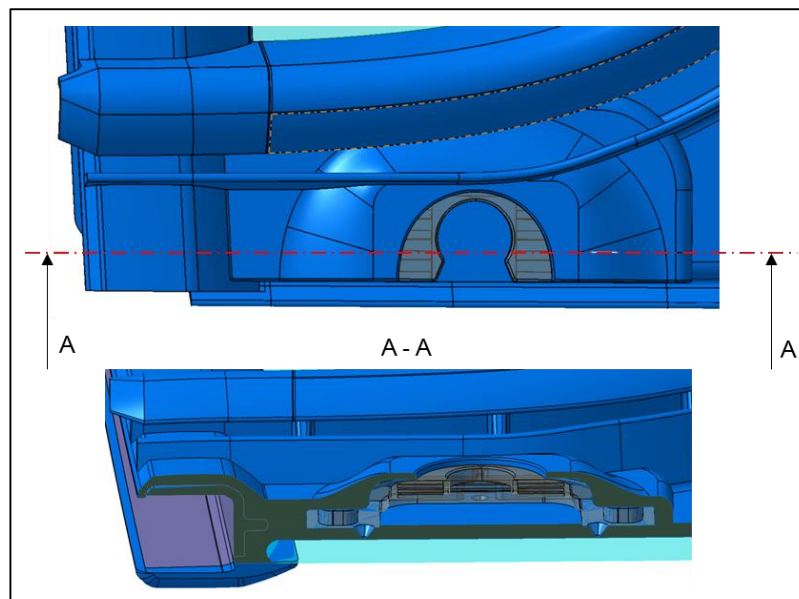
Protikus byl navržen s jednou dělicí rovinou a také byla provedena kontrola úkosů, pomocí které se ověřila správnost konstrukčního návrhu z hlediska odformování. Kontrola velikosti úkosů byla nastavena na $0,5^\circ$, stejně jako v případě konstrukčního návrhu výměnného klipu a na základě výsledků analýzy (viz obr. 3.6) byla navržená konstrukce protikusu označena jako vyhovující.



Obr. 3.6: Dělicí rovina a analýza úkosů protikusu

3.2.3 Návrh konstrukční úpravy obstříku skla dle geometrie protikusu

Na obrázku 3.7 je zobrazen konstrukční návrh úpravy obstříku skla dle geometrie protikusu. Při konstrukční úpravě obstříku bylo nutné zachovat dostatečnou tloušťku stěn (min. 1 mm) pro bezproblémové zatečení materiálu.



Obr. 3.7: Konstrukční úprava obstříku dle konstrukce protikusu

Konstrukční úprava obstřiku probíhala s ohledem na maximální zatěžující sílu při vytržení výměnného klipu z otvoru v plechu. Jak již bylo zmíněno, musí platit podmínka, že soudržnost spoje mezi obstřikem a protikusem musí být zachována i v případě vytržení výměnného klipu z otvoru v rámu dveří a tím bude zachována možnost výměny klipu v případě jeho poškození. Soudržnost spoje protikusu a obstřiku tak musí odolat zatížení většímu jak 650N.

Při návrhu konstrukční úpravy obstřiku také bylo nutné zajistit těsnost kolem zálisku v obstřiku k rámu dveří. Materiál obstřiku je termoplastický vulkanizát s tvrdostí 60 ShA. Výpis z materiálového listu je uveden v tabulce 3.3. Materiálový list od výrobce je uveden v příloze č. 3.

Tab. 3.3: Výpis vlastností TPV z materiálového listu

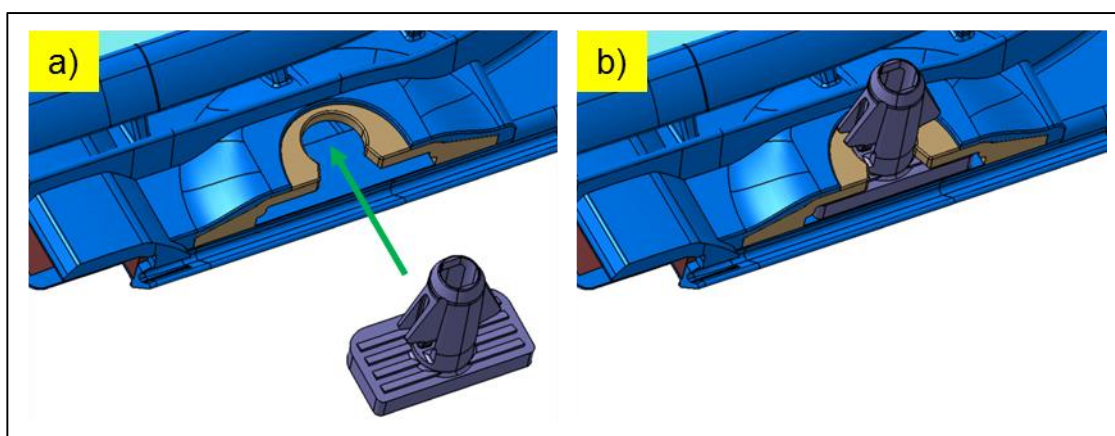
Vlastnost	Hodnota	Jednotky	Norma
Hustota	0,95	g/cm ³	ISO 1183
Pevnost v tahu při poměrném prodloužení 100%	2,0	MPa	ISO 37
Pevnost v tahu při porušení	3,9	MPa	ISO 37
Poměrné prodloužení	360	%	ISO 37
Tvrdost Shore A; 15s; 23°C; 2mm	61	-	ISO 868
Trvalá deformace v tlaku			
70°C; 22h; typ A	26	%	ISO 815
100°C; 70h; typ A	33	%	
125°C; 22h; typ A	54	%	

3.2.4. Princip funkce jednotlivých dílů nového konstrukčního návrhu

Způsob montáže výměnného klipu do protikusu v obstřiku skla je znázorněn na obrázku 3.8. Na obrázku 3.8a je zobrazen směr montáže výměnného klipu z výchozí pozice. Při této montáži bude nutné překonat odpor v důsledku přesahu vstupního otvoru protikusu vůči dřívku klipu, který by měl po montáži společně s výstupky na stykové ploše klipu a vruby na stykové ploše protikusu zajistit jejich dostatečně pevné spojení i při jeho zatížení.

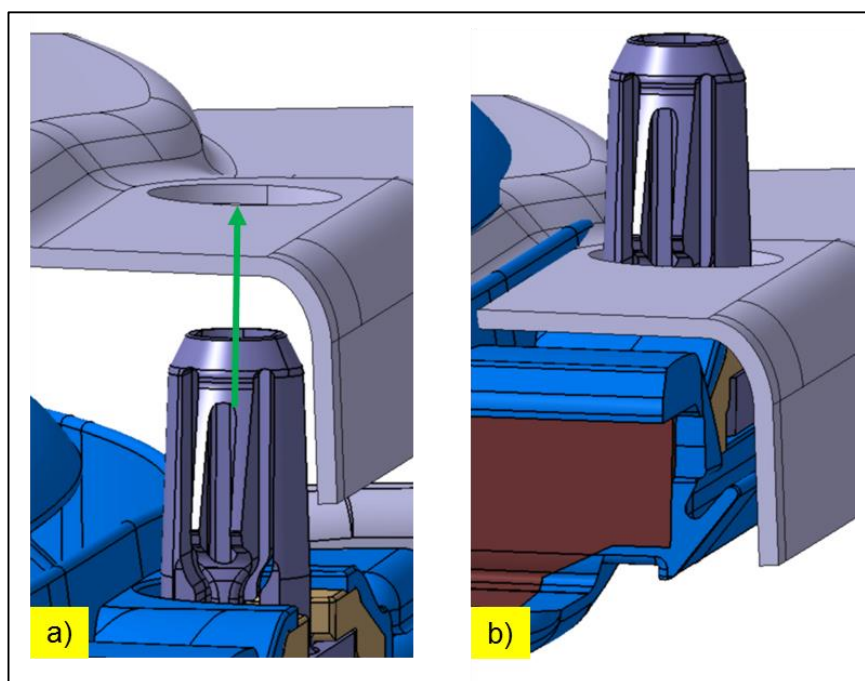
Z ergonomického hlediska pro montáž klipu do protikusu by síla potřebná k překonání zmíněného odporu neměla být vyšší než 50N.

Na obrázku 3.8b je výměnný klip namontován v protikusů a díl je tak připraven k montáži do otvoru v rámu dveří.



Obr. 3.8: Princip montáže nového klipu do protikusu v obstřiku pevného skla
a) výchozí pozice a směr montáže, b) nový klip po montáži do protikusu
v pevném skle

Způsob montáže pevného skla s výměnným klipem do otvoru v rámu dveří
je znázorněn na obrázku 3.9.



Obr. 3.9: Způsob montáže pevného skla s výměnným klipem do otvoru
v rámu dveří
b) výchozí pozice a směr montáže, b) nový klip po montáži do rámu dveří

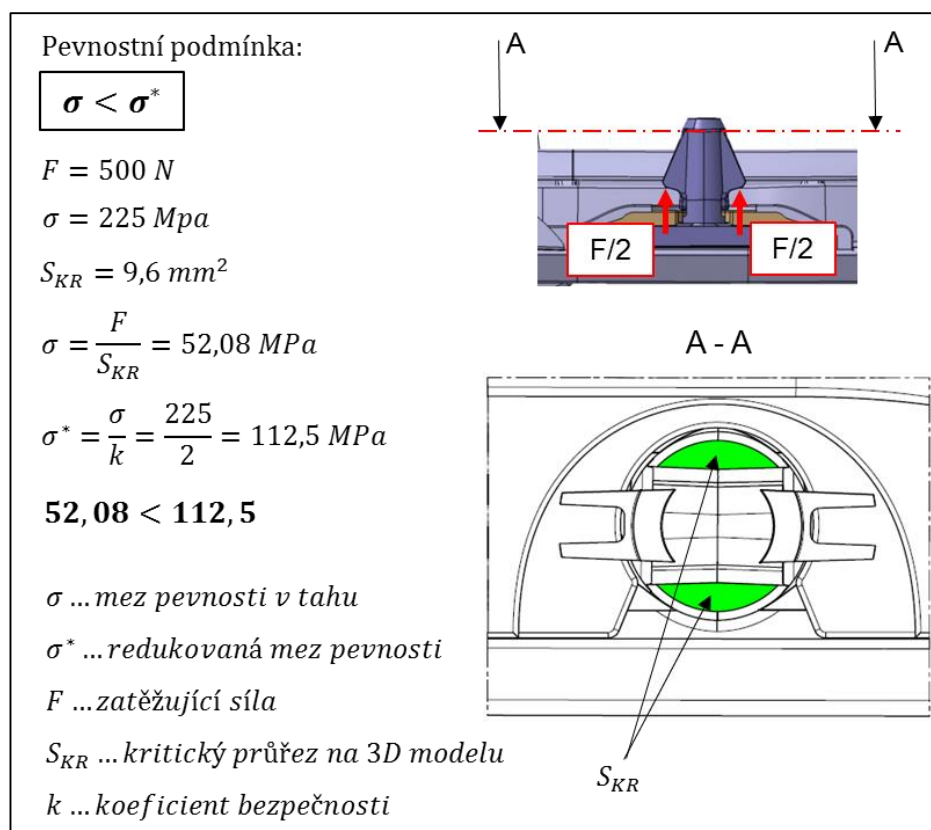
Při montáži pevného skla s výměnným klipem bude nutné překonat odpor pružného členu výměnného klipu vůči otvoru v rámu dveří. Z hlediska ergonomických požadavků pro montáž pevného skla by síla potřebná k překonání tohoto odporu neměla být vyšší než 80N.

Jak již bylo zmíněno, po montáži by měl takto vytvořený spoj pevného skla s rámem dveří odolat minimálnímu zatížení 500N.

3.3 Kontrolní výpočty nového konstrukčního návrhu

Pro ověření konstrukce návrhů nových dílů byly provedeny zjednodušené kontrolní výpočty. Nová konstrukce výměnného klipu musela odolat zatížení většímu jak 500N a spojení protikusu a obštířku muselo odolat zatížení většímu jak 650N. Oba výpočty vychází z meze pevnosti v tahu vybraných materiálů a pro výpočty byl stanoven součinitel bezpečnosti $k=2$.

3.3.1 Kontrolní výpočet odolnosti konstrukce výměnného klipu při zatížení silou 500N



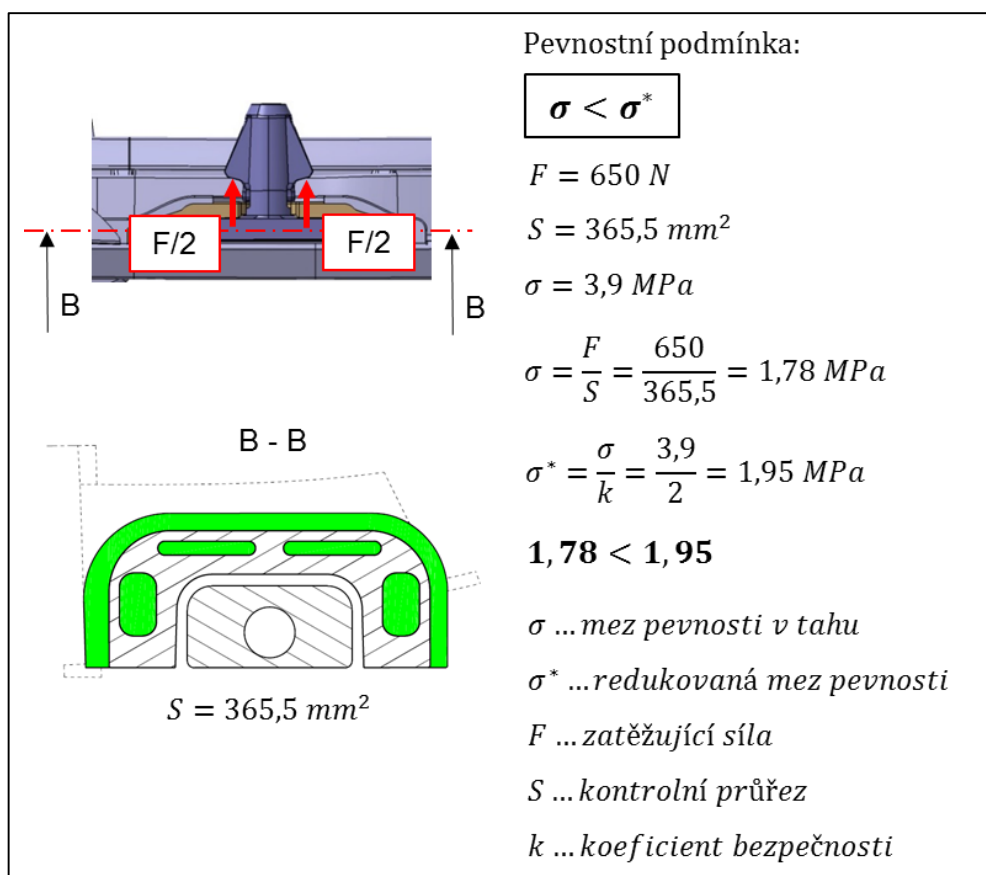
Obr 3.10: Zjednodušený kontrolní odolnosti konstrukce výměnného klipu při zatížení silou 500N

Dle kapitoly 3.2.2 musí klip odolat většímu zatížení než 500N. Na základě meze pevnosti v tahu zvoleného materiálu a zjištěného kritického průřezu byl proveden zjednodušený výpočet k ověření konstrukčního návrhu výměnného klipu s bezpečnostním koeficientem $k=2$ (viz obr. 3.10). Pro stanovení kritického průřezu byla na 3D modelu výměnného klipu provedena analýza průřezů, kterou byla zjištěna velikost kritického průřezu $S_{KR} = 9,6 \text{ mm}^2$.

Dle provedeného výpočtu je navržený klip vyhovující, jelikož byla splněna pevnostní podmínka.

3.3.2 Kontrolní výpočet odolnosti spojení protikusu a obstřiku skla při zatížení silou 650N

Pro ověření odolnosti konstrukčního návrhu protikusu v obstřiku skla při zatížení 650N byl proveden zjednodušený kontrolní výpočet na základě kontrolního průřezu, meze pevnosti v tahu zvoleného materiálu a s ohledem na součinitel bezpečnosti $k=2$ (viz obr. 3.11).



Obr. 3.11: Zjednodušený kontrolní výpočet odolnosti spojení protikusu a obstřiku skla při zatížení silou 650N

Dle provedeného kontrolního výpočtu je navržený klip vyhovující, jelikož byla splněna pevnostní podmínka. Při výpočtu však nebyly uvažovány adhezní síly mezi obštíkem pevného skla a protikusem, proto bude skutečná pevnost ještě vyšší.

3.4. Výroba nových dílů dle konstrukčních návrhů a laboratorní zkoušky

Dle konstrukčních návrhů nových dílů, byla vytvořena výkresová dokumentace a zahájena výroba výměnného klipu a protikusu u dodavatele Plastymat CZ s.r.o (dále jen Plastymat). Úpravu obštíku skla měla na starosti německá firma Stefan Pfaff Werkzeug- und Formenbau GmbH & Co. KG. Na výkresech jsou zakótovány pouze hlavní rozměry a pro ostatní nekótovanou geometrii platí tolerance $\pm 0,2\text{mm}$. Tato praxe je u složitějších plastových výlisků běžná, jelikož k výrobě nástrojů se používají výhradně 3D data. Dále je na výkresech uveden materiál, barva a popř. požadované normy, počet kusů atd. Na základě 3D dat a výkresové dokumentace konstrukčních návrhů nových dílů byla provedena kontrola vyrobitelnosti a potvrzení dodacích termínů. Parametry vstřikování plastových dílů, které byly použity k výrobě nového klipu a protikusu, jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Tab. 3.2: Nastavení parametrů vstřikovacího stroje pro výměnný klip a protikus

<i>Vstřikovací stroj</i>	ENGEL ES 80/30 HL	
<i>Díl</i>	Klip	Protikus
<i>Materiál</i>	Torzen G40000 HSL	Taboren PC69G40
<i>Teplota sušení [°C]</i>	80	
<i>Doba sušení [h]</i>	4	
<i>Teplota taveniny na trysce [°C]</i>	285	245
<i>Vstřikovací tlak [MPa]</i>	60	54
<i>Dotlak [MPa]</i>	30	22
<i>Čas dotlaku [s]</i>	3	3
<i>Teplota formy [°C]</i>	60	20
<i>Čas chlazení (bez dotlaku) [s]</i>	8	15
<i>Doba cyklu [s]</i>	22	22

Po dodání nových dílů byla provedena vizuální kontrola a kontrola rozměrů dle výkresové dokumentace a byly zahájeny laboratorní zkoušky, které probíhaly v laboratoři vývojové kanceláře Henniges v Mladé Boleslavi.

3.4.1 Měření zádržných a montážních sil výměnného klipu

Zkouška byla prováděna na trhacím stroji Instron 4411, osazeným snímačem síly Zemic H3-1000N (viz obr. 3.12) s digitální zobrazovací jednotkou AFTI Mk.4.

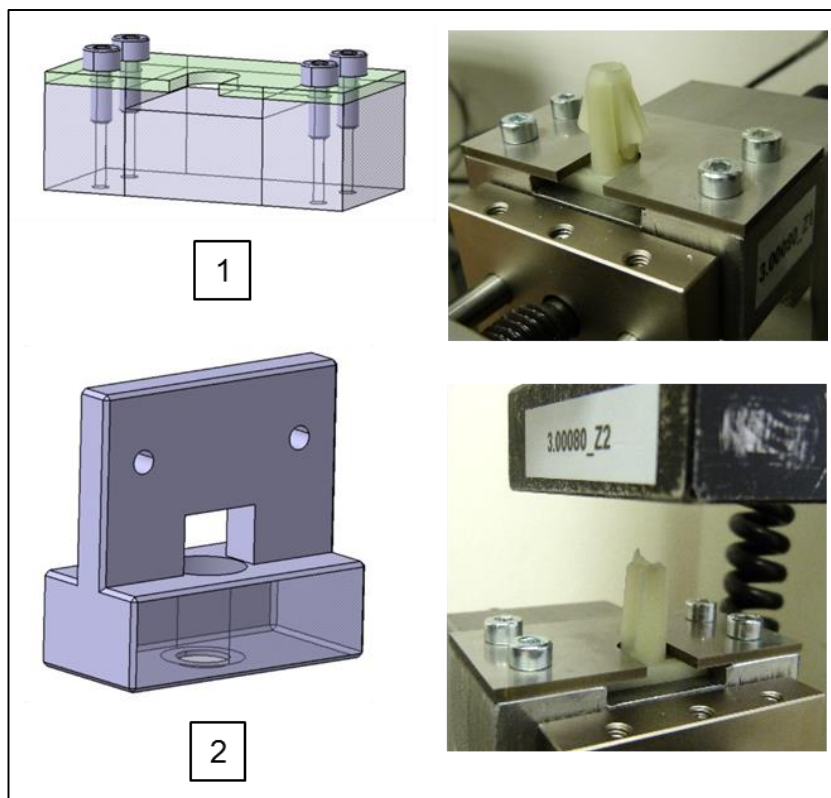


Obr. 3.12: Trhací stroj Instron 4411

Na základě konstrukčního návrhu spoje byly navrženy a vyrobeny přípravky k provedení měření zádržných a montážních sil (viz obr. 3.13).

Přípravek č. 1 slouží pro uchycení výměnného klipu podobně jako při jeho upevnění v protikusu na obštíku skla a na trhací stroj byl upevněn do čelistí svěráku.

Přípravek č. 2 byl navržen jako ekvivalent otvoru v rámu dveří pro montáž pevného skla s výměnným klipem. Otvor má průměr 11mm s osazením o tloušťce 1,1mm. Pro výrobu těchto přípravků byla vytvořena výkresová dokumentace, která je součástí přílohy č. 4 a 5 této práce.



Obr. 3.13: Přípravky k měření zádržných a montážních sil

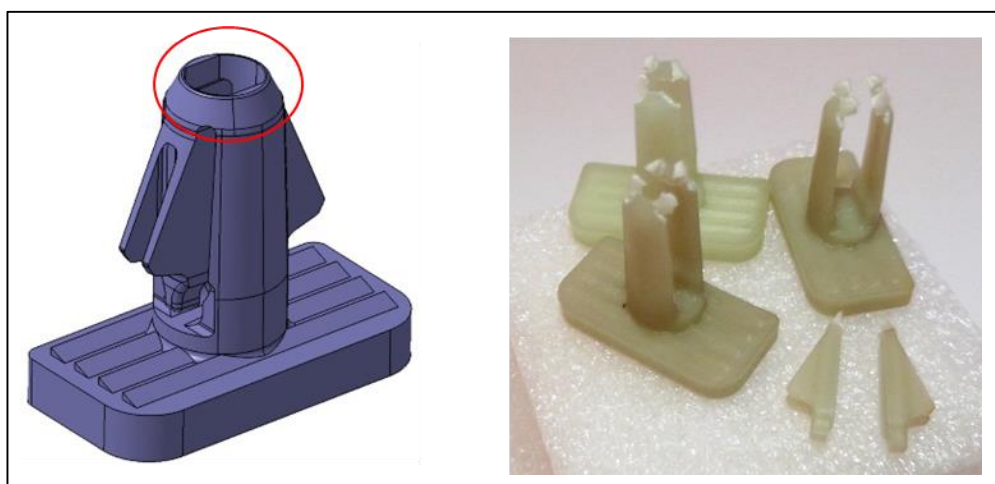
Postup zkoušky byl následující: nejprve byly upnuty a vystředěny přípravky v čelistech svěráků. Měření montážní a zádržné síly probíhalo pro 10 kusů výměnných klipů, které byly před zkouškou očíslovány. Po vložení klipu do přípravku bylo vertikálním posuvem hybné části trhacího stroje provedeno měření montážní síly výměnného klipu do otvoru, čímž se zároveň připravila výchozí pozice pro měření zádržné síly. Jak již bylo zmíněno, zádržná síla je maximální síla, které je výměnný klip umístěný v otvoru o průměru 11 mm schopen odolat, než dojde k jeho porušení.

Měření této síly probíhalo zvyšujícím se zatížením vyvozeným opačným posuvem z konečné pozice pro měření montážní síly. Po každém kroku byly zaznamenány naměřené hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 8.

Tab. 8: Naměřené hodnoty zádržných a montážních sil výměnného klipu

Vzorek č.	Předpis maximální montážní síly [N]	Naměřená hodnota [N]	Předpis minimální zádržné síly [N]	Naměřená hodnota [N]
1	80	6,6	500	254,6
2	80	6,2	500	264,2
3	80	8,2	500	250,0
4	80	6,0	500	246,8
5	80	7,4	500	255,6
6	80	5,6	500	244,4
7	80	6,4	500	270,0
8	80	6,2	500	251,0
9	80	6,0	500	253,8
10	80	6,6	500	261,0
Průměr:		6,5 ± 0,72		255,1 ± 7,54

Dle naměřených hodnot zaznamenaných v tabulce č. 8 je zřejmé, že konstrukční návrh výměnného klipu nevyhověl z hlediska předepsané zádržné síly. K porušení došlo ve všech případech v horní zeslabené části klipu, přičemž byl vytržen zádržný šíp z výměnného klipu (viz obr. 3.14). Požadavek na montážní síly tyto vzorky s velkou rezervou splnily.



Obr. 3.14: Poškození klipu po zkoušce zádržné síly

Na základě vyhodnocení měření zádržných a montážních sil výměnného klipu bylo navrženo opatření v podobě zesílení kritické části klipu, které je zpracováno v kapitole 3.5. V kapitole 3.6.1 jsou uvedeny výsledky z nových měření zádržných a montážních sil na upravených výměnných klipech V1.

3.4.2 Montážní zkouška výměnného klipu do protikusu v pevném skle a měření montážní síly

Pro kontrolu síly potřebné k montáži výměnného klipu do protikusu v pevném skle bylo provedeno ruční měření pomocí snímače síly Zemic H3-1000N osazeným přípravkem č. 3 (viz příloha č. 6) a digitální zobrazovací jednotkou AFTI Mk.4. Jak bylo stanoveno v kapitole 3.2.4., montážní síla by neměla překročit 50N. Zkouška montáže klipu byla provedena pro 5 dílů pevného skla a naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 9. Princip zkoušky znázorněn na obrázku 3.15.

Tab. 9: Naměřené hodnoty z montážní zkoušky výměnného klipu do protikusu pevného skla

Vzorek č.	Předpis maximální montážní síly [N]	Naměřená hodnota [N]
1	50	41,0
2	50	39,0
3	50	42,0
4	50	38,0
5	50	37,0
Průměr:		39,4 ± 1,9



Obr. 3.15: Princip ručního měření montážní síly výměnného klipu do protikusu

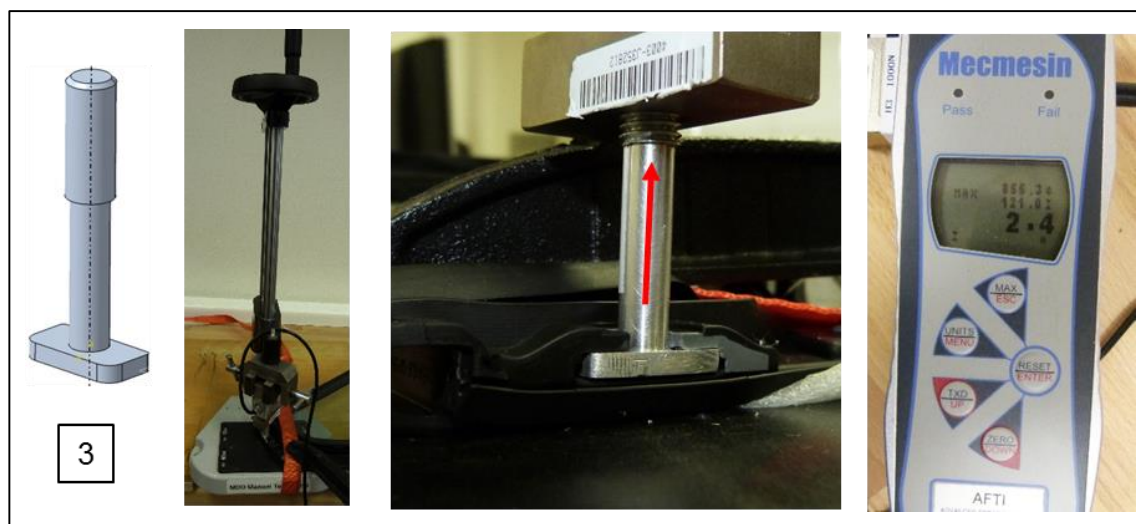
U žádného z výměnných klipů nebyla překročena montážní síla 50N, tudíž z hlediska velikosti potřebné síly k montáži do protikusu je konstrukční návrh vyhovující.

Při kontrole správného vložení výměnného klipu do protikusu, návrh konstrukce výměnného klipu nevyhověl, jelikož by mohlo dojít k montáži v nesprávném směru. Šipka, která značí správný směr montáže, byla při montáži na spodní straně klipu a tak nebyla viditelná. Součástí kapitoly 3.5 je proto návrh opatření, tzv. „poka-yoke“, pro stoprocentní znemožnění nesprávné montáže. Toto opatření bylo ověřeno opakováním této zkoušky, jejíž výsledek je uveden v kap. 3.6.2.

3.4.3 Zkouška soudržnosti protikusu s obštířkem skla

Zkouška soudržnosti protikusu s obštířkem skla byla provedena na ručním zkušebním stojanu Mecmesin MDD, který byl osazen snímačem síly Zemic H3-000N s digitální zobrazovací jednotkou AFTI Mk.4. Pro provedení zkoušky byl navržen jednoduchý přípravek představující část výměnného klipu a byl také opatřen závitem pro upevnění do snímače síly (viz příloha č. 6).

Model přípravku a princip zkoušky je znázorněn na obrázku č 3.16. Minimální síla, které musí spojení protikusu s obštířkem dle kapitoly 3.2.3 odolat, je 650N.



Obr. 3.16: Model přípravku a princip zkoušky soudržnosti protikusu s obštířkem skla

(zleva: 3D model, ruční zkušební stojan, detail zkoušky, snímač síly Zemic)

Pevné sklo bylo upnuto na desku zkušebního stojanu pomocí textilního popruhu a svěrku. Následně byl přípravek vložen do protikusu pro výměnný klip a společně se snímačem síly upnut do čelistí svěraku. Ručním vertikálním posuvem byla zvyšována zatěžující síla až do porušení soudržnosti spojení protikusu s obstřikem. Během zvětšování zatěžující síly byl spoj sledován, zda nedochází k jeho porušení před dosažením minimální zatěžující síly. Zkoušce bylo podrobena 5 dílů pevného skla a naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10: Naměřené hodnoty zkoušky soudržnosti protikusu s obstřikem skla

Vzorek č.	Předpis minimální síly při porušení vzorku [N]	Naměřená hodnota [N]
1	650	855,4
2	650	810,6
3	650	860,2
4	650	832,8
5	650	830,0
Průměr:		837,8 ± 18,1

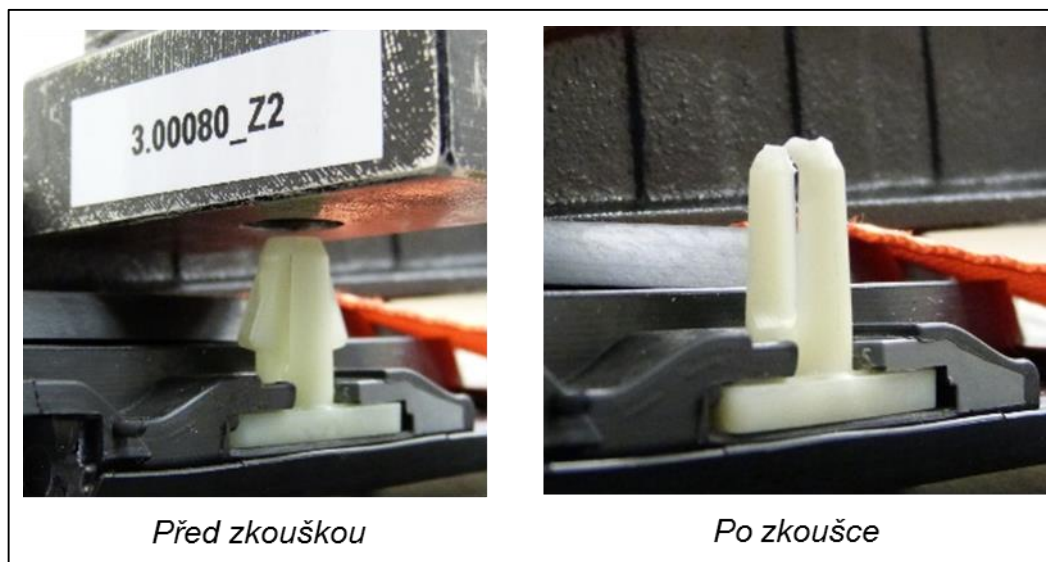
Jelikož ani u jednoho z testovaných vzorků nedošlo k viditelnému poškození před dosažením minimální předepsané síly 650N, byla navržena konstrukce spoje protikusu a obstřiku pevného skla označena jako vyhovující.

3.4.4 Zkouška odolnosti spoje výměnného klipu a pevného skla

Cílem této zkoušky bylo ověřit, zda si výměnný klip zachová svojí pozici v protikusu pevného skla po celou dobu zvětšujícího se zatížení až do porušení klipu.

Tato zkouška byla provedena na ručním zkušebním stojanu se snímačem síly Zemic H3-000N, na který byl namontován svěrák pro upnutí zkušebního přípravku č. 2. Pro zobrazení síly ze snímače byla použita digitální zobrazovací jednotka AFTI Mk.4.

Pevné sklo bylo upnuto na desku zkušebního stojanu podobně jako při zkoušce soudržnosti protikusu s obštíkem skla (viz kap. 3.4.3). Zkouška byla provedena pro 5 klipů se zápisem slovního hodnocení.

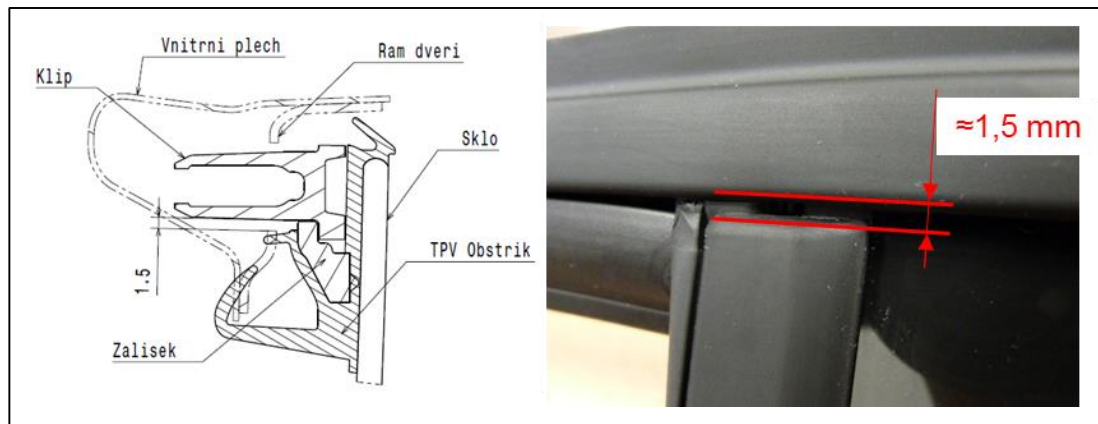


Obr. 3.17: Zkouška odolnosti spoje výměnného klipu a pevného skla

Jak je vidět na obrázku 3.17, výměnný klip zůstal po přetržení ve své pozici v pevném skle a to pro všechny zkoušené vzorky. Z hlediska odolnosti spoje výměnného klipu a pevného skla na základě výsledků této zkoušky tak byly konstrukční návrh protikusu, návrh konstrukce výměnného klipu a návrh konstrukční úpravy obštíku skla vyhovující.

3.4.5 Montážní zkouška pevného skla s výměnným klipem na rám dveří

Při montážní zkoušce na rám dveří bylo kromě pevného skla namontováno na rám dveří také vedení spouštěcího skla. Při tom vznikla mezi střešním profilem vedení skla a obštíkem pevného sloupku spára o velikosti 1-2 mm (viz obr. 3.18). Vznik této spáry je samozřejmě nežádoucí, jelikož se jedná o pohledovou oblast. Vznik spáry je mimo jiné zřejmě ovlivněn vůlí výměnného klipu v otvoru plechu, jak je vidět v řezu na obrázku. 3.18. Návrh opatření k vymezení této vůle je uveden v kapitole 3.5.

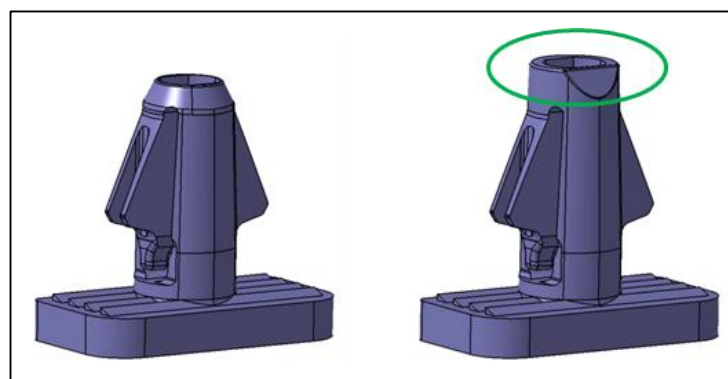


Obr 3.18: Řez klipu v zástavbě a detail spáry mezi obstříkem pevného sloupku a střešním profilem vedení skla

3.5 Návrhy úprav konstrukce výměnného klipu dle výsledků provedených laboratorních zkoušek

Výsledky jednotlivých zkoušek z kapitoly 3.4 byly zohledněny při návrhu nové verze výměnného klipu. Nová verze výměnného klipu (dále jen výměnný klip V1) tak zahrnuje opatření proti všem výše zmíněným nedostatkům.

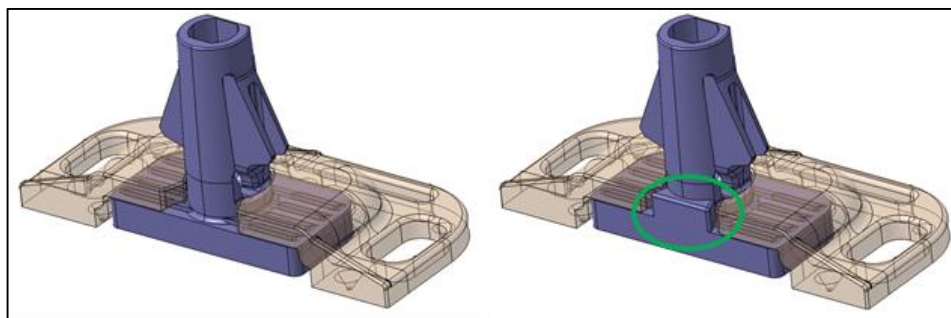
Hlavní prioritou pro úpravu konstrukce výměnného klipu bylo dosažení vyhovující zádržné síly. Na základě charakteru poškození výměnného klipu v jeho vrchní části (viz kap. 3.4.1) byla úprava konstrukce směřována k maximálnímu zesílení této části výměnného klipu (viz obr. 3.19).



Obr. 3.19: Zesílení vrchní části klipu
(vlevo – původní stav, vpravo – upravená konstrukce klipu V1)

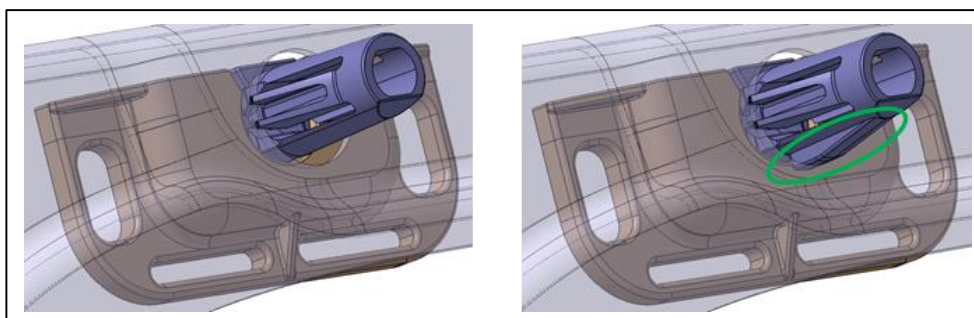
Na základě zkoušky zabývající se měřením montážní síly výměnného klipu do protikusu v pevném skle (viz kap. 3.4.2), bylo kromě samotného ověření

montážní síly zjištěno, že u první varianty konstrukce výměnného klipu hrozí nebezpečí chybné montáže. Proto byl na novém modelu výměnného klipu V1 vytvořen prvek zvaný „poka-yoke“, jehož účelem je nesprávnou montáž znemožnit (viz obr. 3.20).



Obr. 3.20: Prvek „poka-yoke“
(vlevo – původní stav, vpravo – upravená konstrukce klipu V1)

Na základě montážní zkoušky pevného skla na rám dveří (viz kap. 3.4.5) bylo k původní konstrukci výměnného klipu přidáno distanční žebro pro vymezení vůle mezi výměnným klipem a otvorem pro klip v rámu dveří (viz obr. 3.21).



Obr. 3.21: Distanční žebro
(vlevo – původní stav, vpravo – upravená konstrukce klipu V1)

Dle upraveného konstrukčního návrhu výměnného klipu na základě výše zmíněného, byla aktualizována výkresová dokumentace a na základě 3D dat nového výměnného klipu V1 byly vyrobeny nové díly.

Ve všech případech se jedná o přidání materiálu vůči stávajícímu stavu, tudíž úprava formy nebyla příliš nákladná (pouze obrábění materiálu formy).

3.6. Laboratorní zkoušky dílů na základě upraveného výměnného klipu V1

Po dodání nových výměnných klipů V1 byla opět provedena vizuální kontrola a kontrola rozměrů dle výkresové dokumentace. Pro novou verzi konstrukčního návrhu výměnného klipu V1 byly zopakovány laboratorní zkoušky, u kterých původní návrh výměnného klipu nevyhověl (viz kap. 3.4).

3.6.1 Měření zádržných a montážních sil výměnného klipu V1

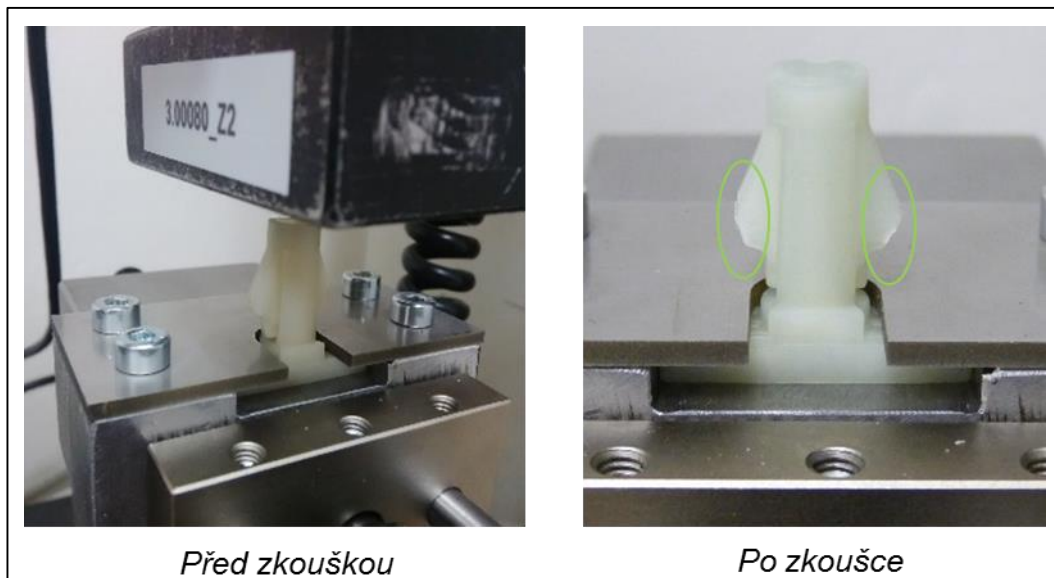
Pro ověření správnosti úpravy konstrukce pro zvýšení zádržné síly výměnného klipu v otvoru v rámu dveří byla zopakována zkouška zádržných sil dle kapitoly 3.4.1. Naměřené hodnoty zádržných a montážních sil výměnného klipu V1 jsou uvedeny v tabulce 11

Tab. 11: Naměřené hodnoty zádržných a montážních sil výměnného klipu V1

Vzorek č.	Předpis maximální montážní síly [N]	Naměřená hodnota [N]	Předpis minimální zádržné síly [N]	Naměřená hodnota [N]
1	80	28,8	500	559,7
2	80	31,0	500	554,7
3	80	31,0	500	562,5
4	80	28,0	500	547,0
5	80	25,2	500	531,0
6	80	18,2	500	564,6
7	80	26,0	500	552,2
8	80	29,0	500	535,5
9	80	29,8	500	589,1
10	80	27,0	500	569,7
Průměr:		27,4 ± 3,6		556,6 ± 16

Z naměřených hodnot v tab. 11 vyplývá, že zesílení konstrukce výměnného klipu v jeho vrchní části přineslo výrazné zlepšení zádržné síly v průměru o 302N. K porušení klipu V1 již nedochází na vrchní části, nýbrž na zádržném šípku, kde dojde ke stržení hran (viz obr. 3.22). Úpravou výměnného klipu došlo také ke zvýšení montážní síly, nicméně výměnný klip V1 ve všech případech předpis maximální montážní síly splnil.

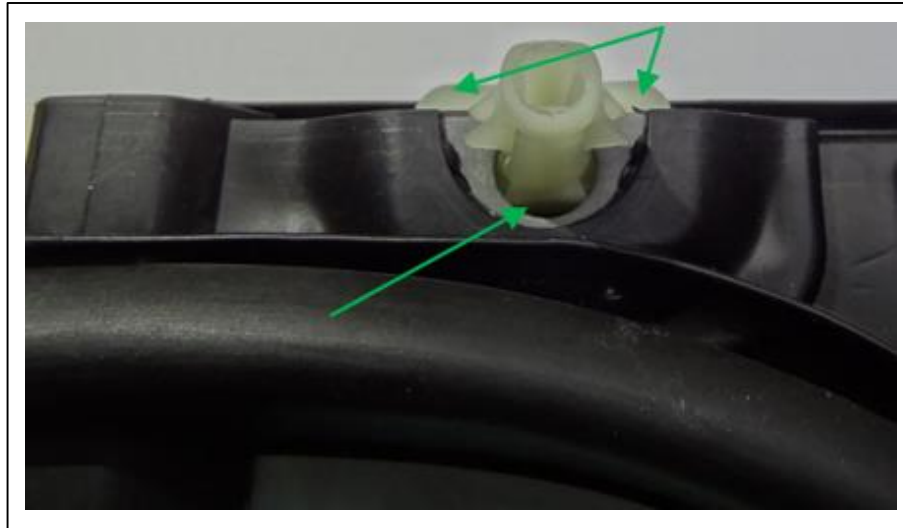
U žádného ze vzorků nebyla zádržná síla menší než 500N, tudíž nejsou nutná další opatření a nová konstrukce výměnného klipu V1 byla označena z hlediska předpisu zádržné a montážní síly jako vyhovující.



Obr. 3.22: Měření zádržných a montážních sil výměnného klipu V1

3.6.2 Montážní zkouška výměnného klipu V1 do protikusu v pevném skle

Při této zkoušce byla ověřena funkčnost nového prvku „poka-yoke“, který měl zabránit nesprávné montáži klipu do otvoru. Při pokusu o montáž výměnného klipu V1 opačným směrem nedosáhl klip své pozice a částečně přesahoval za okraj zálisku (viz obr. 3.23) a tím znemožnil nesprávnou montáž. Návrh úpravy konstrukce výměnného klipu pro znemožnění nesprávné montáže tak byl správný.



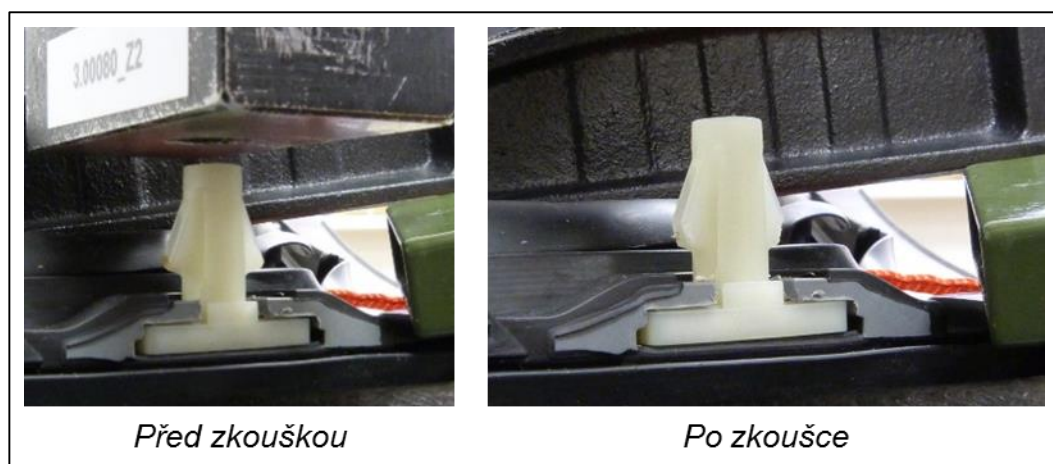
Obr. 3.23: Výměnný klip V1 při nesprávné montáži

Měření montážní síly výměnného klipu V1 do zálisku již nebylo opakováno, jelikož při úpravě konstrukce výměnného klipu dle kapitoly 3.5 nedošlo k žádným změnám v geometrii ovlivňující velikost této síly.

3.6.3 Zkouška odolnosti spoje výměnného klipu V1 a pevného skla

Vzhledem ke zvětšení zádržné síly výměnného klipu V1 v průměru o 302N proti předchozímu, bylo nutné opakovat zkoušku odolnosti spojení výměnného klipu V1 a pevného skla.

Princip zkoušky byl již popsán v kapitole 3.4.4, proto zde budou uvedeny pouze její výsledky (viz obr. 3.25).

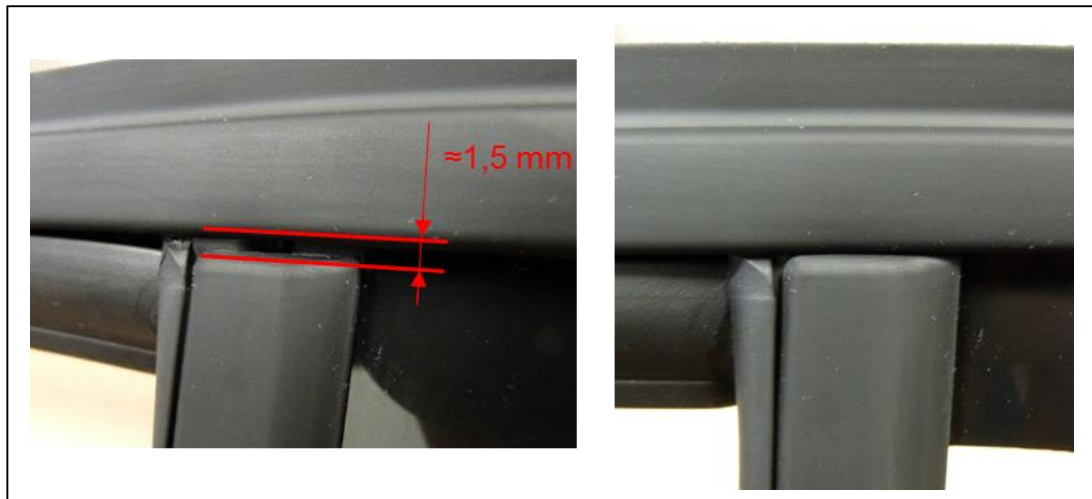


Obr. 3.25: Zkouška odolnosti spoje výměnného klipu V1 a pevného skla

Jak je vidět na obrázku 3.25, tak i při větším zatížení v důsledku vyšší zádržné síly výměnného klipu V1, zůstal klip po jeho poškození vlivem zatížení ve své pozici v protikusku, a to pro všechny zkoušené vzorky. Odolnost spoje výměnného klipu V1 a pevného skla tak byla označena jako dostatečná.

3.6.4 Montážní zkouška pevného skla s výměnným klipem V1 na rám dveří

Při montáži pevného skla s klipem V1 na rám dveří již nevznikla viditelná spára mezi střešním profilem vedení skla a obstřikem dělicího sloupku, jak je dobře vidět v porovnání na obr. 3.24. Další opatření nebyla nutná.



Obr. 3.24: Detail oblasti kontaktu obstřiku dělicího sloupku a střešního profilu (vlevo: původní stav, vpravo: stav po montáži pevného skla s klipem V1)



4. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Nejdůležitějším výsledkem experimentální části této diplomové práce bylo vytvoření konstrukčního návrhu nového spoje (viz kap. 3.2.4, obr. 3.8 a 3.9), jeho realizace a provedení laboratorních zkoušek (viz kap. 3.4). Díky sérii těchto zkoušek bylo možné ověřit funkčnost navržených dílů z několika hledisek a dle zjištěných nedostatků navrhnout opatření pro jejich odstranění. Na základě těchto opatření byl upraven konstrukční návrh (viz kap. 3.5, obr. 3.19, 3.20, 3.21), pro který byly zopakovány vybrané laboratorní zkoušky.

Dle charakteru dílů je zřejmé, že jejich prioritním úkolem má být schopnost vytvořit dostatečně pevné spojení pevného skla a rámu dveří. Síly působící na pevné sklo mohou být vyvolány např. aktivací hlavového airbagu nebo pokusem o násilné vniknutí do automobilu. Pokud by byly tyto díly nedostatečně dimenzované, může dojít např. při autonehodě k ohrožení zdraví přepravovaných osob na zadních sedadlech.

K ověření sil, kterým musely být nové díly schopné odolat, tak byla stanovena metodika, která měla zajistit jejich dostatečnou kontrolu před uvolněním do sériové výroby. Tato metodika zahrnuje návrh a výrobu zkušebních přípravků, návrh zkušebních postupů a jejich vyhodnocení.

Provedení zkoušek bylo realizováno v rámci dostupného vybavení laboratoře Henniges Mladá Boleslav. Pro co nejvyšší úsporu nákladů byl brán při návrhu přípravků zřetel na jejich snadnou výrobu pomocí běžně dostupných technologií (soustružení, frézování, svařování). Z tohoto důvodu tak byl způsob provedení některých zkoušek určitým kompromisem mezi jejich užitnou hodnotu a náklady spojenými na výrobu složitějšího přípravku. Vždy však ke stanovení zkušební metodiky bylo přistupováno tak, aby výsledky zkoušek pomocí navržených přípravků maximálně reprezentovaly skutečný stav testovaných dílů.

Výsledky měření zádržných sil prvního konstrukčního návrhu výměnného klipu byly velmi nepříznivé (viz kap. 3.4.1, tab. 8). Pro 10 zkoušených vzorků byla dosažena v průměru pouze poloviční síla předepsané hodnoty. V rámci konstrukčního návrhu dílu sice byl proveden zjednodušený kontrolní výpočet při zatížení 500N, ale jak se ukázalo při zkouškách vyrobených klipů, byl tento výpočet nedostačující. K porušení klipu při pevnostní zkoušce došlo na jiném

místě (viz kap. 3.4.1, obr. 3.14), než na místě které bylo považováno za kritický průřez dílu při provedeném kontrolním výpočtu. Při zatěžování se tak zřejmě projevila koncentrace napětí ve vrchní části klipu, které způsobilo porušení soudržnosti materiálu. Tento jev by pravděpodobně odhalilo provedení FEM simulace ve fázi návrhu 3D modelu a v tom případě by se dalo předejít výrobě nevyhovujících dílů. S využitím této analýzy by tak náklady na vývoj konstrukčního řešení výměnného klipu byly zřejmě nižší.

Nicméně na výsledek testů bylo nutné rychle reagovat a přijít s novým konstrukčním řešením pro odstranění tohoto problému. Proto byla navržena úprava původní konstrukce maximálním zesílením vrchní části klipu (viz kap. 3.5, obr. 3.19) s ohledem na tolerance vůči plechům karoserie dveří. Při úpravě modelu výměnného klipu byly zohledněny také výsledky ostatních zkoušek, mezi které patří konstrukční opatření znemožňující chybnou montáž tzv. „poka-yoke“ (viz kap. 3.5, obr. 3.20) a vymezení vůle klipu distančním žebrem v otvoru v rámu dveří (viz kap. 3.5, obr. 3.21). Díky tomu, že veškeré provedené úpravy vedly ke zvětšení objemu dílu, nebyla úprava nástroje příliš nákladná, protože úprava spočívala „pouze“ v odebrání materiálu ze stávajícího nástroje dle geometrie nového výměnného klipu V1.

Pro novou verzi výměnných klipů V1 byly opakovány ty zkoušky, které měly u původního návrhu nevyhovující výsledek. Nový klip dosahoval při měření zádržných sil v průměru o 118% vyšší hodnoty než jeho předchůdce (viz kap. 3.6.1, tab. 11). O to více je tato hodnota překvapivá, srovnáme-li rozdíl objemů materiálu před a po úpravě, který byl pouhých 47,7 mm³. Vzhledem k celkovému objemu klipu, který byl 1379,7 mm³, se může zdát tento rozdíl zanedbatelný, ale jak je vidět, dojde-li ke zvětšení objemu byť o malou hodnotu na správném místě, můžeme dosáhnout diametrálně odlišných výsledků zádržných sil výměnného klipu.

Dalšími důležitými zkouškami byly zkoušky soudržnosti protikusu s obštíkem skla (viz kap. 3.4.3, obr. 3.16) a zkoušky odolnosti spoje výměnného klipu a pevného skla (viz kap. 3.4.4, obr. 3.17). Obě tyto zkoušky dosáhly uspokojivých výsledků již pro první konstrukční návrh dílů a nebyla proto v jejich souvislosti nutná jejich konstrukční úprava.



Vzhledem ke zvýšení zádržné síly nového výměnného klipu V1 musela být opakována zkouška odolnosti spoje výměnné klipu V1 a pevného skla (viz kap. 3.6.3, obr. 3.25). Na vzdory vyšší zádržné síle výměnného klipu V1 a tedy i většímu namáhání spoje výměnného klipu V1 a pevného skla, byly výsledky zkoušky vyhovující.

Důležité byly také ergonomické zkoušky, které se zaměřovaly zejména na montážní síly (kap. 3.4.2, tab. 9). Ty umožnily ověřit konstrukci dílů z hlediska jejich každodenní manipulace, a proto byly zavedeny požadavky na maximální montážní síly, které však nesměly být na úkor zachování funkce navržených dílů.

Při montážní zkoušce výměnného klipu do protikusu v pevném skle (viz kap. 3.4.2, obr. 3.15) bylo zjištěno nebezpečí nesprávné montáže, ke které mohlo dojít např. vlivem nepozornosti pracovníka při montáži. Šipka znázorňující směr montáže nebyla při montáži viditelná a tak mohlo dojít k záměně směru montáže. Proto byl v rámci úpravy konstrukčního návrhu výměnného klipu vytvořen prvek znemožňující nesprávnou montáž, tzv. „poka-yoke“ (viz kap. 3.5, obr. 3.20), jehož funkce byla ověřena opakováním montážní zkoušky výměnného klipu V1 do protikusu (viz kap. 3.6.2, obr. 3.23). S ohledem na předepsané montážní síly byly navržené díly vyhovující, v některých případech s výraznou rezervou.

Jednou z posledních zkoušek byla montáž kompletního dílu pevného skla na rám dveří os. automobilu. Díky tomu bylo možné ověřit funkčnost všech konstrukčních prvků sloužících pro spojení pevného skla s rámem dveří s ohledem na okolní díly těsnění. Po montáži však vznikla spára mezi střešním profilem těsnění vedení skla a obstřikem dělicího sloupku (viz kap. 3.4.5, obr. 3.18). Při hodnocení montážní zkoušky je nutné si uvědomit, že poloha pevného skla na rámu dveří není dána pouze konstrukcí výměnného klipu, ale závisí také na dalších konstrukčních prvcích pevného skla a v neposlední řadě také na přesnosti vyrobeného rámu dveří. Nicméně v rámci návrhu nové varianty výměnného klipu byla provedena jednoduchá úprava přidáním distančního žebra. To se nakonec ukázalo jako dostatečné řešení a po montáži pevného skla s klipem V1 spára nevznikla (viz kap. 3.6.4, obr. 3.24).



5. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byl návrh konstrukce nového spoje pro upevnění skla na rám dveří osobního automobilu. Na začátku teoretické části byl nejprve popsán díl pevného skla, jeho umístění na karoserii osobního automobilu a krátká charakteristika. Dále byla teoretická část věnována popisu materiálů a výrobních technologií aplikovaných při výrobě pevného skla. V teoretické části byly také popsány zásady konstruování plastových dílů s ohledem na použité materiály a obecná metodika pro návrh plastových dílů. Na závěr teoretické části bylo popsáno využití výpočetní techniky pro konstrukci plastových dílů pevného skla.

V experimentální části byl nejprve proveden rozbor současného konstrukčního řešení spoje pevného skla a rámu dveří, dle kterého byla formulována základní myšlenka pro nový konstrukční návrh. Touto myšlenkou bylo vytvoření spoje pevného skla s rámem dveří pomocí výměnného montážního klipu. Důležitou oblastí experimentální části bylo vytvoření metodiky laboratorních testů, na základě kterých bylo možné ověřit vlastnosti navržených dílů. Výsledky některých zkoušek však byly pro navrženou konstrukci výměnného klipu velmi nepříznivé. Na základě výsledků laboratorních zkoušek tak byla provedena úprava konstrukce výměnného klipu a výroba nových dílů. Následovala kontrola těchto dílů opakováním vybraných laboratorních zkoušek. Dle získaných výsledků z opakovaných zkoušek pro novou konstrukci výměnného klipu byla potvrzena správnost provedené konstrukční úpravy.

Výsledkem experimentální části tak byl nový konstrukční návrh spoje pevného skla a rámu dveří, který odpovídal všem stanoveným požadavkům.

Ekonomické zhodnocení nového konstrukčního řešení bylo provedeno porovnáním výrobních nákladů pevného skla se stávajícím a novým konstrukčním řešením spoje, které je uvedeno v tabulce 4.1.

Tab. 4.1: Porovnání výrobních nákladů stávajícího a navrhovaného konstrukčního řešení

	Pevné sklo s integrovaným klipem (stávající řešení)	Pevné sklo s výměnným klipem (nové řešení)
Náklady na výrobu pevného sloupku [Kč/ks]	13,152	11,234
Náklady na výrobu výměnného klipu [Kč/ks]	0,000	0,521
Náklady na ruční založení protikusu do formy [Kč/ks]	0,000	0,057
Náklady na ruční montáž výměnného klipu [Kč/ks]	0,000	0,055
Náklady na obstřík termoplastickým vulkanizátem (TPV) [Kč/ks]	43,292	43,840
Σ :	56,444 Kč	55,706 Kč

Dle porovnání výrobních nákladů vyplývá, že navrhované řešení je o 0,738 Kč levnější než původní. To je zjevně dáno podstatně nižšími náklady na výrobu nového pevného sloupku bez integrovaného klipu. Cenu naopak zvyšují náklady na výrobu protikusu a nového výměnného klipu. Dále také náklady na vložení protikusu do formy pro obstřík skla a náklady na montáž klipu zvyšují konečnou cenu pevného skla. Vzhledem k dalšímu zálisku ve formě se také zvýšily náklady na obstřík termoplastickým vulkanizátem (TPV).

I přes veškeré vícenáklady spojené s výrobou nového pevného skla s výměnným klipem, celkové výrobní náklady nepřesahují náklady stávajícího konstrukčního řešení.

Další výhodou nového konstrukčního řešení je výše nákladů na opravu pevného skla při poškození klipu. Jelikož v případě poškození integrovaného klipu stávajícího konstrukčního řešení není možná jeho oprava, musel být vyměněn celý díl, a tím se náklady na opravu rovnaly ceně nového dílu.

Naproti tomu při poškození výměnného klipu nového konstrukčního řešení lze tento díl jednoduše vyměnit a náklady na opravu se tak rovnají pouze ceně nového výměnného klipu, což je zanedbatelná částka.



Nevýhodami nového konstrukčního řešení jsou vyšší pracnost pro výrobu nového pevného skla s výměnným klipem a také rizika plynoucí z rozšíření sortimentu nakupovaných dílů.

Vyšší pracnost pro výrobu nového pevného skla s výměnným klipem je spojena s nutností ručního vkládání protikusu do formy pro obstřík skla a následnou montáží výměnného klipu do pevného skla.

Tyto nevýhody však byly převáženy příznivými výrobními náklady a zanedbatelnými náklady na opravu v případě poškození montážního klipu. Nové konstrukčního řešení spoje pevného skla a rámu dveří tak bylo aplikováno pro sériovou výrobu.



SEZNAM LITERATURY

- [1] BĚHÁLEK, L. *Polymery*. Svitavy: SOU Svitavy, 2014.
ISBN 978-80-88058-68-7
- [2] BĚHÁLEK, L.: *Přehled základních termoplastů, rektoplastů a termoplastických elastomerů* [online].
Liberec: TU v Liberci - FS, Katedra strojírenské technologie, VIP.
2006. [cit. 2015-02-01]. Dostupné na WWW:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/VIP%20PLASTY.pdf
- [3] ESSENTRA COMPONENTS: *Databáze produktů* [online].
[cit. 2015-03-15] Dostupné na WWW:
<http://www.essentracomponents.cz/nyty-a-zatlacovaci-prvky>
- [4] LENFELD, P.: *Technologie II: 2.část - Zpracování plastů* [online].
Liberec: TU v Liberci - FS, Katedra strojírenské technologie. 2009. [cit. 2015-03-16]. Dostupné na WWW:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [5] ZEMAN, L.: *Konstrukční kompozity na bázi polypropylenu (část 1.)*
PlasticPortal.eu[®] [online]. 2013. [cit. 2015-03-11].
Dostupné na WWW: <http://www.plasticportal.sk/sk/konstrukcni-kompozity-na-bazi-polypropylenu/c/2040>
- [6] DAŘOUREK, K.: *Kompozitní materiály*. TU v Liberci – FS, Katedra materiálu [online]. 2010. [cit 2015-03-12]. Dostupné na WWW:
http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KM/Kompozity%20Dad/02defrozd.pdf
- [7] MEISSNER B.; ZILVAR V.: *Fyzika polymerů, Struktura a vlastnosti polymerních materiálů* [online]. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury. 1987. [cit. 2015-03-19] Dostupné na WWW:
<http://old.vscht.cz/pol/Fyzika%20polymeru/Fyzika%20polymeru.htm>



- [8] DUCHÁČEK, V.: *Termoplastické elastomery – moderní polymerní materiály*. [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická. 1997. [cit. 2015-03-19]. Dostupné na WWW:
http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_01_23-29.pdf
- [9] DUBININ, S.; DUCHÁČEK, V.: *Termoplastické vulkanizáty*. [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická. 2008. [cit. 2015-03-19]. Dostupné na WWW:
http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2008_03_166-172.pdf
- [10] RULFOVÁ, D.: *Termoplastické elastomery, termoplastické vulkanizáty (situační zpráva)*. Zlín: Institut pro testování a certifikaci a.s.. 2009. 91s
- [11] Henniges Hranice s.r.o.: Firemní materiály
- [12] AUSPERGER, A.: *Proces vývoje vstříkovaného dílu (2. přednáška)* [online]. 2014. [cit. 2015-03-19]. Dostupné na WWW:
<http://www.spstrplz.cz/admin/files/Media/PROJEKTY-OPVK/0038/prednasky2014/ausperger2.pdf>
- [13] KOLOUCH, J.: *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstříkovaním*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury. 1986. 226s.
- [14] ŠUBA, O.: *Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů*. 2. vydání. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. 104s.
ISBN 978-80-7318-431-5
- [15] ČILLÍK, L; ŽARANY, M.: *Metodika konštruovania*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině. 2002. 191s. ISBN 80-7100-934-2
- [16] TÝŘ, J.: *Příprava vstupních geometrických dat pro MKP softwary*. [online]. [cit. 2015-03-29]. Dostupné na WWW:
http://blade1.ft.tul.cz/cgi-bin/elearning/elearning.fcgi?page=publ&action=showThemeContentT ext&item=401&theme_id=36



SEZNAM PŘÍLOH

1. **Materiálový list PA66 GF40 (výměnný klip)**
2. **Materiálový list PP GF40 (protikus)**
3. **Materiálový list TPV 60ShA (obstřík)**
4. **Výkresová dokumentace přípravku č. 1**
5. **Výkresová dokumentace přípravku č. 2**
6. **Výkresová dokumentace přípravku č. 3**