

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie Ú12133

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Konstrukční návrh a materiálové řešení zakrytování bočního světla automobilu



Vypracoval: Bc. Tomáš Zdarsa

Vedoucí práce: Ing. Barbora Bryksí Stunová, Ph.D

Praha 2021

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, a že jsem využil pouze podkladů uvedených v příloženém seznamu.

V Praze dne

.....
Tomáš Zdarsa

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval paní Ing. Barboře Bryksí Stunové, Ph. D., za trpělivost, vedení práce a pozitivní podporu skrze posledního půl roku. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Čápovi, Ph.D., a panu Ing. Davidu Kovandovi za příležitost spolupráce na zajímavém tématu diplomové práce a cenné rady z hlediska konstrukce. Rád bych také poděkoval své rodině a přátelům. Rodině, že mě celých 8 let podporovala ve studiu jak psychicky, tak i finančně, a přátelům, kteří mě donutili to nevzdat. Bez Vás bych to nezvládl.

Anotace

Jméno autora:	Bc. Tomáš Zdarsa
Název diplomové práce:	Konstrukční návrh a materiálové řešení zakrytování bočního světla automobilu
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Barbora Bryksí Stunová Ph.D.
Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Akademický rok:	2020/2021

Diplomová práce řeší výběr materiálu, technologické požadavky a konstrukční návrh krytu optické soustavy umístěné v automobilu. Obsahuje rešerši plastových materiálů používaných v automobilovém průmyslu, uvádí jejich výhody a nevýhody pro řešenou aplikaci a nabízí konkrétní materiál, vhodný pro vstřikování plastů. Práce dále řeší technologické požadavky na konstrukci z hlediska technologie vstřikování plastů, kde se zabývá také otázkou spojování materiálů a stupňů krytí. Diplomová práce poté nabízí a popisuje návrh konstrukčního řešení jednotlivých dílů. Pro vybrané díly je vytvořeno a zhodnoceno několik ideových variant zaformování.

Klíčová slova: optická soustava, polymery, vstřikování plastů, technologičnost konstrukce

Annotation

Author:	Bc. Tomáš Zdarsa
The title of diploma thesis:	Construction design and material solution for covering the side light of a car
Supervisor:	Ing. Barbora Bryksí Stunová Ph.D.
Department:	Department of manufacturing technology
Academic year:	2020/2021

The diploma thesis deals with the choice of material, technological requirements and design of the cover of the optical system located in the car. It contains a search of plastic materials used in the automotive industry, lists their advantages and disadvantages for the application and offers a specific material suitable for plastic injection. The work also addresses the technological requirements for the structure in terms of plastic injection technology, where it also addresses the issue of joining materials and degrees of protection. The diploma thesis then offers and describes the design of individual parts. Several variants of molding are created and evaluated for selected parts.

Keywords: optical system, polymers, injection moulding, technological design

Obsah

Úvod.....	10
1. Materiály užívané v automobilovém průmyslu.....	11
1.1 Zastoupení materiálů v automobilu	11
1.2 Plastové materiály v automobilu	12
1.3 Vlastnosti plastů užívaných v automobilovém průmyslu:.....	13
1.3.1. Polypropylen (PP).....	13
1.3.2. Polyuretan (PUR).....	14
1.3.3. Polyvinylchlorid (PVC)	15
1.3.4. Akrylonitril-butadien-styren (ABS).....	16
1.3.5. Polyamid (PA).....	17
1.3.6. Polyethylen (PE).....	18
1.3.7. Polykarbonát (PC)	19
1.3.8. Srovnávací tabulky komerčně dostupných polymerů	20
1.5 Vybraný materiál	26
2. Konstrukce výstřiků.....	27
2.1 Konstrukční řešení výstřiku.....	30
2.1.1. Poloha dělicí roviny.....	31
2.1.2. Tloušťka stěny	32
2.1.3. Rovnoměrnost stěny.....	33
2.1.4. Zaoblení.....	33
2.1.5. Úkopy	34
2.1.6. Ostré hrany.....	34
2.1.7. Žebrování.....	34
2.1.8. Konstrukce komínků.....	35
3. Tolerance plastových výstřiků.....	37
4. Stupně krytí dle EN 60529.....	39
5. Problematika spojování výstřiků.....	41

5.1	Svařování plastů	41
5.1.1.	Svařování třením.....	41
5.1.2.	Svařování ultrazvukem.....	42
5.2	Lepení.....	43
5.3	Mechanické spojení.....	44
5.3.1.	Spojení pružným zaskočením	44
5.4	Výběr metody spojování	45
6.	Návrh konstrukce	46
6.1	Zadání.....	46
6.2	PCB deska.....	47
6.3	Chladič.....	48
6.4	Spodní kryt výrobku	49
6.5	Víko krytu.....	51
6.6	Kompletace sestavy	52
7.	Ideový návrh zaformování vybraných výrobků	54
7.1	Násobnost a rozmístění ve formě.....	54
7.1.1.	Návrh č.1 – Samostatná forma pro kryt a pro víko krytu.....	54
7.1.2.	Návrh č.2 – 2 formy, obrácená orientace výstřiku.....	57
7.1.3.	Návrh č. 3 – Společná forma pro kryt i víko krytu.....	59
7.2	Rozpracování nejvhodnější varianty.....	61
7.3	Vtoková soustava	62
7.4	Umístění vyhazovačů.....	64
7.5	Výběr vstřikovacího stroje	66
7.5.1.	Výpočet uzavírací síly.....	66
7.5.2.	Výběr vstřikovacího stroje.....	67
8.	Závěr	68
9.	Bibliografie	70
10.	Seznam tabulek a obrázků	73

10.1	Seznam tabulek.....	73
10.2	Seznam obrázků.....	74

Úvod

Automobilový průmysl je jedním z největších průmyslových odvětví zpracovávajících konstrukční materiály. Při výrobě automobilů jsou v sázce lidské životy, proto je zvyšování spolehlivosti a trvanlivosti užívaných materiálů důležitým problémem materiálového inženýrství.

V současnosti jsou v automobilovém průmyslu využity téměř všechny druhy materiálů. Nejvíce zastoupené jsou materiály kovové, které mají větší hustotu, ale nižší odolnost vůči korozi a dalším chemickým a povětrnostním vlivům. Jsou také špatnými izolátory elektřiny i tepla a špatně tlumí chvění. Pro zlepšení těchto vlastností je často potřeba zvýšit cenu, či zhoršit jiné technologické vlastnosti, proto se v současné době automobilový průmysl stále více přiklání k materiálům nekovovým, především plastům.

Polymerní materiály jsou dobře zpracovatelné a na jejich výrobu je nutné vynaložit méně energie než na výrobky z kovů. Mají také oproti kovům nižší měrnou hmotnost a jsou odolnější proti korozi. Jednou z hlavních výrobních technologií, která je využívána k výrobě plastových dílů v automobilovém průmyslu, je vstřikování.

Konstrukční návrh a materiálové řešení zakrytování optické soustavy bočního světla automobilu obsahující plastové součásti vyráběné technologií vstřikování byl cílem této diplomové práce.

Cíle práce:

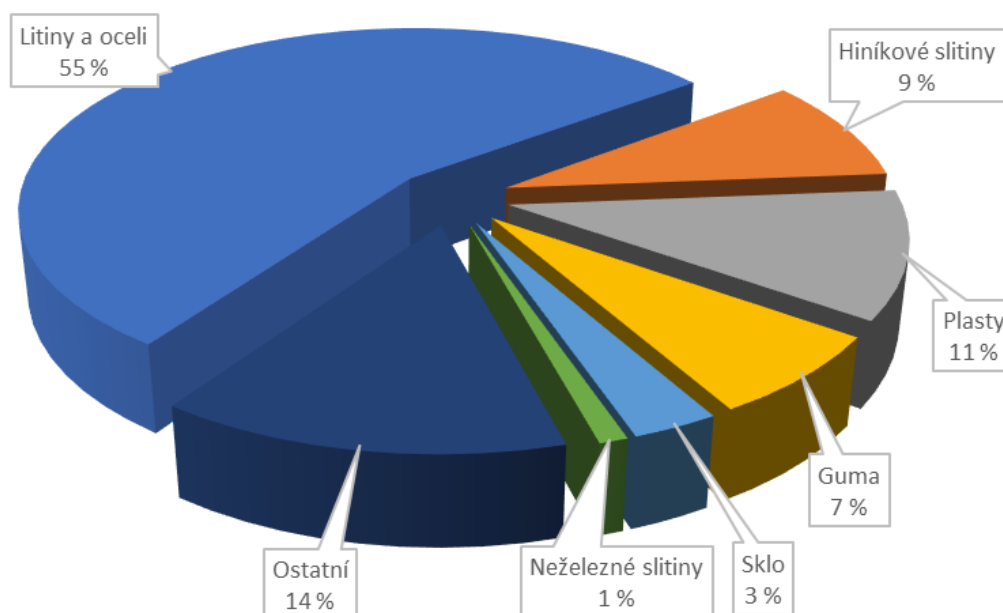
- Materiálová řešení pro danou aplikaci.
- Shrnutí požadavků na díly z pohledu technologičnosti konstrukce pro vstřikování.
- Konstrukční návrhy jednotlivých dílů.
- Ideové návrhy zaformování vybraných dílů s ohledem na hromadnou výrobu.

1. Materiály užívané v automobilovém průmyslu

1.1 Zastoupení materiálů v automobilu

Moderní automobil se skládá z více než 55 % z litiny a oceli. Plastové komponenty tvoří 11 %, hliníkové slitiny 9 %. Následuje guma (7 %) a sklo (3 %). Ostatní materiály, např.: elektrické kabely, laky, obkladové materiály tvoří dohromady 13,5 % objemu automobilu. (Ajshat Patil, 2017)

Hmotnostní zastoupení materiálu v automobilu

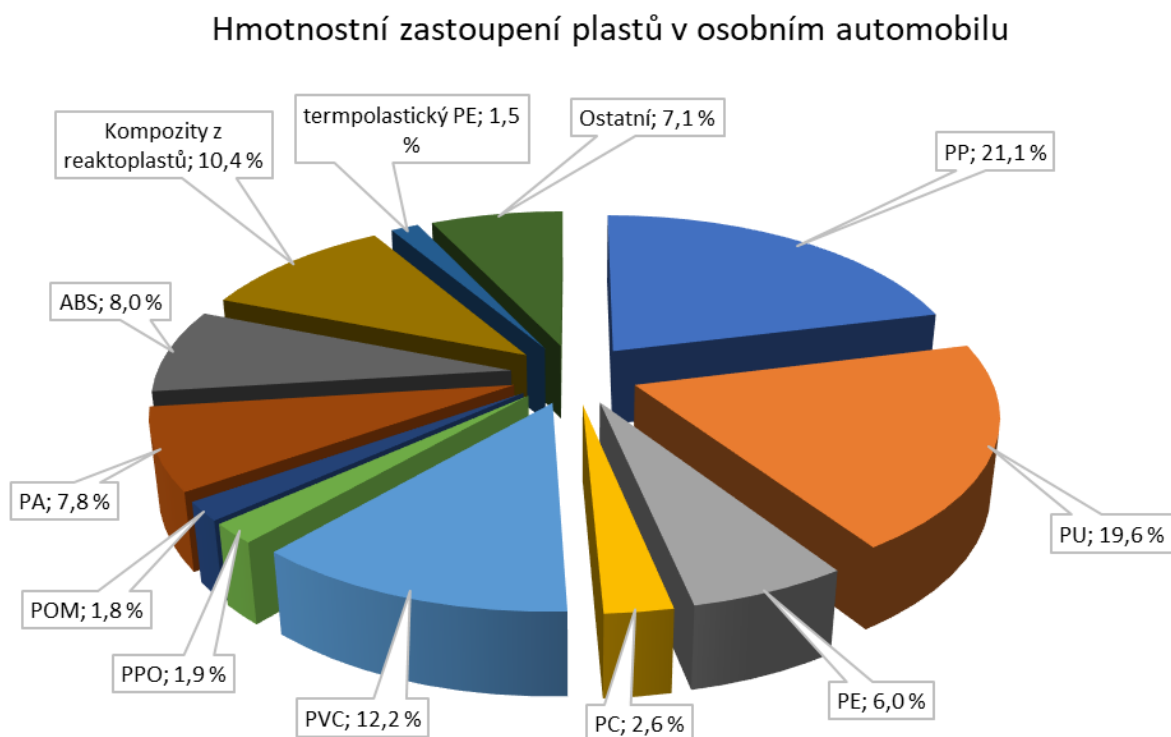


Obrázek 1 – Hmotnostní rozložení materiálů používaných při výrobě automobilu, převzato z („ Katarína Szeteiová)

1.2 Plastové materiály v automobilu

Plastové součásti jsou nejmladší z konstrukčních materiálů využívaných v automobilovém průmyslu. Počátky průmyslového využití plastů sahají do období po první světové válce, kdy proběhly první pokusy zjednodušit výrobu automobilu použitím součástí vyrobených ze syntetických materiálů. Technologické možnosti tehdejší doby však nebyly dostačující vytvořit materiál potřebné pevnosti, proto byly první plastové komponenty používané pouze dekorativně. Od padesátých let dvacátého století však nastal prudký rozvoj plastů, a do dnešní doby se jejich růst dále stupňuje. V dnešní době je díky vývojovým pokrokům možné vytvořit materiály, které svojí tvrdostí a pevností překonávají klasickou ocel. Díky aplikaci skelných vláken lze vytvořit pevnou matici schopnou rozložit zátěž po celém povrchu součásti. („", Katarína Szeteiová)

Na následujícím grafu lze pozorovat procentuální zastoupení jednotlivých plastů v osobním automobilu v roce 2015. S 21,1 % převládá polypropylen, následuje 19,6 % polyuretanu a 12,2 % polyvinylchloridu. (Hongshen Zhang, 2014)



Obrázek 2 – Procentuální rozložení plastů v osobním automobilu, převzato z (Hongshen Zhang, 2014)

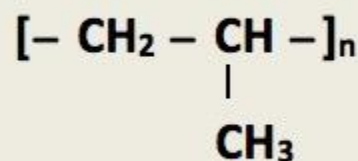
Tabulka 1 – Hmotnostní rozložení plastů v běžném osobním automobilu, převzato z (Hongshen Zhang, 2014)

Součást	Typ běžně užívaného plastu	Hmotnost [kg]
Nárazníky	PS, ABS, PC	10
Sedačky	PUR, PP, PVC, ABS, PA	13
Přístrojová deska	PP, ABS, SMA, PE, PC	7
Palivový systém	HDPE, POM, PA, PP, PBT	6
Součásti karoserie	PP, PE	6
Komponenty pod kapotou	PA, PP, PBT	9
Vnitřní obložení	PP, ABS, PET, POM, PVC	20
Elektrické komponenty	PP, PE, PBT, PA, PVC	7
Vnější obložení	ABS, PBT, PMMA	4
Čalounění	PVC, PUR, PP, PE	8
Světla	PC, PBT, ABS, PMMA, UP	5
Nádrže tekutin	PP, PE, PA	1

1.3 Vlastnosti plastů užívaných v automobilovém průmyslu:

1.3.1. Polypropylen (PP)

Polypropylen je semikrystalický termoplast, jeho vlastnosti značně ovlivňuje index izotakticity. Jedná se o nepolární termoplast, který je odolný vůči polárním rozpouštědlům, kyselinám, zásadám a solím. Je velmi hořlavý a vyznačuje se nejnižší hustotou ze všech nelehčených plastů. Je tvarově stálý za zvýšených teplot (, n. d.)



Obrázek 3 – Vzorec PP (, n. d.)

Polypropylen je jedním z nejvíce univerzálních plastů a je používán napříč většinou průmyslu. V automobilovém průmyslu je nejužívanějším plastem a jeho použití se liší v závislosti na molekulární hmotnosti, způsobu výroby a přidaných kopolymerů. Polypropylen byl také úspěšně použit na formování vláken díky své vysoké pevnosti v tahu.

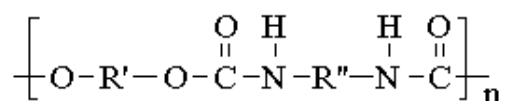
Tabulka 2 – Typické vlastnosti PP, převzato z (Netzsch, n. d.)

Hustota [kg/m ³]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skelného přechodu [°C]	Teplota tání [°C]	Délková teplotní roztažnost [1*10 ⁻⁶ /K]
900 až 910	1300 až 1800	-20 až 20	160 až 165	75 až 80

Polypropylen je jedním z nejlehčích plastů, jeho hustota je 0,905 g/cm³. Vyznačuje se nízkou cenou a dobrými mechanickými vlastnostmi. Dobře se zpracovává, je otěruvzdorný a nárazuvzdorný. Je odolný vůči chemickým a povětrnostním vlivům a má nízký koeficient teplotní roztažnosti – je teplotně stálý. („", n. d.) („", n. d.)

Aplikace: Nárazníky, kapalinové nádrže, kabelové izolace, autobaterie, vnitřní a vnější koberce, čističe vzduchu, ovládací pedály apod.

1.3.2. Polyuretan (PUR)



Obrázek 4 – Vzorec PUR (, n. d.)

Polyuretany jsou velká skupina polymerů s širokým rozsahem vlastností a užití. Polyuretany mohou být termosety i termoplasty, tuhé a tvrdé, či měkké a ohebné – vše závislé na produktu reakce mezi organickým izokyanátem se sloučeninou obsahující hydroxylovou skupinu. Hlavní užití polyuretanu v automobilovém průmyslu je v povlacích, pružných součástech a také pěnách. Při konstrukci nosných dílů jsou ideálním materiálem tzv. sendviče, které se vyznačují vysokou pevností a zároveň malou hustotou. Jsou vyráběny z laminátových desek vyplněných polyuretanovou pěnou. (, n. d.)

Tabulka 3 – Typické vlastnosti PUR, převzato z (Netzsch, n. d.)

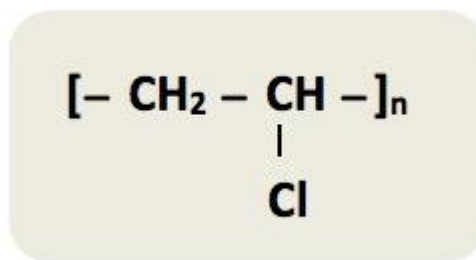
Hustota [kg/m ³]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skelného přechodu [°C]	Teplota tání [°C]	Délková teplotní roztážnost [1*10 ⁻⁶ /K]
1110 až 1710	-	10 - 180	-	130 až 200

Polyuretan má vynikající odolnost vůči opotřebení, ale má vysokou hysterezi. Polyuretan ve formě pěny je náchylný na přímé sluneční záření a rychle degraduje. Je také snadno rozpustný organickými rozpouštědly.

Aplikace: Ozubená ložiska a kola, loketní opěrky, obložení přístrojových desek a volantů, čalounění charakteru kůže.

1.3.3. Polyvinylchlorid (PVC)

PVC je amorfní termoplast, za běžných teplot tuhý, křehký, s malou rázovou houževnatostí a malým sklonem k tečení. Je samozhášivý a bez stabilizace neodolává UV záření. Při zpracování je důležité udržovat tepelnou stabilitu, protože je jeho procesní teplota (180 °C) velmi blízká teplotě degradace (190 – 200 °C). (, n. d.)



Obrázek 5 – Vzorec PVC (, n. d.)

Polyvinylchlorid je nejčastěji používán v měkčeném stavu na výrobu povlaků čalounění a potahů sedadel. Použití měkčeného polyvinylchloridu jako ochranné nátěrové vrstvy podvozku zdvojnásobilo průměrnou životnost moderních automobilů a drasticky snížilo potřebu servisování a oprav. Polyvinylchlorid je možné zpracovávat za pomoci extruze, odlévání, vstřikování i vyfukování plastů, a tím pádem nabízí široké spektrum použitelných produktů, které mohou být jak měkčené, tak tvrzené, v závislosti na množství použitých změkčovadel. (Ajshat Patil, 2017)

Tabulka 4 – Typické vlastnosti PVC, převzato z (Netzsch, n. d.)

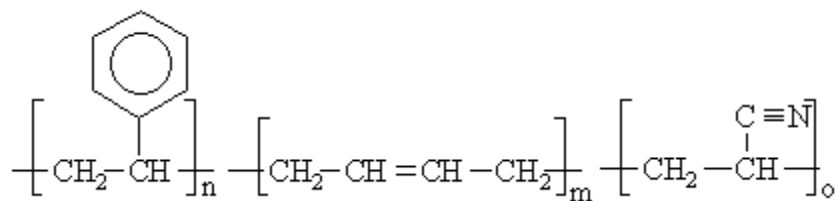
Hustota [kg/m ³]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skelného přechodu [°C]	Teplota tání [°C]	Délková teplotní roztahnost [1*10 ⁻⁶ /K]
1160 až 1350	25 až 1600	-50 až 80	-	60 až 120

Polyvinylchlorid je odolný vůči ohni a samozhášivý, má dobrou tepelnou stabilitu, velký lesk a minimální obsah těžkých kovů. Vinylová složka dodává polyvinylchloridu dobrou pevnost v tahu, je možné jej barvit a některé druhy se vyznačují dobrou flexibilitou.

Aplikace: Přístrojové desky, izolace elektrických kabelů, potrubí, lišty dveří, nátěry podvozků a palivové nádrže. (, n. d.) (Ajshat Patil, 2017)

1.3.4. Akrylonitril-butadien-styren (ABS)

ABS je amorfní termopolymer, jež vzniká kopolymerací akrylonitrilu, butadienu a styrenu. Akrylonitrilová složka dodává materiálu chemickou odolnost a vlivem butadienové složky se zároveň zvyšuje rázová houževnatost. Rázovou houževnatostí vyniká nad ostatní druhy používaných polymerů. Poměrem tří chemických složek ABS a jejich stavbou je možné vytvořit kopolymer s různorodými vlastnostmi. Ačkoli se jedná o amorfní plast, je díky své heterogenní struktuře neprůhledný. Dobře také odolává elektrostatickému náboji. (, n. d.)



Obrázek 6 – Vzorec ABS (, n. d.)

Kopolymer ABS začíná být v poslední době v automobilovém průmyslu široce uplatňován. Oblibě se ABS těší díky vysoké rázové houževnatosti a odolnosti proti chemikáliím. Styrenová složka polymeru dodává ABS lesklý vzhled, a gumová butadienová složka zase odolnost i za nízkých teplot. ABS lze jednoduše modifikovat pro posílení odolnosti vůči nárazu, tvrdosti, odolnosti vůči teplotě, počasí, chemii aj. Je tendencí vyrábět takové druhy ABS, které budou vyhovovat stále náročnějším požadavkům na konstrukci automobilů. (Ajshat Patil, 2017)

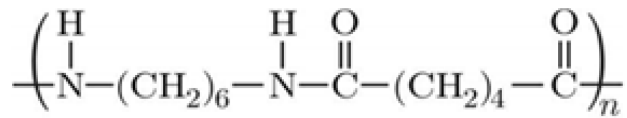
Tabulka 5 – Typické vlastnosti ABS, převzato z (Netzsch, n. d.)

Hustota [kg/m ³]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skelného přechodu [°C]	Teplota tání [°C]	Délková teplotní roztahnost [1*10 ⁻⁶ /K]
1030 až 1070	2200 až 3000	-95 až 125	-	80 až 100

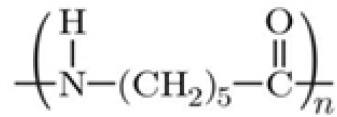
Aplikace: Ozdobné mřížky, znaky, obložení volantů, kryty, přístrojové desky, kryty disků kol, díly karoserie

1.3.5. Polyamid (PA)

Polyamidy jsou konstrukční semikrystalické termoplasty. Jedná se o lineární plasty, které jsou charakterizovány řetězcem, kde se pravidelně střídají amidové skupiny s větším počtem methylenových skupin. Dle způsobu výroby se dělí na druhy, značeny přídatným číslem, např. PA 6; PA 6,6; PA 6,12; PA 11 apod. Tato čísla charakterizují výchozí monomery podle počtu uhlíku v jejich molekulách. (, n. d.)



Polyamid 6,6



Polyamid 6

Obrázek 7 – Chemický vzorec polyamidu 6,6 a 6; převzato z („", n. d.), upraveno

Patří k nejhoubnatějším plastům, a tímto směrem je orientován jeho vývoj a použití v automobilovém průmyslu. V automobilovém průmyslu se nejčastěji třídy polyamidu PA 6; PA 6,6 a PA 4,6; a jsou často plněny 30 – 35 % skelných vláken. Užívají se k výrobě sacích potrubí automobilu, kde snižují hmotnost až o 50 %. („", n. d.) Stále častěji se využívá jako konstrukční prvek, oproti dosavadním běžným použitím na koberce a čalounění. Je často využíván při potřebě najít levný materiál, který má vysokou mez pevnosti, je stálý a tuhý. Jeho nevýhodou je fakt, že jednoduše nasává vodu. Polyamid tedy není vhodné aplikovat ve vlhkých a mokrých prostředích, neboť při nasátí vody expanduje a ztrácí svoji rozměrovou stabilitu. Jeho výhodou je vysoká odolnost proti opotřebení, samomazné vlastnosti a vysoká mechanická pevnost. (Ajshat Patil, 2017)

Tabulka 6 – Typické vlastnosti PA 6, převzato z (Netzsch, n. d.)

specifická hmotnost [kg/m ³]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skelného přechodu [°C]	teplota tání [°C]	délková teplotní roztažnost [1*10 ⁻⁶ /K]
1120 až 1150	2800	45 až 80	225 až 235	80 až 90

Aplikace: Ložiska a ozubená kola, čalounění, konstrukční prvky, ložiska, vačky.

1.3.6. Polyethylen (PE)

Polyethylen je důležitým členem skupiny polyolefinů, vyráběných polymerizováním ethylenu a je co do objemu vůbec nejrozšířenějším světovým plastem.

Jde o semikrystalický termoplast, s vlastnostmi závislými na molekulové struktuře: tvaru

makromolekul, jejich délce a stupni krystalinity. Podle způsobu výroby dělíme PE na vysokohustotní polyethylen PE-HD, kdy je tvar makromolekul lineární, a nízkohustotní polyethylen PE-LD, kdy je tvar makromolekul rozvětvený. Dále je možné se setkat se středněhustotním polyethylenem PE-MD, síťovaným polyethylenem PE-X a dalšími.

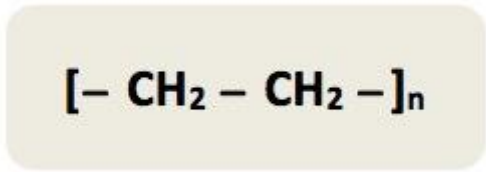
Polyethylen je nepolární, nenavlhavý plast, má dobré elektroizolační vlastnosti a odolává polárním rozpouštědlům, kyselinám, zásadám a solím. Tento termoplast je nabývá různých hodnot mechanických vlastností v závislosti na výrobním procesu. Polyethylen může být zpracován mnoha způsoby a je zvláště využíván v aplikacích, kde je zapotřebí nízké ceny a ochrany proti vlhkosti. Je využíván v průhledném barevném provedení na vyrovnávací nádrže a to společně s polyamidem.

Tabulka 7 – Typické vlastnosti PE, převzato z (Netzsch, n. d.)

Hustota [kg/m ³]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skelného přechodu [°C]	Teplota tání [°C]	Délková teplotní roztahnost [1*10 ⁻⁶ /K]
940 až 960	600 až 1400	-130 až -100	125 až 135	200 až 250

Vyznačuje se nízkou hustotou. Nízkohustotní polyethylen (PE-LD) má rozmezí hustoty mez 0,91 a 0,925 g/cm³, vysokohustotní polyethylen (PE-HD) nabývá hodnot od 0,935 do 0,96 g/cm³ a výše. Všechny typy PE jsou náchylné na UV záření, a jsou vysoce hořlavé.

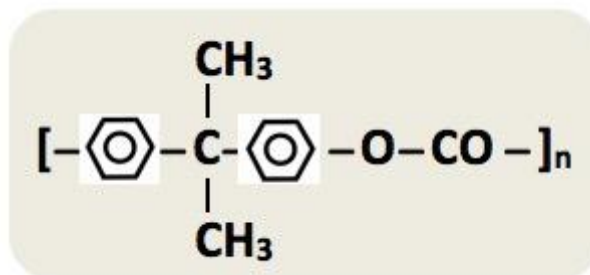
Aplikace: elektrická izolace, vyrovnávací nádrže, topné soustavy, sací potrubí



Obrázek 8 – Vzorec PE (n. d.)

1.3.7. Polykarbonát (PC)

Polykarbonát je amorfní, průhledný termoplast s dobrými mechanickými vlastnostmi. Dalšími vlastnostmi jsou dobrá tvrdost a tuhost, pevnost, houževnatost a lomová odolnost, kdy těleso nepraskne ani při prudkém nárazu. Je odolný vůči tečení díky teplotě zeskenění ($T_g = 150\text{ °C}$), a je dlouhodobě tepelně stálý do 135 °C . Je samozhášivý. Je částečně polární, což ho dělá částečně nasákavým. Nasákavost polykarbonátu neovlivňuje jeho materiálově užité vlastnosti, avšak při teplotách zpracování by způsobovala jeho degradaci.



Obrázek 9 – Vzorec PC (, n. d.)

Polykarbonát je jedním z nejtvrdších dostupných plastů. Je to materiál užívaný pro součástky, u kterých je potřeba vysoké odolnosti a trvanlivosti. Je využíván buď samotný, nebo vyztužen skelnými vlákny. Pro jeho výbornou odolnost vůči nárazu je často používán jako materiál pro výrobu nárazníků a neprůstřelných skel. (, n. d.)

Polykarbonát je jedním z nejtvrdších dostupných plastů. Je to materiál užívaný pro součástky, u kterých je potřeba vysoké odolnosti a trvanlivosti. Je využíván buď samotný, nebo vyztužen skelnými vlákny. Pro jeho výbornou odolnost vůči nárazu je často používán jako materiál pro výrobu nárazníků a neprůstřelných skel. (, n. d.)

Tabulka 8 – Typické vlastnosti PC, převzato z [5]

Hustota [kg/m ³]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skelného přechodu [°C]	Teplota tání [°C]	Délková teplotní rotažnost [1*10 ⁻⁶ /K]
1200 až 1240	2200 až 2400	140 až 150	-	75 až 80

Aplikace: Nárazníky, světlomety, neprůstřelná skla, bezpečnostní panely (, n. d.)

1.3.8. Srovnávací tabulky komerčně dostupných polymerů

Následující tabulka již porovnává vlastnosti konkrétních, komerčně vyráběných polymerů využívaných v automobilovém průmyslu. Je rozdělena na dvě části, přičemž první shrnuje mechanické vlastnosti, a druhá vlastnosti technologické. Pro vytvoření představy o tom, který materiál bude pro konstrukci řešenou v praktické části nejvhodnější, bylo vybíráno mezi polymery používanými pro externí aplikace (nárazníky, obložení, světla) i interiérové aplikace (přístrojové desky, vnitřní obložení.). Nejdůležitějším porovnávaným faktorem je koeficient délkové teplotní roztažnosti, kde je požadováno co nejnižší hodnoty. Konstrukce obsahuje malé optické komponenty, které požadují přesné uložení. Deformace tohoto uložení vlivem tepelné roztažnosti by mohlo zcela znemožnit fungování celého přístroje. Dalším z důležitých faktorů je rázová odolnost, která zajišťuje ochranu konstrukce před mechanickým poškozením cizími předměty, např. kameny. Další důležitou vlastností materiálu je odolnost vůči statickému náboji, a pokud možno co nejmenší nasákavost.

Cílem následujících tabulek bylo vytvořit přehled konkrétních materiálů využitelných pro zadanou konstrukci s tím, aby bylo zastoupeno co nejvíce druhů polymerů. Tabulka má sloužit pro určení nejvhodnějších polymerů, a zároveň jako podklad pro porovnání s dalšími, nezmíněnými, polymery.

Tabulka 9 – Fyzikální vlastnosti vybraných polymerů, informace o polymerech získány z (, n. d.)

Část 1. – fyzikální vlastnosti vybraných polymerů														
Typ plastu	Obchodní značka	Výrobce	Popis	užití	Hustota	Mez pevnost i v tahu	Mez kluzu	Modul pružnosti i v ohybu	Max. protažení	Rázová odolnost [kJ/m ²]		Koeficient délkové teplotní roztažnosti	Teplota křehnutí	Tvrdość
					[kg/m ³]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	%	při -20 °C	při 23 °C	mm/(mm.K) * 10 ⁻⁶	°C	
PP	Daplen EE002AE	Borealis AG	modifikovaný PP vyvinutý pro automobilový průmysl.	Nárazníky, vnější automobilové aplikace, vnější obložení aut	905	20	-	1000	-	9	65	100		
	Daplen EG107HP	Borealis AG	Modifikovaný PP s příměsí EPDM gumy a PE	Nárazníky, vnější obložení automobilů, boční prahy (rocker panel)	995	20	-	1750	-	6	40	70		
	Daplen EF109AE	Borealis AG	Modifikovaný PP s příměsí EPDM gumy a PE	Nárazníky, boční nárazníky a prahy	1050	16	-	1500	-	5	30	47		
	Daplen EE209AE	Borealis AG	Modifikovaný PP s příměsí EPDM gumy a PE	Nárazníky, vnější obložení automobilu	1040	16	-	1500	-	8	65	43		
	Epalex PDR 7455/2	PolyPacific	Modifikovaný PP s příměsí EPDM	Nárazníky	990	18		1270	440 %			70		29 (dle Rockwella-R)
PVC	Geon R1700E	Geon TM	flexibilní PVC s UV stabilizátorem, vhodné pro vstřikování	Nárazníky, obecné použití	1480	19,3	-	-	250 %				-1,11	58 (Shore - D)
	Geon R235AE	Geon TM	flexibilní PVC vhodné pro vstřikování	Nárazníky, profily	1400	18,6	-	-	280 %				-26,1	82 (Shore - D)
	Geon R356AE	Geon TM	flexibilní PVC s UV stabilizátorem	Nárazníky, profily	1330	18,6			380 %				-33,9	78 (Shore - D)

Typ plastu	Obchodní značka	Výrobce	Popis	Užití	Hustota	Mez pevnost i v tahu	Mez kluzu	Modul pružnosti i v ohybu	Max. protažení	Rázová odolnost [kJ/m ²]		Koefficient délkové teplotní roztažnosti	Teplota křehnutí	Tvrdost
										při -20 °C	při 23 °C			
ABS	LBM773B	Sindustris	ABS, vhodné pro vyfukování	Nárazníky, spoilery	1050	-	43	2130	30 %	9	19			98 (dle Rockwella - D)
	SP200	Polymaxx	ABS, vhodné pro vstřikování, s vysokou nárazovou pevností	nárazníky, díly motocyklů		-	42	2050		-	36			109 (dle Rockwella - R)
ABS	LG704W	LG Chem	Tepelně odolné ABS s nízkým leskem	Středové panely, kryty zrcátek	1050		53	2400	10 %	6	14			111 (dle Rockwella - R)
ABS	XR409H	LG Chem	Tepelně odolné ABS	Automobilová Vnitřní a vnější pouzdra	1060		49	2350	15 %	8	15			
PC PC/ABS	LEXAN SLX2271T	SABIC	Nízkoviskózní PC/ABS kopolymer se zvýšenou UV stabilizací. Dostupný v barevných variantách	exteriéry automobilů	1200	67	65	2400	6 %	15	65	70		
	LEXAN XHT3171	SABIC	PC kopolymer, umožňuje vytvoření tenkých stěn a komplexních designů. Dostupný v barevných variantách	exteriérové a interiérové součástky automobilu	1200	75	60	2500	7 %	9	10	60		
	LEXAN 123X	SABIC	Čistý PC s vynikající zpracovatelností, UV stabilizován	Exteriérové součástky automobilu, osvětlení automobilu	1200	60	60	2320	6 %	12	65	60		

Typ plastu	Obchodní značka	Výrobce	Popis	Užití	Hustota	Mez pevnosti v tahu	Mez kluzu	Modul pružnosti v ohybu	Max. protažení	Rázová odolnost [kJ/m ²]		Koefficient délkové teplotní roztažnosti	Teplota křehnutí	Tvrdost
										při -20 °C	při 23 °C			
PC PC/ABS	CYCOLOY C6600	SABIC	PC/ABS směs, s vysokou odolností proti nárazu. Dobrá chemická odolnost	exteriérové a interiérové součástky automobilu,	1190	60	50	2700	4 %	10	15	70		122 (Rockwell R)
	PULSE XT7215	TRINSEO	PC/ABS směs pro automobilové exteriérové prvky vyžadující nízkou tepelnou roztažnost	Střešní spoiler, vnější obložení,	1250	52	-	4100	15 %	-	10	35-40		
	Makrolon GF9002	Covestro	PC s 10 % skelných vláken. Neprůhledná barva, možnost tenkých stěn	Elektronické součásti, kryty s nízkou tloušťkou stěny	1270	60		3900	4,5 %	40	100	40		
	Makrolon 2207	Covestro	PC pro obecné použití, s nízkou viskozitou, v neprůhledných barvách	obecné použití	1190	65	-	2400	7 %	12	55	65		
	Cycloy RESIN XCY620	SABIC	Kopolymer PC/ABS, dostupný v černé barvě	interiéry vozidel	1140	54		2300	4,5 %	45	60	70		

Tabulka 10 – Technologické parametry vybraných polymerů, informace o polymerech získány z (, n. d.)

Část 2 – Technologické parametry vybraných polymerů												
Typ plastu	Obchodní značka	Objemový index toku taveniny	Hmotnostní index toku taveniny	Smrštění	Teplota vstřikování	Teplota formy	Teplota tání	Standardní teplota tání	Teploty v komoře šneku [°C]			
									cm ³ /10 min	g/10 min	%	°C
PP	Daplen EE002AE		11			30-50	220-260					40-80
PP	Daplen EG107HP		22			30-50	230-280					40-80
PP	Daplen EF109AE		20			30-50	220-260					40-80
PP	Daplen EF209AE		22			30-50	220-260					40-80
PP	Epalex PDR 7455/2		14	0,8-1,1		20-60		230	200-260			
PVC	R1700E						193-210					
PVC	R235AE						193-204					
PVC	R356AE						188-199					
ABS	LBM773B		3	0,4-0,7			200-210					
ABS	SP200		17				190-240					
ABS	LG704W	7				40-60	220-250		220-230	220--230	200-220	180-200
ABS	XR409H	3				40-60	230-260		230-240	230-240	210-230	180-210
PC	SLX2271T	16		0,5-0,7		80-110	280-310		270-290	280-310	270-290	260-280
PC	HXT3171	38		0,7 - 1		58-130	290-350		285-345	290-350	280-340	270-330
PC	Lexan 123X	18		0,4-0,8		70-95	295-315		290-310	295-315	280-305	270-295

Část 2 – Technologické parametry vybraných polymerů

Typ plastu	Obchodní značka	Objemový index toku taveniny cm ³ /10 min	Hmotnostní index toku taveniny g/10 min	Smrštění %	Teplota vstřikování °C	Teplota formy °C	Teplota tání °C	Standardní teplota tání °C	Teploty v komoře šneku [°C]			
									na špičce	2	3	4
PC	Cycloy C6600	16		0,4-0,6		70-85	250-270		250-270	250-270	240-260	230-250
PC	Makrolon 2207	34		0,6	280	80	280-320	300	270-305	285-305	270-290	250-270
PC	Makrolon GF9002	15		0,5	300	110	280-320	300	270-305	285-305	270-290	250-270
PC	Cycloy XCY620	18		0,5-0,7		60-90	260-290		240-280	250-290	250-290	230-260

1.5 Vybraný materiál

Po zvážení předností materiálů vypsanych v kapitole 1.3.8 byly jako nejvhodnější vybrány tyto materiály:

Tabulka 11 – Tabulka užitných vlastností vhodných materiálů

Typ plastu	Obchodní značka	Popis	Užití	Hustota	MVR ¹	Smrštění	Rázová odolnost	α^2
				[kg/m ³]	[cm ³ /10 min]	[%]	[kJ/m ²]	[mm/(mm *K)*10 ⁻⁶]
PC	Makrolon GF9002	PC s 10 % skelných vláken. Neprůhledné	Elektronické součásti, kryty s nízkou tl. stěny	1270	16	0,5-0,7	40	40
PC/ABS	SLX2271T	Nízkoviskózní kopolymer PC/ABS. Dostupný v barevných variantách	Exteriérové a interiérové aplikace automobilu	1200	15	0,5	65	70

Materiály vybrané v předchozí tabulce se nejvíce přibližují požadovaným kritériím. Svými vlastnostmi jsou velmi podobné. Oba materiály jsou vhodné pro vstřikování, používají se na tenkostěnné výrobky v automobilovém průmyslu, oba mohou být neprůhledné. Smrštění po zchlazení je minimální a teplotní roztažnost je také nízká. Polykarbonát Makrolon GF9002 byl původní volbou číslo jedna, zejména pro svoji tepelnou stálost a užití skelných vláken.

Po konzultacích se zadavatelem a firmou SABIC byl však jako nejvhodnější materiál vybrán kopolymer PC/ABS SLX2271T. Ten zajišťuje lepší ochranu před nežádoucími povětrnostními vlivy a je také více odolný vůči poškození.

¹ - objemový tok kapaliny

² - Koeficient délkové teplotní roztažnosti

2. Konstrukce výstřiků

Při konstrukci výstřiků je nejprve nutné zjistit o výsledném výrobku co nejvíce informací a předem si odpovědět na otázky, které s jeho konstrukcí přímo souvisí. V knize vstřikování plastů teorie a praxe (ZEMAN, 2018) je seznam otázek uveden takto:

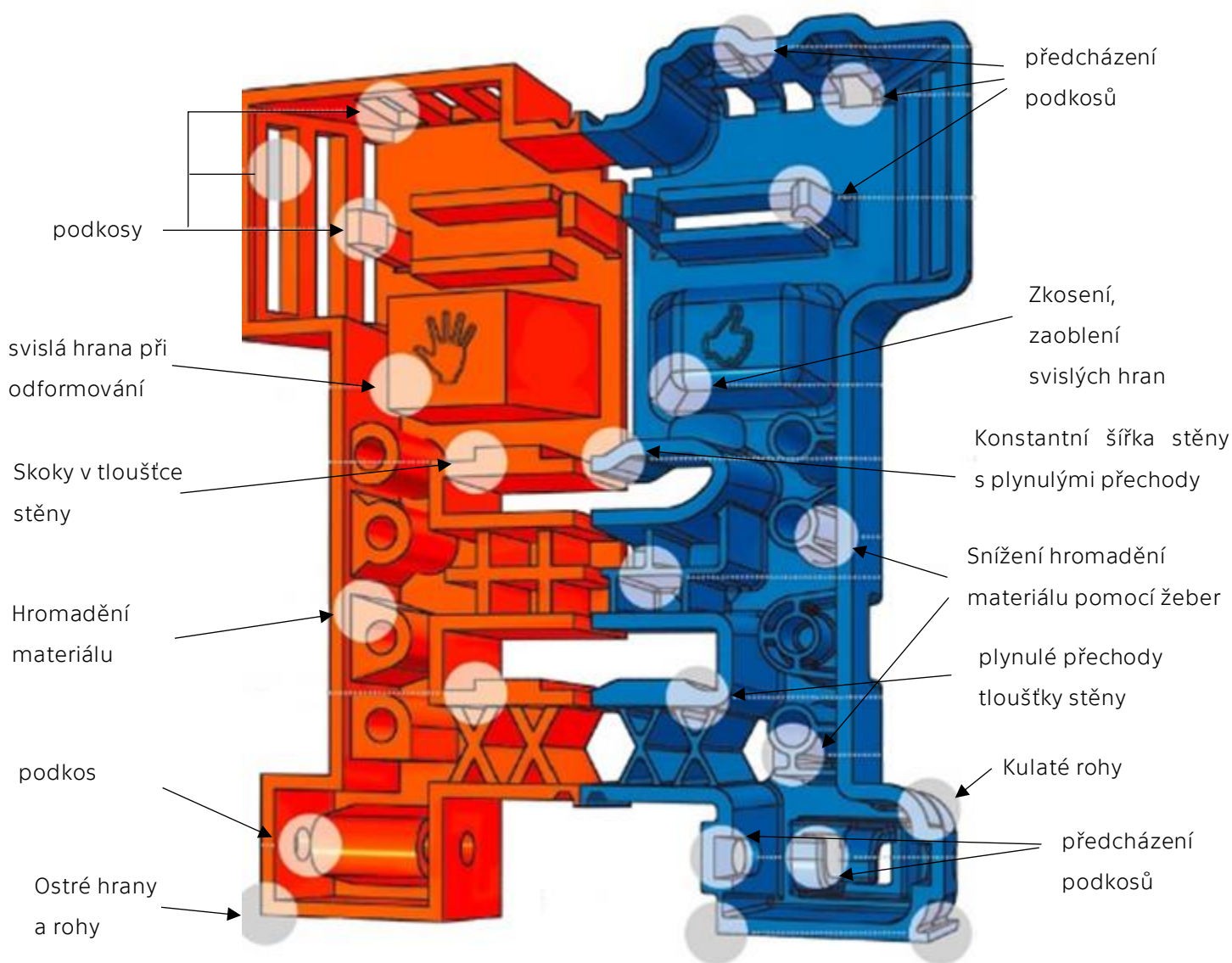
- Základní informace:
 - Vyvíjeli jsme již podobný díl?
 - Jaké pro nás nové funkce má nový výstřik mít?
 - Jedná se pouze o novou velikost (zvětšení/zmenšení) stávajícího produktu?
 - Je možné upravit geometrii již vyráběného kusu a tím vytvořit nový?
 - Vyžaduje díl nové materiálové řešení?
 - Jsou k dispozici literární, Internetové, nebo jiné podklady (studie, texty, odkazy, zprávy apod.) o již existujících řešeních a produktech jiných výrobců?
 - Jak se podařilo vyrovnat s nástrahami funkčnosti výstřiku konkurentům?
- Výrobní možnosti – Výrobní metody:
 - Předpokládaná roční výroba.
 - Předpokládaná doba výroby.
 - Volba výrobního postupu a jeho porovnání s jinými možnými postupy a výrobními metodami.
- Rozměrová a tvarová přesnost:
 - Které rozměry jsou kritické a jaké jsou požadavky na jejich tolerance?
 - Odpovídají lineární a geometrické tolerance zvolenému materiálu a výrobní technologii?
 - Pomohlo by jiné konstrukční řešení snížit požadavky na přísné, omezující tolerance?
- Konstrukce výstřiku?
 - Je vhodná konstrukce z jednoho kusu?
 - Které funkce je možné do dílu integrovat v závislosti na jeho rozměrové a tvarové přesnosti, včetně výrobního postupu?
 - Bude nutné použít zástřiky z jiných materiálů?
- Požadavky na montáž:
 - Může montáž konstrukčních komponent zjednodušit výstřik?
 - Může montáž konstrukčních komponent zlepšit funkčnost dílu?
 - Jaké montážní postupy jsou vhodné pro navržený materiál výstřiku a montážní komponenty?
 - Je zvolený montážní postup vhodný pro provádění u vstřikovacího stroje, nebo bude nutné vytvořit montážní pracoviště?
- Mechanické zatížení výstřiku:
 - Je konstrukce dílu schopna po dobu jeho životnosti přenášet očekávaná zatížení?

- Bude díl pod stálým zatížením a bude navržený materiál schopen toto zatížení vydržet?
- Po jakou dobu bude výstřik vystaven maximálnímu zatížení?
- Jaká jsou minimální a maximální zatížení?
- Chemická odolnost:
 - S jakými chemikáliemi přijde výstřik do styku?
 - Budou podmínky styku s chemikáliemi normální nebo specifické?
 - Jaké budou koncentrace chemikálií?
 - jakým teplotám bude při styku s chemikáliemi výstřik vystaven a po jakou dobu?
- Elektrické vlastnosti:
 - Má mít materiál výstřiku elektricky vodivé nebo izolační vlastnosti?
 - Bude díl obsahovat komponenty s požadavky na elektrické vlastnosti?
- Dopad na životní prostředí:
 - Bude výstřik používán ve venkovním prostředí s UV zářením?
 - Bude podroben působení nějakého druhu radiace kromě UV záření?
 - Bude materiál výstřiku ovlivněn oxidací (atmosférickým kyslíkem)?
 - Bude exponován ve vodě nebo ve vodní páře?
 - Bude provozován za tepla? Jaká hodnota teploty to bude?
 - Jaká bude časová expozice na pracovní teplotě?
 - Bude výstřik exponován v prostředí s mikroorganismy?
 - Bude používán v prostředí, kde bude atakován hmyzem nebo zvířaty?
- Barva:
 - Má navrhovaný materiál výstřiku vliv na možnost výběru barevného odstínu?
 - Mají složky barvy stejnou tepelnou stabilitu jako základní materiál?
 - Musí barva splňovat nějaké specifické požadavky?
 - Bude výstřik lakován?
 - Bude v sestavě s dalšími barevně sladěnými nebo lakovanými díly?
 - Vyplývá z konstrukce výstřiku riziko vzniku povrchových vad, například při použití speciálních barevných pigmentů?
- Vlastnost povrchu:
 - Jakou strukturu povrchu bude výstřik mít?
 - Je navržený materiál výstřiku vhodný pro zamýšlené povrchové úpravy?
 - Je v konstrukci výstřiku riziko (po úpravě povrchu) vznik povrchových vad – tokové čáry, propadlá místa apod?
 - Musí být povrch dílu odolný vůči poškrábání?
 - Bude se výstřik pokovovat?
 - Bude na výstřik aplikována některá z technologií potisku?
 - Bude díl popisován laserem nebo jinak upravován?
- Další vlastnosti:
 - Má mít navrhovaný materiál dílu tribologické vlastnosti (nízké/vysoké)?
 - Má mít výstřik magnetické vlastnosti?
 - Má mít jiné specifické vlastnosti, jako například vysokou hmotnost?
 - Má být teplotně izolační či vodivý?

- Bude ve své funkci ovlivněn elektromagnetickým zářením?
- Bude jeho funkce ovlivněna tepelnou roztažností?
- Regulační požadavky:
 - Budou na výstřík uplatňovány elektrotechnické předpisy?
 - Budou na díl uplatňovány nějaké další předpisy nebo zákonné požadavky?
 - jaké zkušební předpisy budou na výstřík uplatněny?
 - Jaké měřicí postupy budou použity?
 - Bude výstřík schvalován pro styk s požívatiny?
 - Musí být výstřík v souladu s medicínskými požadavky (styk s lidskými tkáněmi, sterilizace výstříku)?
 - Musí být zajištěna jeho samozhášivost, nehořlavost? Ve které kvalifikační třídě?
 - Bude výstřík obsahovat nepovolené nebo zakázané ingredience nebo aditiva?
- Recyklace:
 - Jaké jsou požadavky na recyklaci výstříku po skončení jeho životnostního cyklu?
- Cena výstříku:
 - Je cena výstříku při splnění všech funkčních požadavků konkurenceschopná?

2.1 Konstrukční řešení výstřiku

Pravidla pro konstruování výstřiků řešila od roku 1969 norma ČSN 64 0008 - Plastické hmoty. Směrnice pro konstrukce výrobků z plastických hmot. Tato norma však byla v roce 2006 bez náhrady zrušena a od té doby nebyl vytvořen nový standard ohraničující dané téma. V současnosti jsou konstrukční limity stanoveny výrobcem formy a empirickými znalostmi jednotlivých firem. Následující kapitola odráží doporučení odborníků z oblasti vstřikování plastů, zejména p. Ing. Lubomíra Zemana a společnosti VDWF a jeho demonstrátoru POLYMAN. Následující obrázek shrnuje dobré (modrá část) a špatné (oranžová část) návyky při konstruování plastových výstřiků.



Obrázek 10 – Demonstrátor POLYMAN, převzato z (, n. d.)

Tvar plastového výstřiku musí vznikat s ohledem na následující hlediska:

- Funkčnost tvaru – Výrobek musí splňovat všechny hlavní funkce, které jsou od něho vyžadovány. Jedná se o funkce užité, estetické, ergonomické a bezpečnostní. Ohled k plnění jiných, vedlejších funkcí se bere pouze tehdy, nezvyšuje-li změna tvaru výrobky na danou součást. Zajištění plnění hlavních funkcí je očekáváno po celou dobu životnosti materiálu (okolo 5-ti let, záleží na typu aplikace), jelikož je obvykle nemožné plastový výstřik opravit, či vyměnit jeho část.
- Technologičnost tvaru – U plastových výrobků zajišťuje technologičnost tvaru co nejrychlejší a nejplynulejší naplnění formy taveninou. To je dosaženo aplikováním zásad, které redukuje překážky proudu taveniny, např. správně zvolená dělicí rovina, zaoblení, rovnoměrné tloušťky stěn.
- Estetické řešení tvaru – Výrobek by měl svým estetickým tvarem odpovídat své funkci a prostředí, v kterém bude využíván.
- Ekonomičnost tvaru – Výsledný výrobek by měl mít jednoduchý tvar, aby i jeho forma jednoduchá, a tím pádem i levnější. Jednodušší forma je také více spolehlivá a umožňuje vyšší úsporu materiálu, např. použitím tenčích stěn (ZEMAN, 2018)

2.1.1. Poloha dělicí roviny

Dělicí rovina je rovina, ve které na sebe dosedají části formy a vytváří tak tvarovou dutinu formy. Po uzavření formy je účelem dělicí roviny dutinu formy kvalitně utěsnit a zabránit tak úniku materiálu. Utěsnění je dosaženo pomocí uzavírací síly, tedy síly působící kolmo na dělicí rovina. Hodnota uzavírací síly se pohybuje v řádu stovek až tisíců kN. Dělicí rovina určuje způsob, jak bude tvar výrobku umístěn do formy, kde bude ústí vtoku, jak se bude hotový výrobek z formy vyhazovat a zdali bude potřeba využití jader. Od polohy dělicí roviny se odvíjí umístění úkosů a zaoblení. Dělicí rovina by měla být z výrobních důvodů jednoduchá. Lomená či zaoblená dělicí rovina razantně zvyšuje cenu formy. Ve výkresech je dělicí rovina značena čerchovanou čarou, přerušenou ležatými křížky. (ZEMAN, 2018) (, n. d.)

2.1.2. Tloušťka stěny

Tloušťka stěny musí splňovat požadavky na tuhost a pevnost výstřiku. Tloušťka stěny by měla být pokud možno co nejmenší, aby se snížila spotřeba materiálu, zkrátila doba chlazení a omezilo se formování povrchových propadlin a vytváření vnitřních staženin (tzv. lunkrů). Na druhou stranu musí tloušťka stěny zajistit vyrobiteľnosť všetkých tvarů dílu, neměla tedy být menší než 0,8 mm. (ZEMAN, 2018), avšak při technologii tenkostěnného vstřikování lze dosáhnout tloušťky stěny až 0,5 mm. (, n. d.) Tenkostěnné díly vyžadují výkonné stroje zvládající zvýšené vstřikovací tlaky – vysoká cena těchto strojů může vést k vyšším náklad, než je ušetření za sníženou šířku stěny. Výsledná tloušťka stěny je přímo závislá na použitém materiálu, viz. Tabulka 12.

Tabulka 12 – Doporučené tloušťky stěn, převzato z (, n. d.), upraveno

Doporučená tloušťka stěny	
Materiál	Doporučená tloušťka [mm]
ABS	1,14-3,56
Acetal	0,76-3,05
Akrylát	0,64-3,81
Polymery s tekutými krystaly	0,76-3,05
Plasty vyztužené dlouhými vlákny	1,91-25,40
Nylon (PA)	0,76-3,05
Polykarbonát (PC)	1,02-3,81
Polyester (PET)	0,64-3,18
Polyetylen (PE)	0,76-5,08
Polypropylen (PP)	0,64-3,81
Polystyren (PS)	0,89-3,81
Polyuretan (PUR)	2,03-19,05
Tvrzené PVC	0,64-3,81
Měkčené PVC	0,64-6,35

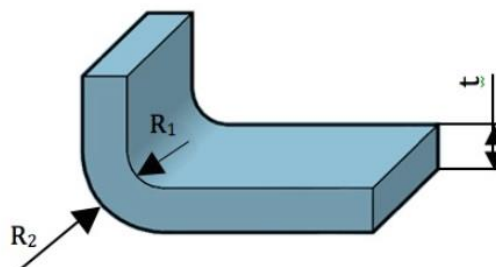
2.1.3. Rovnoměrnost stěny

Rovnoměrnost tloušťky stěny je podmínkou pro rovnoměrnou rychlost proudu taveniny, stejnou rychlost chladnutí a minimalizaci vnitřního pnutí. Tlusté stěny chladnou pomaleji, mají tedy větší procento smrštění než tenké stěny. V místech styku různých tloušťek stěn dochází díky tomuto jevu ke vzniku vnitřních pnutí, což má za následek deformaci či praskání výrobku. Při nutnosti změny tloušťky stěny je třeba použít co nejplynulejší přechod, bez ostrých hran (ZEMAN, 2018). Přechody mezi stěnami se řídí dle pravidla 3:1, kdy na 3 díly změny délky připadá jeden díl změny tloušťky stěny. Rozdíl tloušťek stěn v rámci jednoho výstřiku by neměl přesáhnout 10 % u materiálů s vysokou smrštitivostí. (, n. d.)

U materiálů s nízkou hodnotou smrštění (amorfních či plněných plastů) je možné dosáhnout rozdílu tloušťek až 25 % (, n. d.).

2.1.4. Zaoblení

Zaoblené tvary výstřiku jsou výhodnější z hlediska snazšího průtoku taveniny, ostré rohy vytvářejí vnitřní pnutí, což může mít za důsledek deformaci a popraskání dílu. Zaoblení má být provedeno jak na vnější, tak i na vnitřní straně stěny, poloměr zaoblení se pohybuje mezi $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ tloušťky stěny. Pokud to konstrukce dovoluje, je možné vytvořit i větší rádie, z hlediska průtoku materiálu však nepřinášejí zvětšení efektu zaoblení. Vnitřní hrany jsou zaobleny vždy, a to na minimálně 0,2 mm, výhodnější je držet se pravidla $\frac{1}{4}$ stěny. (ZEMAN, 2018) Rádus vnitřních hran je zásadní i z důvodů výrobitelnosti formy. Při frézování rohů, či při elektroerozním opracování tvarových dílů, vždy vzniká na vnitřních straně rádus. Hodnota vnějšího rádia je přímo závislá na tloušťce stěny a hodnotě vnitřního radiu a řídí se dle vzorce $R_2 = R_1 + t$, jež umožňuje zachování rovnoměrné tloušťky stěny. (, n. d.)



Obrázek 11 – Optimální zaoblení dle vzorce $R_2 = R_1 + t$

2.1.5. Úkosy

Pro snazší vyhození výsledného výrobku z formy jsou stěny rovnoběžné se směrem otevírání formy opatřeny úkosy. Polohu a velikost úkosů udává směr zaformování. Tenkostěnné výrobky vstřikované pod velkým tlakem potřebují větší úkosy než díly s nižším tlakem: materiál se lépe vtlačuje do dutiny, u které jsou vnitřní hrany více zkoseny. Obecně však platí, že pro vnější stěny se používá úkos $0,5^\circ$ až 1° , pro vnitřní stěny 1° až 2° . Při nerovnosti povrchu se doporučuje přidat cca 1° úkosu na hloubku nerovnosti o maximální hloubce 0,2 mm. (, n. d.)

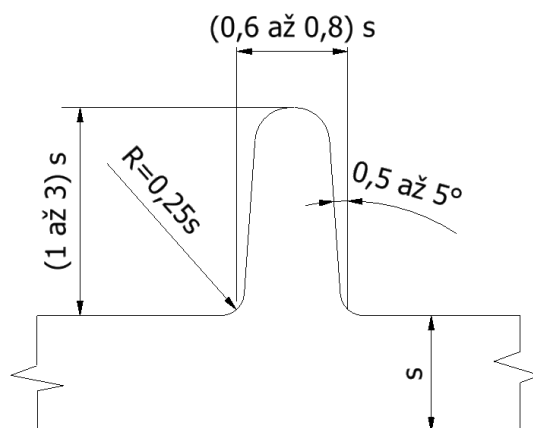
2.1.6. Ostré hrany

Ostré hrany se většinou objevují v dělicích rovinách a v místech spojů. Obvyklý úhel hrany je 90° , ve zvláštních případech je však možné použít menší úhel, například u těsnicích jazýčků manžet. Při navrhování ostrých hran je nutné dbát i na bezpečnost, zvláště u materiálů s velkou anizotropií mechanických vlastností, jako jsou kompozitní materiály se skelnými vlákny. Při nevhodné manipulaci hrozí nebezpečí pořezání. Z toho důvodu se ostatní vnější hrany zaoblují na minimální radius 0,3 mm. (ZEMAN, 2018)

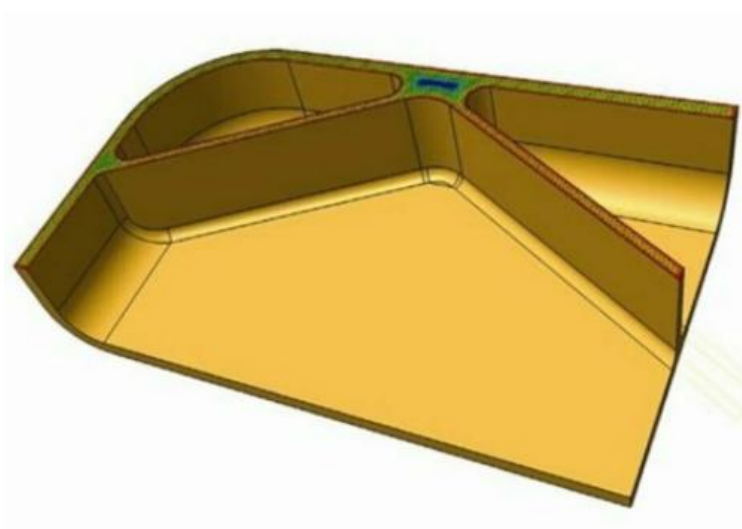
2.1.7. Žebrování

Použití žeber je často využíváno k vyztužení výstřiku: zvyšují pevnost, tuhost a odolnost proti deformacím, zároveň umožňují snížit výslednou hmotnost a dosáhnout rovnoměrnosti stěn. Profil a tvar žebra je závislý na tloušťce stěny, a jeho tvorba se řídí konstrukčními zásadami:

- Tloušťka žebra by neměla být větší než 50 % až 70 % tloušťky stěny, na kterou žebro navazuje.
- Maximální výška žebra by neměla být vyšší než trojnásobek tloušťky stěny.
- Vzdálenost žeber by měla být dvojnásobek nominální tloušťky stěny.
- Pro zvýšení pevnosti je výhodnější vytvořit více tenkých žeber než méně tlustých.
- Poloměr napojení žebra a stěny by neměl být větší než 50 % tloušťky stěny.
- Minimální radius zaoblení žebra je 0,25 násobek tloušťky stěny.
- Žebra by měla umožňovat tok taveniny – výhodné je například navrhovat žebra uskupena do šestiúhelníku.
- V křížení žeber nesmí docházet k hromadění materiálu. (MM průmyslové spektrum, n. d.)



Obrázek 12 – Doporučený profil žebra, převzato z (Jan, 1986)



Obrázek 13 – Křížení žeber (MM průmyslové spektrum, n. d.)

2.1.8. Konstrukce komíneků

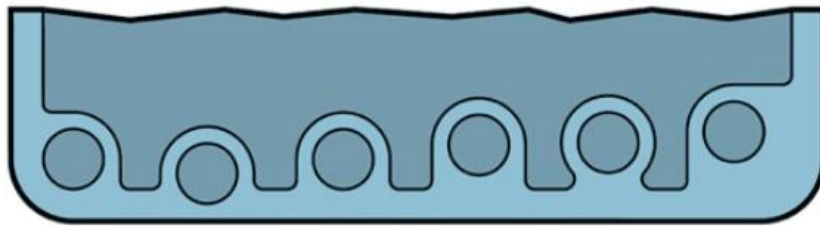
Komínky slouží ke spojování jednotlivých dílů sestavy, k ukotvení a přesnému polohování výsledného dílu, dále mohou, podobně jako žebra, sloužit ke zvyšování pevnosti a tuhosti výstřiku. Při nesprávném navržnutí komíneků hrozí povrchové nedokonalosti, jako pokles povrchu, vnitřní kapsy a nepředvídatelná smrštění, proto je jejich konstrukce opět vázána zásadami:

- Tloušťka komínku by neměla představovat více než 60 % tloušťky stěny. Pokud je šířka stěny vyšší než 4 mm, tloušťka stěny komínku nesmí přesáhnout 40 % tloušťky stěny.
- Výška komínku by neměla být více než 2,5 násobek průměru díry komínku.

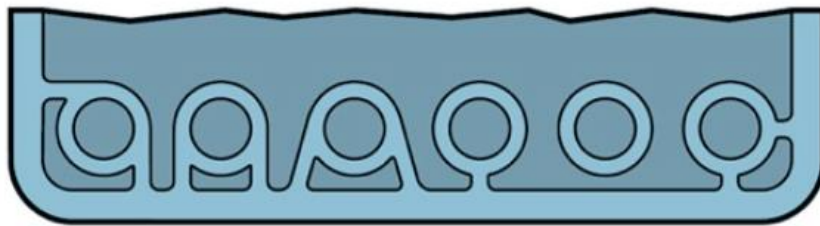
- Konstrukce komínků ve vnější stěně výrobku způsobí zhuštění materiálu, které vede ke vznikům vzduchových kapes nebo propadům povrchu.
- Základna by měla být u komínků zaoblena pro lepší rozložení materiálu.
- Pro výrobu komínků je vhodné využít vysokých můstků, které přispívají k tečení materiálu.

Následující obrázek ukazuje příklady správných a nesprávných konstrukcí komínků.

NESPRÁVNĚ



SPRÁVNĚ



Obrázek 14 – Příklady konstrukce komínků, převzato z [15]

3. Tolerance plastových výstřiků

Tolerováním rozměrů plastových výstřiků se historicky zabývala norma DIN 16 901, vydaná v roce 1982 („“, n. d.), tak se však postupně stala zastaralou. Byla proto stažena a od roku 2013 částečně nahrazena normou DIN ISO16 742. Ta nyní předepisuje mezní tolerance jako symetrické, nikoli asymetricky jako dopsud. DIN 16742 obsahuje tabulky běžně dosažitelných tolerancí. Zdali je však možné tolerance dosáhnout, závisí do velké míry na zkušenostech a znalostech výrobců a dodavatelů zařízení.

Norma DIN ISO 16742 definuje 9 tolerančních stupňů pro plastové výrobky. Jsou označovány TG1 až TG9 a jsou přiřazeny standardním tolerančním stupňům IT, popisovaným v normě ISO 286-1. („“, n. d.) Konkrétní hodnoty jsou zobrazeny v následujících tabulkách. Toleranční skupina pro termoplasty se běžně pohybuje mezi tolerančními skupinami TG5 až TG6.

Tabulka 13 – Výběr z délkových tolerancí plastových výrobků dle DIN ISO 16742, převzato z [21]

Toleranční skupina		Limitní rozměry tolerance pro daný rozsah délek [mm]						
		1 až 3	> 3 až 6	>6 až 10	> 10 až 18	> 18 až 30	> 30 až 50	> 50 až 80
TG1	W ³	± 0,007	± 0,012	± 0,018	± 0,022	± 0,026	± 0,031	± 0,037
	NW ⁴	± 0,012	± 0,018	± 0,022	± 0,026	± 0,031	± 0,037	± 0,044
TG2	W	± 0,012	± 0,02	± 0,029	± 0,035	± 0,042	± 0,05	± 0,060
	NW	± 0,020	± 0,029	± 0,035	± 0,05	± 0,050	± 0,060	± 0,090
TG3	W	± 0,020	± 0,031	± 0,05	± 0,06	± 0,07	± 0,08	± 0,1
	NW	± 0,031	± 0,050	± 0,06	± 0,07	± 0,08	± 0,1	± 0,15
TG4	W	± 0,03	± 0,05	± 0,08	± 0,07	± 0,11	± 0,13	± 0,15
	NW	± 0,05	± 0,08	± 0,09	± 0,011	± 0,13	± 0,15	± 0,23
TG5	W	± 0,05	± 0,08	± 0,11	± 0,14	± 0,17	± 0,2	± 0,23
	NW	± 0,08	± 0,11	± 0,14	± 0,17	± 0,2	± 0,23	± 0,36
TG6	W	± 0,07	± 0,12	± 0,18	± 0,22	± 0,26	± 0,31	± 0,37
	NW	± 0,12	± 0,18	± 0,22	± 0,26	± 0,31	± 0,37	± 0,57
TG7	W	± 0,13	± 0,2	± 0,29	± 0,35	± 0,42	± 0,5	± 0,6
	NW	± 0,2	± 0,29	± 0,35	± 0,42	± 0,5	± 0,6	± 0,9
TG8	W	± 0,2	± 0,31	± 0,45	± 0,55	± 0,65	± 0,8	± 0,95
	NW	± 0,31	± 0,45	± 0,55	± 0,65	± 0,8	± 0,95	± 1,4
TG9		± 0,3	± 0,49	± 0,75	± 0,9	± 1,05	± 1,25	± 1,5

³ - W značí rozměry, které jsou přímo vytvořené jedním dílem formy

⁴ -NW značí rozměry, které nejsou přímo vytvořené nástrojem, například tloušťky stěn nebo profily vytvořené posuvnými částmi formy

Tabulka 14 – Výběr z tolerancí průměru plastových dílů dle DIN ISO 16742, převzato z (, n. d.)

Toleranční skupina		Limitní rozměry tolerance pro daný rozsah délek [mm]						
		1 až 3	> 3 až 6	> 6 až 10	> 10 až 18	> 18 až 30	> 30 až 50	> 50 až 80
TG1	W	∅ 0,02	∅ 0,034	∅ 0,05	∅ 0,06	∅ 0,07	∅ 0,09	∅ 0,11
	NW	∅ 0,034	∅ 0,05	∅ 0,06	∅ 0,07	∅ 0,09	∅ 0,11	∅ 0,12
TG2	W	∅ 0,04	∅ 0,06	∅ 0,08	∅ 0,1	∅ 0,12	∅ 0,14	∅ 0,17
	NW	∅ 0,06	∅ 0,08	∅ 0,1	∅ 0,12	∅ 0,14	∅ 0,17	∅ 0,26
TG3	W	∅ 0,06	∅ 0,09	∅ 0,14	∅ 0,17	∅ 0,2	∅ 0,23	∅ 0,28
	NW	∅ 0,09	∅ 0,14	∅ 0,17	∅ 0,2	∅ 0,23	∅ 0,28	∅ 0,42
TG4	W	∅ 0,08	∅ 0,14	∅ 0,23	∅ 0,25	∅ 0,31	∅ 0,37	∅ 0,42
	NW	∅ 0,14	∅ 0,23	∅ 0,25	∅ 0,31	∅ 0,7	∅ 0,42	∅ 0,65
TG5	W	∅ 0,14	∅ 0,23	∅ 0,31	∅ 0,4	∅ 0,48	∅ 0,57	∅ 0,65
	NW	∅ 0,23	∅ 0,31	∅ 0,4	∅ 0,48	∅ 0,57	∅ 0,65	∅ 1
TG6	W	∅ 0,2	∅ 0,34	∅ 0,51	∅ 0,62	∅ 0,74	∅ 0,88	∅ 1,1
	NW	∅ 0,34	∅ 0,51	∅ 0,62	∅ 0,74	∅ 0,88	∅ 1,1	∅ 1,6
TG7	W	∅ 0,37	∅ 0,57	∅ 0,82	∅ 1	∅ 1,2	∅ 1,4	∅ 1,7
	NW	∅ 0,57	∅ 0,82	∅ 1	∅ 1,2	∅ 1,4	∅ 1,7	∅ 2,6
TG8	W	∅ 0,57	∅ 0,88	∅ 1,3	∅ 1,6	∅ 1,8	∅ 2,3	∅ 2,7
	NW	∅ 0,88	∅ 1,3	∅ 1,6	∅ 1,8	∅ 2,3	∅ 2,7	∅ 4
TG9		∅ 0,85	∅ 1,4	∅ 2,1	∅ 2,6	∅ 3	∅ 3,5	∅ 4,2

Norma DIN ISO 16742 usnadňuje tolerování plastových výrobků a vytváří třídy přesnosti, nezohledňuje však šířku tolerančního pole v závislosti na použitém materiálu. V tuto chvíli neexistuje norma, která by jasně definovala šířku tolerančního pole v závislosti na použitém materiálu (jako to bylo u normy DIN 16 901), proto je otázka mezních úchylek rozměrů na domluvě mezi výrobcem formy a zadavatelem.

Firmy, specializující se na výrobu forem pro plastové výstřiky, mají své maximální dosažitelné tolerance pro jednotlivé materiály často vyvěšené na svých webových stránkách. Například společnost Deep Mould Co., LTD garantuje dosažitelnou toleranci TG6 (, n. d.). Společnost Star Rapid, zabývající se rapid prototypingem, deklaruje pro PC s 20 % skelných vláken toleranční odchylku $\pm 0,050$ mm pro rozměry 1 – 20 mm při standardní (komerční) výrobě formy, a $\pm 0,030$ mm pro rozměry 1 – 20 mm při precizně vyrobené formě. Se zvyšující se kvalitou formy se však očekává rapidní nárůst ceny. Jako příklad Délkové tolerance dalších materiálů jsou uvedeny v následující tabulce. Deklarovaná přesnost je závislá na složitosti výstřiku, proto jsou hodnoty zobrazené v následující tabulce pouze orientační a závislé na rozhodnutí společnosti po předložení výkresové dokumentace.

Tabulka 15 – Délkové tolerance pro plastové výstřiky firmy Star Rapid, převzato z (, n. d.)

Materiál	Komerční přesnost tolerance pro daný rozsah délek				Přesné tolerance- vyšší cena	
	1 až 20	21 až 100	101 až 160	pro každých 20 mm nad 160 přidat	1 až 20	21 až 100
	(± mm)	(± mm)	(± mm)		(± mm)	(± mm)
ABS	0,1	0,15	0,325	0,08	0,05	0,1
ABS/PC	0,1	0,15	0,325	0,08	0,05	0,1
GPS	0,075	0,15	0,305	0,1	0,05	0,08
HDPE	0,125	0,17	0,375	0,1	0,075	0,11
LDPE	0,125	0,17	0,375	0,1	0,075	0,11
PPO/PPE	0,1	0,15	0,325	0,08	0,05	0,1
PA	0,075	0,16	0,31	0,08	0,03	0,13
PA s 30 % skelných vláken	0,06	0,12	0,24	0,08	0,03	0,01
PBT s 30 % skelných vláken	0,06	0,12	0,24	0,08	0,03	0,1
PC	0,06	0,012	0,24	0,08	0,03	0,1
PC s 20 % skelných vláken	0,05	0,1	0,2	0,08	0,03	0,08
PMMA	0,075	0,12	0,25	0,08	0,05	0,07
POM	0,075	0,16	0,31	0,08	0,03	0,13
PP	0,125	0,17	0,375	0,08	0,075	0,1

4. Stupně krytí dle EN 60529

Výsledná konstrukce bude umístěna na podvozku automobilu a bude obsahovat elektrické a optické části, jejichž funkce je náchylná na vniknutí vody a prachových částic. Proto je nutné, aby kryt splňoval určitý standard ochrany proti těmto vnějším vlivům. Stupně krytí definuje norma EN 60529, a jsou označovány zkratkou, která se skládá ze dvou vždy stejných označovacích písmen IP a dvou číslic charakterizujících stupeň ochrany. Následující tabulka uvádí stupně krytí, jak jsou popsány v normě EN 60529.

Kryt konstrukce bude připevněn k podvozku automobilu dalším plastovým krytem, který bude částečnou měrou pomáhat proti vniknutí cizích nečistot. Technické řešení tohoto druhého krytu však není předmětem této práce. Bude proto snahou konstrukci navrhnout tak, aby byl kryt konstrukce samotný schopen odolávat podmínkám, vyskytujícím se na podvozku automobilu. Minimální předpoklady pro funkci krytu jsou nastaveny na IP 55.

Tabulka 16 – Stupně ochrany před vniknutím cizích pevných těles dle ISO 60529, převzato z (, n. d.)

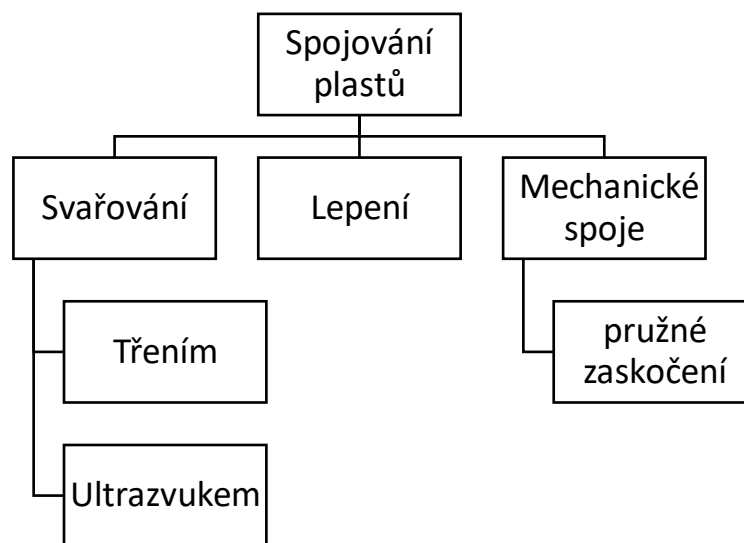
Stupeň ochrany před vniknutím cizích pevných těles		
První číslice	Krátký popis	Definice
0	Nechráněno	
1	chráněno před vniknutím cizích pevných těles o průměru 50 mm a větším	Sonda vniku, koule o průměru 50 mm, nesmí otvorem vniknout
2	chráněno před vniknutím cizích pevných těles o průměru 12,5 mm a větším	Sonda vniku, koule o průměru 12,5 mm, nesmí otvorem vniknout
3	chráněno před vniknutím cizích pevných těles o průměru 2,5 mm a větším	Sonda vniku, koule o průměru 2,5 mm, nesmí otvorem vniknout
4	chráněno před vniknutím cizích pevných těles o průměru 1 mm a větším	Sonda vniku, koule o průměru 1 mm, nesmí otvorem vniknout
5	Chráněno před prachem	Vniknutí prachu není úplně zabráněno, avšak prach nesmí vniknout v takovém množství, které by zhoršovalo správnou funkci nebo zhoršovalo jeho bezpečnost
6	Prachotěsné	Žádný prach nesmí vniknout

Tabulka 17 – Stupně ochrany proti vniknutí cizích těles dle ISO 60529, převzato z [23]

Stupeň ochrany proti vniknutí vody		
číslice	Krátký popis	Definice
0	Nechráněno	
1	Chráněno proti svisle padajícím vodním kapkám	svisle padající kapky nesmí způsobit žádné škodlivé účinky
2	chráněno proti svisle padajícím vodním kapkám při náklonu maximálně 15°	Svisle padající kapky nesmí způsobit žádné škodlivé účinky, jestliže je kryt nakloněn až o 15° na kteroukoliv stranu od svislice
3	Chráněno proti kroupení vodou (deštěm)	Voda rozstříkovaná pod úhlem až do 60° nesmí způsobit žádné škodlivé účinky
4	chráněno proti stříkající vodě	Voda stříkající z jakéhokoliv směru nesmí způsobit žádné škodlivé účinky
5	Chráněné proti tryskající vodě	Voda tryskající z trysek z libovolného směru proti krytu nesmí způsobit žádné škodlivé účinky
6	Chráněno proti intenzivně tryskající vodě	Voda intenzivně tryskající z trysek z libovolného směru proti krytu nesmí způsobit žádné škodlivé účinky
7	Chránění proti účinkům dočasného ponoření	Při stanoveném tlaku a čase nesmí množství vody vniklé do zařízení způsobit při jeho dočasném ponoření škodlivé účinky
8	Chráněno proti účinkům trvalého ponoření	Za podmínek dohodnutých mezi výrobcem a odběratelem, které však musí být přísnější než podmínky stanovené pro charakteristickou číslici 7, nesmí množství vody vniklé do zařízení způsobit při jeho trvalém ponoření škodlivé účinky
9	Chráněno proti vysokotlaké horké vodě	Voda o vysokém tlaku a vysoké teplotě tryskající z libovolného směru proti krytu nesmí způsobit žádné škodlivé účinky

5. Problematika spojování výstřiků

V rámci konstrukce součástí není vždy možné vytvořit produkt, který se bude skládat pouze z jednoho výstřiku. Narůstající složitost dílu může často zapříčinit vytvoření podsoustav, které jsou následně spojeny. Následující kapitola představuje průřez rozebiratelnými a nerozebiratelnými spojeními. Tento přehled spojů není vyčerpávající, jiné metody spojování výstřiků nejsou však kvůli velmi malým rozměrům konstrukce vhodné.



Obrázek 15 – Přehled metod spojování výstřiků plastů, upraveno, převzato z [30]

5.1 Svařování plastů

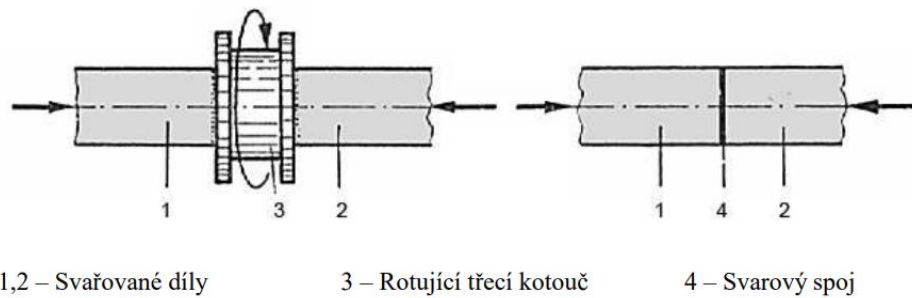
Svařováním vznikají pevné spoje, které jsou nepropustné pro vodu a kapaliny. Existuje mnoho druhů svařování plastů, z hlediska spojování výstřiků z termoplastů však přicházejí v úvahu pouze ty svařovací procesy, které jsou rychlé a je možné je automatizovat. (Jan, 1986) Těmito metodami jsou:

5.1.1. Svařování třením

Svařování třením je založené na relativním pohybu součástí vůči sobě za stálého tlaku. Rotaci může vykonávat jeden ze spojovaných dílů a třecí teplo se generuje o druhý díl. Jiným způsobem je využití rotačního kotouče, který svojí rotací tře oba svařované díly. Při natavení stykových ploch na svařovací teplotu se rotace zastaví a díly se působením tlaku svaří k sobě. Teplota svařování se pozná tak, že ze svařovaných ploch začnou díky odstředivé síle odlétávat částice materiálu. Doba svařování je velmi krátká (méně než 1 s),

protože plasty mají nízký koeficient tepelné vodivosti. Tato metoda je vhodná pro všechny druhy termoplastů a její výhodou je fakt, že se svařovaný materiál nemůže přehřát. Po natavení povrchové vrstvy třecí rotace okamžitě ustává a tím je omezeno další uvolňování tepla. Nevýhodou této metody je zejména problematické dosažení krouticího momentu pro nastavení správné svařovací teploty (Jan, 1981).

PRINCIP TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ TŘENÍM POMOCÍ TŘECÍHO KOTOUČE:

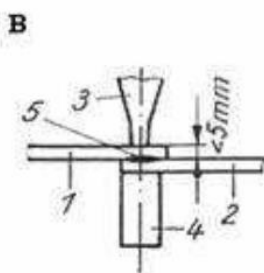
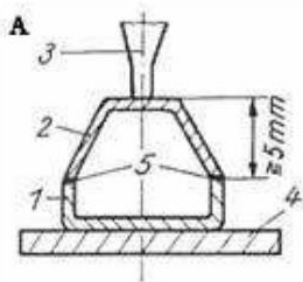


Obrázek 16 – Technologie svařování pomocí rotačního kotouče

5.1.2. Svařování ultrazvukem

Při svařování ultrazvukem není tepelná energie potřebná k natavení plastu přivedena zvenčí, ale je vytvářena v materiálu samotném. To probíhá za pomoci tzv. sonotrody – elektrody, kmitající v oblasti ultrazvuku (20 kHz a vyšší), a přenáší tyto kmity na jeden z dílů spojovaných materiálů. Tyto kmity se poté šíří směrem k místu styku obou svařovaných ploch, kde se kde se mění v teplo vlivem vzájemného tření molekul. Dochází k natavení povrchové vrstvy a poté se za pomoci malého tlaku sonotrody (0,2 – 0,3 MPa) díly svaří. Doba svařování je méně než 2 s (Jan, 1981).

Sonda má při svařování být co nejbližší místu svaru. Se zvyšováním vzdálenosti od místa svaru se zvyšuje procento ztracené energie, vynaložené na průchod plastem. Svařování sonotrodou může probíhat v tzv. Přilehlém a odlehlém poli. U přilehlého pole je maximální vzdálenost sonotrody od místa svařování 5 mm, používá se pro krystalické plasty (PE, PP, PA). Odlehlé pole umožňuje maximální vzdálenost od místa svaru až 20 mm a používá se pro součásti z amorfních plastů (PC, PMMA, ABS..).



1,2 – Svařované materiály

3 - Sonotroda

4 – Pevný doraz

5 – Svarový spoj

Svařování v dalekém poli

Svařování v blízkém poli

Obrázek 17 – Svařování pomocí ultrazvuku

Zdrojem mechanické energie pro ultrazvukové svařování je generátor kmitů. Amplituda vznikajících kmitů je pouze 3 – 8 μm , a proto je nutné ji zvětšit vhodným transformátorem kmitů. Svařování ultrazvukem je používáno převážně pro termoplasty, protože mají nízké tlumení ultrazvukových kmitů a nízkou teplotu tavení. Výhodou ultrazvukového svařování je rychlost, rozmanitost aplikací a malá energetická náročnost. Nevýhody jsou spjaté s použitím sonotrody – často je nutná úprava stykových ploch před svařováním.

5.2 Lepení

Lepení je technologický proces, při kterém vzniká voděnepropustný, nerozebíratelný spoj. Lepení se pro svoji velkou pracnost a časovou náročnost používá pro výstřiky z termoplastů pouze zřídka. (Jan, 1986) Termoplasty z hlediska lepení se dělí na:

- Dobře lepitelné – středně polární, zástupci jsou PS, PMMA, PVC, ABS, PC.
- Obtížně lepitelné – silně polární, zástupci jsou PA, PET.
- Lepitelné pouze po náročné úpravě povrchu – polyolefiny, fluoroplasty.

Technologický postup lepení je časově náročný proces

- Příprava lepení povrchu (adherendu) – Cílem tohoto procesu je maximální zvýšení smáčivosti materiálu a vznik adhezních vazeb. Čím větší je spojovaná plocha, tím větší je počet vazeb a výsledná pevnost lepeného spoje. Povrch je připravován pomocí fyzikálních procesů, jako je broušení, pískování, UV ozařování, iontové bombardování nebo pomocí chemických procesů: například odmašťování, moření, anodická oxidace.
- Příprava lepidla – v moderní době je lepidlo od výrobce dodáváno již připravené, tato fáze většinou odpadá.

- Nanášení lepidla – Cílem tohoto procesu je nanesení rovnoměrné tenké vrstvy lepidla na spojovanou plochu. Nanesení lepidla může probíhat ručně – pomocí štětců, tyčinek, stěrek; pomocí přípravků – vytlačovacích pistolí, mechanických dávkovačů; či strojně polévacích zařízení, elektrostatické nanášení. Dalším možným způsobem je nanášení pomocí tepelných procesů – natavování, žárové stříkání, vytlačování taveniny.
- Montáž lepeného spoje – Každé lepidlo se vyznačuje svoji adhezí k lepeným materiálům a viskozitou, proto je při montáži je důležitá tzv. montážní doba. Montážní doba značí čas, potřebný pro přiložení lepených částí k sobě. Poté je lepený spoj ustaven pomocí svorek či stahováků, které zajišťují přítlačný tlak a správnou vzdálenost mezi lepenými díly. Přítlačný tlak nesmí být moc velký, jinak dojde k vytlačení lepidla.
- Vytvoření pevného lepeného spoje – Lepení může probíhá za studena (15 – 25 °C), za zvýšených teplot (25 – 100 °C) nebo za horka (>100 °C). Nejběžnější metodou spojování je lepení za současného působení tlaku a teplotě okolí.

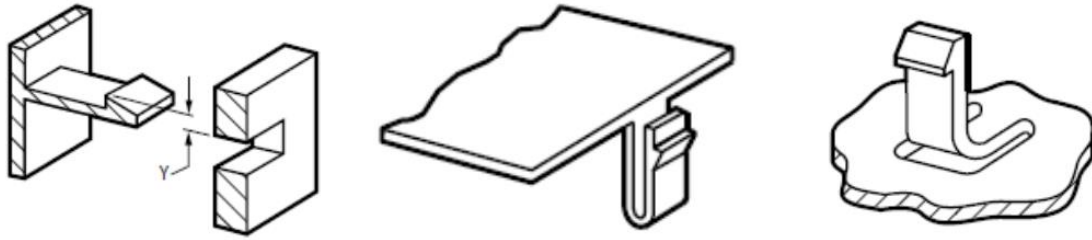
5.3 Mechanické spojení

Mechanické spojování je nejjednodušší metodou spojení, nedochází k tepelnému ovlivnění materiálu a běžně nevyžaduje předpřípravu podobně jako u lepení. Velkou výhodou mechanických spojení je rozebíratelnost. S mechanickým spojováním však souvisí tvorba děr, které jsou koncentrátoři napětí. (S.T. Amancio-Filho, 2009)

5.3.1. Spojení pružným zaskočením

Spojení pružným zaskočením je jednoduchou metodou spoje, je moderní, levné, a spoje samotné jsou často součástí plastového výstřiku. Princip pružného zaskočení spočívá v překonání odporu vůči pružné deformaci. Při překonání odporu do sebe díly zapadnou (zaskočí) a dojde ke spojení. Tento typ spojů může být konstruován jako rozebíratelný i nerozebíratelný.

- Háčkový spoj – Háčkové spoje mají všestranné použití. Při nasouvání do otvoru druhé součásti se háček prohýbá a po přejetí hrany zaskočí do otvoru. Při konstrukci záleží na zpětném úhlu β , který rozhoduje o rozebíratelnosti spoje. Pokud je úhel β menší než 45 °, je možné spoj rozebrat tahem součástí od sebe. Při úhlu β nad 60 ° je nutné nejprve háček vychýlit stranou.



Obrázek 18 – Příklad použití háčkových spojů (Dawson, 2017)

5.4 Výběr metody spojování

Cílem této kapitoly bylo vybrat vhodnou metodu spojení jednotlivých dílů konstrukce. Svařování jednotlivých dílů je metoda velmi rychlá, spoj je nerozebíratelný a voděodolný. Při svařování však dochází k tepelnému ovlivňování materiálu, což může mít za následek pokroucení dílu. Protože díl obsahuje optické části, které je třeba mít přesně uložené, není tento způsob spojení vhodný.

Mechanické spojování pomocí háčků je rychlé a levné, a nevyžaduje žádné speciální pracoviště oproti lepení či svařování. Jedná se však o rozebíratelný spoj, je tedy možné do konstrukce neuváženě vniknout a tím ji poškodit. [REDACTED]

[REDACTED] mechanický spoj by se mohl díky vibračním časem uvolnit, což by mělo za následek pohyb optické soustavy, a tím znemožnění funkce konstrukce. Mechanický spoj dále není dostatečně vodotěsný.

Jako nejvhodnější metoda spojení konstrukce bylo vybráno lepení. Lepený spoj je nerozebíratelný, zabraňuje tedy neoprávněné manipulaci s konstrukcí. Spoj také splňuje požadavky na vodotěsnost a odolnost vůči prachu. Hlavní nevýhodou lepení je časová náročnost.

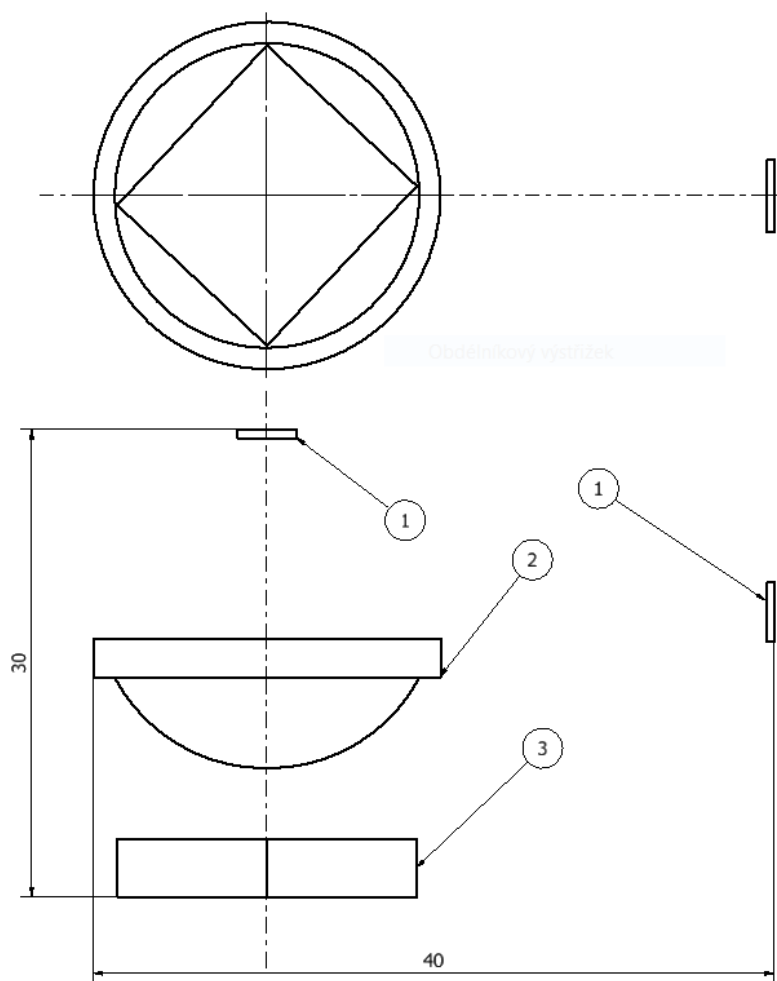
6. Návrh konstrukce

6.1 Zadání

Jednotlivé plastové díly musí splňovat technické požadavky vstřikování plastů. Dalšími požadavky bylo:

- Konstrukce musí být složena s co nejmenšího počtu dílů.
- Při výrobě se vyhnout distančním kroužkům.
- Sestava musí být jednoduše smontovatelná.
- Sestava musí obsahovat chladič, který bude vystupovat ven z konstrukce.

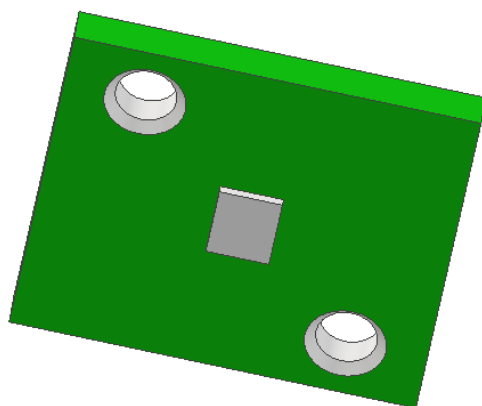
U konstrukce bylo dále potřebné dodržet rozměry optických členů a zadané vzdálenosti mezi nimi. Následující obrázek zobrazuje zadané rozložení optiky. Obrázek znázorňuje jednotlivé členy a přibližné maximální rozměry. Přesné rozměry a funkce jednotlivých optických členů jsou chráněnou informací, proto se v práci nevyskytují.



Obrázek 19 – Zadané optické rozložení. 1-LED zdroj světla, 2 - čočka, 3 - čočka

6.2 PCB deska

Vlastní rozměry LED zdrojů a jejich poloha vůči ostatním optickým členům byly jedinou poskytnutou informací od zadavatele. Proto jako první muselo být navrženo uchycení a napájení zmíněného LED zdroje. K tomuto účelu byla tedy navržena PCB deska (PCB = Printed circuit Board, deska plošných spojů). Návrh vychází z předpokladu, že LED zdroj potřebuje okolo sebe dostatek prostoru, aby ho bylo možno na tištěný spoj připájen a zbylo i dostatečné místo pro další potřebné součástky (např. tranzistory, napájení). Ze středu LED zdroje byl tedy vymezen ochranný kruh o velikosti 12 mm, do kterého nemohou zasahovat žádné další konstrukční prvky, jako například hlavy šroubů. Pro potřeby práce byla tedy navržena PCB deska se standardní tloušťkou 1,57 mm (OurPCB, n. d.) a rozměry 18x20 mm, do jejíhož středu je LED zdroj umístěn. V horním a spodním rohu jsou do desky diagonálně vyvrtány dva otvory pro šrouby M3x6. Pomocí těchto šroubů je deska přimontována k chladiči. Jako vhodné byly navrženy šrouby ISO 4762 M3x6, tedy šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Ty jsou vybrány pro svoji menší plochu hlavy než klasické šestihřanné šrouby a jejich velikost je vybrána kvůli lepší manipulaci a jednodušší smontovatelnosti než se šrouby velikosti M2. Napájení LED zdroje je navrženo tak, že kabely budou připájeny přímo na PCB desku. Díky připojení přímo na plochu PCB desky není potřeba použití svorkovnic. V konstrukci se vyskytují dvě totožné PCB desky, které jsou osazeny totožnými LED zdroji.

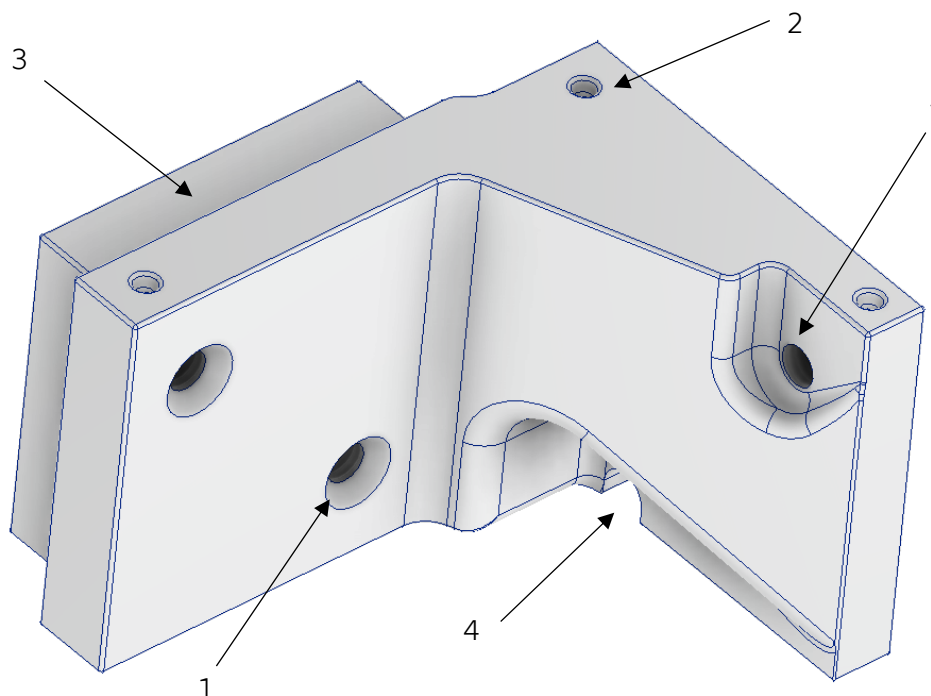


Obrázek 20 – PCB deska

6.3 Chladič

Pasivní chladič je integrální součástí celé konstrukce. Tento chladič byl navržen tak, aby vyhovoval zadání a zároveň plnil dvě hlavní funkce: Zajistit přesné uložení LED zdrojů a zároveň odvádět teplo vytvářené světelnými zdroji mimo konstrukci. Mezní rozměry chladiče jsou 35x35 mm a bude díky malým rozměrům odlit z hliníku metodou vysokotlakého lití nebo lití na vytavitelný model.

První funkcí chladiče je zajistit přesné uložení PCB desek, do jejichž středu jsou uloženy LED zdroje, a tím i zajistit přesnou polohu optické osy. Jak již bylo zmíněno, desky jsou spojeny s chladičem pomocí dvou šroubů ISO 4762 M3X6. Pro tyto šrouby jsou tedy v chladiči vyřezány čtyři závity M3 – přišroubováním desek k chladiči je vymezena jejich přesná poloha. Pro funkci celé optické soustavy je nutné také přesné umístění chladiče v rámci celé konstrukce. Na vrchní a spodní ploše chladiče jsou tedy vytvořeny tři prohlubně tvaru kužele s nejmenším průměrem 1 mm a k těmto prohlubním se na spodním krytu a víku konstrukce vyskytují protějšky v podobě kuželů. Zasazením prohlubní na kužele spodního krytu a přiložením víka s druhou sadou kuželů je zabezpečena přesná poloha chladiče a vznikají optické osy.



Obrázek 21 – Chladič. 1 – Otvory se závity M3, 2- kuželové prohlubně, 3 – prodloužení mimo konstrukci, 4 – otvor pro kabeláž

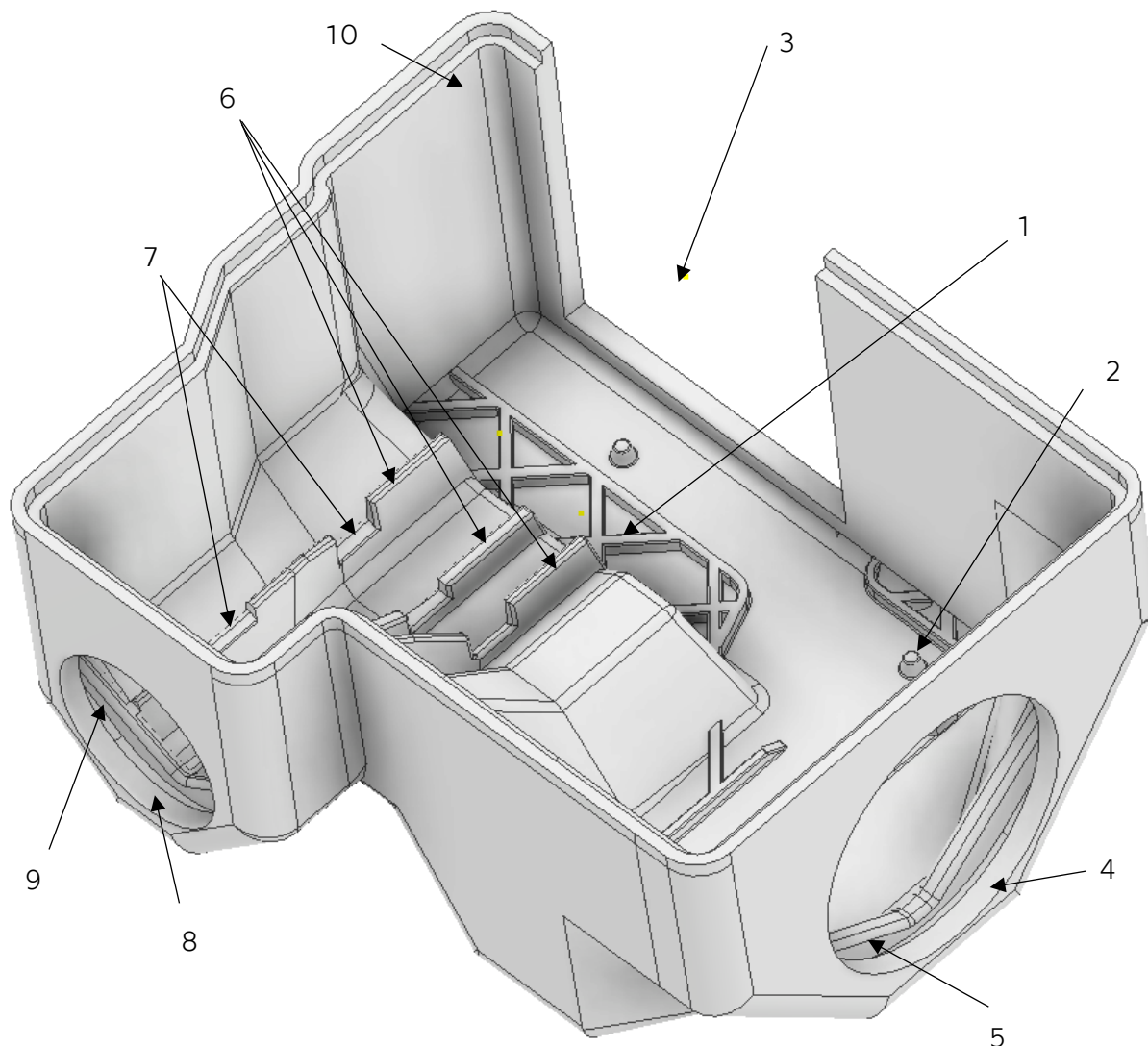
Druhá a neméně důležitá funkce chladiče je odvádět teplo z celé konstrukce ven, aby se předešlo přehřívání LED zdrojů. Při navrhování bylo cílem aby byl celý chladič co nejhmotnější a absorboval co nejvíce tepla. Vznikl tedy návrh, kdy chladič připomíná tvar písmene L, jak ukazuje obrázek 21. Tento tvar umožňuje připojení obou PCB desek najednou a tím i odvod tepla z obou LED zdrojů současně. V Zadání bylo určeno, že chladič musí vystupovat ven z konstrukce. V levé části je tedy naznačeno prodloužení chladiče, aby bylo zadání splněno. Přesný tvar chladiče mimo konstrukci však není přesně definován – jeho tvar a rozměry se budou odvíjet od tepelných výpočtů, které již nejsou předmětem řešení této práce. V pravé části chladiče lze pozorovat vybrání, díky němuž se chladič vyhýbá konstrukčním prvkům krytu, a které obsahuje otvor pro kabeláž. Otvor pro kabeláž je navržen tak, aby se skrz něj daly pohodlně protáhnout dva kabely průřezu 1 mm², potřebné k napájení LED zdroje. Otvor pro kabeláž je v tomto místě umístěn proto, že zde nejsou žádné konstrukční prvky, které by kabelům překážely, a zároveň kabelům znemožňuje volný pohyb po konstrukci.

6.4 Spodní kryt výrobku

Spodní kryt výrobku, v práci také označován jednoduše jako kryt, je díl vyrobený technologií vstřikování plastů. Pro jeho výrobu byl vybrán nízkohustotní kopolymer PC/ABS SLX2271T. Tento materiál umožňuje vytvářet rozměrově malé a lehké výrobky, které jsou zároveň nenasákové, relativně pevné, teplotně stálé a odolné vůči nárazu. Do spodního krytu jsou uloženy všechny ostatní součástky. Jeho hlavní funkcí je zajistit správné uložení všech komponent a chránit je před vnějšími vlivy. Pro kryt byla navržena tloušťka stěny 1,5 mm, která zůstává v rámci celého krytu neměnná. To vyhovuje doporučené tloušťce stěny pro PC i pro ABS a také umožňuje vytvoření potřebných technologických prvků, zejména žeber o dostatečné výšce.

Kryt se dá z hlediska konstrukce rozdělit na dvě části. První část tvoří převážně plocha, do které je umístěn chladič. Ta obsahuje několik křížených žeber (1, viz obrázek 22) o tloušťce a výšce 0,8 mm zabraňující kroucení konstrukce, a dále tři kuželové výstupky (2) o minimálním průměru 1 mm. Na tyto kuželové výstupky je poté při montáži nasazen chladič. Ve vrchní části se také nachází vybrání (3) obdélníkového průřezu, z kterého chladič vystupuje ven z konstrukce. V pravé části je poté plocha zešikmena a je ukončena kruhovým otvorem (4) pro vložení krycího sklíčka. Tento otvor o průměru 18 mm je vytvořen pomocí pohyblivých částí formy. U otvoru lze pozorovat příčné žebro (5), které

zvyšuje tuhost konstrukce a pomáhá správnému umístění krycího sklíčka. Zmíněné konstrukční části jsou zobrazeny na obrázku 22.



Obrázek 22 – Spodní kryt výrobku. 1-křížená žebra, 2-kuželové výstupky, 3-obdélníkový průřez, 4-kruhový otvor 18 mm, 5-příčné žebro, 6-žebra, 7-drážky pro čočky, 8-kruhový otvor 12 mm, 9- příčné žebro

Druhá část krytu má tvar písmene U, a její hlavní funkcí je uložení a zabezpečení čoček ve správné vzdálenosti od zdroje světla. Pro správné umístění čoček a vyšší tuhost celého dílu jsou v těchto místech navržena tři žebra (6). V žebrech jsou vytvořeny drážky (7), do kterých jsou poté čočky vloženy. Uložení čoček je detailněji popsáno v kapitole 6.6. Ve spodní části se opět vyskytuje kruhový otvor pro krycí sklíčko (8), v tomto případě o průměru 12 mm. U otvoru se také vyskytuje příčné žebro pro přesné uložení krycího sklíčka (9).

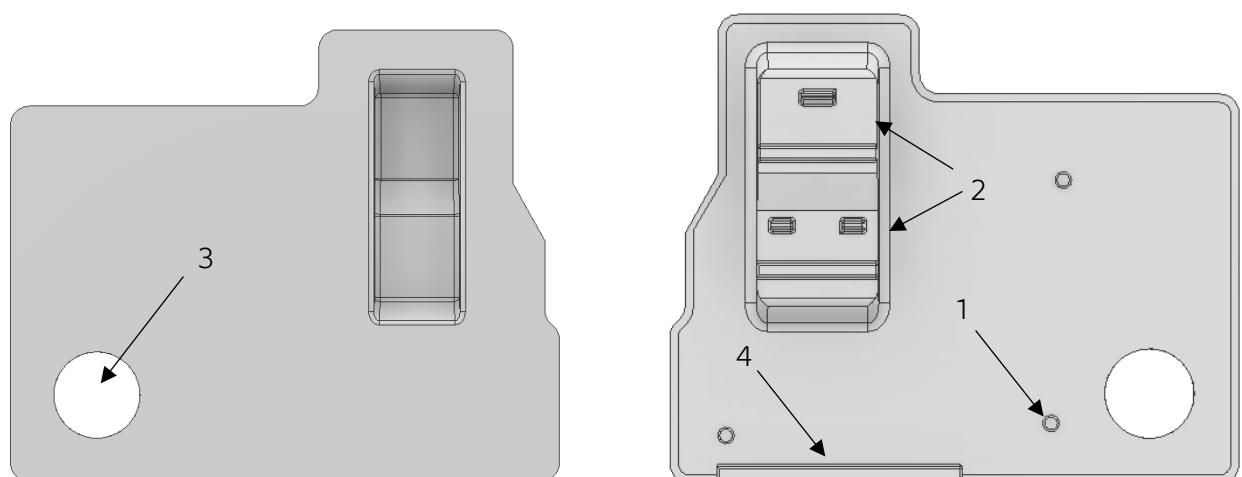
Na vrchu celého krytu, tedy v místě jeho dělicí roviny, je umístěn lem (10), který pomáhá smontování krytu s víkem krytu. Spodní kryt byl vytvořen tak, aby ho bylo možné

bezpečně vyjmout z formy. Vnitřní i vnější stěny jsou tedy minimálně o 1° zešikmeny, a na hranách je kromě lemu v dělicí rovině vytvořeno zaoblení. Hodnota zaoblení je pro vnitřní stěny 1 mm, pro vnější stěnu 2,5 mm.

6.5 Víko krytu

Víko krytu má stejně jako kryt tloušťku stěny 1,5 mm a je také navrženo jako díl vyráběný pomocí technologie vstřikování z kopolymeru PC/ABS. Víko slouží k zakrytí celé sestavy a také zamezuje pohybu jednotlivých dílů sestavy. Na vnitřní části víka jsou vytvořeny výstupky ve tvaru kužele (1), které zapadají do prohlubně chladiče a vymezují přesnou polohu chladiče.

Jako další konstrukční prvek je na vnitřní straně víka navrženo zahloubení, na kterém jsou umístěny zářezky pro čočky. Tyto zářezky slouží pro přidržení čoček na svém místě, aby při vibracích spojených s provozem automobilu nevypadly ze svých pozic. O přesné uložení čoček se primárně starají zářezky ve spodním krytu. Vnitřní stěny zahloubení jsou zešikmeny o 1°, aby bylo možné bezpečné vyjmutí z formy. Ze stejného důvodu jsou na vnitřní straně krytu vytvořeny rádiusy. Víko krytu dále obsahuje otvor o průměru 8 mm (3), do kterého je při sestavení celé konstrukce umístěna průchodka pro kabeláž. Na okrajích víka je vytvořen lem, který při smontování sestavy zapadne do lemu spodního krytu a na svém místě je poté přilepen. Tím je celá sestava uzavřena a je zajištěna vodotěsnost. V místě, kde chladič vystupuje ven ze sestavy, lem chybí. Místo toho je zde navrženo rozšíření (4), které vytváří lem v opačném směru než na zbytku dílu. O toto rozšíření je následně opřeno těsnění mezi chladičem a kryty.



Obrázek 23 – Víko krytu. 1-kolíky pro vymezení chladiče, 2-zarážky pro čočky, 3-otvor pro kabeláž, 4-rozšíření pro těsnění

6.6 Kompletace sestavy

Následující obrázek ukazuje finální návrh sestavy zakrytování. Tato kapitola vysvětluje, v jakém pořadí a jakým způsobem jsou jednotlivé díly skládány dohromady.

Prvním procesem při sestavování výrobku je přilepení krycích sklíček na vnitřní stěnu krytu konstrukce. Navrženým materiálem krycích sklíček je polykarbonát. Polykarbonát je materiál běžně užívaný na světlomety automobilů (, n. d.) – je průhledný, takže nebude bránit procházejícímu světlu, a zároveň je dostatečně pevný, aby plnil funkci krycího sklíčka. Sklíčka jsou nejprve usazena do prohlubní vytvořených příčnými žebry ve spodním krytu (viz kapitola 6.4), a poté jsou na vnitřní stěnu krytu přitlačena. Krycí sklíčka jsou navržena tak, aby měla průměr o 4 mm větší, než je průměr vytvořených otvorů. Tím vzniká dostatečné překrytí ploch pro nanesení lepidla. Větší krycí sklíčko (1) má tedy průměr 20 mm, menší krycí sklíčko (2) má průměr 14 mm, a tloušťka obou sklíček je 1 mm.



Obrázek 24 – Těsnění a ustavení v konstrukci. 1-Krycí sklíčko velké, 2-krycí sklíčko malé, 3-krycí sklíčko,4-těsnění u chladiče, 5-pryž k ustavení čoček

Po přilepení krycích sklíček jsou do krytu vloženy čočky. K tomu, aby bylo možné bezpečně vymezen jejich polohu, bylo navrženo použití silikonové pryže. Ze silikonové pryže jsou vytvořena mezikruží, která jsou pomocí lepidla přilepena k čočce a poté společně vložena do připravených drážek krytu (3). Silikonová guma přitlačí čočky ke stěně drážky, a tím je vymezena jejich přesná poloha.

Na chladič jsou nejprve přišroubovány PCB desky s LED zdrojem, poté se na zadní část, kde chladič vystupuje ven ze sestavy, umístí těsnění (4). Navrhovaný typ těsnění je opět ze silikonové pryže. Chladič je následně umístěn do sestavy na připravené kuželové výstupky a kabeláž je protažena spodním otvorem v chladiči. Do víka krytu je nejprve vložena kabelová průchodka (5). Předpokládá se, že na napájení dvou LED zdrojů bude potřeba kabel minimálně $4 \times 1 \text{ mm}^2$. Proto je vnitřní průměr průchodky navržen na 4 mm. Nakonec je víko krytu přilepeno ke spodnímu krytu, přes průchodku je provlečen kabel napájení LED zdrojů, a tím je celý výrobek sestaven.

Navrhované použití lepených spojů je časově náročnější než při použití mechanických spojů, snížená produkce je ovšem vyvážena lepší odolností vůči nežádoucím vnějším vlivům. Použitím lepených spojů je možné dosáhnout navrhnutého stupně zakrytí IP 55.

7. Ideový návrh zaformování vybraných výrobků

Tato kapitola pojednává o různých variantách ideových návrhů zaformování a hodnotí jejich klady a zápory. Pojednává o zvolené násobnosti forem, rozložení ve formě, umístění pohyblivých částí formy, náčrtu vtokové soustavy a výběru možného vstřikovacího stroje s ohledem na sériovou výrobu.

7.1 Násobnost a rozmístění ve formě

Hmotnostní a rozměrové parametry dílů jsou zobrazeny v následující tabulce:

Tabulka 18 – Průmět plochy do dělicí roviny, objem a hmotnost výrobků (vypočteno pomocí Autodesk Inventor)

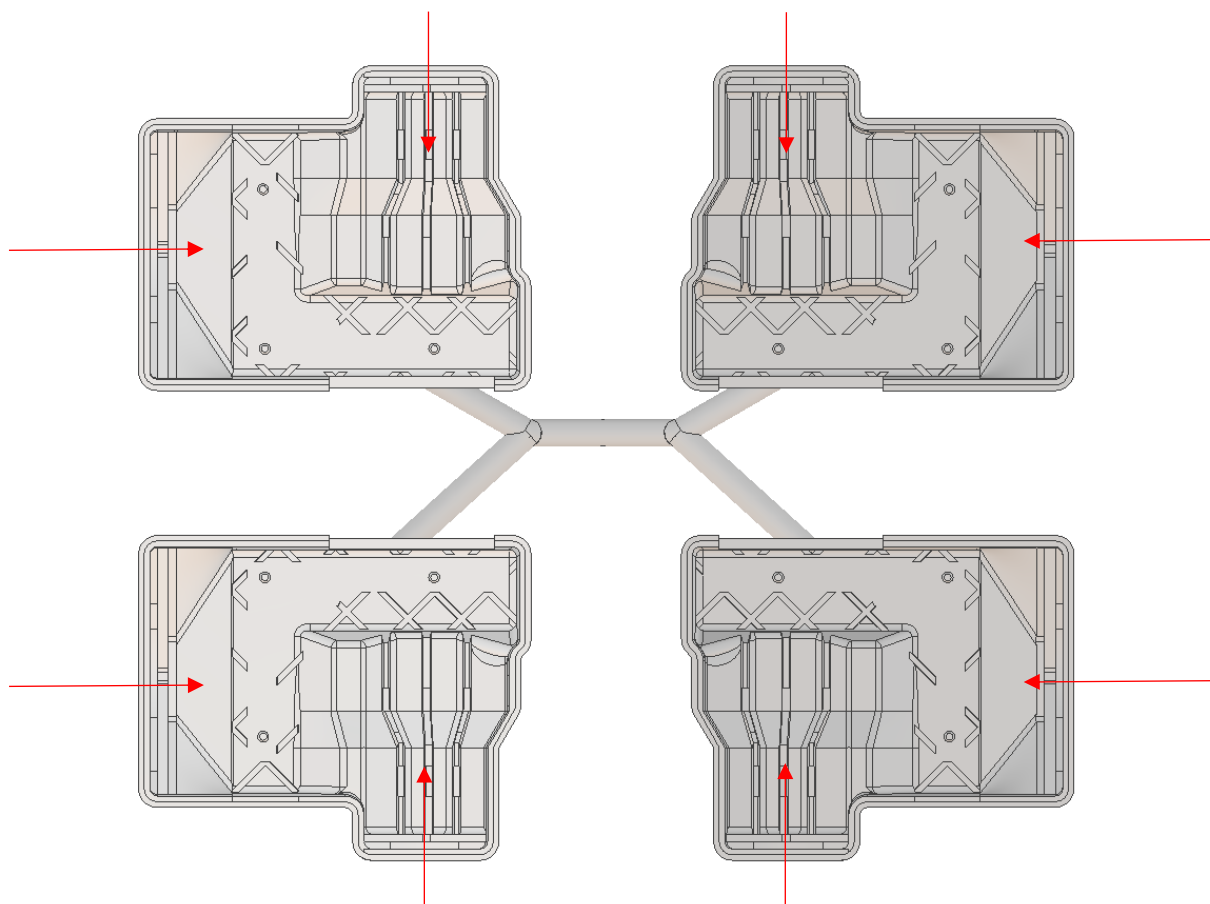
Název dílu	Průmět plochy [mm ²]	Objem [mm ³]	Hmotnost [g]
Víko krytu	2218,5	2966,5	3
Kryt	2231,1	7788,9	8

Z tabulky lze pozorovat, že kryt má oproti víku více než dvojnásobnou hmotnost a objem. Díly však mají stejnou tloušťku stěny, nejsou nijak prostorově složité, jejich hmotnost je velmi malá (jednotky gramů). Proto vznikly tři návrhy, jak vyřešit rozmístění dílů do forem:

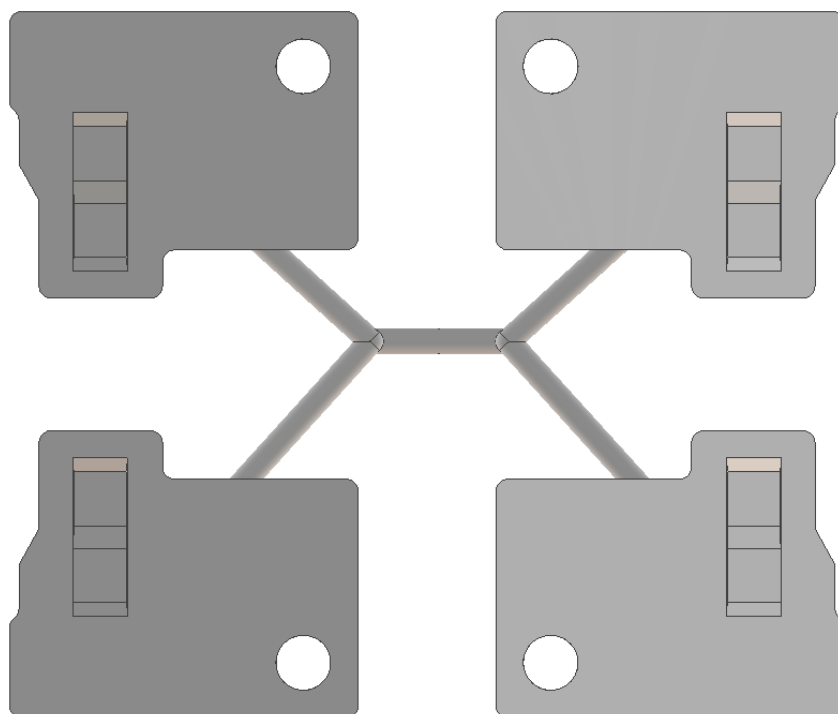
7.1.1. Návrh č.1 – Samostatná forma pro kryt a pro víko krytu

V návrhu č.1 byly navrženy dvě formy. V první formě by se vstříkovaly až 4 kryty, 2 na levou stranu automobilu, a 2 zrcadlově otočené na pravou stranu automobilu. Stejným způsobem by byla vytvořena i forma pro víka. Výhodou tohoto řešení je hlavně jednodušší nastavení vstřikovacích podmínek a vysoká produktivita. Jednalo by se o jednodušší a tím pádem levnější formy a jako další výhoda může být bráno logistické hledisko, kdy v daný čas stroj produkuje pouze jeden typ výrobků, které je nutno roztřídit pouze na levé a pravé kusy.

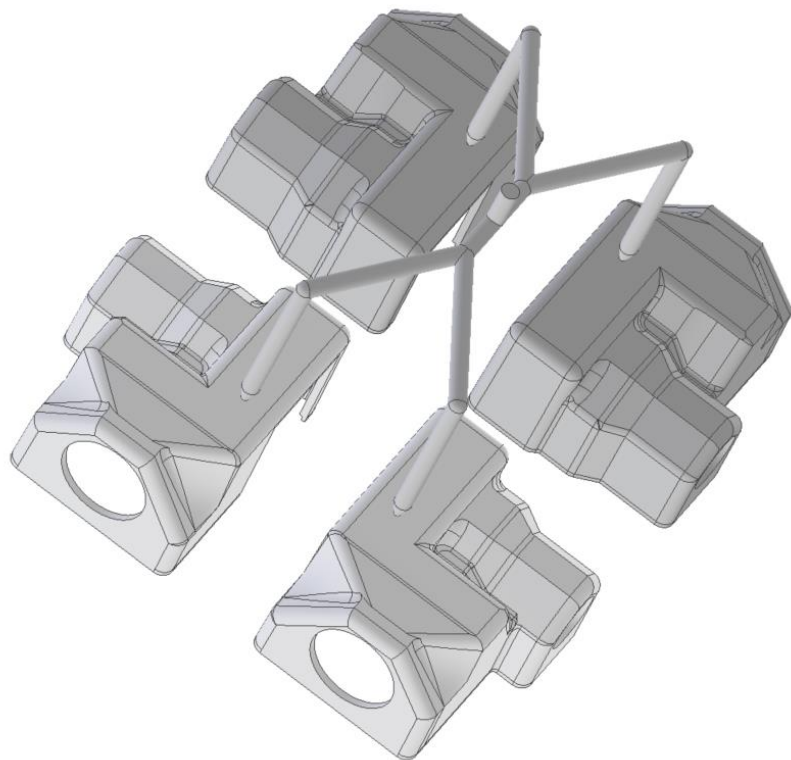
Hlavní nevýhodou této varianty je její ekonomické hledisko. Je zapotřebí dvou forem, a tím pádem i kapacity dvou vstřikovacích strojů pro zajištění kontinuální výroby. Při tomto rozložení krytů v jedné formě se zaústěním vtoku z vnější strany, je problematické umístit pohyblivé části formy vytvářející otvory do boku stěn – musely by být umístěny ze všech směrů, včetně směru ze spodní části formy, což je technicky náročné. Následující obrázky ukazují předpokládané rozmístění dílů ve formách pro návrh č.1.



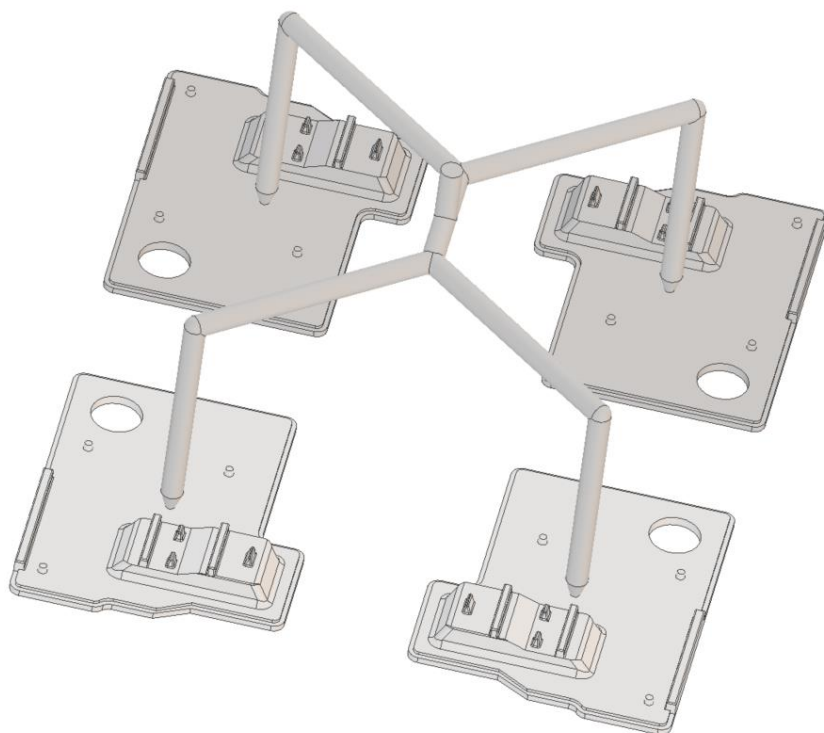
Obrázek 25 – Návrh č. 1 – Rozmístění krytu ve formě. Červené šipky značí pohyblivé části formy



Obrázek 26 – Návrh č. 1 – Rozmístění víka krytu ve formě



Obrázek 27 – Návrh č. 1 – Ideový návrh vtokové soustavy pro kryty

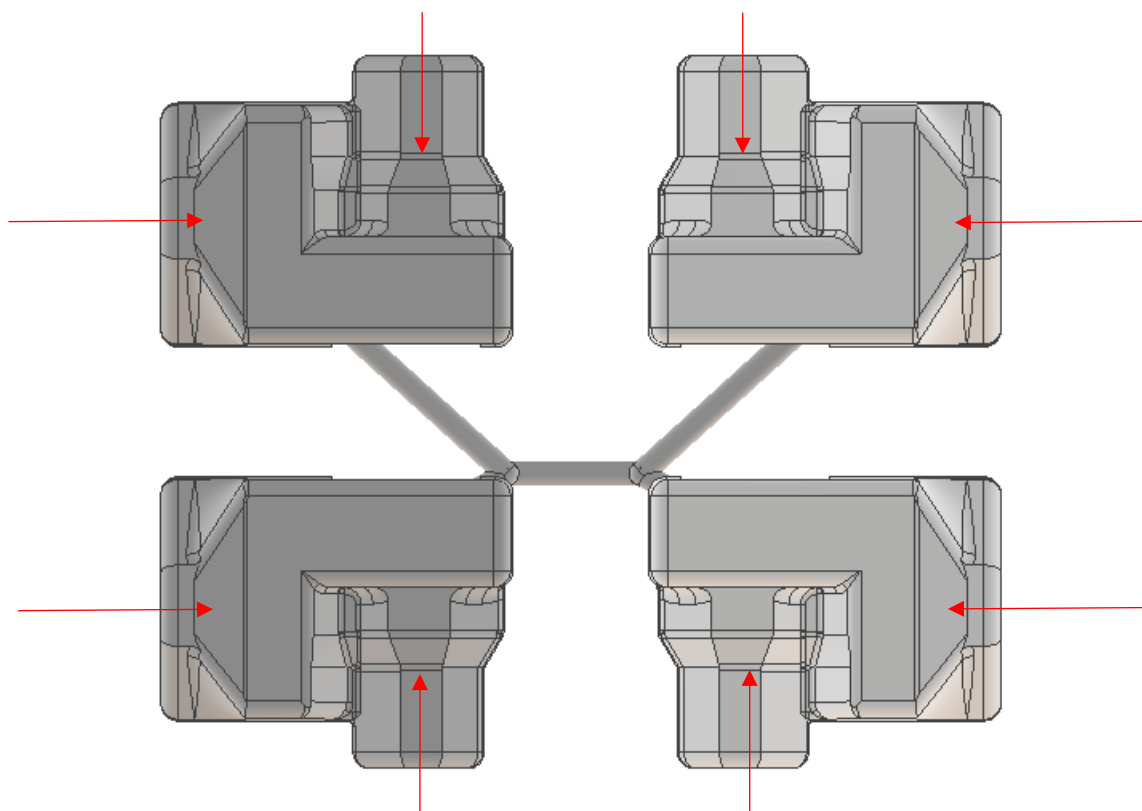


Obrázek 28 – Návrh č. 1 – Ideový návrh vtokové soustavy pro víka krytů

7.1.2. Návrh č.2 – 2 formy, obrácená orientace výstřiku

Návrh č. 2 je obdobou návrhu č. 1, počítá tedy s dvěma rozdílnými formami pro kryt a víko. Forma pro víko zůstává stejná, ve druhé formě jsou však kryty oproti původnímu návrhu pootočený o 180 °. Znamená to tedy, že vnitřní část krytu bude tvořena pevnou částí formy, pohyblivá jádra přidrží díly při otevírání formy na pohyblivé části formy, ze které budou následně odformovány vyhazovači. První výhodou této změny je fakt, že vtokové ústí bude uvnitř výrobku – na vnějším povrchu nebudou vidět stopy po vtokové soustavě. Jednodušší bude i umístění bočních pohyblivých částí. Ty budou umístěny v pohyblivé části formy, což je technicky jednodušší a umožní provedení bočních tvarů i zespodu formy.

Nevýhodou je fakt, že chlazení vnitřní části dílu by bylo umístěno v pevné části formy. Vzhledem k malým rozměrům výrobku nezbývá po umístění vtoku do vnitřní části mnoho místa pro vložení bodového chlazení. Nevýhodou je, že vyhazovače budou umístěny na vnějším povrchu výstřiku, a tak budou zanechávat viditelné stopy. Stejně jako v prvním návrhu stále platí, že pro kontinuální výrobu celého výrobku je zapotřebí kapacit dvou vstřikovacích strojů. Oproti návrhu č.1 by se navíc u formy pro kryty zvýšily náklady na výrobu. Vnitřní profilová část výrobku by totiž musela být vyfrézovaná do pevné části formy, a do pohyblivé části formy by musel být vyfrézován celý vnější povrch výrobku – obě vložky by byly hlubší.



Obrázek 29 – Návrh č. 2- Rozmístění pro kryt. Červené šipky značí pohyblivé části formy

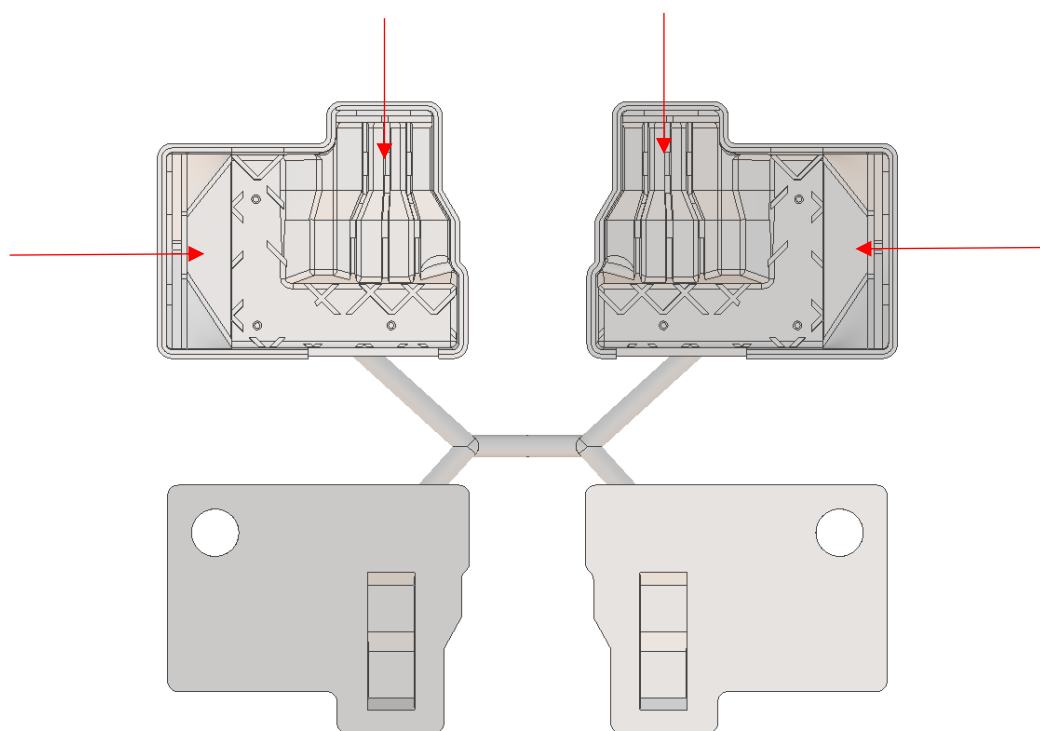


Obrázek 30 – Návrh č. 2 – Forma otočena o 180 ° pro kryt součástí

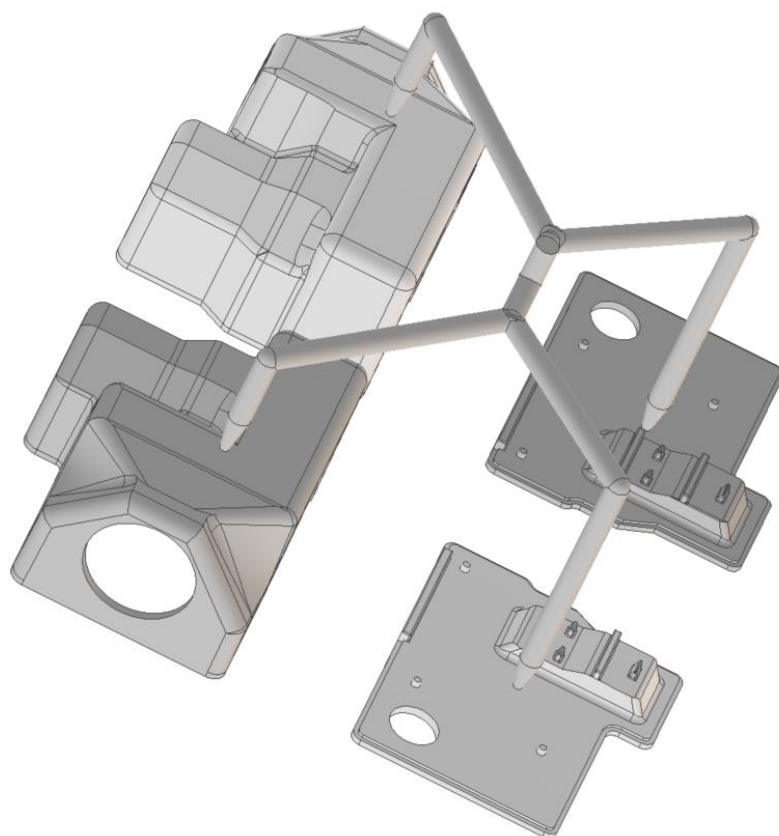
7.1.3. Návrh č. 3 – Společná forma pro kryt i víko krytu

Návrh č.3 počítá pouze s jednou formou, která by byla společná pro kryt i víko. Tato forma by obsahovala dva zrcadlově otočené kryty (pro pravou a levou část automobilu) a dvě zrcadlově otočená víka krytu. Vývoj a výroba formy je časově a nákladově náročná záležitost, a proto je vítaná možnost vyrábět potřebné výrobky za pomoci pouze jedné formy. Odpadá potřeba měnit formy na vstřikovacím stroji, či využití kapacit dalšího vstřikovacího stroje. Další výhodou je fakt, že každý vstřikovací cyklus vyrobí všechny výstřiky potřebné k výrobě sestav pro jeden automobil. Odpadá také problém se spodními pohyblivými částmi formy, vyskytující se v návrhu č.1.

Hlavní nevýhodou budou komplikace s nastavením vstřikovacích parametrů. Kryt i víko krytu sice mají stejnou tloušťku stěny 1,5 mm, nicméně hmotnost a tvarová složitost dílů se liší – kryt je tvarově mnohem složitější a hmotnější. Výsledné vstřikovací parametry budou kompromisem požadavků obou dílů a vzniká určité riziko vyššího výskytu vad. Protože se však jedná o malé díly, počítá návrh č. 3 s tím, že použité vstřikovací parametry nebudou mít na kvalitu výrobků zásadní vliv. Následující obrázek ukazuje rozložení dílů ve formě pro návrh č. 3.



Obrázek 31 – Návrh č. 3 – rozmístění krytu a víka krytu ve formě. Červená šipka značí pohyblivé části formy



Obrázek 32 – Návrh č. 3 – Ideový návrh rozmístění vtokové soustavy

7.2 Rozpracování nejvhodnější varianty

Pro přehledné porovnání kladů a záporů obou návrhů byla vytvořena rozhodovací tabulka:

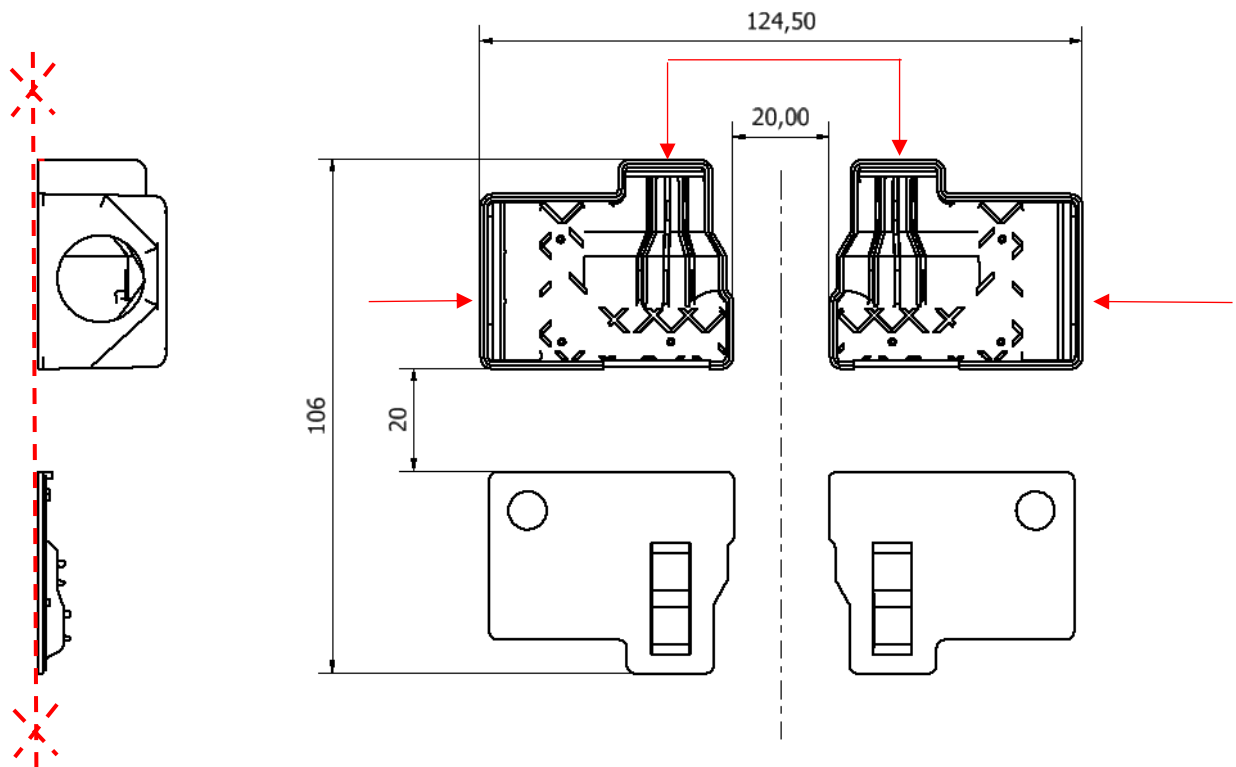
Tabulka 19 – Srovnávací tabulka navržených variant zaformování

Návrh č. 1 – 2 formy	+ Nastavení vstřikovacích parametrů
	+ Vyšší výsledná produktivita výroby
	- Vyšší náklady na nástroje
	- Strojní kapacita
	- Problematické umístění pohyblivých částí formy
Návrh č. 2 – 2 formy, změna orientace	+ Nastavení vstřikovacích parametrů
	+ Vyšší výsledná produktivita výroby
	+ Jednodušší formování oproti 1
	- Vyšší náklady na nástroje
	- Velký úběr materiálu při výrobě formy
	- Komplikované chlazení
Návrh č. 3 – společná forma	+ Nižší náklady na nástroje
	+ 1 cyklus = 1 automobil
	+ Strojní kapacita
	- Složitější optimalizace technologických parametrů
	- Nižší výsledná produktivita výroby

Po zvážení kladů a záporů všech variant bylo rozhodnuto pro **návrh č. 3 – společná forma**. Výběr ovlivnily primárně náklady spojené s využitím kapacit více vstřikovacích strojů a nástrojů.

Na následujícím obrázku lze pozorovat vybrané zaformování. Ve formě jsou umístěny kryty a víka pro levou i pravou stranu vozidla. Vzdálenost mezi jednotlivými díly je 20 mm pro zamezení vzájemného tepelného ovlivňování, celkové rozměry této sady jsou poté přibližně 105x125 mm. Po zahrnutí okrajů je počítáno s vložkami o velikosti minimálně 150x180 mm. Díly jsou umístěny do dělicí roviny tak, aby nebyla lomená a aby se uspořil materiál formy. Dělicí rovina je znázorněna červenou přerušovanou čarou. Červené šipky dále znázorňují pohyblivé části formy, které v krytu vytváří otvory. Vybrané rozložení je

výhodné tím, že horní otvory na obou krytech bude možné vytvořit pomocí jader na společném tahači.



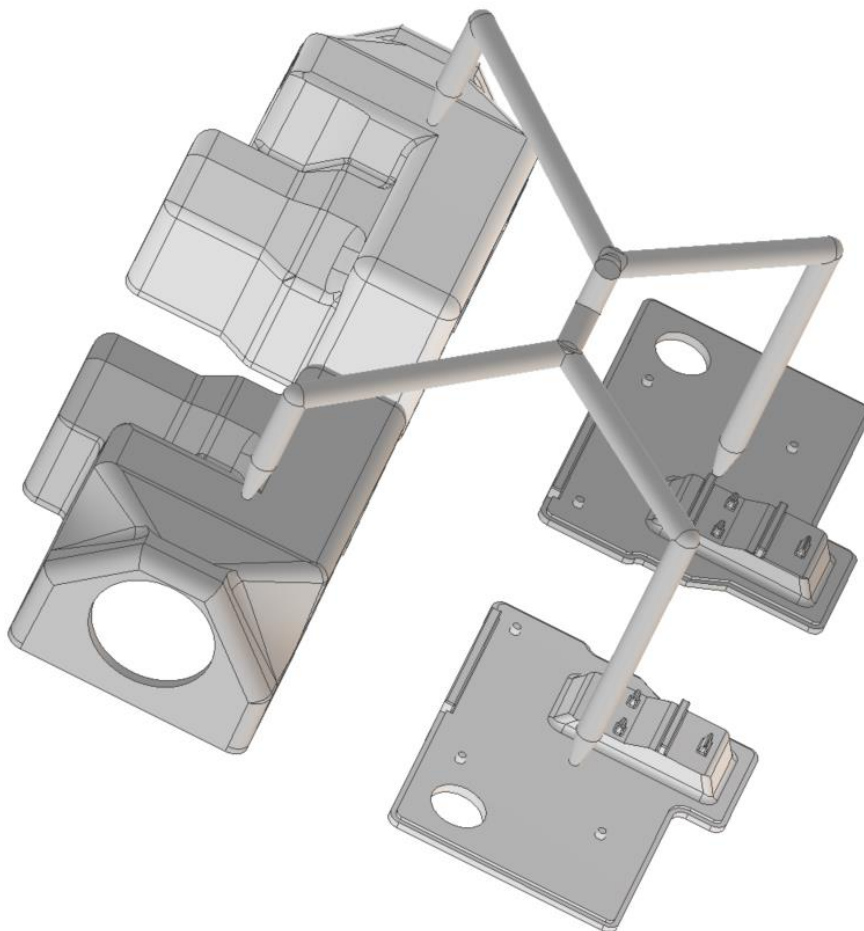
Obrázek 33 – Finální rozložení dílů ve formě. Červená přerušovaná čára – dělicí rovina, červené šipky – jádra pro vytvoření otvorů

7.3 Vtoková soustava

Vtoková soustava přivádí taveninu z komory vstřikovacího stroje přes trysku do formy. Vtoková soustava byla navržena jako studená, rozvodné kanály by měly tedy mít co nejmenší rozměry, aby se minimalizovaly ztráty ve formě odpadu. Z hlediska největší úspory materiálu je ideální vytvořit jeden vtokový kanál, který se poté v dělicí rovině rozvětví k jednotlivým dílům, zaústění vtoku je na výrobky napojeno ve směru kolmém na dělicí rovinu. Tato varianta je také neekonomičtější, protože pro výrobu vtokové soustavy není nutné na formě odebírat velké množství materiálu. Varianta s vtokovými ústími v dělicí rovině je ale pro tuto konstrukci nevhodná – kryt i víko krytu obsahují v dělicí rovině lem, který je konstrukčním prvkem. Při umístění vtoku na lem by došlo k vytvoření stopy po vtoku, která by znemožňovala sestavu zkompletovat, případně by nebyl splněn požadavek na stupeň ochrany IP 55.

Proto bylo vtokové ústí navrženo tak, aby vstupovalo do těla výstřiků. U krytu součásti je vtokové ústí umístěno do jeho vnější části, kde se nenachází žádné konstrukční prvky. Toto řešení bude zanechávat na krytu stopy, [REDACTED] [REDACTED] kvalita povrchu je proto upozaděna vůči funkčním vlastnostem. Vtok je umístěn do přibližného středu výrobku, aby docházelo k rovnoměrnému průběhu plnění. Umístění vtoku do vnější části krytu také napomáhá k snadnějšímu zaplnění profilových prvků konstrukce umístěných na vnitřní části krytu, jako jsou například žebra.

U víka krytu je vtok umístěn na jeho vnitřní část, stopa po vtoku tedy nebude viditelná. Vtok je umístěn do přibližného středu plochy blízko zahloubení, aby opět docházelo k rovnoměrnému zaplnění. Forma s navrhnutou vtokovou soustavou bude oproti variantě s vtoky v dělicí rovině dražší a bude vznikat více zbytkového materiálu. Přesto byly konstrukční požadavky upřednostněny před ekonomickými.



Obrázek 34 – Vybraný návrh vtokové soustavy

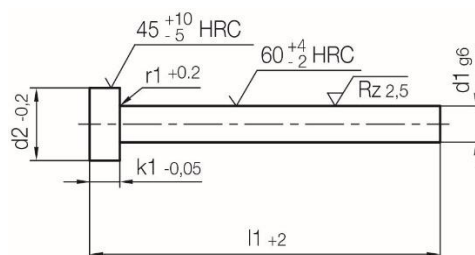
7.4 Umístění vyhazovačů

Funkce vyhazovacího systému je odformování výstřiku po otevření vstřikovací formy. Umístění vyhazovačů je kritické pro optimální odformování. Nejjednodušší variantou z hlediska výroby formy by bylo umístit vyhazovače do míst, kde se nachází dělicí rovina. Vzhledem k tomu, že se jedná o malý díl, pravděpodobně by stačilo vyhazovače umístit na okraje vnějších stěn. Této variantě však brání lem, který pomáhá spojení krytu a víka. Na stěnu by musely být umístěny technologické přídavky, které by komplikovaly sestavení krytu a víka. Problémový lem by byl možný obejít využitím stupňovitého zakončení vyhazovače, které by kopírovalo reliéf lemu.

Další variantou umístění vyhazovačů je přímo do vnitřní plochy krytu. Vyhazovače mohou mít v této variantě standardní kruhový tvar a také opadá nutnost použití technologických přídavků. Umístění vyhazovače na vnitřní plochu výrobku bude přinášet komplikace spojené s umístěním chladicího oběhu – vyhazovače prochází celou pohyblivou částí formy a zmenšují tak užitečný prostor pro umístění chlazení.

Vyhazovače jsou standardně umístěny kolmo na dělicí rovinu, kolmo na plochu, případně pod úhlem na šikmé plochy výrobku. V případě této práce bylo rozhodnuto, že se vyhazovače budou vyskytovat pouze kolmo, a nebude zapotřebí vyhazovače do šikmé plochy. Přidání vyhazovače do šikmé plochy by dále komplikovalo výrobu formy a znesnadňovalo vytvoření chladicího oběhu.

Vhodným vyhazovačem pro vyhození vytvořených dílů by mohl být například vyhazovač Z40/d1x11 od firmy HASCO (, n. d.). Průměr vyhazovače je 2,5 mm, a tím pádem se vejde do míst, kde bude potřeba.

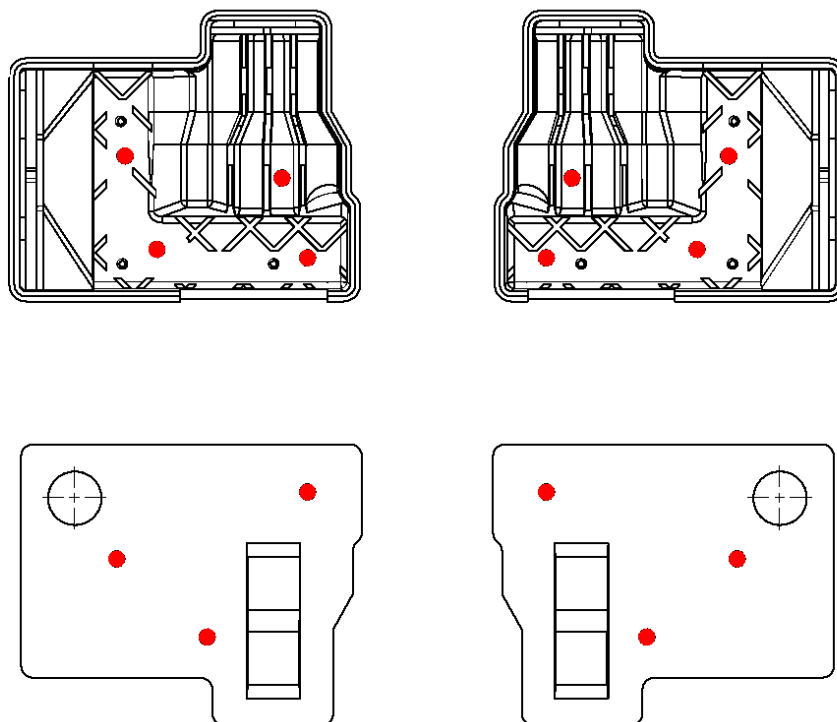


Obrázek 35 – Vyhazovač Z40/d1x11 od firmy HASCO, dostupné z (, n. d.)

Následující obrázek ukazuje navržené rozložení vyhazovačů, červené tečky značí vyhazovače o průměru 2,5 mm. Ty byly rozmístěny tak, aby došlo k co nejrovnoměrnějšímu vyhození výrobků z formy. U krytu jsou tři vyhazovače umístěny do spodní plochy, a poté jeden do plochy, která objímá optickou soustavu. Do plochy, která objímá optickou soustavu by bylo vhodné umístit ještě jeden vyhazovač, vzhledem ke

konstrukci krytu na něj již není prostor. Vyhazovač na šikmou plochu umístěn nebyl, neboť by zbytečně zabírat příliš místa ve formě a také by komplikoval umístění ostatních vyhazovačů a chladicího oběhu.

Na víko krytu byly umístěny tři vyhazovače tak, aby došlo k co možná nejrovnoměrnějšímu vyhození z formy. Proto se jeden vyhazovač vyskytuje poblíž otvoru pro kabeláž, druhý u zahloubení pro úchyt čoček a třetí v horním cípu výrobku.



Obrázek 36 – Umístění vyhazovačů

7.5 Výběr vstřikovacího stroje

7.5.1. Výpočet uzavírací síly

Po výběr vstřikovacího stroje je nutné vypočítat uzavírací sílu stroje. Pro výpočet bude použit vzorec používaný v praxi pro hrubý výpočet u tenkostěnných profilů. Vychází z tabulky doporučené uzavírací síly na jeden cm² průmětné plochy výrobku:

Tabulka 20 – Tabulka doporučených uzavíracích sil pro amorfnní termoplasty

		Doporučené hodnoty specifické uzavírací síly [kN/cm ²]
Amorfnní termoplasty	PS	1,5-3,5
	SAN	2,5-4,5
	ABS	3-5,5
	PMMA	3,5-5,5
	PC	3,5-6,5
	PES	4,0-6,0
	PA amorfnní	3,5-4,5

$$F_u = k \times S$$

F_u -Uzavírací síla [kN]

S -Průmětná plocha výstřiku [cm²]

k -doporučená hodnota specifické uzavírací síly v kN na 1 cm² – Pro vybraný materiál PC/ABS byla zvolena hodnota 5 [kN/cm²]

Průmětná plocha výstřiku je vypočtena pomocí Autodesku Inventor

$$S = 88,79 \text{ cm}^2$$

$$F_u = k \times S = 5 \times 88,79 = 443,95 \text{ kN}$$

7.5.2. Výběr vstřikovacího stroje

Na základě výše vypočítané uzavírací síly, objemu vstřikované taveniny a rozměrů formy je vybrat stroj s uzavírací silou 450 kN, např. BOY 60 E, od výrobce Dr.Boy GmbH & Co. KG



Obrázek 37 – Vstřikovací lis BOY 60 E od výrobce Dr.Boy GmbH & Co. KG, [31]

Vstřikovací lis BOY 60 E

„Vstřikovací lis BOY 60 E s max. uzavírací silou 600 kN je standardní horizontální vstřikolis s dvoudeskovým uzavíracím systémem a čtyřsloupkovým vedením uzavíracích desek. Lis je standardně vybaven patentovaným řídicím systémem Procan ALPHA® nejnovější generace.“[31]

- Uzavírací síla: 600 kN.
- Průměr šneku: 18 mm, 22 mm, 24 mm, 28 mm, 32 mm, 38 mm, 42 mm.
- Maximální objem výstřiku: 173,2 cm³.
- Světlý rozměr mezi sloupy: 360x335 mm.

Vybraný stroj má maximální uzavírací sílu 600 kN > 443,95 kN. Do světlého rozměru mezi sloupy by se daná forma o minimálních rozměrech 150x180 mm vešla i včetně rámu.

8. Závěr

Diplomová práce se nejprve zabývá přehledem plastových materiálů používaných v automobilovém průmyslu. U každého z popisovaných materiálů jsou uvedeny jeho vlastnosti a primární využití v automobilovém průmyslu. Následující kapitola se již prolíná do praktické části. Byla vytvořena přehledová tabulka konkrétních plastů, používaných pro vstřikování v automobilovém průmyslu. Plasty byly do tabulky vybírány tak, aby byly co nejvhodnější pro účely zadané konstrukce, a zároveň tak, aby bylo mezi materiály dosaženo co největší různorodosti. Nakonec byl vybrán kopolymer PC/ABS SLX2271T, který má pro aplikaci vhodné mechanické vlastnosti – je pevný, tuhý, odolný vůči vnějším vlivům a má malou délkovou teplotní roztažnost.

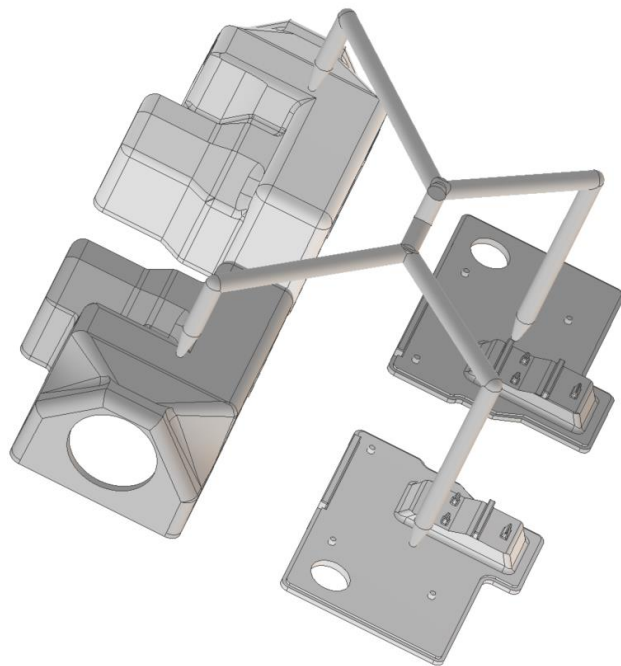
Další kapitoly shrnují konstrukční požadavky na díly vyrobené pomocí technologie vstřikování. Uvádí doporučení pro minimální tloušťku stěn, velikosti úkosů, zaoblení, žebrování a další. Dále tato kapitola řeší otázku ochrany proti vodě a pevným částicím dle ČSN EN 60529. Bylo rozhodnuto, že výrobek musí splňovat minimální ochranu IP 55 – musí být tedy odolný prachu i tryskající vodě. V další kapitole je řešena otázka spojování plastových výstřiků a byla vybrána vhodná varianta pro spojování plastových dílů konstrukce, a to lepení. Lepené spoje byly vybrány proto, že součásti tepelně neovlivňují a jsou dostatečně pevné a vodotěsné, aby vyhověly požadavkům krytí IP 55.

Dalším cílem práce byl samotný návrh konstrukce jednotlivých dílů sestavy. V něm byla snaha vyhovět požadavkům zadavatele a zároveň aplikovat informace nabyté v předešlých kapitolách. Kromě samotných plastových výstřiků byly navrhnuty i ostatní konstrukční prvky sestavy a následně byl také navržen postup montáže sestavy. Výsledné konstrukční řešení sestavy zakrytí bočního světla automobilu je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obrázek 38 – Konstrukční návrh sestavy

Posledním cílem diplomové práce bylo vytvořit ideový návrh zaformování. Vzniklo několik možných variant zaformování a byly popsány jejich výhody a úskalí. Byla vybrána varianta s jednou společnou formou, kdy každý vstřikovací cyklus vyrobí všechny výstřiky potřebné k výrobě sestav pro jeden automobil. U vybrané varianty bylo poté navrženo ideové umístění vtokové soustavy a také umístění vyhazovačů. Následující obrázek ukazuje vybranou variantu zaformování, včetně návrhu vtokové soustavy.



Obrázek 39 – Vybraná varianta ideového zaformování, včetně vtokové soustavy

9. Bibliografie

- [1] PATIL, Akshat, Arun PATEL a Rajesh PUROHIT. An Overview of Polymeric Materials for Automotive Applications. *Materials today: Proceedings* [online]. 2017, 3807-3815 [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.278>.
- [2] SZETEIOVÁ, Katarína. *Automotive materials, Plastics in Automotive Markets Today* [online]. 2010. [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: https://www.mtf.stuba.sk/buxus/docs/internetovy_casopis/2010/3/szeteiova.pdf
- [3] ZHANG, Hongshen a Ming CHEN. Current recycling regulations and technologies for the typical plastic components of end-of-life passenger vehicles: a meaningful lesson for China. *J Mater Cycles Waste Manag* [online]. April 2014, 2014, 187-200 [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: doi:10.1007/s10163-013-0180-3
- [4] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Publi.cz, 2016 [cit. 2021-02-17]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [5] RIEDL, Milena. Top 7 Thermoplastics in Automotive Manufacturing. *NETZSCH - the Thermal Analysis Blog • NETZSCH Thermal Analysis Blog* [online]. November 14, 2019 [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://ta-netzsch.com/top-7-thermoplastics-in-automotive-manufacturing>
- [6] The Definitive Guide to Polypropylene (PP). *Plastic Materials | Free Online Database for Plastic Industry* [online]. [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polypropylene-pp-plastic>
- [7] Polypropylene (PP) Plastic | UL Prospector. *Ingredient Search & Raw Materials Search Engine | Prospector* [online]. [cit. 2021-2-20]. Dostupné z: <https://plastics.ulprospector.com/generics/39/polypropylene-pp>
- [8] Akrylonitril/Butadien/Styren | LPM. *LPM | Výrobce technických dílů z plastů.* [online]. [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.lpm.cz/cs/abs-acrylnitril-butadien-styren>
- [9] Types of Plastics in the Automotive Industry | Richfields Blog. *Injection Molding Company China | Richfields Corporation* [online]. [cit. 2021-2-20]. Dostupné z: <https://richfieldsplastics.com/blog/plastics-automotive-industry/>
- [10] Polyamide plays an important role in automotive, electronic and packaging. *World's Leading B2B Portal for Plastics Industry* [online]. [cit. 2021-2-18]. Dostupné z: <http://atozplastics.com/upload/literature/polyamide.asp>

- [11] Plastics used in automobiles and its advantages. *Global Magazine for Plastics and Polymer Industry • Modern Plastics Global* [online]. 2018, 2018-04-27 [cit. 2021-2-26]. Dostupné z: <https://www.modernplasticsglobal.com/2018/04/27/plastics-used-in-automobiles-and-its-advantages/>
- [12] Plastics | Prospector. *Ingredient Search & Raw Materials Search Engine | Prospector* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://plastics.ulprospector.com/>
- [13] ZEMAN, Lubomír. *Vtřikování plastů: Teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [14] *Polyman - VDWF* [online]. [cit. 2021-07-07]. Dostupné z: <https://www.vdwf.de/polyman.html>
- [15] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2021-4-17]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [16] Basics of Injection Molding Design | 3D Systems. *3D Printers, Software, Manufacturing & Digital Healthcare | 3D Systems* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.3dsystems.com/quickparts/learning-center/injection-molding-basics#injequipment>
- [17] Principy konstrukce plastových výlisků | MM Průmyslové spektrum. *MM Průmyslové spektrum - nejčtenější strojírenský časopis a jeho digitální obsah | MM Průmyslové spektrum* [online]. 13.02.2013 [cit. 2021-4-16]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/principy-konstrukce-plastovych-vylisku>
- [18] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha 1: Nakladatelství technické literatury, n. p., 1986.
- [19] DIN 16 901. *Plastics mouldings: Tolerances and acceptance conditions for linear dimensions*. 1982.
- [20] ČSN EN ISO 286-1. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - ISO systém kódu pro tolerance lineárních rozměrů - Část 1: Základní tolerance, úchytky a uložení*. 2011.
- [21] DIN 16742:2013-10. *Plastics moulded parts - Tolerances and acceptance conditions*. 2013.
- [22] Star Rapid Plastic Injection Molding Tolerance Guide. *Star Rapid - Low-Volume Manufacturing & Prototyping* [online]. [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://www.starrapid.com/wp-content/uploads/2016/11/Star-Rapid-Plastic-Injection-Molding-Tolerance-Guide.pdf>

- [23] ČSN EN 60529 (330330). *Stupně ochrany krytem (krytí - IP kód)*. 1993.
- [24] KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981.
- [25] AMANCIO-FILHO, S.T. a J.F. DOS SANTOS. Joining of polymers and polymer–metal hybrid structures: Recent developments and trends. *Polymer Engineering and Science* [online]. 2009, 29 May 2009, 2009(49), 1461-1476 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1002/pen.21424>
- [26] DAWSON, Helen. *Snap-Fit Design Manual* [online]. 2017 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://silo.tips/download/snap-fit-design-manual>
- [27] What is the Standard PCB Thickness? | Tempo. *Software-accelerated electronics manufacturing | Tempo Automation* [online]. [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <https://www.tempoautomation.com/blog/what-is-the-standard-pcb-thickness/>
- [28] Z40/d1x1l1 | Vyhazovače | Vyhazovač | Vyhazování | Z | Produktový katalog | HASCO Portal. *HASCO Portal | Precision for Mouldmaking* [online]. [cit. 2021-8-12]. Dostupné z: https://www.hasco.com/cs/Z/Vyhazov%C3%A1n%C3%AD/Vyhazova%C4%8D/Vyhazova%C4%8De/p/Z40__d1x1l1#
- [29] BERLADIR, Kristina, T.P. HOVORUN a V.I. PERERVA. Modern materials for automotive industry. *Journal of Engineering Sciences* 4 [online]. 2017 [cit. 2021-02 -17]. Dostupné z: doi:10.21272/jes.2017.4(2).f8
- [30] GREWELL, D. a A. BENATAR. Welding of Plastics:: Fundamentals and New Developments. *International Polymer Processing Journal of the Polymer Processing Society* [online]. 2007 [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: doi:10.3139/217.0051
- [31] Vstřikovací lis BOY 60 E - 1.PLASTCOMPANY, spol. s r.o. *1.PLASTCOMPANY, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2021-8-20]. Dostupné z: <https://1plastcompany.cz/vstrikovaci-lis-boy-60-e>

10. Seznam tabulek a obrázků

10.1 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Hmotnostní rozložení plastů v běžném osobním automobilu, převzato z [3]	13
Tabulka 2 – Typické vlastnosti PP, převzato z [5].....	13
Tabulka 3 – Typické vlastnosti PUR, převzato z [5]	14
Tabulka 4 – Typické vlastnosti PVC, převzato z [5].....	15
Tabulka 5 – Typické vlastnosti ABS, převzato z [5].....	16
Tabulka 6 – Typické vlastnosti PA 6, převzato z [5].....	17
Tabulka 7 – Typické vlastnosti PE, převzato z [5].....	18
Tabulka 8 – Typické vlastnosti PC, převzato z [5]	19
Tabulka 9 – Fyzikální vlastnosti vybraných polymerů, informace o polymerech získány z [12].....	21
Tabulka 10 – Technologické parametry vybraných polymerů, informace o polymerech získány z [12].....	24
Tabulka 11 – Tabulka užitečných vlastností vhodných materiálů.....	26
Tabulka 12 – Doporučené tloušťky stěn, převzato z [16] ,upraveno	32
Tabulka 13 – Výběr z délkových tolerancí plastových výrobků dle DIN ISO 16742, převzato z [21].....	37
Tabulka 14 – Výběr z tolerancí průměru plastových dílů dle DIN ISO 16742, převzato z [21]	38
Tabulka 15 – Délkové tolerance pro plastové výstřiky firmy Star Rapid, převzato z [22] .	39
Tabulka 16 – Stupně ochrany před vniknutím cizích pevných těles dle ISO 60529, převzato z [23].....	40
Tabulka 17 – Stupně ochrany proti vniknutí cizích těles dle ISO 60529, převzato z [23]..	40
Tabulka 18 – Průmět plochy do dělicí roviny, objem a hmotnost výrobků (vypočteno pomocí Autodesk Inventor).....	54
Tabulka 19 – Srovnávací tabulka navržených variant zaformování.....	61
Tabulka 20 – Tabulka doporučených uzavíracích sil pro amorfní termoplasty.....	66

10.2 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Hmotnostní rozložení materiálů používaných při výrobě automobilu, převzato z [2].....	11
Obrázek 2 – Procentuální rozložení plastů v osobním automobilu, převzato z [3].....	12
Obrázek 3 – Vzorec PP [4].....	13
Obrázek 4 – Vzorec PUR [8].....	14
Obrázek 5 – Vzorec PVC [4].....	15
Obrázek 6 – Vzorec ABS [8].....	16
Obrázek 7 – Chemický vzorec polyamidu 6,6 a 6; převzato z [31], upraveno	17
Obrázek 8 – Vzorec PE [4].....	18
Obrázek 9 – Vzorec PC [4].....	19
Obrázek 10 – Demonstrátor POLYMAN, převzato z [14].....	30
Obrázek 11 – Optimální zaoblení dle vzorce $R2 = R1 + t$	33
Obrázek 12 – Doporučený profil žebra, převzato z [18].....	35
Obrázek 13 – Křížení žeber [17].....	35
Obrázek 14 – Příklady konstrukce komínků, převzato z [15]	36
Obrázek 15 – Přehled metod spojování výstřiků plastů, upraveno, převzato z [30].....	41
Obrázek 16 – Technologie svařování pomocí rotačního kotouče	42
Obrázek 17 – Svařování pomocí ultrazvuku	43
Obrázek 18 – Příklady použití háčkových spojů [26].....	45
Obrázek 19 – Zadané optické rozložení. 1-LED zdroj světla, 2 - čočka, 3 - čočka.....	46
Obrázek 20 – PCB deska	47
Obrázek 21 – Chladič. 1 – Otvory se závity M3, 2- kuželové prohlubně, 3 – prodloužení mimo konstrukci, 4 – otvor pro kabeláž	48
Obrázek 22 – Spodní kryt výrobku. 1-křížená žebra, 2-kuželové výstupky, 3-obdélníkový průřez, 4-kruhový otvor 18 mm, 5-příčné žebro, 6-žebra, 7-drážky pro čočky, 8-kruhový otvor 12 mm, 9- příčné žebro.....	50
Obrázek 23 – Víko krytu. 1-kolíky pro vymezení chladiče, 2-zarážky pro čočky, 3-otvor pro kabeláž, 4-rozšíření pro těsnění.....	51
Obrázek 24 – Těsnění a ustavení v konstrukci. 1-Krycí sklíčko velké, 2-krycí sklíčko malé, 3-krycí sklíčko,4-těsnění u chladiče, 5-pryž k ustavení čoček	52
Obrázek 25 – Návrh č. 1 – Rozmístění krytu ve formě. Červené šipky značí pohyblivé části formy	55
Obrázek 26 – Návrh č. 1 – Rozmístění víka krytu ve formě	55
Obrázek 27 – Návrh č. 1 – Ideový návrh vtokové soustavy pro kryty.....	56

Obrázek 28 – Návrh č. 1 – Ideový návrh vtokové soustavy pro víka krytů	56
Obrázek 29 – Návrh č. 2- Rozmístění pro kryt. Červené šipky značí pohyblivé části formy	58
Obrázek 30 – Návrh č. 2 – Forma otočena o 180 ° pro kryt součásti.....	58
Obrázek 31 – Návrh č. 3 – rozmístění krytu a víka krytu ve formě. Červená šipka značí pohyblivé části formy.....	59
Obrázek 32 – Návrh č. 3 – Ideový návrh rozmístění vtokové soustavy	60
Obrázek 33 – Finální rozložení dílů ve formě. Červená přerušovaná čára – dělicí rovina, červené šipky – jádra pro vytvoření otvorů.....	62
Obrázek 34 – Vybraný návrh vtokové soustavy.....	63
Obrázek 35 – Vyhazovač Z40/d1x11 od firmy HASCO, dostupné z [28].....	64
Obrázek 36 – Umístění vyhazovačů	65
Obrázek 37 – Vstřikovací lis BOY 60 E od výrobce Dr.Boy GmbH & Co. KG, [31]	67
Obrázek 38 – Konstrukční návrh sestavy	69
Obrázek 39 – Vybraná varianta ideového zaformování, včetně vtokové soustavy	69