

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vytvořením modelu dílu směrového světla do automobilu, dle zadané výkresové dokumentace. Dále je pro tento díl navrhnut a zkonstruován parametrický model sestavy vstřikovací formy. Jak díl tak forma byli vytvořeny pomocí softwaru CATIA V5.

Součástí této práce byla i technologická analýza dílu směrového světla provedena pomocí programu Moldflow Plastics Insight 5.1. Déle pak byla provedena mechanická analýza opěrné desky formy v programu COSMOS DesignSTAR 3.0.

Klíčová slova:

Vstřikovací forma, vyhazovací systém, dělicí rovina, tvarové vložky, temperance, mechanická analýza, vstřikovací tlak , uzavírací síla,

ABSTRACT

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Konstruktion von einem Ersatzteilmodell für PKW-Fahrtrichtungsanzeiger nach der Ausführungszeichnung. Es wurde für diesen Teil auch ein parametrisches Modell der Spritzgußform entworfen und gebaut. Sowie der Teil als auch die Spritzform wurden mittels des Software CATIA V5 gebildet.

Ein Bestandteil dieser Arbeit war gleichzeitig eine technologische Analyse dieses Ersatzteiles für den Fahrtrichtungsanzeiger mittels des Programms Moldflow Plastics Insight 5.1 und ebenfalls eine mechanische Analyse der Stützplatte für die Spritzgußform im Programm COSMOS DesignSTAR 3.0.

Keywords:

Spritzgußform, Form-Auswerfensystem, Trennebene, Formeinlagen, Temperieren, mechanische Analyse, Spritzdruck, Form-Schließkraft

Poděkování:

Velmi rád bych na tomto místě poděkoval všem, kteří přispěli svými radami a odbornou pomocí ke vzniku této diplomové práce. Zvláště pak chci poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing.Petru Halaškovi , za čas který mi po dobu vytváření této práce věnoval.

Dále bych chtěl poděkovat firmě HELLA AUTOTECHNIK, s. r. o. , která mi umožnila blíže se seznámit s problematikou vstřikování plastů. Jmenovitě chci poděkovat Ing. Jaroslavu Botkovi za jeho fundované rady.

OBSAH

ÚVOD.....	8
I. TEORETICKÁ ČÁST	10
1 VSTŘIKOVÁNÍ	11
1.1 ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ VSTŘIKOVÁNÍM	11
1.2 ROZDĚLENÍ PLASTŮ	11
1.3 ROZDĚLENÍ TERMOPLASTŮ	12
1.4 VLASTNOSTI POLYMERŮ.....	13
1.5 ZPRACOVATELSKÉ PODMÍNKY PLASTŮ	14
1.6 VOLBA TERMOPLASTU PŘI NÁVRHU SOUČÁSTÍ	14
1.7 KONSTRUKCE VÝSTŘIKU	15
1.8 PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	16
1.9 OPTIMÁLNÍ CYKLUS VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	17
1.10 CHARAKTERISTIKA VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	18
2 FORMY PRO VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	20
2.1 TECHNICKÉ ÚDAJE POTŘEBNÉ PRO VÝROBU FOREM.....	20
2.2 KONSTRUKCE FOREM	22
2.3 POSTUP PŘI KONSTRUKCI FORMY	23
2.4 ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU	24
2.5 DIMENZOVÁNÍ TVAROVÉ DUTINY	25
2.6 DRSNOST POVRCHU DUTINY	25
2.7 MECHANICKÉ NAMÁHÁNÍ FORMY	26
2.8 DOVOLENÉ NAMÁHÁNÍ NA OTLAČENÍ.....	26
2.9 NAMÁHÁNÍ OPĚRNÝCH DESEK	27
2.10 VTKOVÝ SYSTÉM	29
2.11 STUDENÉ VTKOVÉ SYSTÉMY	30
2.12 VOLBA ROZMĚRŮ VTKOVÉHO KANÁLU	31
2.13 VOLBA ROZMĚRŮ ROZVÁDĚCÍCH KANÁLŮ.....	31
2.14 UMÍSTĚNÍ ÚSTÍ VTKŮ A TYPY VTKŮ.....	32
2.15 HORKÉ VTKOVÉ SYSTÉMY	33
2.16 VYHAZOVÁNÍ VÝSTŘIKU	35
2.17 ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	35
2.18 TEMPERACE FORMY.....	36
2.19 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM	37
2.20 VOLBA OCELÍ NA FORMY	38
2.21 ZÁKLADNÍ FUNKCE CAD SYSTÉMŮ	39
3 SHRUTÍ STUDIJNÍ ČÁSTI.....	41
4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	42

II. PRAKTICKÁ ČÁST	43
5 VYTVOŘENÍ PARAMETRICKÉHO MODELU DÍLU	44
5.1 ÚDAJE O VÝROBKU	44
6 KONSTRUKCE FORMY	46
6.1 VOLBA NÁSOBNOSTI FORMY	46
6.2 ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU	47
6.3 VYHAZOVACÍ SYSTÉM	50
6.4 VTOKOVÝ SYSTÉM	51
6.5 TEMPERACE FORMY	52
6.6 SESTAVA VSTŘIKOVACÍ FORMY	54
7 TECHNOLOGICKÁ ANALÝZA.....	57
7.1 ZADÁVÁNÍ PROCESNÍCH PODMÍNEK.....	57
7.2 VÝSLEDKY ANALÝZY VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU.....	58
8 MECHANICKÁ ANALÝZA.....	64
8.1 POČETNÍ ŘEŠENÍ PRŮHYBU OPĚRNÉ DESKY	66
8.2 STANOVENÍ MAXIMÁLNÍHO PRŮHYBU OPĚRNÉ DESKY PROGRAMEM COSMOS DESIGNSTAR 3.0	68
8.3 POČETNÍ ŘEŠENÍ OHYBOVÉHO NAPĚTÍ OPĚRNÉ DESKY	73
8.4 STANOVENÍ MAXIMÁLNÍHO OHYBOVÉHO NAPĚTÍ PROGRAMEM COSMOS DESIGNSTAR 3.0.....	74
9 DISKUSE VÝSLEDKŮ	77
9.1 KONSTRUKCE FORMY	77
9.2 TECHNOLOGICKÁ ANALÝZA	77
9.3 MECHANICKÁ ANALÝZA FORMY.....	78
ZÁVĚR	80
PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	81
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	82
SEZNAM OBRÁZKŮ	83
SEZNAM TABULEK.....	85
SEZNAM PŘÍLOH.....	86

ÚVOD

Stále více se v posledních letech potvrzuje vzrůstající trend nahrazování konvenčních druhů materiálu v průmyslové výrobě, jako je například (kov, dřevo, keramika, vlna, bavlna, sklo..atd.) materiály plastovými. Podle údajů PlasticsEurope, BASF a K 2004 bylo v roce 2003 ve světě vyrobeno kolem 221 mil. t. plastů a kaučuku. Pro srovnání: světová výroba surové oceli v roce 2003 dle údajů IISI představovala 965 mil. t. Za 15 let se výroba plastů celosvětově zdvojnásobila; ocel k tomu potřebovala 35 let.

Prognóza BASF předpokládá, že světová spotřeba plastových materiálů poroste asi o 5,1 % ročně a v roce 2010 dosáhne 250 mil. tun při růstu spotřeby na obyvatele z 28 kg v roce 2003 na 37 kg v roce 2010. [4]

Jedním z faktorů růstu spotřeby plastů je, že se pro plasty otvírají stále nové a nové oblasti použití. Tím pádem vzrůstá i tlak na kvalitu technologií zabývajících se zpracováním plastů.

Jednou z nejvíce používaných technologií je vstřikování termoplastů. Provádí se na vstřikovacích strojích jejichž nedílnou součástí je nástroj. Tento nástroj se nazývá forma. Vstřikovací forma dává tavenině plastu výsledný tvar, vzhled a povrchovou kvalitu konečného výrobku. Měla by zajistit jeho celkovou stabilitu a zachování požadované funkčnosti. Musí odolávat vysokým tlakům, poskytovat výstřiky o přesných rozměrech, umožnit snadné vyjmutí výstřiku.

Její konstrukce je proto náročná.

Konstrukce vstřikovací formy se řeší pro každý technologický projekt zvlášť. Konstruktor má k dispozici jednotlivé normalizované části formy. Jednotlivé části formy volí především podle druhu vstřikovaného materiálu a složitosti výrobku. Samozřejmě záleží na více aspektech jako je například volba násobnosti formy. Při konstrukci formy, musí být samozřejmě přihlédnuto, vzhledem k náročnosti formy na celkovou ekonomičnost výroby formy.

Pro konstrukci forem se používají nejrůznější softwarová zařízení. Tím se nejen výrazně snižuje doba potřebná pro konstrukci forem, ale tento software přispívá i ke kvalitnější provedené práci konstruktéra.

Dále pak je možno použít softwarové nástroje ke zkoušení již zkonstruované formy. Tím se zamezuje výrobě chybných, nebo dokonce nefunkčních součástí forem.

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy za použití těchto softwarových nástrojů, jak při samotné konstrukci formy, tak i při její následné kontrole.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ

1.1 Zpracování plastů vstřikováním

Vstřikování plastů je tepelně - mechanický proces tváření, na kterém se podílí :

- Výchozí materiál, ze kterého se vyrábí požadovaná součást.
- Výrobní cyklus, který se skládá ze vstřikovacího stroje se zařízením umožňujícím přípravu taveniny a její dopravu do formy.
- Forma jako nástroj pro vlastní tváření taveniny na součást .

Všechny uvedené faktory ovlivňují užité vlastnosti a kvalitu výstřiku. Vlastní výroba vstřikováním pak probíhá nadávkováním a plastikací polymeru ve vstřikovacím stroji . Poté se dopravuje za určitého tlaku a teploty do dutiny formy. Po ochlazení se z formy vyjme hotový výrobek.

1.2 Rozdělení plastů

Plasty jako materiál jsou látky, jejichž struktura je tvořena makromolekulárními řetězci. Jsou rozděleny na dva základní druhy:

– Termoplasty - které mají řetězce přímé tzv. lineární polymery , nebo řetězce s bočními větvemi tzv. rozvětvené polymery. Při ohřevu se uvolní soudržnost řetězců a hmota je viskózní. V tomto stavu se může tvářet. Po ochlazení se dostanou opět do původního pevného stavu.

– Reaktoplasty - mají v konečné fázi zpracování řetězce příčně propojeny chemickými vazbami a vytváří prostorovou trojrozměrnou síť. Při ohřevu tato síť zvětšuje svoji pohyblivost, ale řetězce se zcela neuvolní. Při tváření vlivem teploty a tlaku nastává zesíťování neboli vytvrzování plastu.

Při nadměrném ohřevu u obou druhů polymerů se přetrhají chemické vazby, hmota se rozruší a ztrácí pevnost. Tomuto procesu říkáme degradace. Je nevratný a další zpracování takto degradované hmoty je bezpředmětné.

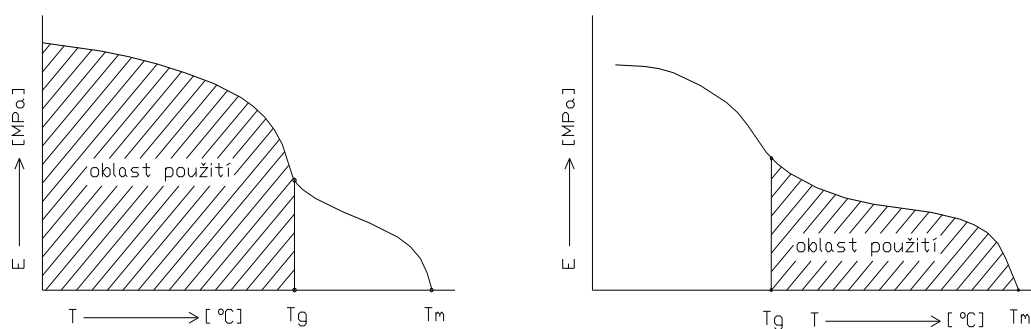
1.3 Rozdělení termoplastů

Tyto lineární či rozvětvené polymery, jejichž řetězec tvoří jen jeden druh základní chemické skupiny nazýváme homopolymery. Dále kopolymery, které jsou složeny z více druhů základních chemických skupin. Z hlediska vnitřní struktury se termoplasty dělí:

- amorfní - jejichž řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádané
- semikrystalické - kde je podstatná část řetězců pravidelně a těsně uspořádána a tvoří krystalické útvary. Zbytek má amorfní uspořádání.

Využitelnost výrobků z amorfních plastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu (T_g). Polymer je v tomto stavu pevný. Zvyšováním teploty nad T_g postupně slábnou kohezní síly mezi makromolekulami a plast přechází do plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy se zpracovává. Se zvyšováním teploty současně narůstá i objem polymeru.

U semikrystalických plastů jsou části molekul vázány pevněji v lamelách a ve sférolitech krystalické fáze. Zvyšováním teploty se nejprve uvolní část molekul z amorfní oblasti, potom i ostatní. To je doprovázeno značným nárůstem objemu. Použití tohoto typu plastu je v oblasti nad teplotou T_g , protože nad touto teplotou mají vhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti.



Obr. 1. Oblasti využití u amorfních a semikrystalických plastů

1.4 Vlastnosti polymerů

Základní vlastnosti polymerů se mohou měnit i vlivem nejrůznějších přísad a tím určovat vhodnost jejich použití.

Jako přísady se používají:

- Plniva prášková nebo vláknitá: - Svým charakterem mění především fyzikální i mechanické vlastnosti plastu.
- Změkčovadla: - Přidávají se k některým tvrdým polymerům pro získání měkkosti a ohebnosti.
- Barviva: - Slouží pro dosažení požadované barvy.
- Stabilizátory: - Zlepšují některé vlastnosti plastu jako např. odolnost proti vyšším teplotám při jejich zpracování, proti UV záření, stárnutí apod.;
- Nadouvadla: - Uvolňují při zpracování plyny a vytváří tak lehčenou strukturu plastu se svými zvláštními vlastnostmi.

Vlastnosti polymerů a tím jeho použití můžeme hodnotit v zásadě ze dvou hledisek.

Z hlediska funkčního se hodnotí především:

- Elektrické vlastnosti jako je dielektrická pevnost, vodivost atd.

- Mechanická pevnost při dlouhodobém nebo krátkodobém statickém i dynamickém zatížení.
- Chemická odolnost proti různým chemickým činidlům.
- Optické vlastnosti jako je průhlednost, barva, lesk, apod.;

Ze zpracovatelského hlediska:

- o Tekutost, která ovlivňuje tloušťku stěny výrobku, koncepci zaformování i velikost vtoků. Tím je také ovlivněna temperace formy.
- o Velikost smrštění určuje výrobní přesnost výrobku.
- o Citlivost na technologické parametry výrobního zařízení apod.

1.5 Zpracovatelské podmínky plastů

Technologické podmínky mají velký vliv na výsledné vlastnosti hotového výrobku. Zpracovatelské parametry (teplota, tlak, časové prodlevy) jsou určující pro některé rozměry a také pro mechanické a fyzikální vlastnosti. Při vstřikování termoplastů také dochází ve vtokových kanálech a tvarových dutinách forem k orientaci makromolekul a jejich řetězce se srovnávají ve směru proudění taveniny. Po ztuhnutí jsou orientované molekuly příčinou anizotropie hmoty. Vedou také ke vzniku vnitřního pnutí a nepravidelnému smrštění.

U semikrystalických termoplastů se podmínkami při zpracování dá ovlivnit obsah krystalinity a velikost krystalů. To znamená vyšší krystalinitu, vyšší pevnost, zvýšený modul pružnosti i ostatních činitelů. Proto všechny hodnoty udávané v tabulkách, jsou jen středním průměrem hodnot získaných při dodržení optimálních zpracovatelských podmínek.

1.6 Volba termoplastu při návrhu součástí

Při návrhu vhodného termoplastu pro konstruovanou součást, je třeba uvážit konkrétní podmínky jejího provozního zatížení i celkového využití. Taková

součást musí mít mimo požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností také k výrobě vhodný tvar s dosažitelnými rozměry i jakostí povrchu.

Optimální volba plastu se pak posuzuje z následujících podmínek:

- Funkce součásti musí splňovat definované požadavky.
- Zvolená technologie výroby součásti musí být reálná a na určeném stroji snadno realizovatelná, při dodržení požadovaných parametrů.
- Volba plastu musí být ekonomická z hlediska technologie výroby součásti i formy.

Zhodnocením uvažovaných hledisek může konstruktér stanovit vhodný plast nebo i více podobných materiálů. Je třeba si také uvědomit, že správná volba plastu může být degradována nesprávným technologickým postupem.

Obecně platí, že tvar výrobku a jeho vlastnosti musí odpovídat použitému plastu a zvolené technologii.

1.7 Konstrukce výstřiku

Při tvorbě součásti z plastu musí konstruktér zvažovat co všechno se bude při vstřikování v dílu z plastu bude dít. To vyžaduje dobře znát technologii jejich zpracování.

Pro realizaci plastových součástí jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a jejich vlastností, které by se neměli překročit, jinak vzniknou problémy při výrobě. Bez potřebných znalostí se jim lze jen obtížně vyhnout a docílit tak toho, aby vzniklá součást vyhovovala podmínkám výroby.

Všeobecně platí: Čím jednodušší je součást, tím výhodnější jsou její pevnostní podmínky, snadnější dodržení rozměrů, lacinější výroba formy a tím i jednodušší výroba výstřiků. Ve skutečnosti je však vždy třeba hledat kompromis mezi vznášenými požadavky.

Součásti z plastů nelze vyrobit v takových jakostech jako kovové. Je to proto, že na plastové výrobky působí během zpracování, ale i dodatečně množství

nejrůznějších činitelů. Je to materiál, výrobní technologie, forma a její kvalita. Vlivem těchto činitelů se pak vyrobí výstřik jen určité kvality.

Hlavní činitelé, kteří ovlivňují jakost výrobku:

- Smrštění při zpracování, které ovlivní především přesnost výrobku.
- Dodatečné smrštění. Bývá několikanásobně menší, než smrštění při ochlazení ve formě. Probíhá delší dobu a jeho příčinou je pozvolné uvolňování vnitřního pnutí vzniklého při vstřikování.
- Tečení (krip) vznikne při větším dlouhodobém silovém zatížení součásti.
- Teplotní roztažnost. Je přibližně o řád větší než u kovů. Je však změnou vratnou.
- Navlhavost. Změní se rozměry podle sorbce vody z okolí. Při vysušení se rozměry opět změní.

Velikost vlivů jednotlivých činitelů je velmi obtížné stanovit. Ovlivňují jej druh plastu, tvar součásti i zpracovatelské podmínky.

1.8 Průběh vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus se realizuje na vstřikovacím stroji. Připravený granulovaný plast se ve vstřikovacím stroji roztaví, homogenizuje a vstříkne do dutiny formy. Forma se musí před vstupem taveniny připravit.

Příprava spočívá v temperaci, vložení zálisků, závitových jader apod.

Temperace formy závisí na typu zpracovávaného platu, tvaru a tloušťce stěn výrobku. Vytemperovaná a upnutá forma ve stroji je uzavřena uzavírací silou. Její velikost je volena tak, aby byla forma zajištěna proti pootevření při vstřikovacím tlaku. Průběh uzavírání formy je rychlý, jen před stykem obou polovin formy se zpomalí. Po uzavření formy dojde k přísunu vstřikovací jednotky a vstřiku taveniny do formy. Po jeho skončení se vstřikovací jednotka vrátí do výchozí polohy.

V průběhu vstřikování se musí zvolit celá řada parametrů:

- Velikost dávky taveniny.

- Teplota taveniny.
- Velikost a doba působení vstřikovacího tlaku.
- Vstřikovací rychlost.
- Dotlak formy.
- Otáčky šneku a jeho zpětný odpor.
- Chladicí čas.

Jednotlivé zpracovatelské parametry se při zkušebním provozu nastaví podle plastem požadované hodnoty s korekcemi získaných zkušenostmi a s ohledem na tvar výstřiku, formy i celého vstřikovacího cyklu.

1.9 Optimální cyklus vstřikovacího stroje

Vyráběné množství výstřiků je ovlivněno především násobností formy. Produkci lze zvýšit i pomocí použité technologie vstřikování. To se projeví optimální délkou pracovního cyklu. Jeho délka je výsledkem všech časových průběhů technologických parametrů stroje i chladícího účinku formy.

Po uzavření formy ve stroji je plastifikovaná hmota požadované teploty vstříknuta do formy nastaveným tlakem při určité rychlosti. Tavenina zůstává pod tlakem v uzavřené formě, dokud se nezačne ochlazovat. Hned potom nastoupí dotlak, který skončí při částečném ochlazení plastu ve formě. Po skončení dotlaku se vstřikovací jednotka od formy oddálí a začne v ní plastikace další dávky. Po dostatečném ochlazení výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí. Po očištění a přípravě formy následuje další cyklus.

Časy jednotlivých technologických faktorů jsou ovlivněny nastavením stroje obsluhou.

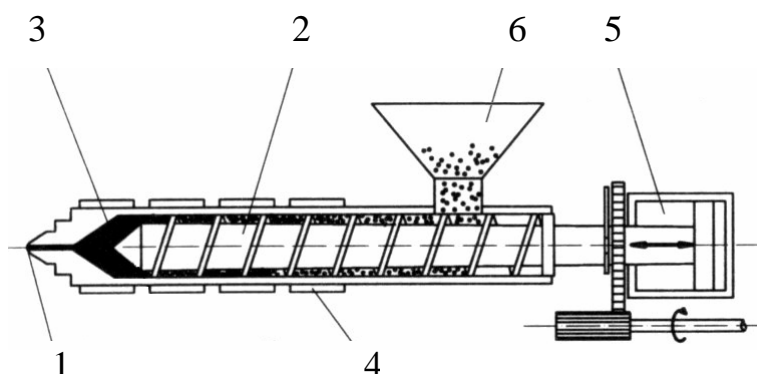
1.10 Charakteristika vstřikovacího stroje

Existuje velký počet různých konstrukcí strojů, které se od sebe liší svým provedením, stupněm řízení, stálostí a reprodukovatelností jednotlivých parametrů, rychlostí výroby, snadnou obsluhou i cenou.

Konstrukce stroje je charakterizována podle:

- Vstřikovací jednotky.
- Uzavírací jednotky.
- Ovládání a řízení stroje.

Vstřikovací jednotka: Připraví a dopraví požadované množství roztaveného plastu s předepsanými technologickými parametry do formy. Maximální vstřikované množství nemá překročit 90% kapacity jednotky, protože je ještě nutná rezerva pro případné doplnění úbytku hmoty při chlazení (smrštění). Optimální množství je 80%.



Obr. 2. Vstřikovací jednotka

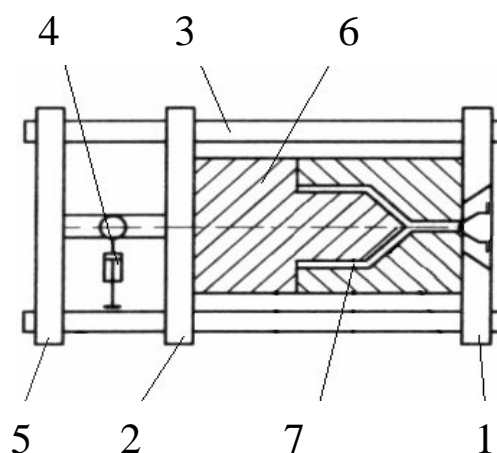
1 – vstřikovací tryska, 2 – šnek, 3 – pracovní válec 4 – topení, 5 – hydraulický válec, 6 – násypka

Uzavírací jednotka: Ovládá formu a zajišťuje její dokonalé uzavření, otevření i případné vyprázdnění.

Velikost uzavírací síly je stavitelná a je přímo závislá na velikosti vstřikovacího tlaku, ploše dutiny a ploše vtoků v dělicí rovině.

Hlavní části uzavírací jednotky jsou:

1. Upínací deska pevná
2. Upínací deska pohyblivá
3. Vodící sloupy
4. Uzavírací mechanismus
5. Rám stroje
6. Forma (tvarové desky)
7. Dutina formy



Obr. 3. Uzavírací jednotka

Ovládání a řízení stroje: Stupeň řízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality.

Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným a nutným faktorem. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se tato nerovnoměrnost na přesnosti a kvalitě výroby výstřiků. Řízení stroje se proto musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky.

2 FORMY PRO VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Forma dává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměry výrobku, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Na formu jsou kladeny tyto požadavky:

Technické, které musí zaručit správnou funkci formy a zajistit požadovaný počet součástí v náležité kvalitě a přesnosti. Má také splňovat podmínku snadné manipulace a obsluhy při výrobě součástí.

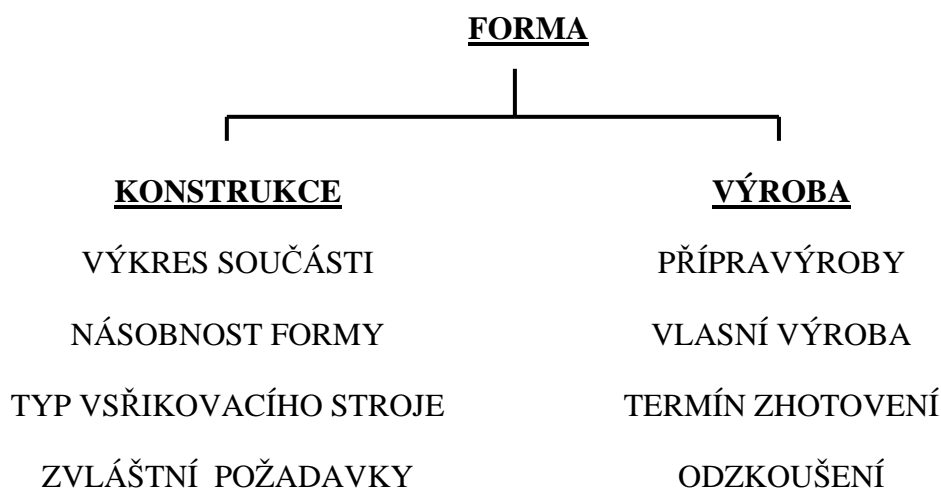
Ekonomické, které mají zaručit její co nejnižší pořizovací cenu, snadnou a rychlou výrobu dílů při vysoké produktivitě práce.

Společenskoestetické, které vyžadují dodržení všech bezpečnostních zásad při konstrukci, výrobě i provozu formy.

2.1 Technické údaje potřebné pro výrobu forem

Pro zhotovení formy je nutné znát celou řadu technických údajů, tak aby realizace výroby byla úspěšná.

Musíme znát tyto technické údaje potřebné pro výrobu a konstrukci formy.



- Výkres součásti musí definovat

Její tvar, rozměry, stupeň přesnosti a úchylek rozměrů, jakost povrchu, materiál součásti.

- Násobnost formy

Optimální volba násobnosti formy vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých činitelů, kteří ji ovlivňují.

Posuzují se z hlediska:

- charakteru a přesnosti výstřiku
- požadovaného množství výrobků
- velikosti a kapacity vstřikovacího stroje
- ekonomiky výroby

Součásti tvarově náročné, které vedou ke složité formě, jako i velkorozměrové výstřiky se většinou vyrábí v jednonásobných formách. Z hlediska kvality a přesnosti výstřiku je žádoucí aby násobnost byla co nejmenší. Výroba rozměrově přesných součástí vedle nepřesností jednotlivých tvarových dutin, zavádí také do produkce další faktor chyb. Další rozměrové nepřesnosti způsobuje nerovnoměrná teplota formy i plastu při plnění jednotlivých dutin, nestejně vstřikovací tlaky, rozdílné dráhy vtoků apod.

Velikost vstřikovacího stroje se svým plastikačním výkonem, vstřikovacím tlakem i uzavírací silou musí dostatečně a s rezervou naplnit bezpečně uzavřenou formu (dutiny i kanály). Požadovaná rezerva objemu taveniny i uzavírací síly je cca 20%.

- Volba optimálního vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj je významnou složkou pro dosažení kvalitních výstřiků. Jeho volbu ovlivňují:

- hmotnost a rozměry vyráběného dílu
- požadovaná přesnost a kvalita výstřiku
- velikost formy

- Navržený stroj proto musí mít tyto parametry:
- dostatečnou vstřikovací kapacitu
- dostatečnou uzavírací sílu
- vhodnou koncepci stroje

Celková hmotnost výstřiku = hmotnost výstřiku x násobnost + hmotnost vtoků. Jakost a rozměry výstřiků jsou ovlivněny kvalitou vstřikovacího stroje. Kvalita stroje je pak dána jeho konstrukcí, reprodukovatelností a stálostí parametrů. Každý výrobce má jinou kvalitu stroje, proto je třeba volit vhodný stroj.

Nevhodnost nebo rozdíly v nedodržení potřebných parametrů snižují kvalitu výstřiku. To se projeví vznikem napětí ovlivňující rozměry, pevnost a životnost výstřiku.

- Zvláštní požadavky na konstrukci formy

Konstrukce a celá koncepce formy je dána požadavkem dobré funkce v podmínkách stanovení výroby. Záleží především na:

- požadavcích na jakost výstřiku
- ekonomice výroby
- požadovaném termínu výroby

Pokud pro zákazníka běžné požadavky nejsou vhodné, doplní je svými speciálními požadavky. Obvykle mají urychlit zlepšit, případně zlevnit výrobu. Takovým zvláštním příslušenstvím bývá využití typizovaného rámu forem, nasazení vyhřívané trysky, vyšší automatizace při vstřikování, robotizace pracoviště apod.

2.2 Konstrukce forem

Vlastní konstrukci formy předchází konstrukční návrh formy. Je často vyžadován nejen jako podklad pro konstrukci, ale také pro posouzení pracnosti a stanovení nákladů na formu.

U formy se vyžaduje:

- Vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch zhotovené dutiny formy a ostatních funkčních dílů.
- Maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy i celku, pro zachycení potřebných tlaků.
- Správná funkce formy, vhodný vtokový systém, vyhazování, odvzdušnění, temperování apod.
- Optimální životnost zaručená konstrukcí, materiálem i výrobou.

Vyšší nároky na přesnost a jakost forem se projeví ve zvýšené pracnosti při jejich konstrukci i výrobě.

2.3 Postup při konstrukci formy

Výkres vyráběné součásti spolu s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji, jsou podkladem pro konstruktéra forem. Vlastní konstrukce má pak následující postup:

Posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek. Nezanedbat úpravy ostrých hran a rohů, které vyvolávají velké pnutí a obtížné plnění dutiny.

Určení, případně upřesnění dělicí roviny součásti a způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled. Respektovat také směr a velikost potřebných úkosů. Zaformování musí odpovídat vhodnému umístění ústí vtoků a vyhazování z dutiny formy.

Dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Volba vhodného typu vtokového systému, velikost průřezů, tvaru a délky hlavního a rozváděcího kanálku a ústí vtoků.

Stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému i odvzdušnění dutiny formy.

Navržení rámu formy s ohledem na danou typizaci, počet dutin, systém vyhazování i temperaci formy.

Vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroj s ohledem na využití dostupných prostředků.

Kontrola funkčních parametrů formy, hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu, vstřikovací a uzavírací tlak a další faktory s ohledem na použitý stroj.

Celá koncepce konstrukce vstřikovací formy musí směřovat k možné a snadné výrobní technologii dle stanovených požadavků.

2.4 Zaformování výstřiku

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělicí plochy náleží k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu.

Dělicí plocha (rovina) bývá zpravidla rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá, nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní a vedlejší dělicí roviny. Výroba formy s více dělicími rovinami je obtížnější. Je snaha se takovým tvarům vyhnout. Nepřesnost v dělicí ploše může způsobit nedovření formy během plnění. To může způsobit vznik otřepů, nebo zvětšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy. Proto je třeba aby dělicí rovina:

- Umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy.
- Měla jednoduchý geometrický tvar, byla snadno vyrobitelná a dobře slícovatelná.
- aby probíhala hranami výrobku
- byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů
- stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových závad
- u více dělicích ploch volit koncepci s ohledem na jejich nejmenší počet

Je třeba přihlídnout také k tomu, že dělicí plocha hraje roli při odvzdušňování formy.

2.5 Dimenzování tvarové dutiny

Tvar a rozměry funkčních dílů, které jsou převážně umístěny v různých částech formy, tvoří po jejím uzavření tvarovou dutinu. Jejich dimenzování tvoří důležitou etapu konstrukčního řešení. Chybně dimenzované rozměry se projeví v nedodržení rozměrů výstřiku. V případě, že se nejedná o rozměr s předepsanou tolerancí, lze tuto chybu někdy napravit úpravou technologických parametrů, někdy však jen nákladnou korekcí rozměrů formy.

Povrch a rozměry výstřiku jsou tedy dány přesností tvarové dutiny a kvalitou její plochy, která je obvykle složena z tvárnice, tvárníku, jader a tvarových vložek. Přesnost dutin se pohybuje v rozmezí IT 8 až IT 10 a ovlivňují ji tři činitelé.

- Smrštění plastu (provozní)
- Výrobní tolerance
- Opotřebení dutiny formy

Nejčastější příčinou chybného dimenzování rozměru je především nepřesný odhad smrštění daného rozměru v průběhu tavení plastu. Správný odhad velikosti (tzv. provozního) smrštění pro konkrétní rozměry dílů, je někdy obtížné určit, neboť výpočetní smrštění se u složitějších výstřiků jen zřídka kdy kryje s hodnotou uváděnou v tabulkách výrobců plastů. Konstruktor je většinou odkázán na vlastní zkušenosti. Velikost smrštění ovlivňuje:

- Tvar výstřiku (rozměry a tloušťka stěn)
- Konstrukce formy (vtokový systém, poloha ústí vtoku, velikost jeho průřezu, temperace formy)
- Technologie vstřikování (tlak, teplota taveniny)

Způsob výroby formy, především dutiny určuje její přesnost i výrobní toleranci. Opotřebení dutiny se odhaduje na 10 až 40 % z celkové tolerance výrobku.

2.6 Drsnost povrchu dutiny

Vedle rozměrů dutiny je význačným znakem i zhotovená jakost povrchu, která určuje i vzhled výstřiku. Spolu s barevností plastu se docílí vzhledového

využití výstřiku. Vysoké požadavky na jakost povrchu ovlivňují pracnost i funkci formy. Funkční plochy v dutině formy se vyrábějí jako:

– matné, jsou výrobně nejjednodušší. Výhodně překryjí některé vzhledové nedostatky jak při výrobě formy, tak i při vstřikování (studené spoje, tokové čáry...). Jsou obvykle výchozí plochou po elektroerozivním obrábění;

– lesklé, vyžadují nákladnou a náročnou technologii opracování dílů, které musí být z kvalitního materiálu. Na lesklém povrchu jsou zvýrazněny veškeré nedostatky výroby formy i výstřiku;

– dezénované, po celé dutině formy nebo jen její některé části, jde o speciální úpravu. Uvedená technologie vyžaduje také zhotovení součást z kvalitního materiálu, s vhodným opracováním před dezénem.

2.7 Mechanické namáhání formy

Dobrá funkce formy vyžaduje mimo všeobecných konstrukčních zásad pro zaformování výstřiku i dostatečnou pevnost a tuhost. Při vstřikování je forma uzavřena uzavírací jednotkou vstřikovacího stroje silou F' . V dutině této formy působí vstřikovací tlak p_v . Konstrukce, materiál i dimenze formy musí zachytit vyvozené síly s dostatečnou pevností a tuhostí.

Některé funkční součásti formy se kontrolují v místech, kde by mohly nastat větší deformace než se připouští. Z hodnot získaných při kontrole je možné rozměry upřesnit.

Taková nebezpečná místa mohou být u:

- slabostěnných tvárnic a tvárnků (kontrola pevnosti, průhybu..)
- u opěrných funkčních desek
- při vysokých vstřikovacích tlacích na styčných plochách

2.8 Dovolené namáhání na otlačení

Styčné plochy jednotlivých dílů formy jsou zatíženy uzavírací silou vstřikovacího stroje. Díly v dutině formy a její povrch zase vstřikovacím tlakem. Na

silně namáhaných místech vznikne v materiálu napětí, které může překročit dovolenou mez.

Takovými místy bývají styčné plochy tvárníků, vyhazovačů, rozpěrek, dělicí rovina apod. Pro zjištění takových hodnot napětí platí následující vztahy:

Pro díly namáhané uzavírací silou vstřikovacího stroje:

$$\sigma_o = \frac{F'}{S_o} \leq \sigma_o \text{dov.} \quad (1)$$

Pro díly namáhané vstřikovacím tlakem:

$$\sigma_o = \frac{P_v}{S_o} \leq \sigma_o \text{dov.} \quad (2)$$

σ_o ... zjištěné namáhání na otláčení [MPa]

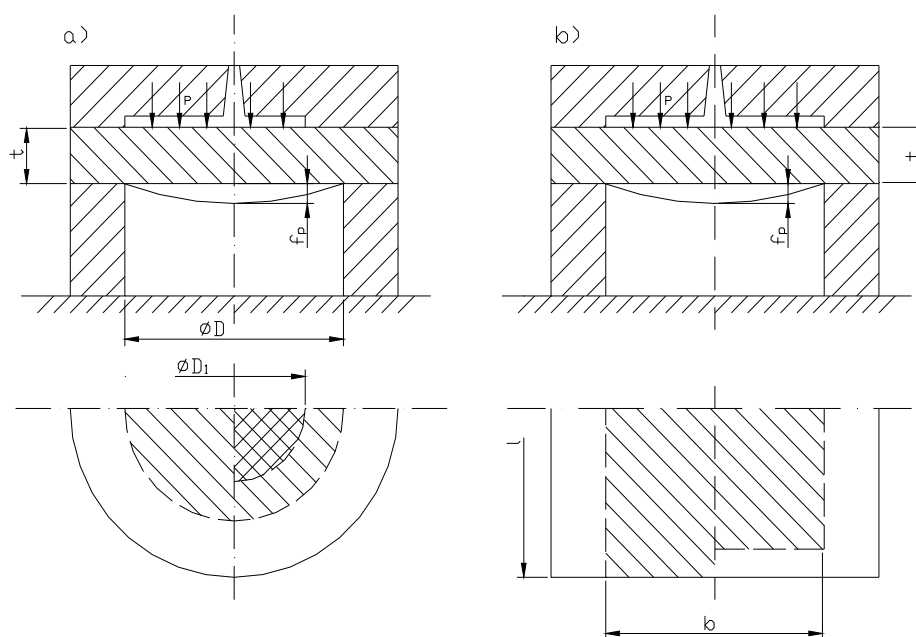
$\sigma_o \text{dov.}$... dovolené namáhání na otláčení [MPa]

S_o ... zjišťovaná styčná plocha dílu [m²]

2.9 Namáhání opěrných desek

Forma je sestavena z řady desek. Některé jsou podepřeny v celé ploše, a jsou namáhány na otláčení, jiné jsou však opřené jen z části a působící síly v nich ještě vyvolávají ohybový moment. Velikost napětí vyvolané tímto zatížením se zjistí ze vztahů, stanovené pro výpočet tenkých desek ($h > 0,1D$).

Zatížení a funkce vyplívá z obrázku.



Obr. 4. a - desky kruhové, b - desky obdélníkové

a) U kruhové desky:

ohybové napětí

$$\sigma_{0\max} = \frac{3}{4} p \left(\frac{D}{2t} \right)^2 \quad [\text{MPa}] \quad (3)$$

velikost průhybu

$$f_p \approx 0,01 \frac{p \cdot D^4}{E \cdot t^3} \quad [\text{m}] \quad (4)$$

pokud je zatížení na rozměru D_1 bude velikost průhybu [m]

$$f_p \approx 0,01 \frac{p \cdot D^4}{E \cdot t^3} \left[\left(\frac{D}{D_1} \right)^2 + \ln \frac{D_1}{D} - 0,75 \right] \quad (5)$$

b) U obdélníkové desky:

podepřené dvěma podložkami bude:

ohybové napětí

$$\sigma_{0\max} = 0,308p \left(\frac{b}{t} \right)^2 \quad [\text{MPa}] \quad (6)$$

velikost průhybu

$$f_p \approx 0,026 \frac{p \cdot b^4}{E \cdot t^3} \quad [\text{m}] \quad (7)$$

pokud je deska podepřena na čtyřech stranách bude velikost průhyb

$$f_p \approx K \frac{p \cdot b^4}{E \cdot t^3} \quad [\text{m}] \quad (8)$$

Kde K je koeficient určující poměr stran

p.... zatížení při vstřikování [MPa]

E ...modul pružnosti [MPa]

D, D₁ .. průměr desek [m]

b...délka zatížené plochy [m]

l...šířka zatížené plochy [m]

t...tloušťka zatížené plochy [m]

2.10 Vtokový systém

Vtokový systém zprostředkuje průtok taveniny ze vstřikovací trysky do dutiny formy. Ztuhlý materiál ve vtokovém systému se pak nazývá vtokový zbytek. Obecná tendence je tento vtokový zbytek minimalizovat, případně úplně odstranit.

Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jejího ústí ovlivňují:

- rozměry, vzhled i vlastnosti výstřiku

- spotřebu plastu
- náročnost opracování na začištění výstřiku
- energetickou náročnost výroby.

Zásadní rozdíly v celkovém uspořádání vtokového systému jsou dány především konstrukcí formy a její násobností. U vícenásobných forem musí tavenina dorazit ke všem ústím vtoku za stejného tlaku a současně (vyvážené vtoky).

Při volbě určitého vtokového systému se vychází z toho, že tavenina se vstříkuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita taveniny na vnějším povrchu prudce roste, nejnižší je uprostřed. Vysoká viskozita vyžaduje vysoké tlaky v systému (40 až 200 Mpa). Ztuhlá povrchová vrstva taveniny vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu taveniny. Za tohoto stavu se zaplní celá dutina. V okamžiku zaplnění vzroste prudce odpor a poklesne průtok. V dutině formy nastává postupné tuhnutí taveniny odvodem tepla do stěn formy.

Další doplňování taveniny může nastat jen jejím elastickým stlačením. V ústí dochází ještě v tomto okamžiku k vývinu tepla vlivem tlaku a tím k oddálení ztuhnutí taveniny.

2.11 Studené vtokové systémy

Funkční řešení vtokového systému musí zabezpečit, aby:

- Dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší.
- Dráha toku byla ke všem tvářecím dutinám stejně dlouhá a tím se zajistilo rovnoměrné plnění. Vyústění vtoku do dutiny, jeho průřez, poloha a počet ovlivňují velikost pnutí a existenci míst se sníženou pevností (studených spojů), kde vlivem částečného ochlazení taveniny a jejím vzájemným setkáním již nedojde ke kvalitnímu spojení. Proto je účelné plnit dutinu jen jedním vtokem, aby tak nevznikly studené spoje.

– Průřez vtokových kanálů dostatečně velký, aby byla jistota, že po vyplnění tvářecí dutiny bude jádro taveniny ještě v plastickém stavu a tím se umožní působení dotlaku.

– U vícenásobných forem je vhodné odstupňování průřezů kanálů, aby byla zachována stejná rychlost proudění taveniny.

2.12 Volba rozměrů vtokového kanálu

Nejobvyklejším je kuželový vtokový kanál, vytvořený uvnitř vtokové vložky. Ústí do rozváděcích kanálů, nebo přímo do výstřiku. Vtokové vložky s vypracovaným vtokovým kanálem se vyrábí z kvalitní oceli a je tepelně zpracována (tvrdost 58 HRC). Je velmi tepelně i mechanicky namáhána. Vyrábí se z materiálu (19 435, 19 581, 19 572...).

Průměr vtokového kanálu na straně trysky stroje je minimálně o 0,5 až 1 mm větší, než je průměr otvoru trysky vstřikovacího stroje. Na opačné straně má být největší průměr kanálu větší o 1,5 mm, než je největší tloušťka výstřiku, nebo stejný se šířkou rozváděcího kanálu. Je leštěný, s drsností 0,1 Ra a s minimálním úkošem $1,5^\circ$. Hrana vložky v oblasti dosedu stroje je poloměr křivosti trysky stroje.

2.13 Volba rozměrů rozváděcích kanálů

Rozváděcí kanály spojují vtokový kanál s ústím vtoku a tvářecí dutinou. Jejich délka je dána typem formy. Velikost jejich průřezů určuje řada činitelů, kteří se vzájemně ovlivňují. Volí se s ohledem na:

- Charakter výstřiku, především tloušťku jeho stěn a předpokládanou dobu dotlaku.
- Tepelné a reologické vlastnosti taveniny, hlavně její viskozitu, tepelnou vodivost apod.
- Parametry vstřikovacího stroje, vstřikovací tlak, rychlost...

2.14 Umístění ústí vtoků a typy vtoků

Vtokové ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Jen ve výjimečných případech může být použit plný nezúžený vtok (pro potlačení propadlin, lunkrů u velkoobjemových dílů). Jeho zúžením se zvýší klesající teplota taveniny před vstupem do tvarové dutiny. Omezí se strhávání chladných vrstev z obvodu vtoků a tím i vytváření povrchových defektů. Vtokové ústí se volí co nejmenšího průřezu v závislosti na charakteru výstřiku, plastu i technologii vstřikování. Velikost zúženého průřezu však musí spolehlivě naplnit dutinu formy a také ještě umožnit případné působení dotlaku. Délka zúženého ústí se volí co nejkratší. Tvar ústí bývá šterbinový pro ploché výstřiky, nebo kruhový pro rotační a jiné díly. Tloušťka, nebo celý průřez se určí podle objemu výstřiku. Při konstrukci se doporučuje volit menší vtokové ústí, které se může při zkouškách formy případně upravit.

Důležité je umístění vtokového ústí na výstřiku.

Pro snížení nedostatků na výstřiku je třeba respektovat následující zásady umístění ústí vtoků:

- Při plnění výstřiku z jedné strany, by nemělo být čelo taveniny přímkové. Toho lze dosáhnout volbou filmového vtoků, nebo jiným provedením bočních, případně tunelových vtoků.

- U obdélníkového tvaru výstřiku se umístí do kratší hrany. To především u semikrystalických a plněných plastů. Tak dosáhneme požadované pevnosti u výstřiku. Při umístění vtokového ústí středu součásti dochází k nepravidelnému uspořádání makromolekul, případně vláknitého plniva. To způsobuje značnou deformaci výstřiku.

Vtokové ústí bývá umístěno:

- Do nejširšího místa výstřiku. Tavenina má téci vždy z místa většího průřezu do místa s menším průřezem. To proto, aby tuhla nejdříve na vzdálenějším místě od vtokového ústí.

- Do geometrického středu dutiny, tak aby tavenina zatékala do všech míst rovnoměrně. Při velkých nárocích na přesnost je třeba vzít v úvahu rozdíly v podélném a příčném smrštění, především u semikrystalických plastů.

- U výstřiku se žebry má tavenina proudit ve směru jejich orientace
- Mimo místa velkého namáhání nebo opticky činných ploch výstřiku
- U výstřiku z otvory se umísťuje ústí do těchto otvorů, nebo v jejich blízkosti. U obdélníkových otvorů nebo tvarů se musí zajistit proudění ve směru delší strany.

- S ohledem na možnost úniku vzduchu z tvarové dutiny

- Aby stopa po odstranění výstřiku nesnižovala estetickou hodnotu výstřiku.

Aby se splnily všechny požadavky kladené na výrobek, používá se pro vstřikování několik typů vtoků závislých zpravidla na tvaru výstřiku. Rozlišujeme tyto základní typy vtoků:

Plný kuželový vtok, bodový vtok, tunelový vtok, boční vtok, filmový vtok a plnění dutiny více vtoky.

2.15 Horké vtokové systémy

Horké vtokové systémy představují velice rozsáhlou technologickou část z obvyklých vtokových systémů, které bývají instalovány. K jejich vývoji přispívají nejen konstruktéři, formaři, producenti standardizovaných dílů forem, ale dodavatelé materiálů.

Snaha po úsporách plastu i práce vedla k metodě vstřikování bez vtokového zbytku. Realizuje se za pomoci vyhřívaných vtokových systémů. Jejich vývoj se od jednodušších systémů postupně zdokonalil. Nejprve se používali zesílené vtoky, izolované vtokové soustavy s předkomůrkami apod. Dnešní vyhřívané vtokové systémy mají vyhřívané trysky, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku a teploty v systému s optimálním tokem taveniny.

Rozhodující pro výběr vhodného horkého vtokového systému je často vstřikovaný materiál. Dnes mohou být téměř všechny materiály vstřikovány horkými vstřikovacími systémy, dokonce i plněné plasty a strukturní pěny.

Horké vtokové systémy nabízí mnoho výhod ve srovnání s konvenčními systémy. Jsou to výhody ekonomické i technologické.

Ekonomické výhody:

- úspora materiálu ve vtokích
- krátké vstřikovací cykly, čas pro vyhazování vtoků je vynechán, nízká poruchovost trysek, chladící čas není závislý na pomalém zatuhnutí trysek
- přijatelné malé stroje, dávka je redukována velikostí výstřiku, velké dávky se používají při plnění vícenásobné formy.
- při výrobě forem se používá standardizovaných částí forem.

Technologické výhody:

- jednodušší automatizace procesu díky vynechání vyhazování vtokových zbytků
- průměr vtoku je schopen udržet větší tlaky, díky menším tlakovým ztrátám.
- Vyvážení vtokového systému může být dosaženo teplotní regulací nebo mechanicky

Ekonomické nevýhody:

- více zmetků při začínání nového cyklu
- více práce při navrhování formy
- vyšší náklady při instalaci pomocných zařízení (vytápění, teplotní čidla a kontroly)
- náročnější obsluha

Technologické nevýhody:

- nebezpečí teplotní degradace citlivých materiálů, z důvodu dlouhé tokové cesty a vysoké smykové rychlosti
- nestejněměrné teplotní rozdělení výsledků v rozdílech v teplotě tavení a tudíž i v nestejněměrném plnění

- žádná tlaková kontrola v ústí vtoku.

2.16 Vyhazování výstřiku

Vyhazování výstřiku z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřík. Vyhazování výstřiku má dvě fáze:

- dopředný pohyb, vlastní vyhazování
- zpětný pohyb, návrat vyhazovacího systému do původní polohy.

Základní podmínkou dobrého vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Úkosy nemají být menší než 30°. Vyhazovací systém musí výstřík vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přícení, a tím ke vzniku trvalých deformací.

Vyhazovací systémy:

Mechanické vyhazování je nejrozšířenějším vyhazovacím systémem. Používá se všude tam, kde je to jen možné. Jeho konstrukce má různá provedení.

Používá se zejména:

- Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků
- Vyhazování pomocí stírací desky nebo trubkových vyhazovačů
- Šikmé vyhazování
- Postupné vyhazování

2.17 Odvzdušnění formy

Dutina formy je před vstřikováním naplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Navíc, tento vzduch může být v důsledku stlačení horký a způsobit spáleniny na materiálu. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny. Vzduch z dutiny formy stačí často uniknout dělicí rovinou (vedlejšími dělicími rovinami), nebo vůlí

mezi pohyblivými částmi. Tak tomu je pokud jsou vyhazovače umístěny tam, kde může být vzduch uzavřen. Odvzdušnění může být ulehčeno vytvořením větších děr pro vyhazovače. V ostatních případech je třeba formu opatřit odvzdušňovacími kanálky, které bývají umístěny v rozích a místech předpokládaného zavzdušnění.

Viskozita vstřikované taveniny, která vystupuje do dutiny formy, bývá proměnlivá. Závisí na jejím druhu, nastavených technologických parametrech a délce toku plastu. Zhotovené odvzdušňovací průřezy musí účinně odvádět vzduch, ale zároveň nesmí docházet k zatékání plastu.

V praxi se zhotovují hloubky odvzdušňovacích mezer dle tabulek pro jednotlivé druhy plastů. Šířka se upravuje většinou dle potřeby (při zkoušení).

2.18 Temperace formy

Temperací forem rozumíme jejich udržování na požadované teplotě. Teplota formy při vstřikování termoplastů bývá zpravidla v rozmezí 30 až 120 °C, ve speciálních případech se může tento interval rozšířit od -5 do +250 °C. Správně navržený temperační systém umožňuje:

- Optimální dobu vstřikovacího cyklu a hospodárnost provozu
- Dosažení kvalitních výrobků při optimální struktuře (fyzikální vlastnosti, přesnost, vzhled).

Správně řešený temperační systém dává rovněž předpoklady pro dobrou funkci formy. Na řešení temperačního systému má vliv více faktorů, z nichž je nutno uvést zejména.

- Druh vstřikovaného materiálu
- Velikost a tvar výstřiku, případně dráhu toku a tloušťku stěn výstřiku
- Požadavky na jakost a přesnost stěn výstřiku
- Druh a rozměry vtokového systému

Tokové a tepelné vlastnosti plastů uplatňují svůj vliv na způsob temperace formy. Množství tepla, které je třeba při chlazení odvést, závisí na rozdílu entalpií při teplotě vstřikování a při teplotě vyhazování z formy. Teplotu vyhazování výstřiku z formy určuje do značné míry teplota formy.

Na průběh chlazení má vliv dále tepelná vodivost vstřikovacích hmot. Dalším faktorem je tekutost plastu a její závislost na teplotě. Pro materiál hodně závislý na teplotě je nutné volit vyšší teploty formy. Například tlustostěnné výstřiky vyžadují intenzivní chlazení. Pro dlouhé dráhy toku je třeba teplotu formy naopak zvýšit.

Problém sdílení tepla je třeba chápat ve dvou aspektech. Jednak jde o přestup tepla z plastu do formy, jednak z formy do temperačního média.

V prvním případě bude sdílení tepla záviset:

- Na hmotnosti výstřiku
- Na teplotě taveniny a teplotě formy
- Na teplotě vyjímání výstřiku z formy

Stejně jako u krystalických materiálů, je třeba počítat se skupenským teplem tuhnutí.

2.19 Materiály používané při výrobě forem

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiků se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. Významným činitelem pro splnění těchto podmínek je materiál forem, který je ovlivněn provozními podmínkami výroby, určené:

- druhem vstřikovaného plastu
- přesností a jakostí výstřiku
- podmínkami vstřikování
- vstřikovacím strojem

Pro výrobu forem se tedy používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Jejich široký výběr byl zredukován na úzký sortiment jakostí a rozměrů. Z toho se dále dává přednost materiálům univerzálních typů s širokým rozsahem užitečných vlastností. Takové druhy představují:

- oceli vhodných jakostí
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al)
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé..)

Oceli jsou daleko nejvýznačnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen obtížně nahradit.

2.20 Volba ocelí na formy

Optimální určení druhu oceli na konkrétní součást záleží na její funkci. Úspěšným předpokladem dostatečné životnosti a funkční vhodnosti je také účelná konstrukce, dostatečné rozměry, správné zacházení a údržba. I způsob výroby a tepelné zpracování materiálu ovlivňuje celkový výsledek. Nedostatečná kvalita povrchu zhoršuje vyjímání, vyleštěný povrch je rovněž prostředkem k ochraně proti korozi, atd. Z těchto požadavků vyplívají i nároky na čistotu oceli.

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci. Proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Jejich výběr a doporučená řada má odpovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení a životnost.

Od používaných materiálů na formy se vyžaduje především:

- dostatečná mechanická pevnost
- dobrá obrobitelnost

Z hlediska technologie výroby výstřiků má materiál funkčních dílů ještě zajišťovat speciální požadavky na kvalitu struktury, která je dána:

- dobrou lešitelností a obrusitelností

- zvýšenou odolností proti otěru
- odolností proti korozi a chemickým vlivům plastu
- vyhovující kalitelností a prokalitelností
- stálostí rozměrů a minimálními deformacemi při kalení
- dobrou tepelnou vodivostí
- houževnatostí
- pevností v tlaku

Z výše uvedených podmínek je zřejmé, že některé požadavky se vzájemně vylučují. Je tedy nutné vybrat oceli, které se těmto podmínkám co nejvíce přibližují.

2.21 Základní funkce CAD systémů

Při konstrukci výrobku se nejdříve nakreslí 2D náčrt (skica), ze kterého se vytáhne 3D těleso (tzv. objemový modelář). Může se také z 2D náčrtu vytvořit plocha (tzv. plošný modelář), ze které se následně vytáhne 3D těleso. 3D solid se dále upravuje do požadovaného tvaru pomocí dalšího přidávání, či ubírání jednotlivých tvarových částí.

Dále pak lze pracovat se sestavami a podsestavami složenými z více těles. V podsestavách se jednotlivé součásti dávají dohromady pomocí tzv. vazeb. Z těchto součástí lze skládat například mechanismy s možností pohybu a zjištění případných kolizí těchto mechanismů. S jednotlivými podsestavami se pracuje velmi podobně jako se součástmi a programy je umožňují vložit do složitých celků velkých sestav. Tyto sestavy jsou strukturovány ve stromu podle podsestav a ty dále na jednotlivé součásti a jejich konstrukční kroky. Díky tomu je možné vysledovat jakým způsobem byly jednotlivé součásti konstruovány, případně je lze snadno upravit. Tyto funkce zajišťují přehlednost i velice složitých sestav jako jsou automobily, technologická zařízení, apod.

U většiny těchto programů lze přímo ze 3D tělesa vygenerovat výkresovou dokumentaci. Kusovníky a pozice lze také generovat automaticky.

Důležitým prvkem pro tvorbu formy je nástroj pro rozdělení ploch na jádro a dutinu a pro určení dělicí křivky (roviny). Formu pak vytváříme výběrem normálí z katalogů (např. Hasco, Meusburger, Futaba...). Po zadání rozměrů jednotlivých desek a ostatních komponentů (pohyblivé vložky, ustavovací kroužek, vodící vtokový kanál, rozpěrné vložky) dojde k vytvoření základu formy, k jejímu dokončení pak použijeme nástroje pro tvorbu dalších prvků - (vodící čepy, šrouby, vyhazovače, rozpěrné vložky, elementy chlazení...). [6]

3 SHRNUTÍ STUDIJNÍ ČÁSTI

V této části jsou uvedeny základní teoretické poznatky potřebné k tomu, abychom byli schopni navrhnout vstříkovací formu. Z těchto poznatků je zřejmé, že existuje více možností, jak lze vstříkovací formu pro danou součást navrhnout. Proto je třeba dobře znát co nejvíce možných způsobů návrhu vstříkovací formy, abychom se byli schopni rozhodnout pro co nejlepší řešení. Cílem je navrhnout formu tak, aby splňovala požadavky, jak z hlediska ekonomické výroby formy, tak z hlediska dobrého technologického zpracování.

4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V této diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

- Vypracovat literární studii na dané téma
- Vytvořit parametrický model dílu.
- Vytvořit parametrický model sestavy vstřikovací formy
- Provést technologickou analýzu
- Provést mechanickou analýzu

Cílem této diplomové práce, je ze zadané výkresové dokumentace nakreslit 3D model dílu a na tento díl navrhnout a zkonstruovat vstřikovací formu. Následně podrobit tuto formu (respektive její části) mechanické a technologické analýze. Pokud tyto díly vstřikovací formy nebudou vyhovovat, modifikovat jejich parametry.

Cílem teoretické části této diplomové práce bylo získat informace o procesu zpracování polymerů vstřikováním. Od volby materiálů používaných při vstřikování, přes volbu tvaru výstřiku, až po různé konstrukční řešení používané při stavbě forem. Dalším úkolem bylo vyhledat a zpracovat informace o metodách měření veličin a jevů, které při vstřikování ve formě vznikají.

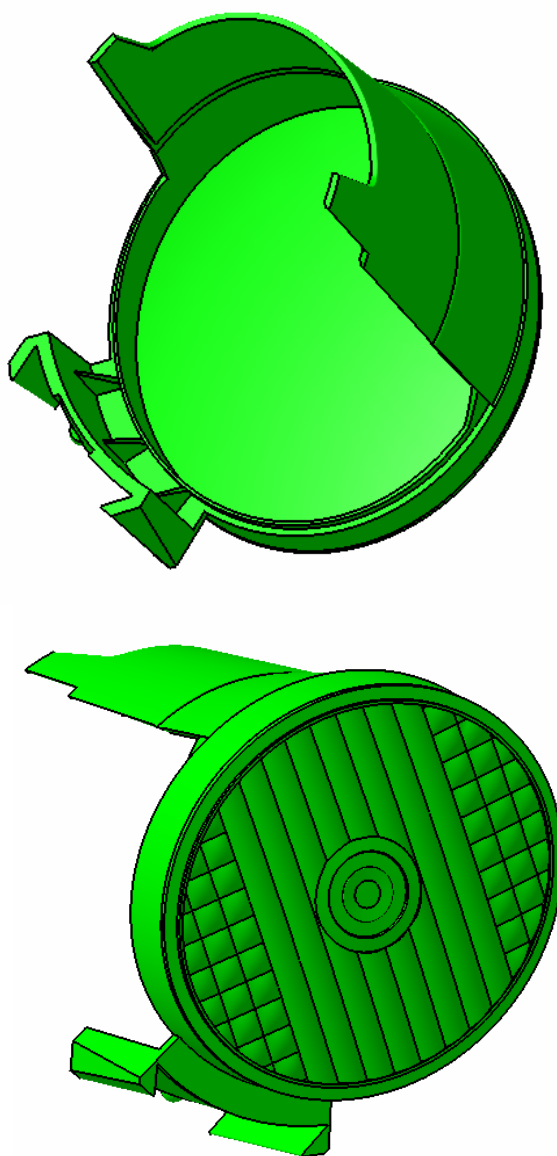
Důležitým aspektem při konstrukci vstřikovací formy bylo seznámit se s různými druhy CAD systémů používaných pro modelování jak samotného dílu výrobku, tak celé konstrukce vstřikovací formy.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 VYTVOŘENÍ PARAMETRICKÉHO MODELU DÍLU

5.1 Údaje o výrobku

Vstřikovaným výrobkem je směrové světlo osobního automobilu. Jedná se o součást předního světlometu. Toto směrové světlo je připevněno k zadní konstrukci světlometu, pomocí tvarových částí rozmístěných po obvodu směrového světla. V přední části směrového světla je tzv. optika určena pro optimální rozptyl světla. Z tohoto důvodu musí být přihlédnuto ke správnému umístění dělicí roviny formy.



Obr. 5. Vstřikovaný výrobek

Materiál pro výrobu směrového světla byl navržen zadavatelem. Jedná se o polykarbonát s obchodním označením CO PC-Apec 1800. Jde o speciální polykarbonát s vynikající tvarovou stálostí za tepla a s teplotní odolností 185°C.

Model směrového světla byl vytvořen pomocí softwaru CATIA V5. Pro vytvoření jednodušších tvarových částí byl použit modul Part Design. Složitější tvarové části, zejména optická část modelu byla vytvořena modulem Wireframe and Surface Design.

6 KONSTRUKCE FORMY

Konstrukce formy by měla být řešena s ohledem na složitost a přesnost výstřiku co nejjednodušeji. Při návrhu jednotlivých dílů formy byla snaha použít co nejvíce normalizovaných součástí. Je to z důvodu zjednodušení a zlevnění výroby formy. K dispozici byl katalog normalizovaných dílů firmy HASCO.

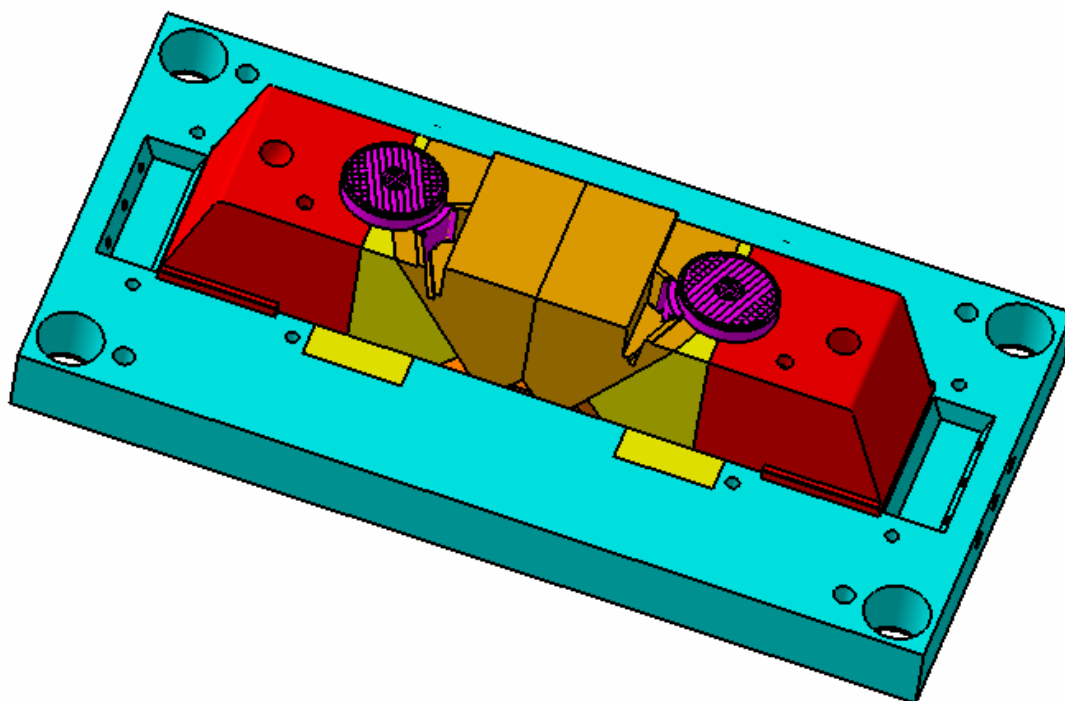
Konstrukce modelu formy byla tvořena pomocí softwaru CATIA V5 s použitím modulů Part Design pro jednotlivé díly formy. Pro vytvoření tvarových vložek bylo použito modulu Core & Cavity Design. Celková sestava formy se pak vytvářela v modulu Assembly Design. Zde se ještě jednotlivé díly formy upravovali.

6.1 Volba násobnosti formy

Při volbě násobnosti formy musíme přihlídnout k několika činitelům, které ji ovlivňují. Jsou to zejména:

- složitost a přesnost výstřiku
- kapacita vstřikovacího stroje
- ekonomika výroby (materiálové náklady , náklady na výrobu formy).
- velikost požadované výrobní série

Pro kvalitnější a přesnější výstřik se volí co nejmenší násobnost formy. Přestože tvar výrobku je v celku složitý, byla zvolena dvojnásobná forma. Je to také z toho důvodu, že se bude současně v jedné formě vstřikovat pravý i levý díl směrového světla.

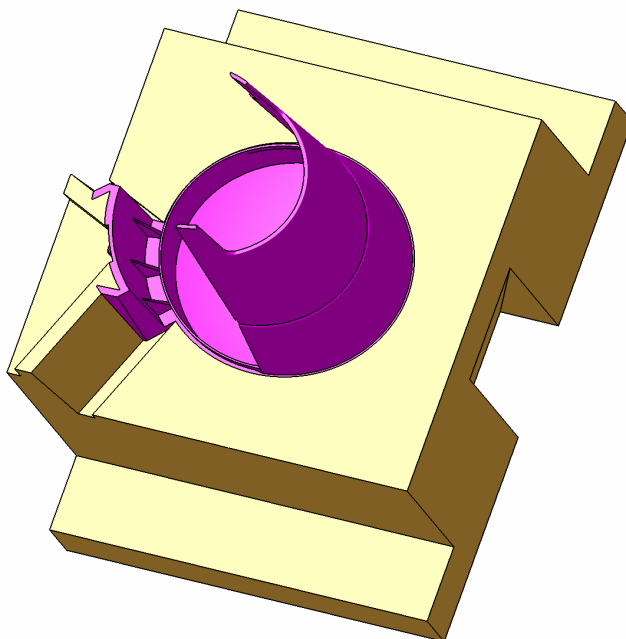


Obr. 6 . Dvojnásobná forma

6.2 Zaformování výstříku

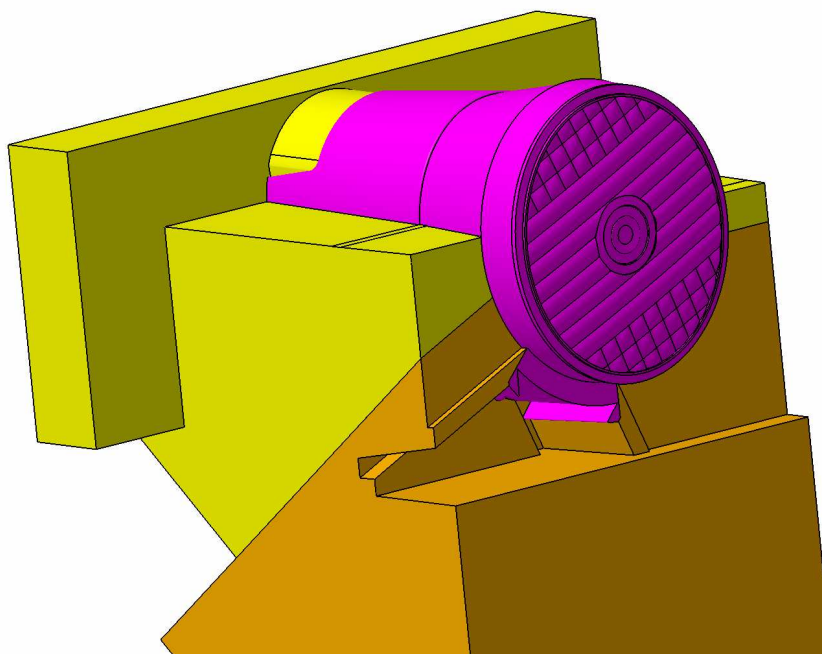
Jednou z hlavních operací při konstrukci formy je určení dělicí roviny. Vzhledem k tvarové složitosti výrobku byla tvarová vložka rozdělena na více částí. Tím také vzniklo více dělicích rovin. Tyto dělicí roviny můžeme rozdělit na hlavní a vedlejší.

Hlavní dělicí rovina byla zvolena rovnoběžně s upínáním formy a to tak, že probíhá po hranách výstříku. Touto hranou je v podstatě oddělena část optiky od ostatní části výrobku. Je to z toho důvodu, aby na výstříku nezůstaly stopy po dělicí rovině.



Obr. 7. Hlavní dělicí rovina (tvarová vložka)

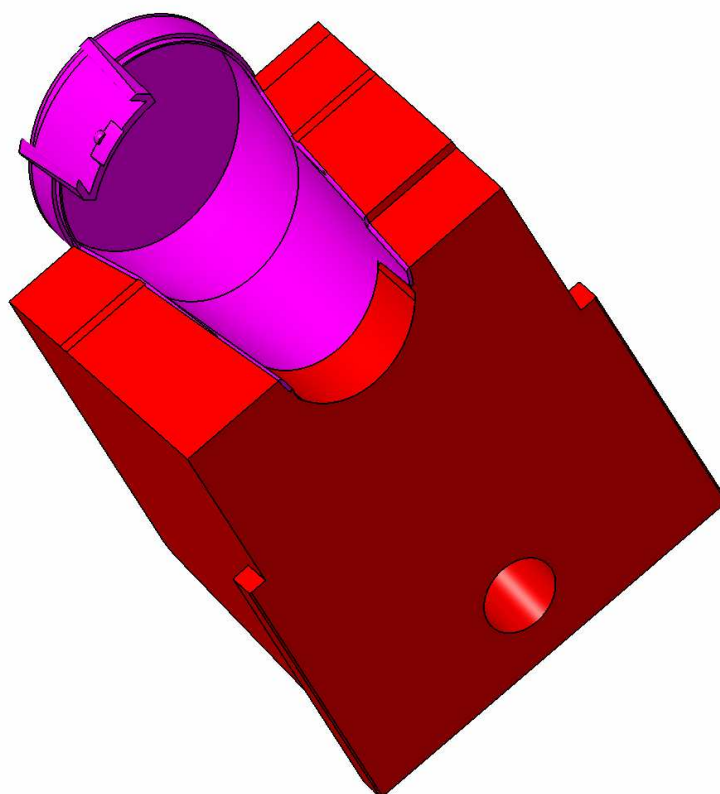
Vedlejší dělicí roviny mají za úkol oformovat pohyblivé části tzv. šíby. První vedlejší dělicí rovina rozděluje vnitřní tvarovou vložku na dvě části. Je to z toho důvodu, že výrobek má polouzavřený tvar a jeho vnitřní část by se nedala odformovat bez rozdělení vnitřní tvarové vložky na dvě části.



Obr. 8. Vedlejší dělicí rovina (rozdělení vnitřní tvarové vložky)

Tato dělicí rovina probíhá po vnitřní části optiky. Tím by mohlo dojít k tomu, že na výstřiku zůstane stopa po dělicí rovině. Mohlo by tak dojít ke znehodnocení optických parametrů světla. Proto byla tato rovina zvolena tak, aby kopírovala reliéf optických zakřivení světla.

Druhá vedlejší dělicí rovina je realizována pomocí šikmého čepu, který ovládá boční čelisti.

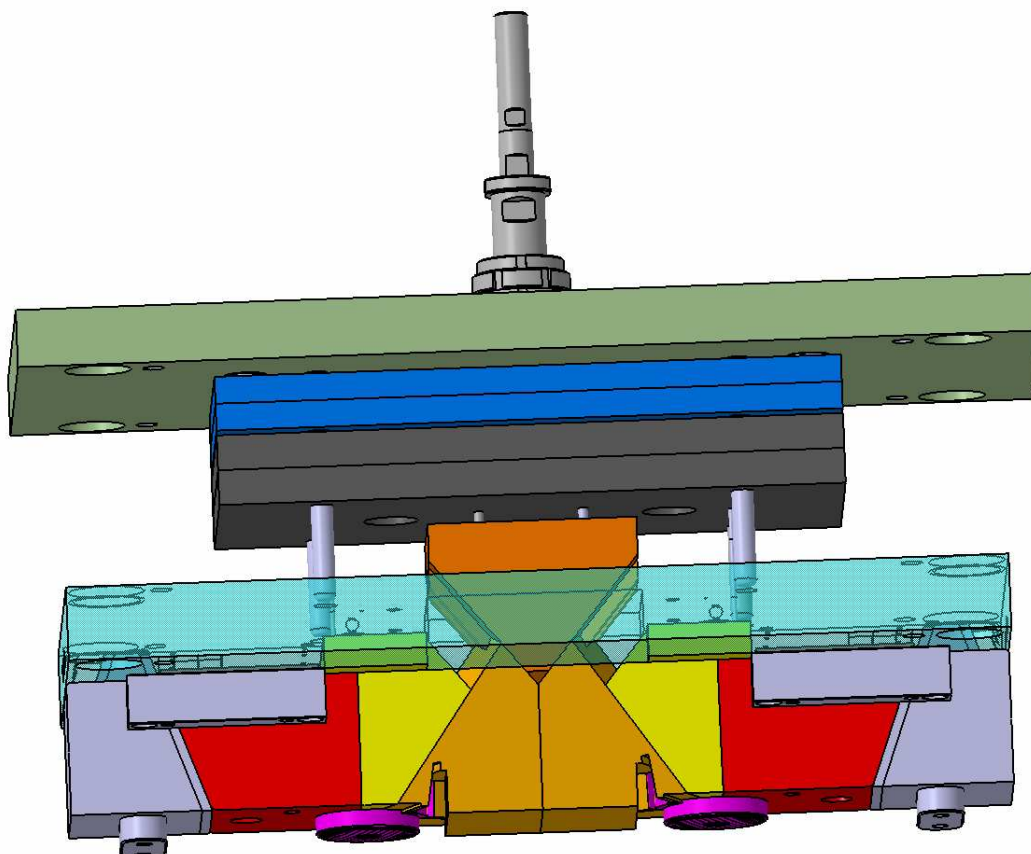


Obr. 9. Druhá vedlejší dělicí rovina (boční čelisti)

Při vstřikování plastu do formy dochází ke stlačení vzduchu ve formě čelem taveniny. Tento vzduch se ohřívá na teplotu, při které může polymer degradovat. To má za následek tvarové a vzhledové vady výstřiku. Proto je třeba při návrhu formy pamatovat na odvzdušnění tvarových částí formy. Pro odvedení vzduchu stačí opatřit dělicí rovinu drážkami hlubokými 0,005 mm až 0,01mm. K tomu abychom odvzdušnili formu nám ale postačí vůle, které jsou v dělicích rovinách a ve vyhazovačích.

6.3 Vyhazovací systém

Vyhození výstřiku z formy je realizováno dvoudeskovým vyhazovacím systémem. Pohyb vyhazovacího systému zajišťuje hydraulický systém vstřikovacího stroje.



Obr. 10 . Dvoudeskový vyhazovací systém

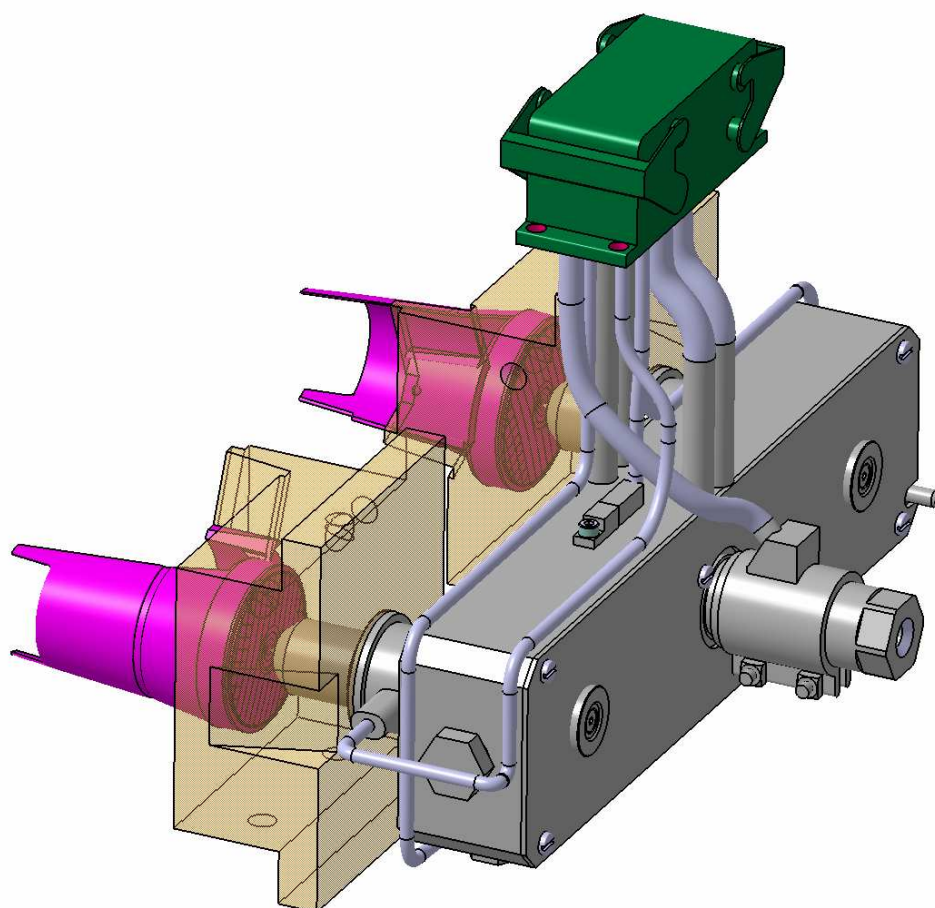
V první fázi se otevře hlavní dělicí rovina. Tím se od sebe oddělí tvárník a tvárnice. Zároveň dojde při otevření hlavní dělicí roviny k odjetí bočního šíbru, pomocí šikmého čepu.

V další fázi dojde díky hydraulice vstřikovacího stroje k odjetí desek na kterých je připevněn klín. Tím se rozdělí vnitřní tvarová vložka na dvě části. Výstřik zůstane na pohyblivé části tvarové vložky. Maximální zdvih desek s klínem postačí v našem případě 50 mm.

Druhý pohyb vykonají desky s vyhazovači. Vyhazovač shodí výrobek z pohyblivé části tvarové vložky. Maximální zdvih těchto desek postačí 35 mm. Tvar konce vyhazovače je v podélné ose přizpůsoben reliéfu optických zakřivení. V příčné ose může být vidět stopa po tomto vyhazovači.

6.4 Vtokový systém

Vtokový systém formy zajišťuje při výstřiku vedení proudu roztaveného plastu od vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Naplnění dutiny taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory.



Obr. 11 . Horká vtoková soustava

Rozlišujeme dva druhy vtokových soustav. Studená vtoková soustava a horká vtoková soustava.

V našem případě byla použita horká vtoková soustava. Jak již bylo řečeno v kapitole (1.2.15), použití této soustavy vyplývá zejména ze vstřikování bez vtokového zbytku. Tím dochází k úspoře materiálu a kratším vstřikovacím cyklům.

Vyhřívání vtokového systému je provedeno již při vstupu do rozvodného kanálu, na kterém je připevněn topný pás. Dále je vyhříván samotný rozvodný kanál. A nakonec jsou vyhřívány jednotlivé trysky.

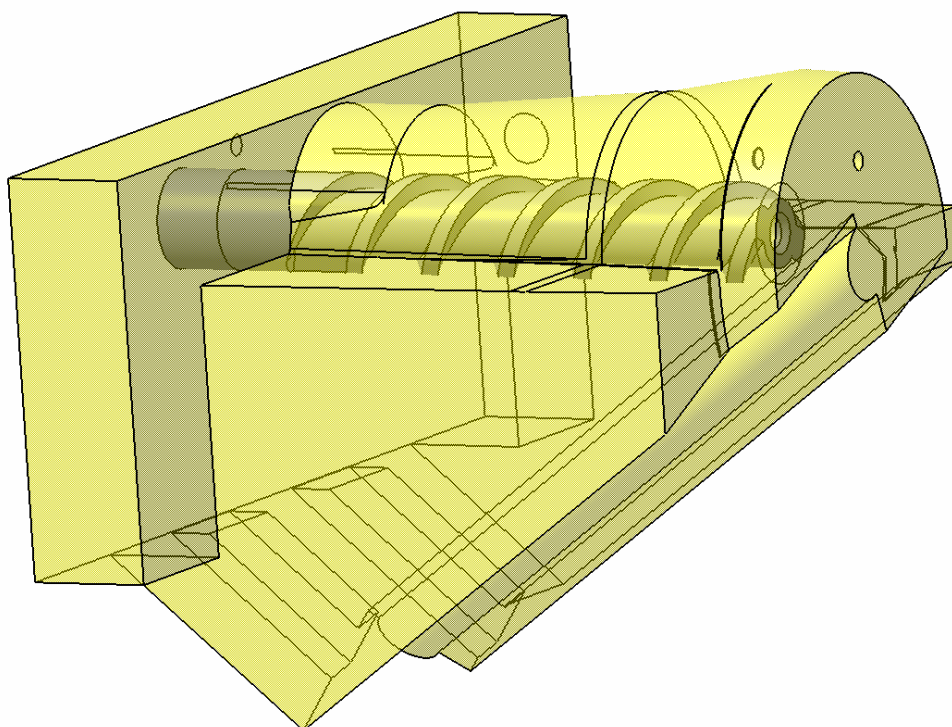
6.5 Temperace formy

Po vstříknutí taveniny do dutiny formy teplota prudce stoupá a poté opět klesá v důsledku odvodu tepla temperačním systémem. Kolísání teplot by mělo být co nejmenší. Proto musíme zvolit optimální rozmístění a velikost temperačních kanálů.

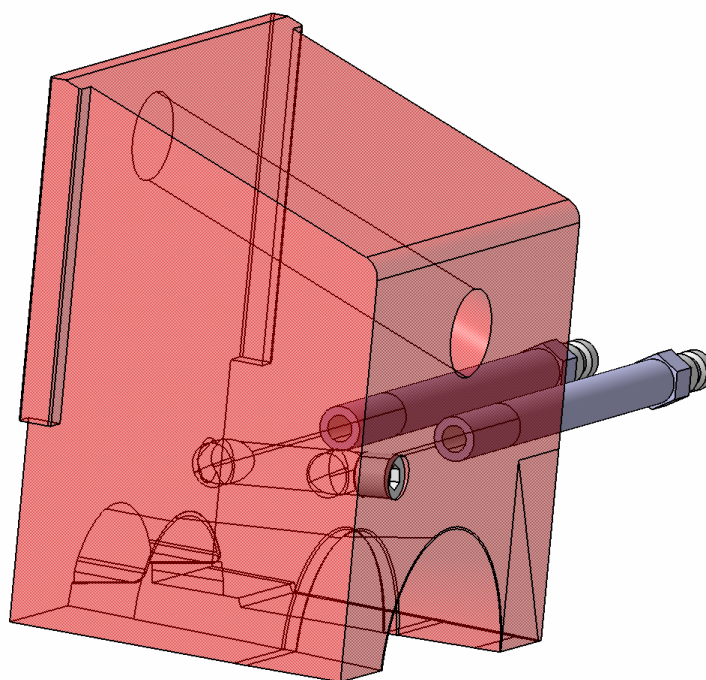
Protože díl je tenkostěnný, není třeba dlouhá doba pro ochlazení výrobku. Délka dráhy toku taveniny je však větší a mohlo by dojít k předčasnému zatuhnutí materiálu. Proto byla teplota formy zvýšena na 130°C. Z toho vyplývají vyšší nároky na chlazení po vstříknutí materiálu do dutiny formy. Proto bylo potřeba vést temperační systém ve všech tvarových částech formy.

V našem případě máme čtyři samostatné temperační okruhy, které jsou umístěny jak v pevné, tak v pohyblivých částech formy.

V pevné části tvarové vložky je pro intenzivnější chlazení vložena chladicí věž. Díky svému spirálovitému tvaru se nejen zintenzivní chlazení tvarové vložky, ale navíc odpadne vyvrtávání děr pro temperační kanály.



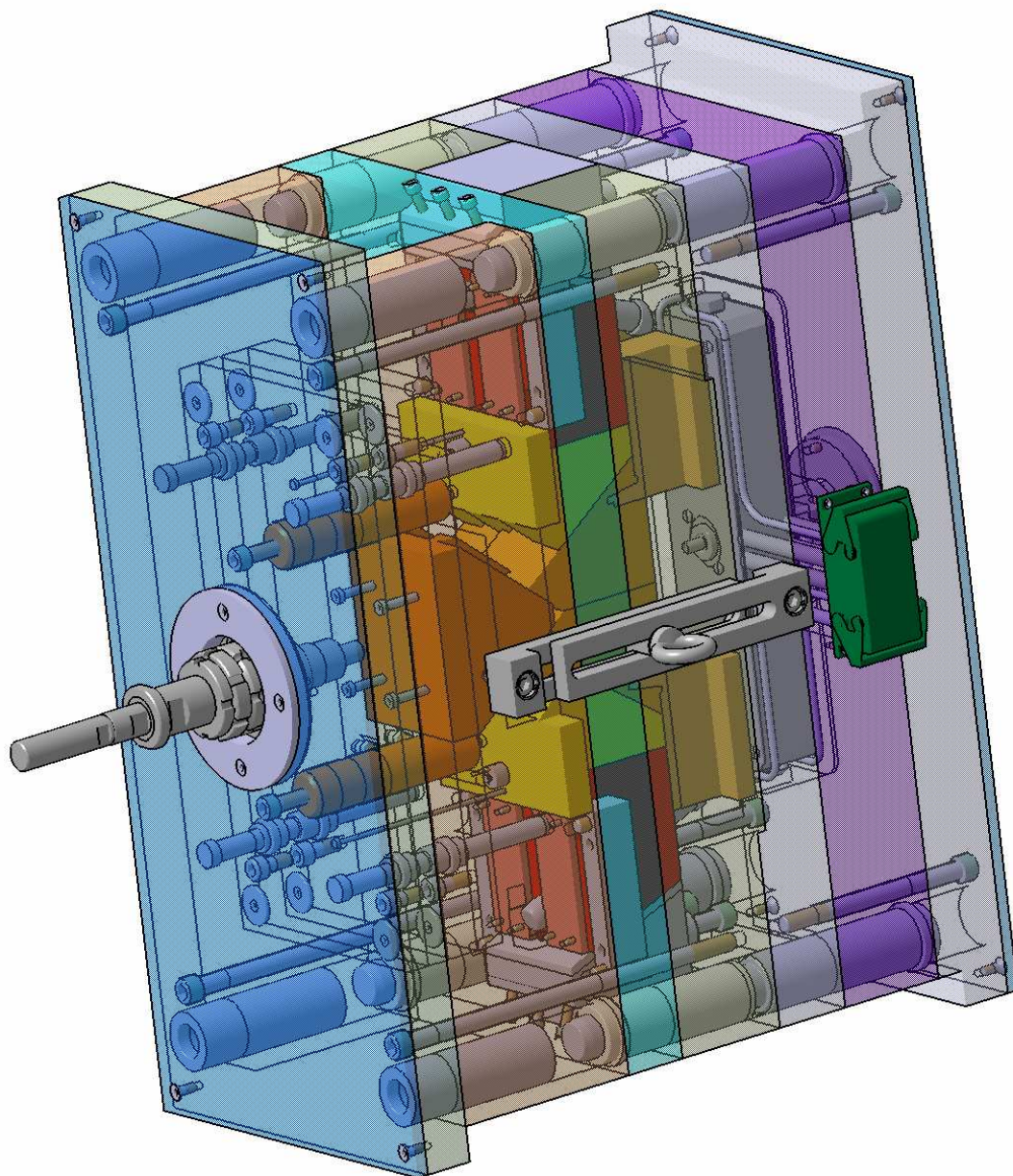
Obr. 12 . Umístění chladící věže uvnitř tvarové vložky



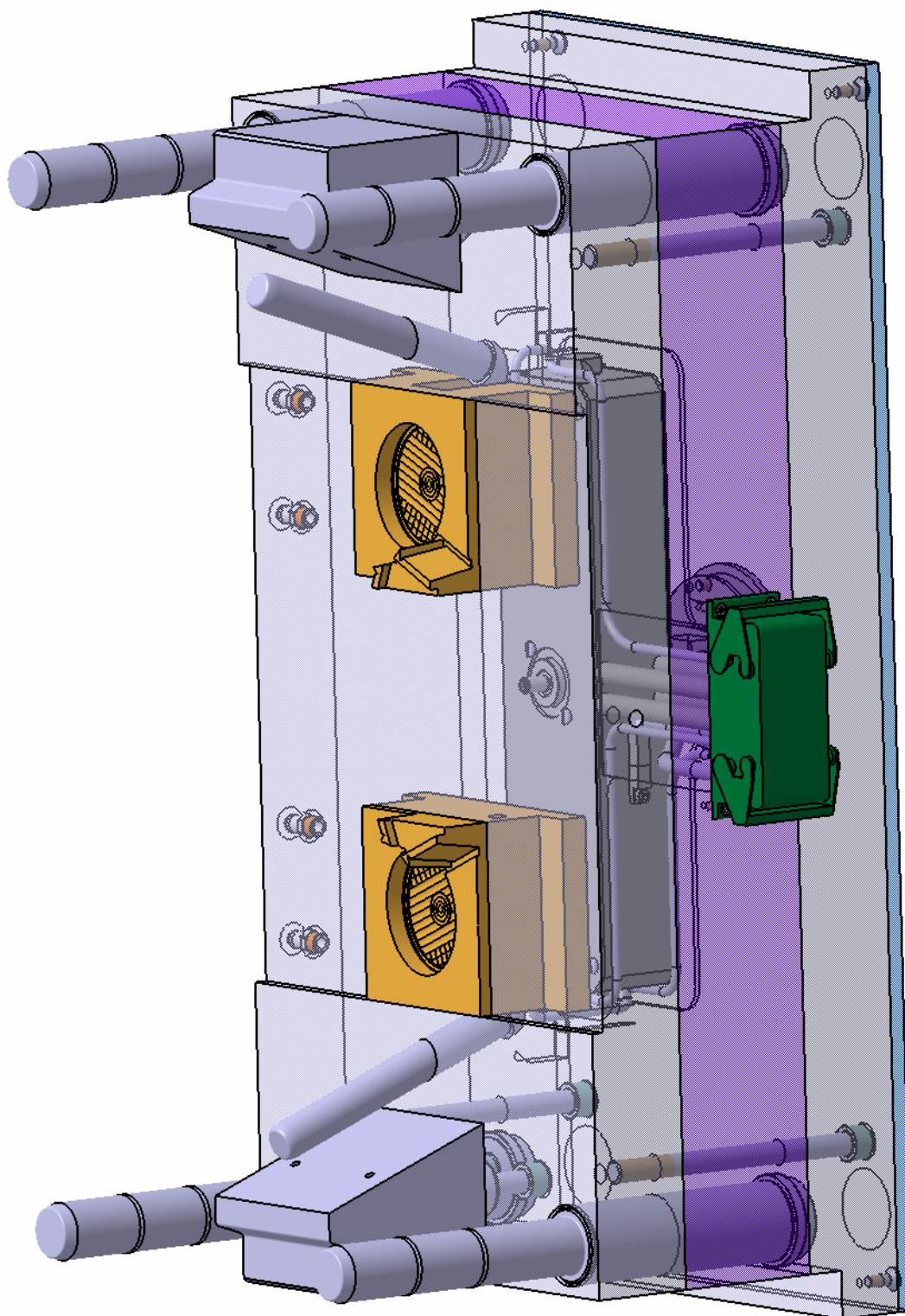
Obr. 13 . Temperace pohyblivých bočních čelistí

6.6 Sestava vstříkací formy

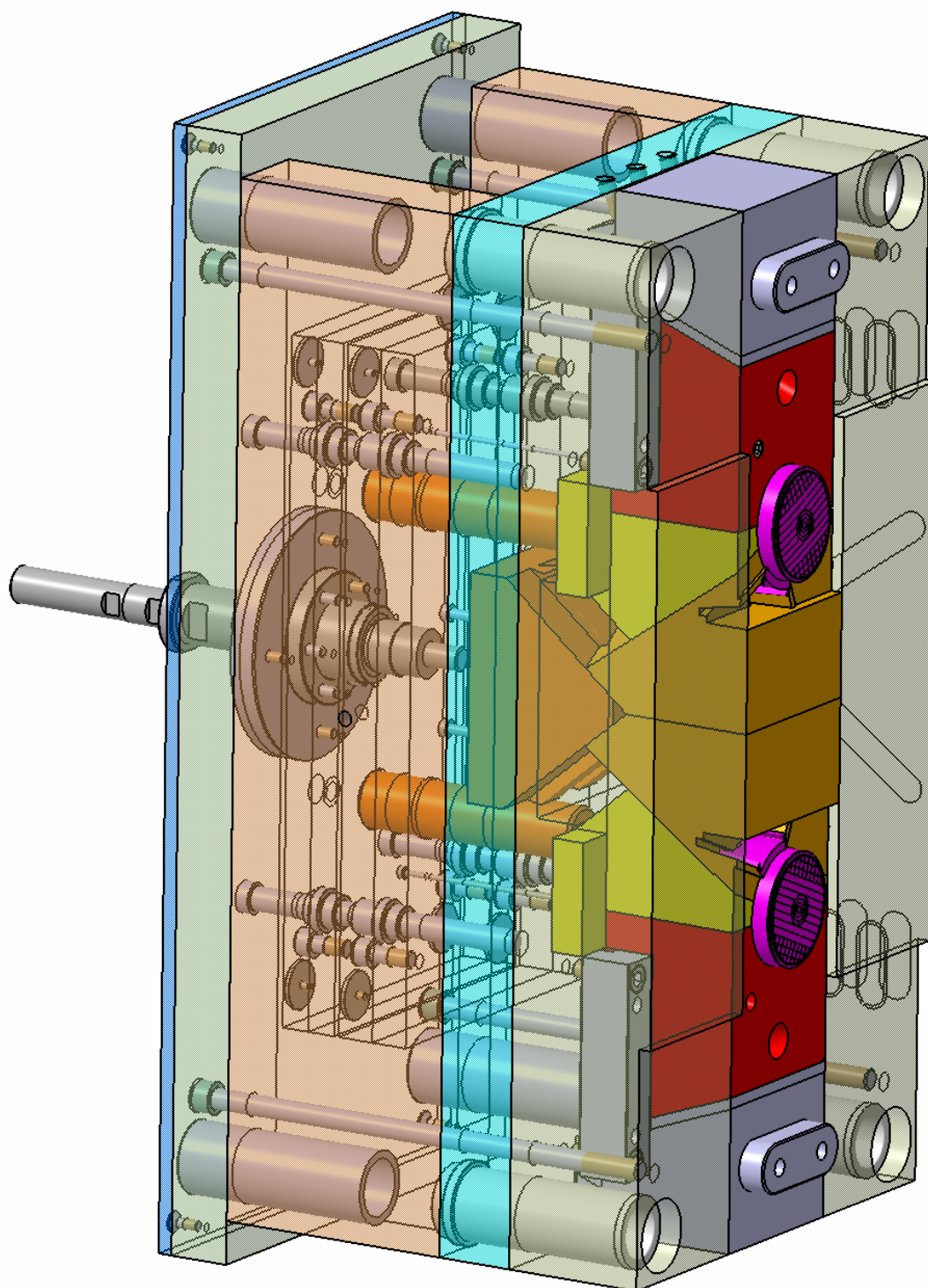
Pohled na sestavu vstříkací formy rozdělenou v hlavní dělící rovině. Sestava vstříkací formy je nakreslena v programu CATIA V5 a je uložena na příloženém CD.



Obr. 14 . Celkový pohled do formy



Obr. 15 . Pevná část formy



Obr. 16 . Pohyblivá část formy

7 TECHNOLOGICKÁ ANALÝZA

Byla provedena technologická analýza výrobku pomocí programu Moldflow Plastics Insight 5.1. Cílem je analyzovat děje a zajistit potřebné veličiny vznikající při vstřikování plastu uvnitř dutiny formy. Jednou z důležitých veličin, potřebnou pro následnou mechanickou analýzu je maximální tlak v dutině formy.

7.1 Zadávání procesních podmínek

Zadané procesní podmínky vychází z materiálu, který chceme vstřikovat. Materiál pro výrobu směrového světla byl určen polykarbonát s obchodním názvem CO PC-Apec 1800.

Tím je dána především teplota formy a teplota taveniny. Dále pak volíme dobu vstřikování a dobu chlazení. Můžeme také zvolit bod přepnutí mezi vstřikováním a dotlakem. Udává se v procentech zaplnění formy taveninou.

Změnami těchto technologických podmínek, můžeme měnit výsledné hodnoty. Jako například tlak uvnitř dutiny formy a tím také uzavírací sílu, dobu plnění formy, nebo můžeme eliminovat vady ke kterým v průběhu plnění formy dochází.

Procesní podmínky je důležité znát také při zadávání vstupních hodnot do vstřikovacího stroje.

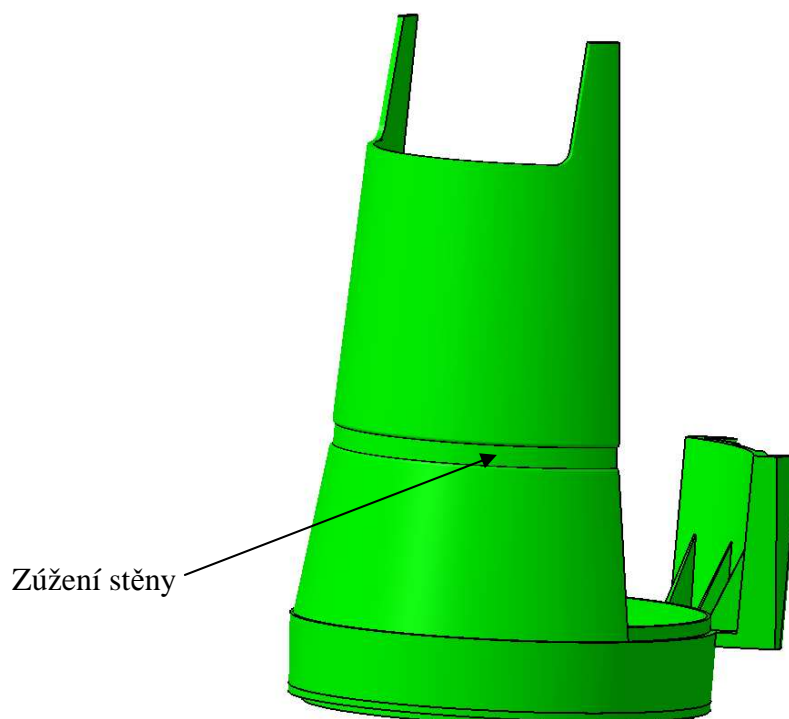
Tab . 1. Procesní podmínky

Procesní podmínky	1	2
Materiál	CO PC-Apec 1800	CO PC-Apec 1800
Čas plnění [s]	0,9	0,8
Teplota formy [°C]	130	130
Teplota taveniny [°C]	330	330
Bod přepnutí [%]	100	96
Čas chlazené [s]	10	10

7.2 Výsledky analýzy vstřikovaného výrobku

Z důvodu zlepšení výsledných hodnot, zejména vstřikovacího tlaku, byly zadány procesní podmínky se dvěma různými hodnotami doby vstřikování a bodu přepnutí.

V prvním případě dosáhl maximální tlak uvnitř dutiny formy vyšší hodnoty, proto bylo třeba změnit procesní podmínky a pokusit se tak snížit tlak vstřikování. Vysoký vstřikovací tlak není žádoucí z důvodu nadměrného namáhání částí formy, zejména opěrných desek. Tato vysoká hodnota vstřikovacího tlaku je zaviněna nevhodně navrženým tvarem výrobku, který je ve své boční části zúžen po celé délce na 0,6mm. Tímto místem musí protéct všechna tavenina od ústí vtoku až do nejvzdálenějšího bodu výrobku. Proto je potřeba vyvinout větší vstřikovací tlak, aby tavenina tímto místem protékla.



Obr. 17. Zúžení stěny na výrobku

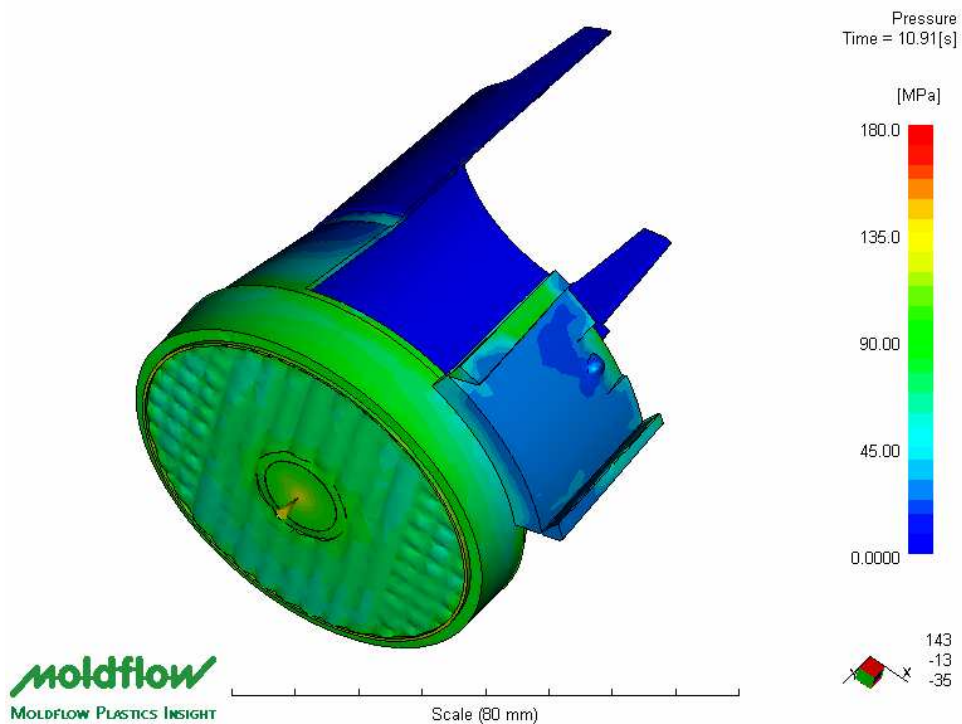
Protože tvar výrobku měnit nemůžeme, pokusíme se změnit procesní podmínky při vstřikování. V následující tabulce je srovnání výsledných hodnot, pro první a druhou variantu procesních podmínek.

Tab . 2 . Výsledné hodnoty

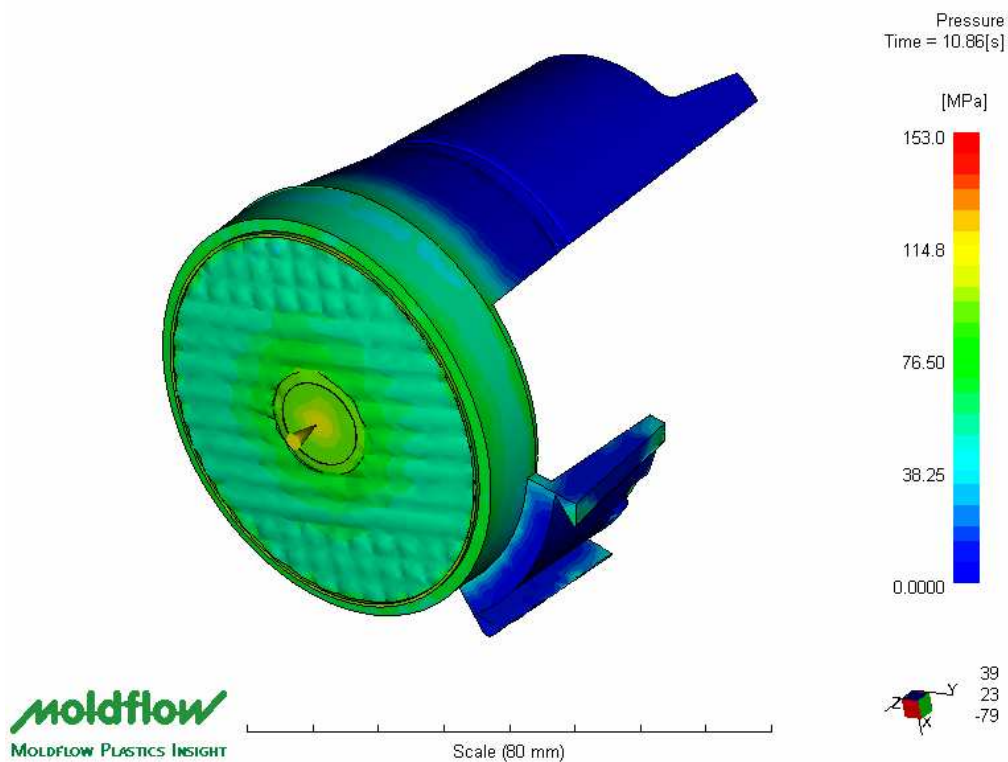
Procesní podmínky	1	2
Maximální vstřikovací tlak [MPa]	174.89	153.00
Maximální uzavírací síla [kN]	84.62	50.33
Doby vstřikování [s]	0.9106	0.9781
Maximální teplota taveniny [°C]	364	357.5

Při druhé variantě procesních podmínek klesl maximální vstřikovací tlak a podařilo se snížit i maximální uzavírací sílu. Doba plnění u druhé varianty mírně vzrostla, ale snížila se maximální teplota taveniny.

Následující obrázky (Obr. 18 , 19) znázorňují průběh tlaku v dutině formy u obou variant procesních podmínek na konci vstřikovacího cyklu.

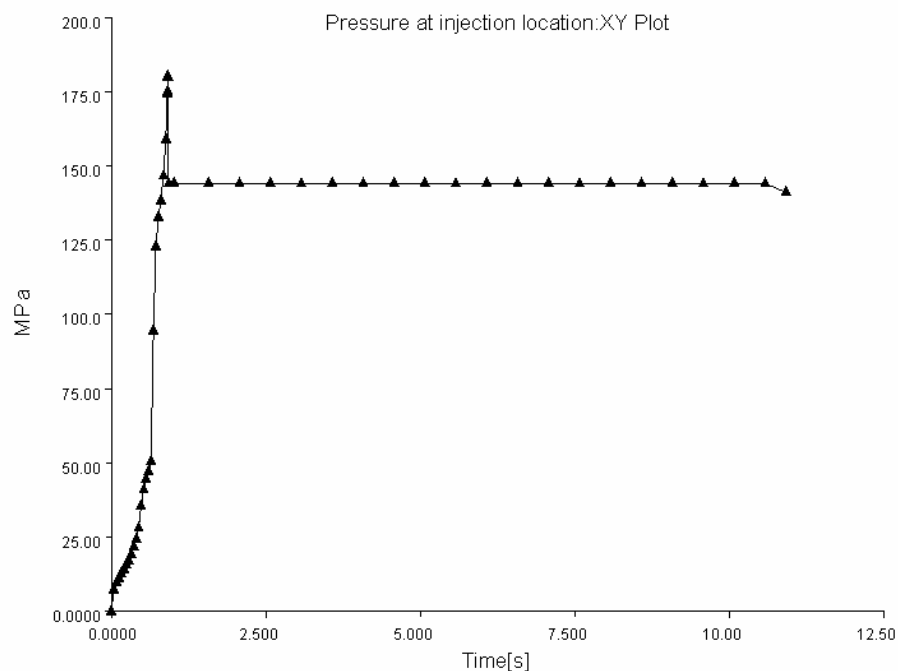


Obr. 18. Maximální vstřikovací tlak, procesní podmínky 1

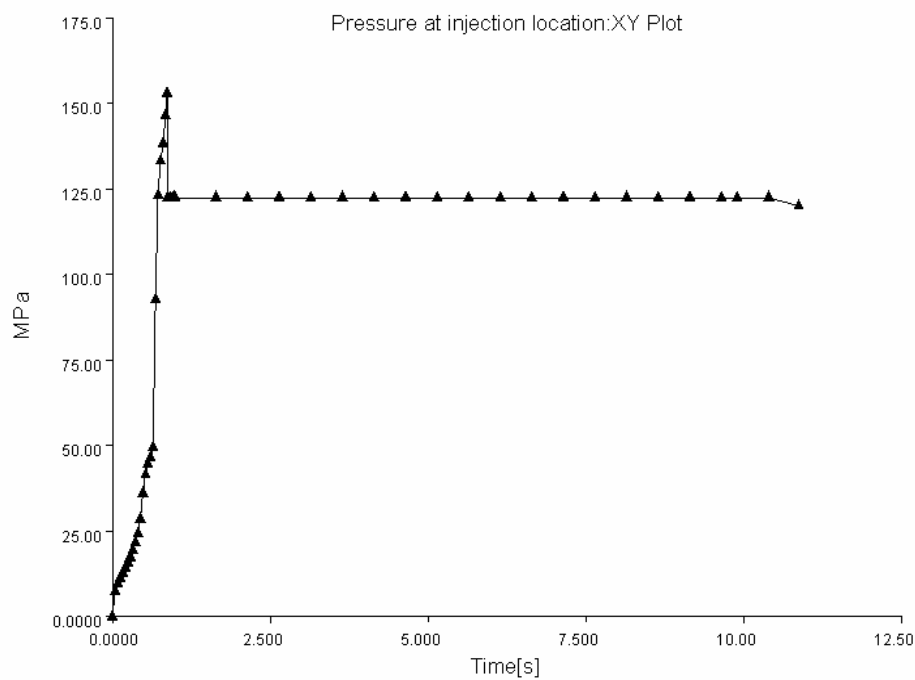


Obr. 19. Maximální vstřikovací tlak, procesní podmínky 2

Následující grafy (Obr.20,21) znázorňují průběh tlakového pole po celou dobu vstřikovacího cyklu. Je zřejmé, že maximální tlak v dutině formy působí v bodě přepnutí a to těsně před naplněním formy.

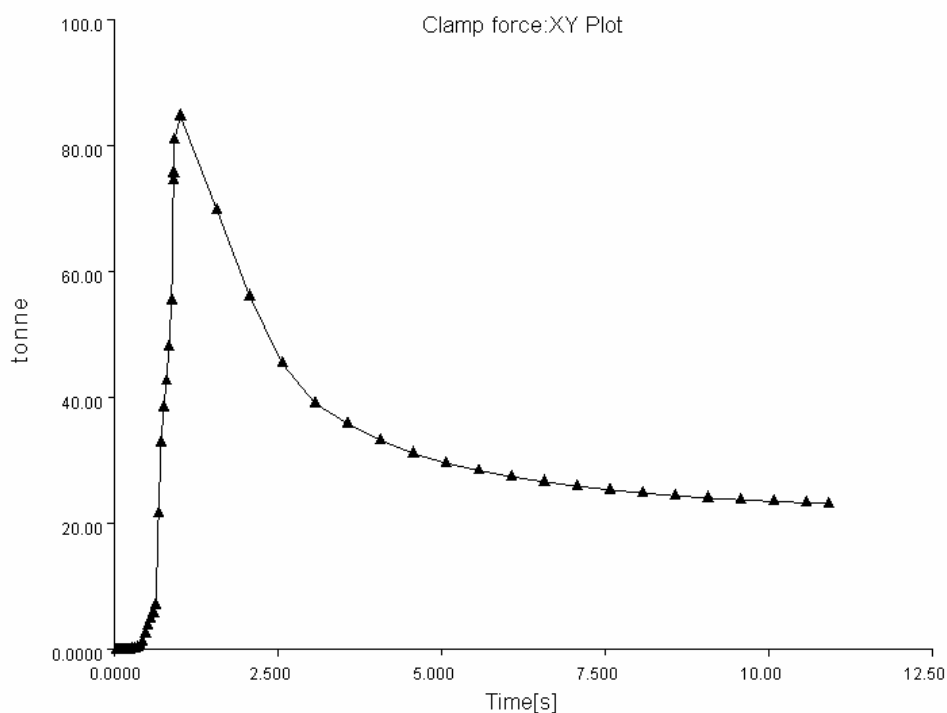


Obr. 20 . (Graf) Maximální vstřikovací tlak, procesní podmínky 1

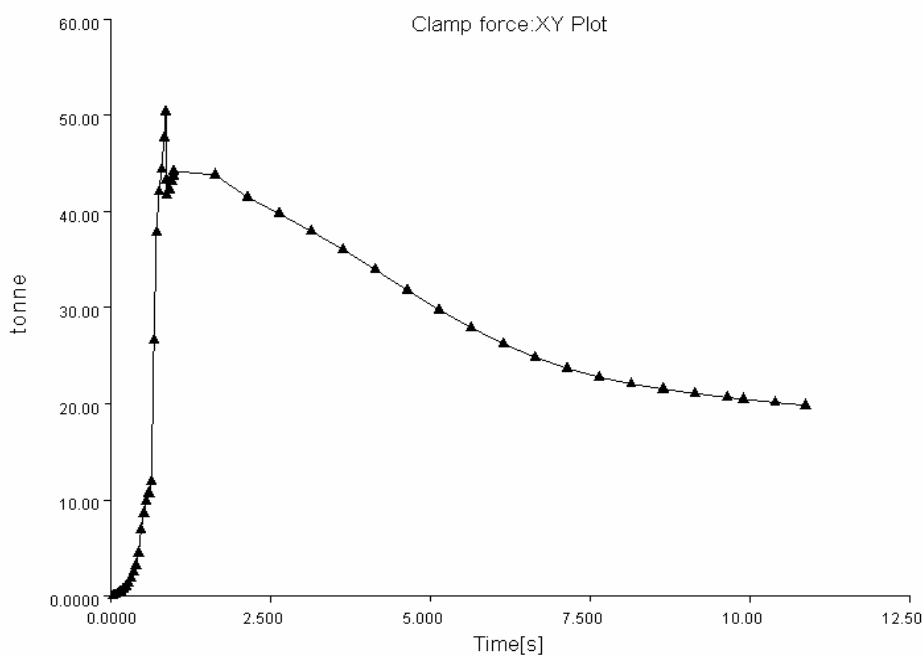


Obr. 21 . (Graf) Maximální vstřikovací tlak, procesní podmínky 2

Srovnání maximální uzavírací síly, pro obě varianty procesních podmínek jsou znázorněny v grafech (Obr. 22,23). Z grafu lze vyčíst že maximální uzavírací síla u druhé varianty ztelně klesla.

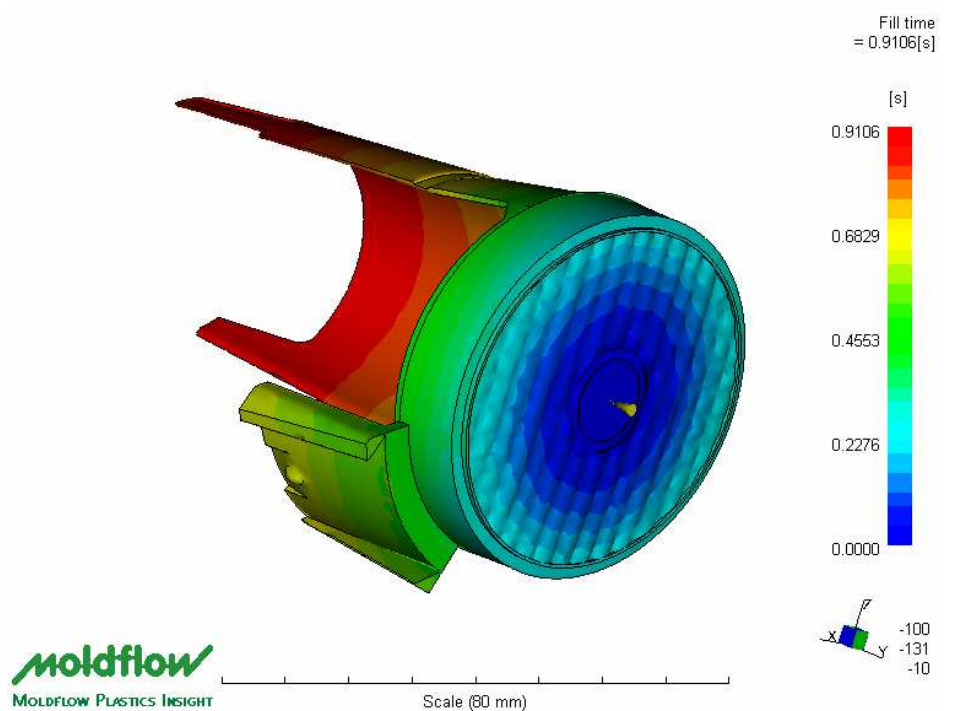


Obr. 22 . (Graf) Maximální uzavírací síla, procesní podmínky 1

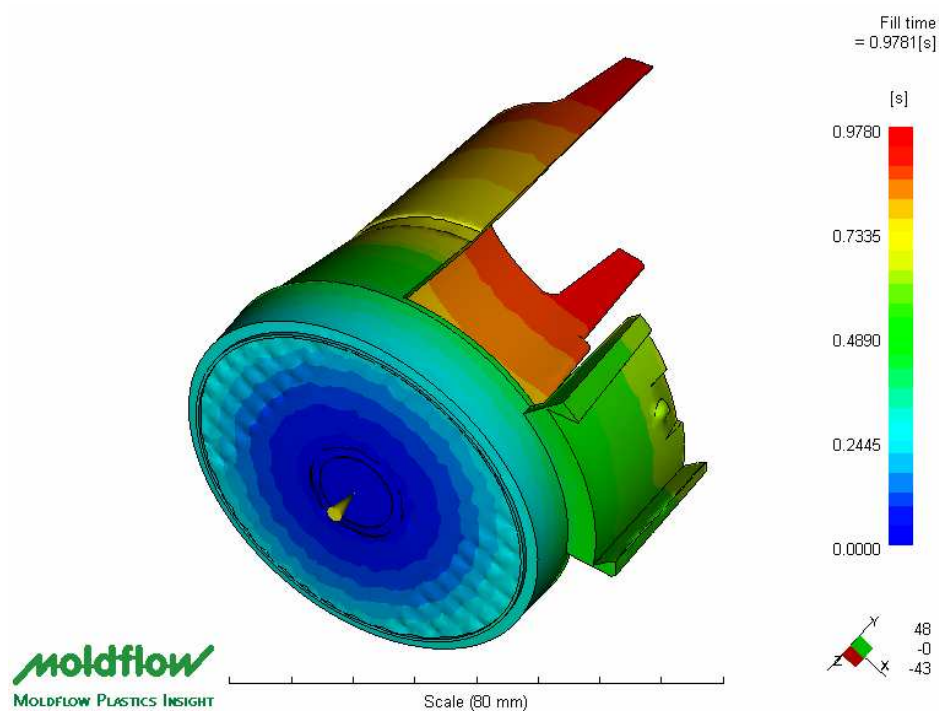


Obr. 23 . (Graf) Maximální uzavírací síla, procesní podmínky 2

Doba plnění formy taveninou je znázorněna na následujících obrázcích (Obr. 24,25). Znázorňuje za jakou dobu doteče tavenina do různých míst formy. Tato informace nám může pomoci při volbě umístění ústí vtoku do formy.



Obr. 24 . Doba plnění formy , procesní podmínky 1



Obr. 25 . Doba plnění formy , procesní podmínky 2

8 MECHANICKÁ ANALÝZA

Tlak při vstřikování plastu do dutiny formy je značný. V důsledku tohoto tlaku jsou namáhány jednotlivé části formy, zvláště pak deska opěrná. Na tuto desku se přenáší tlak z dutiny formy přes tvarovou vložku. Je to dáno tím, že dělicí rovina je kolmá na opěrnou desku a tudíž největší tlak působí právě na tuto desku. Dochází tak k deformaci této desky.

Naším úkolem je zjistit tento průhyb a v případě překročení dovolených hodnot průhybu (udává se vyšší jak y_D) dimenzovat desku tak, aby byla schopna tento tlak zachytit. Nedovolená velikost průhybu by mohla způsobit netěsnost formy a tím únik polymeru do dělicí roviny.

Hodnoty průhybu opěrné desky jsou zjištěny početně dle vztahů z kapitoly (1.2.9) a pomocí programu COSMOS DesignSTAR 3.0. Tyto hodnoty jsou navzájem porovnány s velikostí dovoleného průhybu, který je dán vztahem:

$$y_D = \frac{0,02}{100} \cdot 1 = \frac{0,02}{100} \cdot 150 = 0,03 \text{ mm} \quad (9)$$

Je to vlastně průhyb, který nepřesáhne 0,02 mm na 100 mm délky desky.

Pomocí programu COSMOS DesignSTAR 3.0 můžeme navíc podle Von Misesova srovnávacího napětí, určit hodnotu nejvíce namáhané části desky ohybovým napětím. Toto napětí opět nejprve spočítáme a porovnáme z hodnotami naměřenými pomocí programu COSMOS DesignSTAR 3.0.

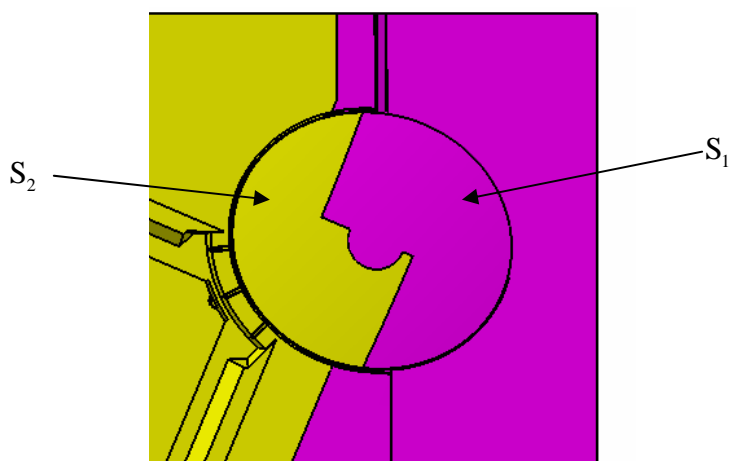
Podle této hypotézy nastává porušení materiálu nezávisle na složené napjatosti tehdy, když deformační práce potřebná na změnu tvaru překročí hodnotu deformační práce potřebné na změnu tvaru přímkové (jednoosé) napjatosti.

Desku budeme zatěžovat tlakem zjištěným z předcházející kapitoly (3.2.2). Jako výchozí hodnotu tlaku budeme brát druhou variantu zadávaných procesních podmínek.

Protože plocha tvarové vložky kolmá na dělicí roviny je rozdělena na dvě části, budeme počítat s poměrnou částí zatěžující opěrnou desku.

Tlak na druhou část tvarové vložky se z části přenáší na opěrnou desku a z části na rozvírací klín, přes který se tlak dále přenáší na upínací desku. Tento tlak je však mnohem nižší než tlak zatěžující opěrnou desku.

Rozdělení ploch tvarové vložky je znázorněno na následujícím obrázku.



Obr. 26 . Rozdělení ploch tvarové vložky

Velikost plochy tvarové vložky, která přenáší tlak na opěrnou desku je $S_1 = 0,002 \text{ m}^2$. Velikost plochy tvarové vložky, která přenáší tlak na rozvírací klín a z části na opěrnou desku je $S_2 = 0,0014 \text{ m}^2$.

Z těchto ploch spočítáme tlak působící na opěrnou desku. Tímto tlakem pak budeme tuto desku zatěžovat.

$$x_1 = \frac{S_1 \cdot 100}{S_c} \quad (10)$$

$$x_1 = \frac{0,002 \cdot 100}{0,0034} = 58,82 \doteq 60\%$$

Kde x_1 je procentuelní poměr plochy kolmé na opěrnou desku.

Plocha $0,002 \text{ m}^2$ zaujímá 60% z celkové plochy tvarové vložky kolmé na opěrnou desku.

Celkový tlak v dutině formy je 153 MPa. Takže tlak který je přenášen přes tvarovou vložku na opěrnou desku je dán ze vztahu (12).

$$p_1 = \frac{p_c \cdot x_1}{100} \quad (11)$$

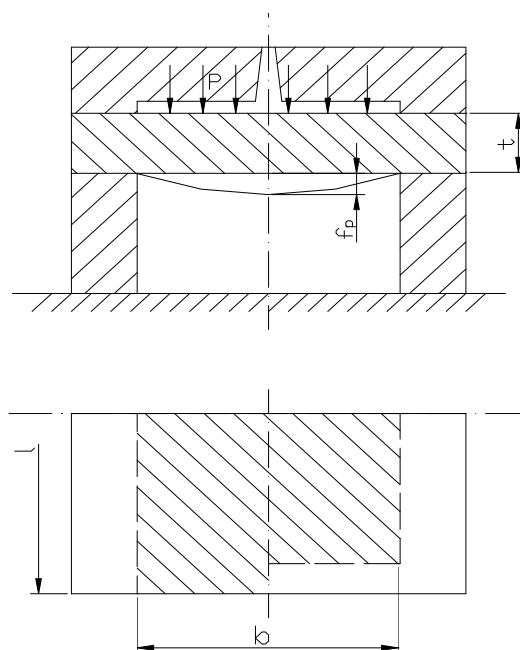
$$p_1 = \frac{153 \cdot 60}{100} = 91,8 \text{ MPa}$$

Kde p_1 je tlak působící na opěrnou desku.

Protože se ale přenáší určitá část tlaku přes šikmou plochu, která dělí tvarovou vložku do desky opěrné, budeme počítat s tlakem o něco vyšším.

Tlak který bude působit na opěrnou desku tedy stanovíme na **105 MPa**.

8.1 Početní řešení průhybu opěrné desky



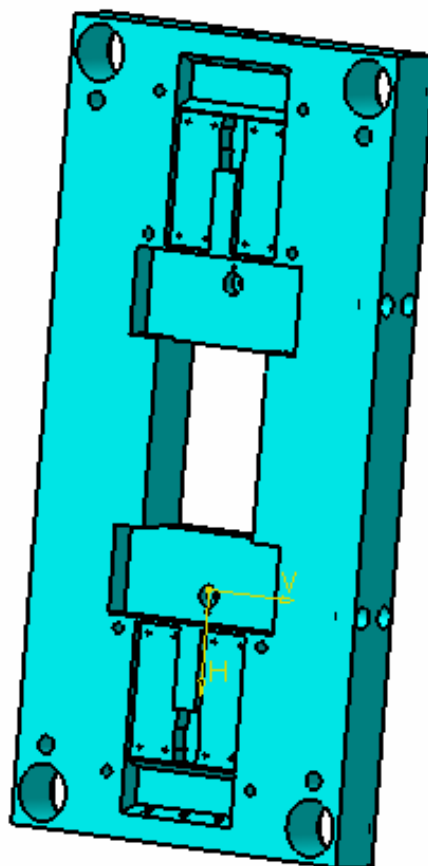
Obr. 27 . Schéma zatížení opěrné desky formy

Zadané hodnoty :

- Délka zatížené plochy $l = 0,15$ [m]
- Tloušťka zatížené plochy $t = 0,026$ [m]
- Zatížení při vstřikování $p = 105$ [MPa]
- Modul pružnosti oceli $E = 2,1 \cdot 10^5$ [MPa]

Protože má opěrná deska vyvrtané díry pro chlazení, šrouby a vyhazovače je předpoklad, že se vypočítané hodnoty průhybů nebudou přesně shodovat s velikostí průhybů zjištěných pomocí programu COSMOS DesignSTAR 3.0.

Opěrná deska má zahloubení pro tvarovou vložku. Tím je ještě snížena tloušťka opěrné desky.



Obr. 28 . Opěrná deska

Deska obdélníkového tvaru je podepřena dvěma podložkami (rozpěrkami). Velikost průhybu se pak spočítá dle vzorce (7) z kapitoly (1.2.9).

$$f_p \approx 0,026 \frac{p \cdot b^4}{E \cdot t^3} \quad (12)$$

$$f_p \approx 0,026 \frac{p \cdot b^4}{E \cdot t^3} = 0,026 \frac{105 \cdot 150^4}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 26^3} = 0,374 \text{ mm}$$

Deska o tloušťce 46mm má průhyb $f_p \approx 0,374$ mm . Tento průhyb je příliš velký a nesplňuje podmínku průhybu $y_D < 0,03$ mm .

Protože tlak v dutině formy nezměníme, musíme zvětšit tloušťku desky, abychom zmenšili maximální prohnutí f_p .

Postupně budeme zvětšovat tloušťku opěrné desky podle normalizovaných rozměrů desek firmy HASCO. Tento rozměr desky postupně dosazujeme do vzorce (12).

Tab . 3 . Hodnoty průhybů opěrné desky

Tloušťka desky [mm]	Tloušťka zatížené plochy [mm]	Průhyb opěrné desky [mm]
56	36	0,141
66	46	0,067
76	56	0,037
76	61	0,028

U posledního případu desky jsme navíc zmenšili zhloubení pro tvarovou vložku a tím zvětšil tloušťku zatížené plochy. Tato deska o tloušťce zatížené plochy $t = 61$ mm již splnila požadavek maximálního průhybu desky $y_D < 0,03$ mm .

8.2 Stanovení maximálního průhybu opěrné desky programem COSMOS DesignSTAR 3.0

Při stanovení průhybu opěrné desky postupujeme následujícím způsobem:

1. Nejprve definujeme na opěrné desce plochy pro tvarové vložky, pro rozpěrné desky a opěrné kolíky.
2. Vložíme takto upravenou desku do programu COSMOS DesignSTAR 3.0.
3. V tomto programu musíme zadat tyto základní hodnoty potřebné pro výpočet a vykreslení finálních hodnot maximálního průhybu opěrné desky :

- Uložení opěrné desky. Opěrná deska je opřena o rozpěrné desky a o opěrné kolíky. Další uchycení je provedeno v otvorech po vodících čepech.
 - Sílu působící na plochu opěrné desky v místě dotyku tvarových vložek.
 - Materiál opěrné desky
4. Zobrazení výsledků deformací, popřípadě napětí.

Určení síly působící na opěrnou desku:

Dáno:

$$p = 105 \text{ MPa}$$

$$a = 65 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

Plocha zatěžovaná silou.

$$S = a \cdot b \text{ [mm}^2\text{]} \quad (13)$$

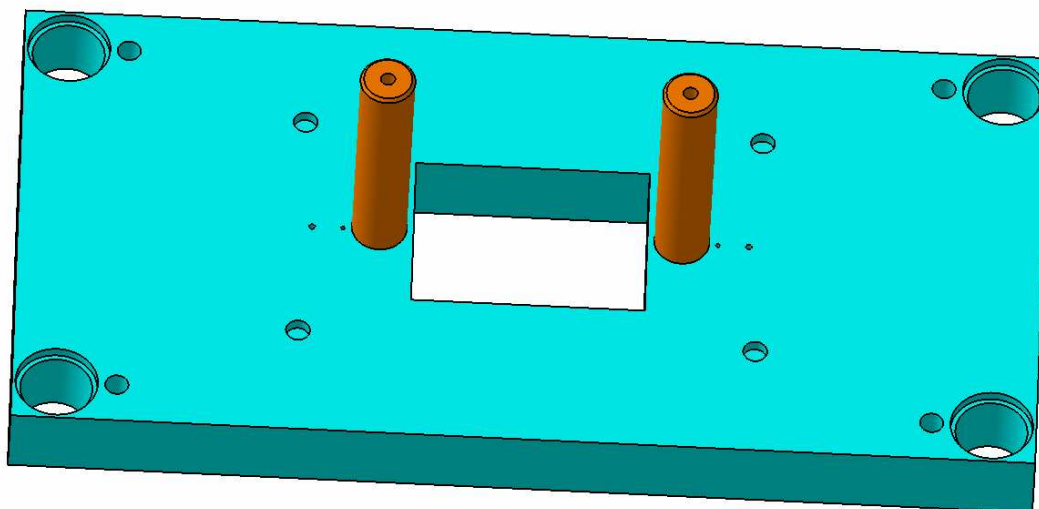
$$S = 65 \cdot 150 = 9750 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Síla působící na plochu opěrné desky

$$F = p \cdot S \text{ [N]} \quad (14)$$

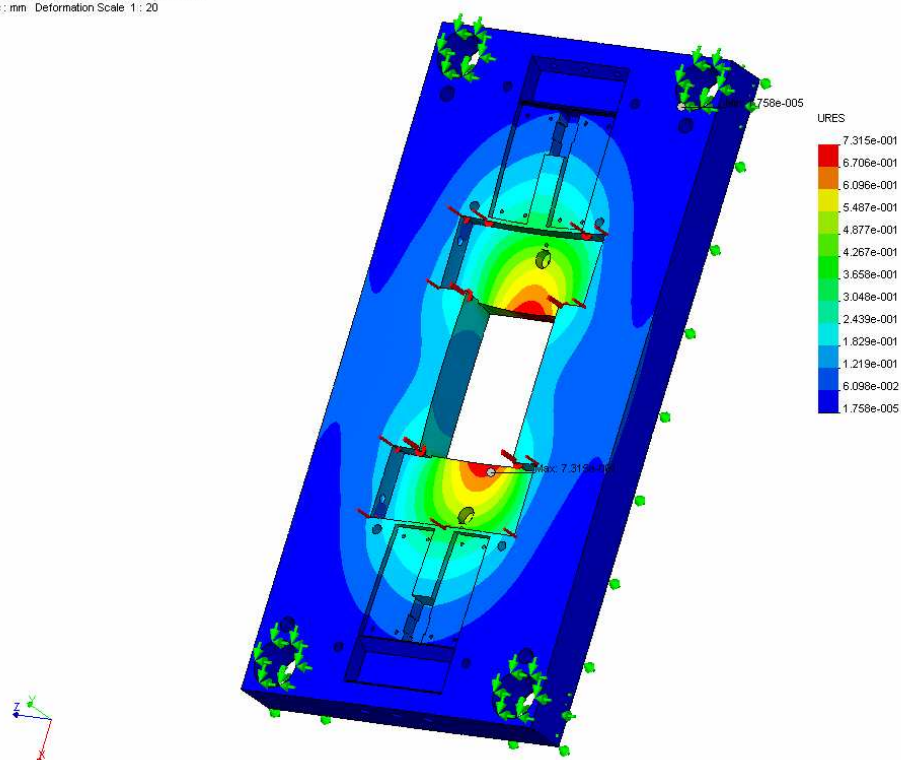
$$F = 105 \cdot 9750 = 1023750 \text{ [N]}$$

Nejprve byla zatěžována deska bez opěrných kolíků. Z obrázku (Obr.30) je zřejmé, podle barevné škály v kterých místech bude průhyb největší. Pro omezení průhybu, byly do tohoto kritického místa umístěny válcové rozpěrky. Průměr těchto rozpěrek je 32 mm.



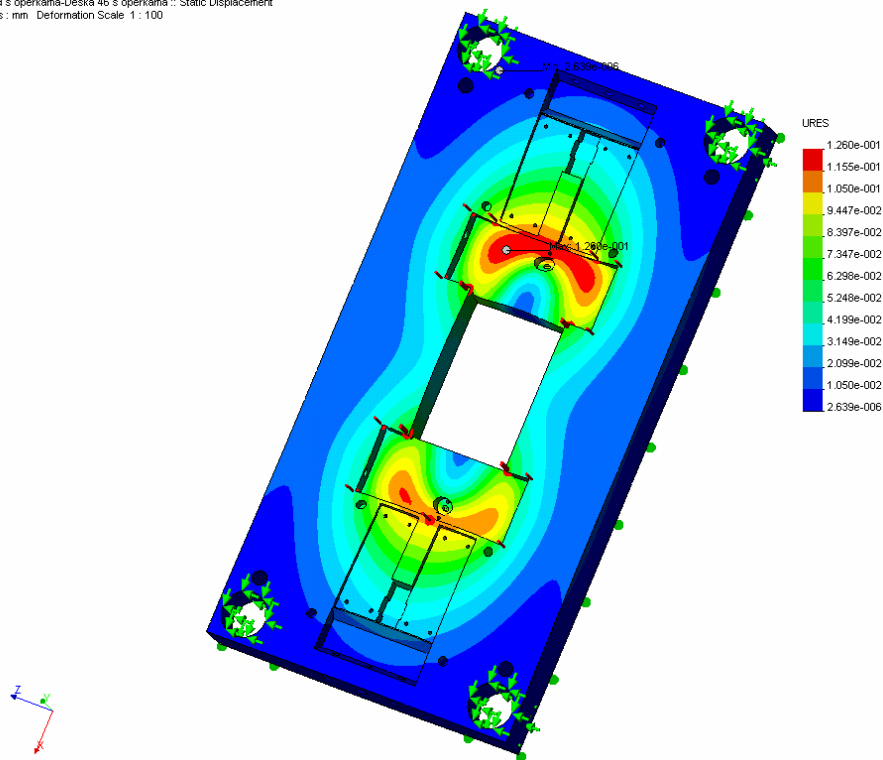
Obr. 29 . Umístění válcových rozpěrek na opěrné desce

operná deska -Deska 46 :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 20



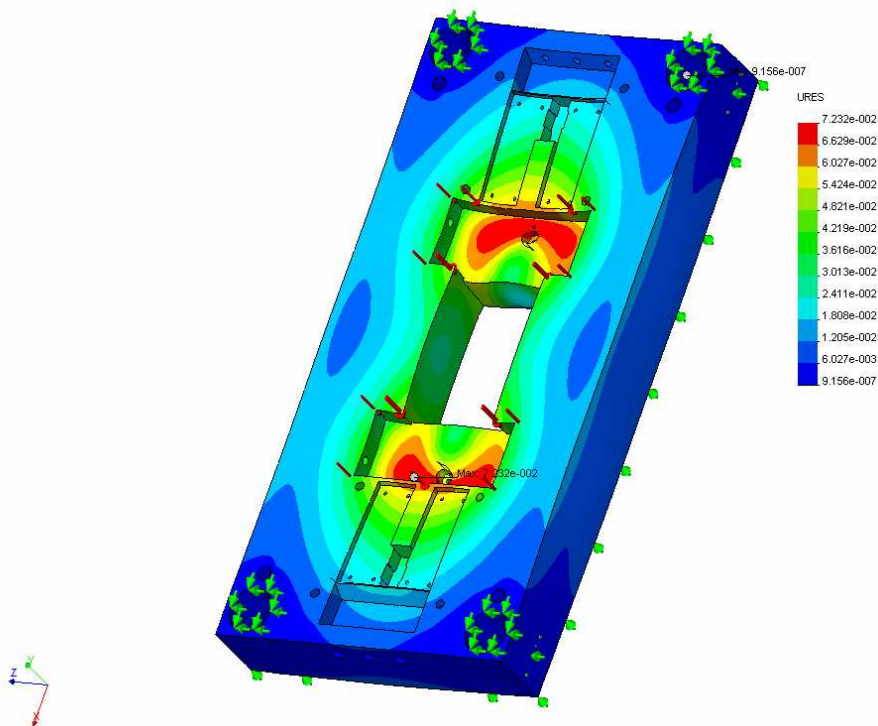
Obr. 30 . Deformace opěrné desky $t = 26$ bez válcových rozpěrek

Solid s operkama-Deska 46 s operkama :: Static Displacement
 Units : mm Deformation Scale 1 : 100



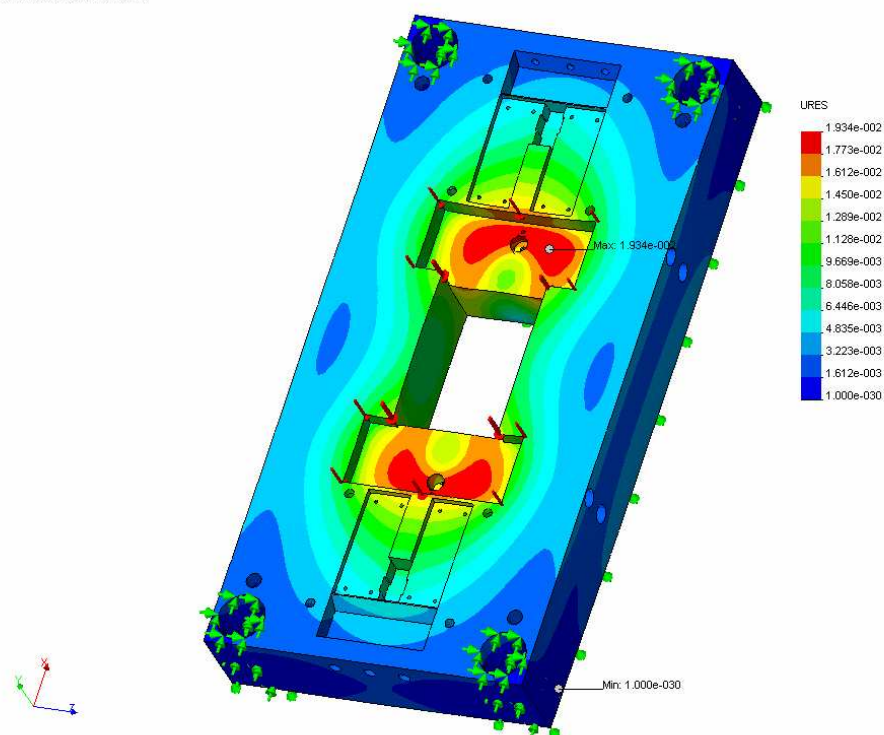
Obr. 31 . Deformace opěrné desky $t = 26$ s válcovými rozpěrkami

Solid 66 tlusty-Deska 66 s operkama :: Static Displacement
 Units : mm Deformation Scale 1 : 200



Obr. 32 . Deformace opěrné desky $t = 46$ s válcovými rozpěrkami

Deska 76 s operkami-Deska 76 s operkami :: Static Displacement
 Units : mm Deformation Scale 1 : 300



Obr. 33. Deformace opěrné desky $t = 61$ s válcovými rozpěrkami

Výsledné hodnoty maximálního průhybu zjištěné pomocí programu COSMOS DesignSTAR 3.0 jsou zaneseny v tabulce (Tab.4) .

Tab . 4 . Hodnoty průhybů opěrné desky

Typ podepření	Tloušťka desky [mm]	Tloušťka zatížené plochy [mm]	Průhyb opěrné desky [mm]
Bez válcových rozpěrek	46	26	0,731
S válcovými rozpěrkami	46	26	0,126
S válcovými rozpěrkami	66	46	0,072
S válcovými rozpěrkami	76	61	0,019

U posledního měření je tloušťka zatížené plochy ještě zvětšena, díky menšímu zahloubení otvoru pro tvarovou vložku. Z konstrukčního hlediska je to možné a navíc tím ušetříme zvětšování desky o dalších 10 mm.

Jak je z obrázků vidět, negativní vliv na průhyb desky má vyvrtaný otvor pro chladicí spirálu.

Z naměřených hodnot je zřejmé, že opěrná deska, která vyhovuje podmínce maximálního průhybu $y_D < 0,03$ mm musí mít tloušťku minimálně 76 mm.

8.3 Početní řešení ohybového napětí opěrné desky

Abychom mohli porovnat správnost výsledků maximálního ohybového napětí opěrné desky naměřené pomocí programu COSMOS DesignSTAR 3.0 musíme tyto hodnoty získat nejdříve početně.

Velikost maximálního ohybového napětí se spočítá dle vztahu (6) z kapitoly (1.2.9). Zadané hodnoty zůstávají stejné jako v případě výpočtu maximálního průhybu desky.

$$\sigma_{0\max} = 0,308p \left(\frac{b}{t} \right)^2 \quad [\text{MPa}] \quad (15)$$

$$\sigma_{0\max} = 0,308p \left(\frac{b}{t} \right)^2 = 0,308 \cdot 105 \left(\frac{0,15}{0,026} \right)^2 = 1076 \quad [\text{MPa}]$$

Velikost max. ohybového napětí při tloušťce opěrné desky $t = 26$ mm činí

$$\sigma_{0\max} = 1076 \quad [\text{MPa}]$$

Opěrná deska je vyrobena z materiálu podle normy DIN 1.1730. Tento materiál náleží dle normy ČSN typu 11 600. Tento materiál má dovolené napětí na mezi kluzu 165 MPa.

Hodnota vypočítaného výsledného maximálního napětí je vyšší než dovolené napětí použitého materiálu opěrné desky. Musíme proto opět dimenzovat velikost tloušťky opěrné desky a tím snížit maximální ohybové napětí.

Budeme postupně zvyšovat tloušťku opěrné desky, dokud maximální napětí nepoklesne pod 165 MPa.

Hodnoty zadáváme opět do vztahu (6).

Tab . 5 . Hodnoty maximálního ohybového napětí

Tloušťka desky [mm]	Tloušťka zatížené plochy [mm]	Maximální ohybové napětí [MPa]
66	46	343
76	56	232
76	61	195,5
86	71	144,3

Z vypočítaných hodnot je zřejmé, že bychom museli zvětšit tloušťku desky až na $t = 86$ mm , aby maximální ohybové napětí bylo nižší než napětí dovolené.

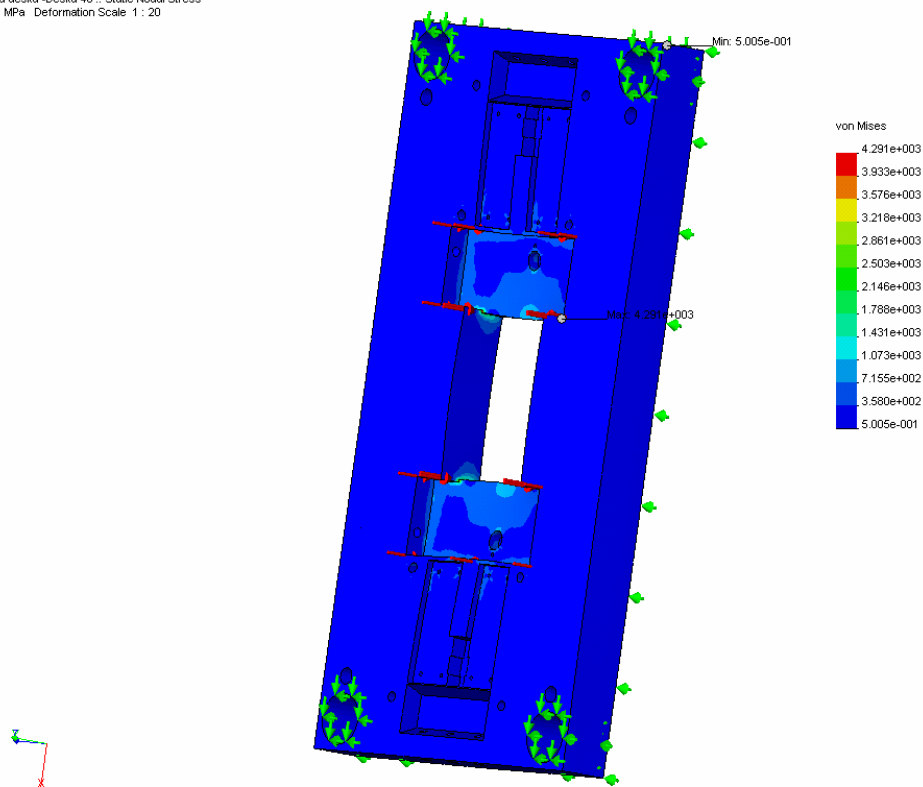
Další možností je vyrábět opěrnou desku z oceli, která má dovolené napětí na mezi kluzu vyšší jak 200 Mpa. V tom případě bychom mohli použít desku tlustou pouze $t = 76$ mm.

8.4 Stanovení maximálního ohybového napětí programem COSMOS DesignSTAR 3.0

Zadané hodnoty pro stanovení maximálního ohybového napětí zůstávají stejné jako při stanovení maximálního průhybu opěrné desky. Postup zadávání zůstává také stejný.

Opět budeme postupně měnit tloušťku opěrné desky a sledovat jak se mění maximální ohybové napětí $\sigma_{0\max}$.

operna deska -Deska 46 :: Static Nodal Stress
Units : MPa Deformation Scale 1 : 20



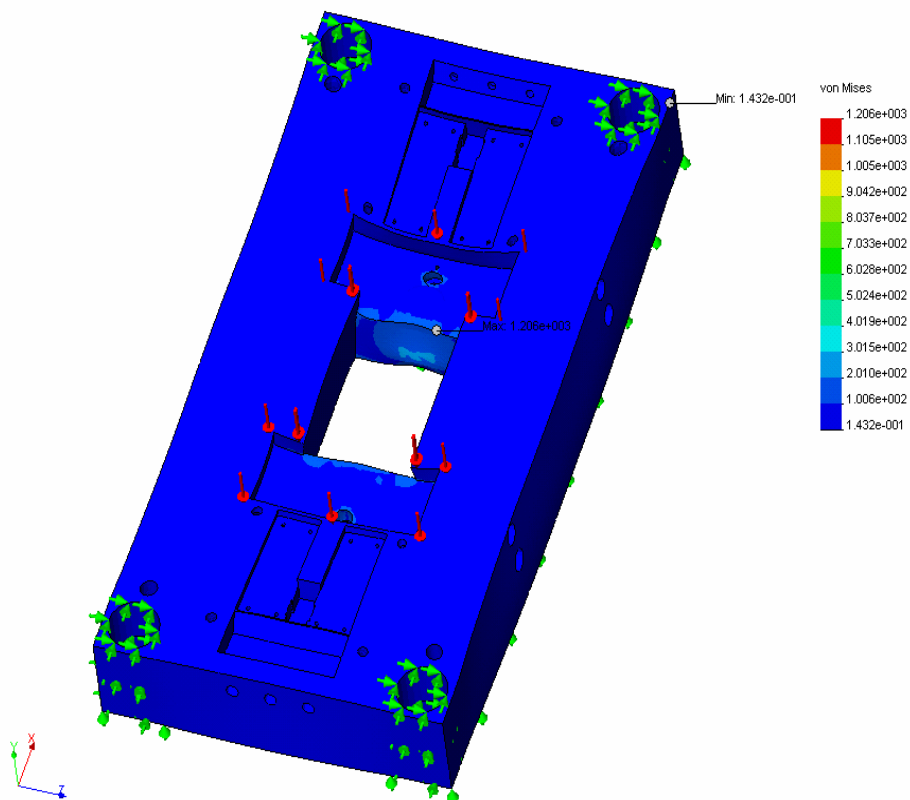
Obr. 34 . Maximální napětí pro desku $t = 26$

Podle barevného rozlišení intenzity napětí je dobře patrné ve kterých místech je deska namáhána největším ohybovým napětím. Maximální napětí je patrné z následujícího obrázku. Je zřejmé že napěťová špička je zcela mimo velikost napětí, které působí na zbytek opěrné desky. Tato napěťová špička je v místě podepření desky válcovými rozpěrkami.

Je to zapříčiněno tím že v tomto místě je opěrná hrana rozpěrky ostrá. V praxi je však tento rozpěrka zaoblen a tudíž se toto napětí neprojeví v takové míře.

V programu COSMOS DesignSTAR 3.0 se však toto zaoblení nedá simulovat.

Deska 76 s operkama-Deska 76 s operkama :: Static Nodal Stress
 Units : MPa Deformation Scale 1 : 300



Obr. 35 . Maximální napětí pro desku $t = 61$

Pomineme-li napěťovou špičku způsobenou válcovými rozpěrkami je zřejmé, že maximální napětí v ostatních místech opěrné desky dosahují hodnot udaných v následující tabulce.

Tab . 6 . Maximální ohybové napětí

Tloušťka desky [mm]	Tloušťka zatížené plochy [mm]	Maximální ohybové napětí [MPa]
46	26	1000
66	46	350
76	61	200
86	71	130

9 DISKUSE VÝSLEDKŮ

9.1 Konstrukce formy

Pro konstrukci vstřikovací formy byly použity jak jednotlivé díly speciálně zkonstruovány pro tuto formu, tak i normalizované díly od firmy HASCO. Některé z těchto normalizovaných dílů musely být ještě dodatečně upravovány. Jedná se především o desku opěrnou a tvarové desky.

Při konstrukci tvarové vložky se ukázalo, že vzhledem ke složitosti výstřiku musí být tato vložka složena ze čtyř částí. Jako nestandardní díl se může jevit posuvný klín, který ovládá pohyb tvarové vložky.

9.2 Technologická analýza

Pomocí programu Moldflow Plastics Insight 5.1 jsme zjistili důležité veličiny, vznikající při vstřikování plastu uvnitř dutiny formy. Protože výsledné hodnoty maximálního vstřikovacího tlaku a maximální uzavírací síly byly příliš velké, pokusili jsme se o jejich snížení.

Změnou technologických podmínek se nám podařilo snížit maximální hodnotu tlaku v dutině formy i maximální uzavírací sílu. Výsledné hodnoty jsou popsány v následující tabulce.

Tab . 7 . Výsledné hodnoty

Procesní podmínky	1	2
Maximální vstřikovací tlak [MPa]	174.89	153.00
Maximální uzavírací síla [kN]	84.62	50.33
Doba plnění [s]	0.9106	0.9781
Maximální teplota taveniny [°C]	364	357.5

9.3 Mechanická analýza formy

Z hodnot získaných pomocí programu COSMOS DesignSTAR 3.0 a z hodnot vypočítaných jsme zjistili maximální průhyb opěrné desky. Byla zjištěna potřebná tloušťka desky, která vyhovuje požadavku na maximální průhyb desky $y_D < 0,03$ mm při zatěžování tlakem zjištěným technologickou analýzou.

Srovnáme-li výsledky obou měření (jak početního tak pomocí programu COSMOS DesignSTAR 3.0) zjistíme, že jejich hodnoty jsou přibližně stejné.

Z toho můžeme usuzovat o správnosti obou výsledků.

Mírné odchylky ve výsledcích jsou zapříčiněny tím, že do početní analýzy nebyly zahrnuty díry pro temperanční kanály a zahloubení pro temperanční spirály.

Srovnání naměřených a vypočítaných výsledků jsou v následující tabulce:

Tab . 8 . Srovnání hodnot maximálního průhybu

Tloušťka zatížené plochy [mm]	26	36	46	56	61
Průhyb opěrné desky vypočítaný [mm]	0,374	0,141	0,067	0,037	0,028
Průhyb opěrné desky naměřený [mm]	0,126	0,091	0,072	0,028	0,019

Dalším krokem bylo zjištění maximálního ohybového napětí vznikajícího v opěrné desce. Toto napětí bylo opět zjištěno jak početně, tak pomocí programu COSMOS DesignSTAR 3.0. Pomocí tohoto programu bylo zjištěno, že v místě podepření desky válcovými rozpěrkami vznikají napěťové špičky. Pomineme-li tyto napěťové odchylky způsobené nemožností simulovat zaoblení válcových rozpěrek zjistíme, že naměřené a vypočítané hodnoty napětí se v podstatě shodují.

Srovnání hodnot maximálního ohybového napětí je v následující tabulce:

Tab . 9 . Srovnání hodnot maximálního ohybového napětí

Tloušťka zatížené plochy [mm]	26	46	56	61	71
Maximální ohybové napětí vypočtené [MPa]	1076	343	232	195,5	144,3
Maximální ohybové napětí naměřené [MPa]	1000	350	250	200	150

Opěrná deska s tloušťkou stěny $t = 71$ mm vyhověla požadavku pro maximální ohybové napětí na mezi kluzu 165 MPa. Tato hodnota je pro zvolený materiál opěrné desky DIN 1.1730.

Pro snížení napětí lze také tvarově upravit válcové rozpěrky tak, aby podpíraly větší plochu opěrné desky. Tím bychom zajistili i menší prohnutí opěrné desky.

ZÁVĚR

V této práci byl vytvořen model směrového světla automobilu ze zadané výkresové dokumentace. Model byl vytvořen pomocí softwaru CATIA V5. Tento program byl použit zejména kvůli uživatelsky příjemnému prostředí Wireframe and Surface Design, používanému pro tvorbu ploch. Takto byla vytvořena optická část směrového světla.

Dále pak byl vytvořen model sestavy vstříkovací formy pro tento výrobek. Opět za pomoci programu CATIA V5. A to jak v modulu určenému pro tvorbu jednotlivých dílů Part Design, tak v modulu pro celkovou sestavu formy Assembly Design.

Při návrhu vstříkovací formy byla snaha držet se zásad a pravidel používaných při konstrukci forem, které byly vyhledány v odborné literatuře. Pro jednotlivé díly formy byla pak snaha použít co nejvíce normalizovaných součástí od firmy HASCO.

Součástí této diplomové práce byla i technologická analýza provedena v programu Moldflow Plastics Insight 5.1. Touto analýzou byly zjištěny vhodné procesní podmínky, potřebné pro zajištění bezchybného výrobku. Z průběhu této analýzy byl následně zjištěn maximální tlak vznikající v dutině formy při vstříkování plastu. Maximální tlak, byl výchozí veličinou pro mechanickou analýzu opěrné desky vstříkovací formy.

Mechanická analýza byla provedena v programu COSMOS DesignSTAR 3.0. Touto analýzou byly zjištěny potřebné rozměry opěrné desky. Tyto rozměry vyhovují mechanickému namáhání, které způsobuje vstříkovací tlak v dutině formy.

PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

- (1) LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. 1. vyd. VUT Brno : Nakladatelství VUT Brno, 1992. 272 s. ISBN 80-214-0399-3.
- (2) HENRYCH, J, WEBER, A, DOLEŽEL, J. *Standardizace ráků a součástí forem pro vstřikování termoplastů*. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1986. 152 s.
- (3) TOMIS, F, HELŠTÝN, J. *Formy a přípravky*. Brno : VUT, 1985. 250 s.
- (4) Výroba plastů ve světě roste. *MM Průmyslové spektrum*. 2005, č. 1, s. 1-4. Dostupný z WWW: <www.mmspektrum.com>.
- (5) BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů*. Brno : Uniplast Brno, 1998. 134 s.
- (6) JAKOB, Jiří. *Využití softwaru CATIA při konstrukci vstřikovacích forem*. Zlín, 2004. 14 s. Vedoucí SVOČ Staňek Michal.
- (7) Firemní katalog normálí HASCO
- (8) Konstrukce výrobků a forem pomocí CAD systémů. *MM Průmyslové spektrum*. 2005, č. 7, s. 1-3. Dostupný z WWW: <www.mmspektrum.com>.
- (9) ŠUBA, Oldřich. *Mechanické chování těles*. 1. vyd. UTB Zlín : UTB-Academia Centrum Zlín, 2002. 96 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

p_v	Vstříkovací tlak	[MPa]
E	Modul pružnosti	[MPa]
b	Šířka zatížené plochy	[m]
l	Délka desky	[m]
t	Tloušťka zatížené plochy	[m]
y_D	Maximální dovolený průhyb	[m]
f_p	Velikost průhybu opěrné desky	[m]
S	Plocha desky tvárníku	[m ²]
a	Délka desky tvárníku	[m]
x_1	Procentuelní poměr plochy kolmé na opěrnou desku	
p_1	Tlak působící na opěrnou desku	[MPa]
b	Šířka desky tvárníku	[m]
$\sigma_{0\max}$	Maximální ohybové napětí	[MPa]
f	koeficient tření	
F	Síla působící na plochu opěrné desky	[N]
T_g	Teplota skelného přechodu	[°C]
T_m	Teplota tání polymeru	[°C]
CAD	Computer Aided Design	
PC	Polykarbonát	

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Oblasti využití u amorfních a semikrystalických plastů</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 2. Vstřikovací jednotka</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 3. Uzavírací jednotka.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 4 . a - desky kruhové, b - desky obdélníkové</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 5 . Vstřikovaný výrobek</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 6 . Dvojnásobná forma</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 7 . Hlavní dělicí rovina (tvarová vložka).....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 8 . Vedlejší dělicí rovina (rozdělení vnitřní tvarové vložky).....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 9 . Druhá vedlejší dělicí rovina (boční čelisti).....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 10 . Doudeskový vyhazovací systém</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 11 . Horká vtoková soustava</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 12 . Umístění chladicí věže uvnitř tvarové vložky</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 13 . Temperace pohyblivých bočních čelistí.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 14 . Celkový pohled do formy.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 15 . Pevná část formy</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 16 . Pohyblivá část formy</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 17 . Zúžení stěny na výrobku</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 18 . Maximální vstřikovací tlak, procesní podmínky 1.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 19. Maximální vstřikovací tlak, procesní podmínky 2.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 20 . (Graf) Maximální vstřikovací tlak, procesní podmínky 1.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 21 . (Graf) Maximální vstřikovací tlak, procesní podmínky 2.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 22 . (Graf) Maximální uzavírací síla, procesní podmínky 1</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 23 . (Graf) Maximální uzavírací síla, procesní podmínky 2</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 24 . Doba plnění formy , procesní podmínky 1.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 25 . Doba plnění formy , procesní podmínky 2.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 26 . Rozdělení ploch tvarové vložky</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 27 . Schéma zatížení opěrné desky formy</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 28 . Opěrná deska.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 29 . Umístění válcových rozpěrek na opěrné desce.....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 30 . Deformace opěrné desky $t = 26$ bez válcových rozpěrek</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 31 . Deformace opěrné desky $t = 26$ s válcovými rozpěrkami</i>	<i>71</i>

<i>Obr. 32 . Deformace opěrné desky $t = 46$ s válcovými rozpěrkami</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 33. Deformace opěrné desky $t = 61$ s válcovými rozpěrkami</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 34 . Maximální napětí pro desku $t = 26$</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 35 . Maximální napětí pro desku $t = 61$</i>	<i>76</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab . 1. Procesní podmínky</i>	<i>57</i>
<i>Tab . 2 . Výsledné hodnoty.....</i>	<i>59</i>
<i>Tab . 3 . Hodnoty průhybů opěrné desky</i>	<i>68</i>
<i>Tab . 4 . Hodnoty průhybů opěrné desky</i>	<i>72</i>
<i>Tab . 5 . Hodnoty maximálního ohybového napětí</i>	<i>74</i>
<i>Tab . 6 . Maximální ohybové napětí.....</i>	<i>76</i>
<i>Tab . 7 . Výsledné hodnoty.....</i>	<i>77</i>
<i>Tab . 8 . Srovnání hodnot maximálního průhybu</i>	<i>78</i>
<i>Tab . 9 . Srovnání hodnot maximálního ohybového napětí.....</i>	<i>79</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P I CD disk obsahující:

- Textová část diplomové práce
- Výkresová dokumentace dílu směrového světla. Původní zadání od firmy HELLA AUTOTECHNIK, s. r. o.
- Obrázky dílu směrového světla v programu CATIA V5
- Obrázky sestavy vstříkovací formy v programu CATIA V5
- Animace otevření formy a vyhození výstřiku
- Technologická analýza dílu směrového světla – obrázky a animace
- Mechanická analýza opěrné desky – obrázky a animace

