

Návrh vstřikovací formy pro plastový díl

Zbyněk Krejčířík

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Zbyněk Krejčířík
Osobní číslo: T13811
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: prezenční

Téma práce: Konstrukce vstříkovací formy

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Proveďte konstrukci 3D modelu plastového dílu
3. Proveďte konstrukci 3D sestavy vstříkovací formy pro zadaný díl
4. Nakreslete 2D sestavu vstříkovací formy včetně kusovníku

Rozsah bakalářské práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
dle zadání vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Staněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **8. ledna 2016**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2016**

Ve Zlíně dne 3. února 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byla jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 13.5.2016



.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací

(1) Vysoká škola souvzdorně zveřejňuje diplomové, bakalářské a rigorózní práce, o kterých proběhlo obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledků obhajoby prostřednictvím doručení kvotizačních prací, kteras spravuje. Způsob zveřejnění stanoví veškeré předpisy vysoké školy.

(2) Diplomové, bakalářské a rigorózní práce předané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlédnutí veřejnosti v místě určeném veřejně přístupnou vysokou školou nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce požítovat na své náklady výtisk, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Písemně se zveřejněná práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3.

- (2) Do práva autorského také nevstupuje šlovo nebo šlokové či vzájemné zařízení, výje-č říkání ze účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu i výje-ček nebo i vlastní potřebě dílo vytvořené šloven nebo studentem ze spole-čnických nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školárenu či vzdělávacího zařízení (školní dílo).
¹⁾zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo.
- (1) Škola nebo školák či vzájemné zařízení mají za obvyklých podmínek právo se uzavřít šloven uvolny o užívání školního díla (§ 25 odst. 3). Opatřít-li autor školního díla užití uvolny bez vášeňho šlovodu, mohou se tyto osoby šlovenhat nahrazení chybného přejemu jeho vůle o šlovu. Ustanovení § 25 odst. 3 náhodně neplatí.
- (2) Nemí-č šlovedno šloven, může autor školního díla své dílo užívání poskytnout šloven šloven, není-č to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školáka či vzájemného zařízení.
- (3) Škola nebo školák či vzájemné zařízení jsou oprávněny požadovat, aby šloven autor školního díla z výjímky šloven dosazeno v souvislosti s užitím díla či poskytnutím šloven podle odstavce 2 příměněni přijali na šlovodu náhodou, šloven na vytvoření díla šlovedno, a to podle okolností až do jejich statistické výje, přitom se přiblíže ke výje výjímky šlovenného šlovodu nebo školáka či vzájemného zařízení z užívání školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje celý proces vstřikování, včetně chování termoplastů během tohoto děje, popis vstřikovacího stroje, jeho hlavních částí a vstřikovací formy. V praktické části jsme navrhli plastovou součást reflektoru, vstřikovací formu s popisem základních částí. Zároveň jsme doporučili vstřikovací stroj pro danou formu.

Klíčová slova: Konstrukce formy, vstřikování

ABSTRACT

This thesis describes the entire injection molding process, including the behavior of thermoplastics during this happens, the description of the injection molding machine, it is main parts and injection molds. In the practical part we designed a plasticreflector part, injection mold, describing basic parts. At the same time, we recommended an injection molding machine for a given form.

Keywords: Mold design, injection

Rád bych poděkoval všem, kteří mi pomohli při psaní této bakalářské práce. Především bych rád poděkoval panu Ing. Michalu Staňkovi Ph.D. za cenné rady, odborné vedení, trpělivost a čas, který mi během zpracování této bakalářské práce věnoval.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Dále také prohlašuji, že na bakalářské práci (dále jen BP) jsem pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval a zmínil na konci této BP. Výkresová dokumentace a modely, které byly předmětem této BP, byly vytvořeny v softwaru s platnou licencí.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 POLYMERY.....	12
1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	13
1.2 PLASTY	13
1.2.1 Reaktoplasty	13
1.2.2 Termoplasty.....	14
1.2.3 Úprava vlastností termoplastů.....	14
2 TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ	15
2.1 SMRŠTĚNÍ.....	15
2.2 DOBA DOTLAKU	16
2.3 TLAKOVÁ ÚROVEŇ DOTLAKU	16
2.4 TEPLOTA STĚNY FORMY	17
2.5 TEPLOTA TAVENINY	17
2.6 VSTŘIKOVACÍ RYCHLOST (DOBA PLNĚNÍ TVAROVÉ DUTINY FORMY).....	17
2.7 TEPLOTA VYHAZOVÁNÍ VÝLISKU Z FORMY (DOBA CHLAZENÍ).....	18
3 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ.....	19
3.1 PRINCIP ČINNOSTI VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	19
3.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	19
3.3 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	20
3.4 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	21
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	22
4.1 NÁSOBNOST FORMY	22
4.2 KONSTRUKCE FORMY	23
4.3 ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU	24
4.4 VYHRÍVANÝ VTOKOVÝ SYSTÉM	25
4.5 STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM.....	26
4.6 VTOKOVÉ ÚSTÍ	27
4.7 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	28
4.7.1 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků	29
4.7.2 Vyhazování pomocí stírací desky	30
4.8 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	31
4.8.1 Zásady volby temperačních kanálů.....	32
4.8.2 Temperační prostředky.....	33
4.9 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	35
4.10 MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM.....	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	38
5 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	39
6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	40

6.1	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	41
7	POUŽITÉ PROGRAMY	42
7.1	CATIA V5R19	42
7.2	HASCO DAKO KATALOG	42
8	KONSTRUKCE FORMY	43
8.1	DUTINA FORMY	44
8.1.1	Tvárník	45
8.1.2	Tvárnice.....	45
8.1.3	Tvarová vložka (šíbr)	46
8.2	VYHAZOVAČÍ SYSTÉM	47
8.3	LEVÁ (POHYBLIVÁ) ČÁST FORMY	49
8.4	PRAVÁ (PEVNÁ) ČÁST FORMY	49
8.5	VTKOVÝ SYSTÉM	50
8.6	NÁSOBNOST	51
8.7	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	52
8.8	TEMPERACE.....	52
9	VSTŘIKOVACÍ STROJ	53
	ZÁVĚR	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
	SEZNAM TABULEK.....	60
	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

ÚVOD

Člověk už od pradávna využíval okolních materiálů k usnadnění svého bytí na naší planetě. Během svého vývoje nalézá různé materiály a technologie jak je co nejefektivněji využít pro své blaho. Označení jednotlivých období ve vývoji lidstva jsou zaznamenána podle materiálu, které člověk objevil a hojně využíval. Vzhledem k tomu, že jsou známá doba kamenná, bronzová a železná, která vycházela z materiálu v této době nejpoužívanější, lze říct, že dnešní doba je dobou plastovou.

V dnešní době jsou plasty nezbytnou součástí nejrůznějších průmyslových odvětví. Materiály, jako kov, keramika, dřevo, atd., jsou nahrazovány materiály polymerními a to kvůli jejich dostupnosti, vlastnostem, poměrně snadnému zpracování a relativně nízkých pořizovacím nákladům.

Polymery lze zpracovat do požadovaného tvaru různými technologiemi. Nejvíce výrobků z plastů se zpracovává technologií zvanou vstříkovaní, ale lze využít i jiné technologie jako například (válcování, odlévání, tvarování, lisování, vytlačování). Vstříkovaní plastů představuje způsob zpracování polymerů, které vyžaduje vstříknutí taveniny do dutiny formy velmi vysokou rychlostí. Technologie vstříkovaní zabezpečuje výrobu vysoce kvalitních a přesných výrobků. Samotný vstříkovací cyklus je poměrně krátký a celý proces může být vysoce automatizovaný.

V dnešní době se pro konstrukční účely ve velké míře využívají různé počítačové programy, které nejen že značně zjednodušují práci konstruktérovi formy (CAD systémy), pomáhají výrobcům formy (CAM systémy), ale i zefektivňují celý proces odstraněním dlouhého testování a úpravy formy softwarovou analýzou toku taveniny ve formě, což přispívá k ekonomičnosti a přesnosti výroby.

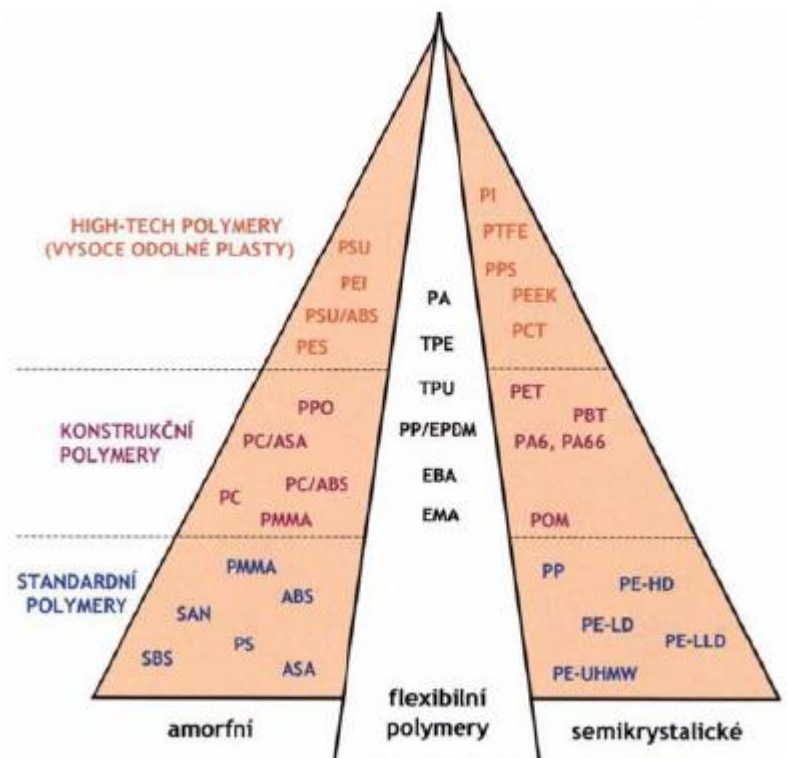
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Vstřikování patří k cyklickým tvářecí procesům, které se vyznačují tím, že zpracovávaný materiál se v rámci cyklu v žádném okamžiku nedostává z termodynamického hlediska do zcela rovnovážného stavu vzhledem k podmínkám, ve kterých se právě nachází.

Podmínky vyjádřené teplotou, dobou procesu, velikostí napětí nebo rychlostí deformace se v rámci cyklu nacházejí na různých úrovních a poměrně rychle se mění. Jsou nakonec odlišné i v různých částech vstřikovací formy. Jejich soubor představuje historii děje, kterými plast prošel při svém zpracování na výrobek.

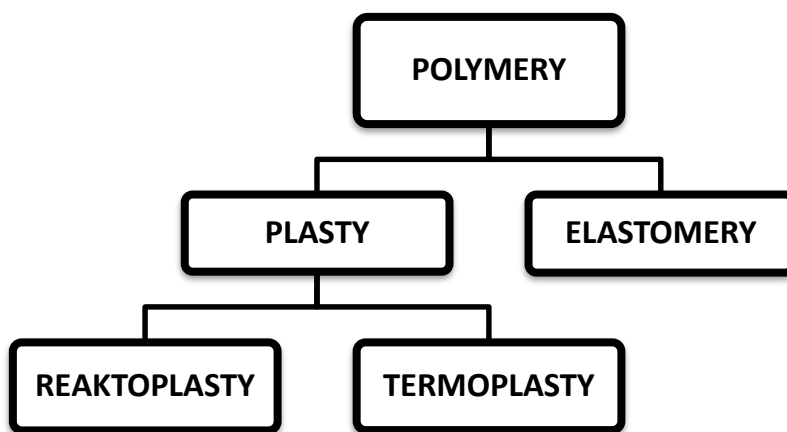
Obecně pak platí, že výsledné vlastnosti výrobků jsou také funkcí této historie. V případě vstřikování je dána způsobem a podmínkami přípravy taveniny, podmínkami dopravy taveniny do formy a její rozvodu v dutině formy, podmínkami dotlaku a vlastního chlazení až do otevření formy.[13]



Obr. 1 Dělení polymerů podle aplikace a nadmolekulární struktury

1.1 Základní rozdělení polymerů

Polymery patří mezi chemické látky, které mají díky svým obrovským molekulám řadu různých vlastností. Polymery se rozdělují na elastomery a plasty viz obr. 2[13]



Obr. 2 Rozdělení polymerů

1.2 Plasty

Plasty jsou buď přírodní, nebo syntetické makromolekulární látky o přísadách jako (maziva, plniva, změkčovadla, barviva, stabilizátory, nadouvadla atd.), které jsou upravené do podoby na další zpracování- např. granulátu, prášku atd. Za působení tepla je plast možno tavit na taveninu a poté zpracovat například vstříkáním do formy a dále tvarovat plastový výrobek nebo u reaktoplastů vytvrdit tento materiál chemickou reakcí a teplem.[13]

1.2.1 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou makromolekulární látky. Při jejich tepelném zpracování dochází k zasítování makromolekul k tzv. vytvrzení. Vytvrzený reaktoplast je již tepelně nezpracovatelný - řetězce se teplem nedají rozpojit. Tyto materiály vynikají vysokou tuhostí a tvrdostí, teplotní odolností a stálostí za tepla oproti termoplastům. Jejich zpracovatelnost je určena tekutostí, která je horší než tekutost termoplastů a zároveň závisí na druhu plniva. Během vstříkovacího procesu vzniká vysoké vnitřní napětí, a to způsobuje křehkost, která může vést i k prasknutí.[13]



Obr. 3 Struktura reaktoplastu

1.2.2 Termoplasty

Jsou to lineární nebo rozvětvené polymerní látky, které při ohřevu uvolňují soudržnost řetězců a stávají se viskózními. V tomto stavu je možné tvárný. Po ochlazení jsou opět v pevném stavu. Tento proces je opakovatelný. Představují nejrozšířenější skupinu plastů. Jsou to polymery s vysokou molární hmotností. Ty, jejichž řetězec je tvořen pouze jedním druhem chemické skupiny nazýváme homopolymer. Pokud se řetězec skládá z několika skupin, nazýváme ho kopolymerem. Z hlediska vnitřní struktury se termoplasty dělí na:

-amorfní: řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádané. Amorfní plasty jsou opticky čiré, křehké a tvrdé,

-semikrystalické: podstatná část řetězců je pravidelně uspořádána v krystalických útvarech, zbylá část má amorfní uspořádání řetězců, Tyto polymery mohou být maximálně průsvitné, ne však čiré. Mají větší smrštění než amorfní.[13]



Obr. 4 Struktura termoplastu

1.2.3 Úprava vlastností termoplastů

Někdy je třeba při výrobě upravovat vlastnosti zvoleného plastu na základě požadavků na jeho kvalitu, mechanické vlastnosti či jeho pohledové funkce. Základní vlastnosti polymerů se mohou měnit vlivem různých přísad, čímž se dá upravovat oblast jejich použití (zlepšení mechanických, optických a jiných vlastností):

- plniva: práškové nebo vláknité. Upravují fyzikální a mechanické vlastnosti plastů. Vláknité plniva výztuž hmotu a dodávají jí mechanickou pevnost. Používají se hlavně skelná vlákna,
- změkčovadla: přidávají se k tvrdým plastem pro získání měkkosti a ohebnosti,
- barviva: slouží k dosažení požadovaného barevného odstínu,
- stabilizátory: zlepšují odolnost proti vyšším teplotám, UV záření a stárnutí,
- nadouvadla: při zpracování uvolňují plyny a vytvářejí zlehčenou strukturu plastu.[12]

2 TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ

Vstřikování patří k cyklickým tvářecím procesům, které se vyznačují tím, že zpracovávaný materiál se v rámci cyklu v žádném okamžiku nedostává z termodynamického hlediska do zcela rovnovážného stavu vzhledem k podmínkám, ve kterých se právě nachází. Podmínky vyjádřené teplotou, dobou procesu, velikostí napětí nebo rychlostí deformace se v rámci cyklu nacházejí na různých úrovních a poměrně rychle se mění. Jsou nakonec odlišné i v různých částech vstřikovací formy. Jejich souhrn představuje historii děje, kterými plast prošel při svém zpracování na výrobek. Obecně pak platí, že výsledné vlastnosti výrobků jsou také funkcí této historie. V případě vstřikování je dána způsobem a podmínkami přípravy taveniny, podmínkami dopravy taveniny do formy a její rozvodu v dutině formy, podmínkami dotlaku a vlastního chlazení až do otevření formy.[6]

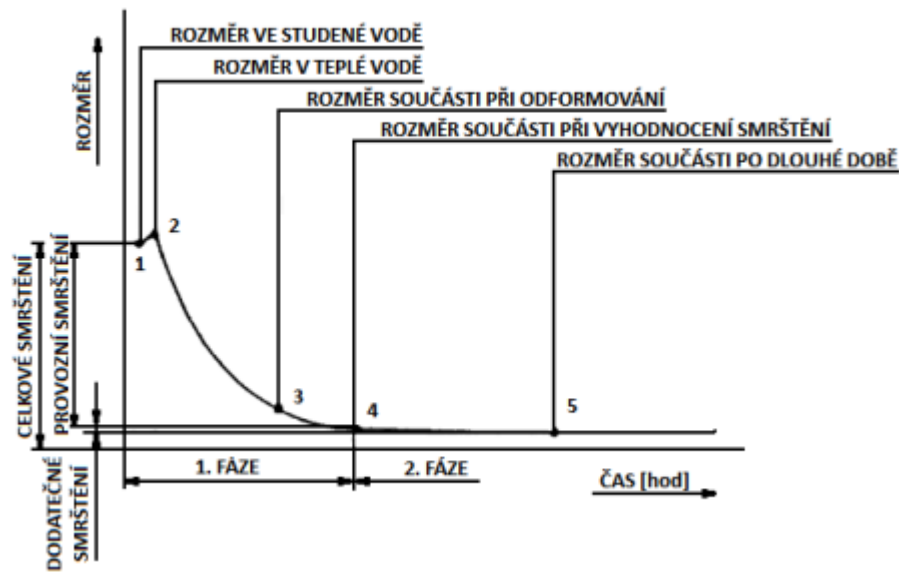
2.1 Smrštění

Smrštění je jev, který se vyskytuje u všech plastů. Při vstřikování kteréhokoliv termoplastu amorfního nebo částečně krystalického platí, že rozměry produktu po jeho vyhození z formy jsou rozdílné od rozměrů měřených po nějaké době od jeho výroby, resp. po jeho skladování. Uvedené rozměrové změny jsou velmi často příčinami smrštění nebo vzniklé deformace. Zde je však nutné rozlišovat, protože mezi oběma pojmy je podstatný rozdíl a také deformace může být a velmi často je důsledkem smrštění.

Smrštění- objemová změna při tuhnutí polymerních tavenin, její základní příčinou je kontrakce plastů, stlačitelnost a tepelná rozpínavost.

Deformace - změna tvaru při zachování konstantního objemu výstřiku. Pro úplnost uvedme, že na změnu objemu resp. rozměrů, má vliv i navlhavost a nasákavost termoplastů, což jsou procesy vratné.

Základním a nevyhnutelným požadavkem všech zákazníků co užívají díly z termoplastů je, že vyrobený díl musí mít požadované rozměry, definované jmenovitou hodnotou a tolerancemi, jak rozměrovými, tak i tolerancemi tvaru a polohy. Tvarová dutina formy tedy musí být o příslušné smrštění v daném místě větší. Takto jednoduše definovaný požadavek je ale v praxi velmi obtížně realizovatelný. Důvodem je, že na výsledné smrštění působí velké množství ovlivňujících parametrů, přičemž mezi základní lze počítat: procesní parametry výroby - tlaky, teploty časy, typ a vlastnosti zpracovávání termoplastu, konstrukce výlisků resp. formy - hlavně tloušťka stěn výlisků, tvary ovlivňující smrštění apod.[3]



Obr. 5 Průběh smrštění výstřiku

2.2 Doba dotlaku

Úkolem podtlakové fáze definované dobou dotlaku a tlakovou úrovní dotlaku je v době jejího působení - doba dotlaku - dopravit do chladnouceho výstřiku takové množství taveniny, která působí proti objemové kontrakci při snižování teploty výstřiku, aby smrštění výstřiku bylo co nejmenší. Doba působení dotlaku je tedy nejdůležitějším technologickým parametrem kompenzující smrštění. Platí, že čím je delší reálná doba působení dotlaku, tím je smrštění menší.[6]

2.3 Tlaková úroveň dotlaku

Stejně jako doba dotlaku má jeho tlaková úroveň pro oba typy termoplastů - amorfní a částečně krystalické - rozhodující vliv na hodnotu jejich smrštění. Vysoká úroveň dotlaku vyvolá vysokou tlakovou odezvu ve výlisku při zamrznutí jeho průřezu a tím i snížení výrobního smrštění. Vliv dotlaku je tedy obdobný jako doba jeho působení, ale neplatí zde přímá úměra. Se vzrůstajícím hodnotou úrovně dotlaku není snížení smrštění lineární, ale zmenšuje se pomaleji. Vyšší úroveň dotlaku má za následek vyšší obsah vnitřního pnutí ve výlisku.[6]

2.4 Teplota stěny formy

S nárůstem teploty stěny formy, podobně jako u zvětšující se tloušťky stěny výlisku, vzrůstá i hodnota smrštění. Doba zamrznutí průřezu stěny se v důsledku zvýšeného obsahu tepla (jeho pomalejšího odvodu) ve výlisku prodlužuje a tím se zvyšuje i smrštění. Když je teplota stěny formy na vnější a vnitřní straně výlisku různá, materiál ve styku s teplejší stěnou formy bude mít větší smrštění. Rozdíl v chlazení jedné a druhé strany stěny výlisku vyvolá posunutí teplotního profilu chladnoucí taveniny a tím vznikne rozdílný potenciál pro smrštění a výsledkem je rozdílné vnitřní pnutí na vnější a vnitřní straně výlisku. Deformace stěny výlisku je tedy výsledkem asymetrického rozdílného vnitřního pnutí po jeho vyhození z formy.[6]

2.5 Teplota taveniny

Vliv teploty taveniny na smrštění není jednoznačný a proto ani předpověď vlivů není jednoduchá. Teplota taveniny z pohledu smrštění působí dvěma protichůdnými efekty,

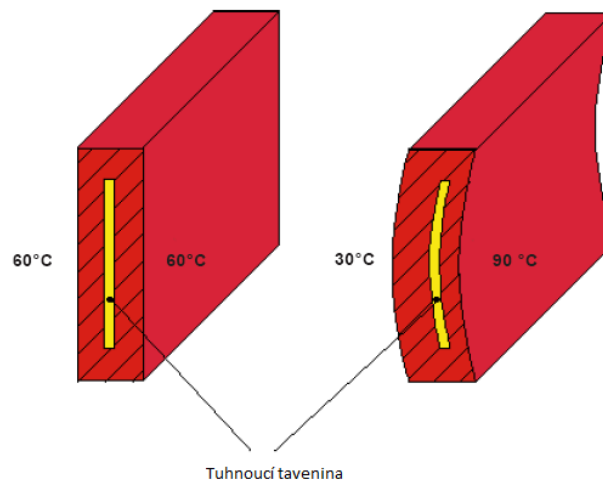
- první efekt - zvyšování teploty taveniny - zvyšuje i její tepelnou kontrakci a tedy i smrštění,
- druhý efekt - zvýšená teplota taveniny - snižuje její viskozitu (zlepšuje tekutost) a tím umožňuje lepší tlakovou odezvu ve výlisku při dotlaku, což, jak již bylo uvedeno, při vlivu dotlaku, vede ke zmenšení smrštění.

2.6 Vstřikovací rychlost (doba plnění tvarové dutiny formy)

Vliv vstřikovací rychlosti na smrštění je obdobně jako teplota taveniny nejednoznačný. Zvýšení vstřikovací rychlosti vede v důsledku zvýšení smykového namáhání taveniny ke zvýšení její teploty a tím k větší tlakové odezvě v dutině formy. Proti ale působí nekonstantní viskozita taveniny, efekty orientace a reorientace, rozdělení vnitřního pnutí. Tyto jevy mohou mít obrácený vliv a smrštění zvyšovat. Nízká vstřikovací rychlost obvykle vyvolá nutnost zvyšování teploty taveniny, aby se dosáhlo vtokového naplnění tvarové dutiny formy, čímž se opětlepší přenos tlaku a dochází ke zmenšení smrštění. Díky interakci popsanych vlivů se obvykle může působení vstřikovací rychlosti na smrštění zanedbat a vstřikovací rychlost bát jako parametr bez vlivu na smrštění.[6]

2.7 Teplota vyhazování vylisku z formy (doba chlazení)

Delší setrvání výtříku ve formě v důsledku dlouhého času chlazení resp. vyhození výtříku z formy při jeho nízké teplotě, snižuje hodnotu smrštění. Při vysoké odformovací - vyhazovací teplotě, což znamená krátký čas chlazení a ekonomickou úsporu, má výtřík i vyšší povrchovou teplotu, což zvyšuje smrštění – viz Obr. 6[1]



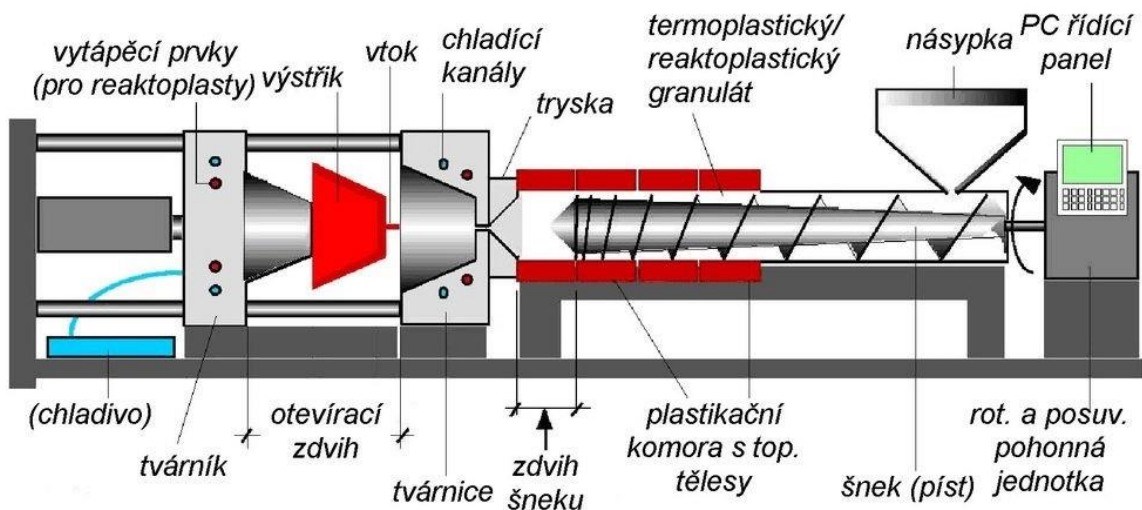
Obr. 6 Teplota stěny formy

3 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovaného materiálu vstřikována vysokou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne do finální podoby. Vstřikování je typické pro velkosériovou výrobu a představuje jednu z nejrozšířenějších technologií pro zpracování plastů.[1]

3.1 Princip činnosti vstřikovacího stroje

Plast v podobě granulí je z násypky odebírán pomocí šnekového pístu a dopravován do tavicí komory vyhřívané elektrickými odporovými články. Zde se plast promění na taveninu, která je pomocí šneku vstříknuta do dutiny formy, kterou následně vyplní. Forma je chlazená temperační soustavou. Dochází k prostupu tepla z taveniny do formy a hmota tuhne. Po ztuhnutí se forma otevře a výrobek se odformuje. Následně se forma uzavře a celý cyklus se opakuje. K tomu se používají vstřikovací stroje. (Obr. 7)[1]

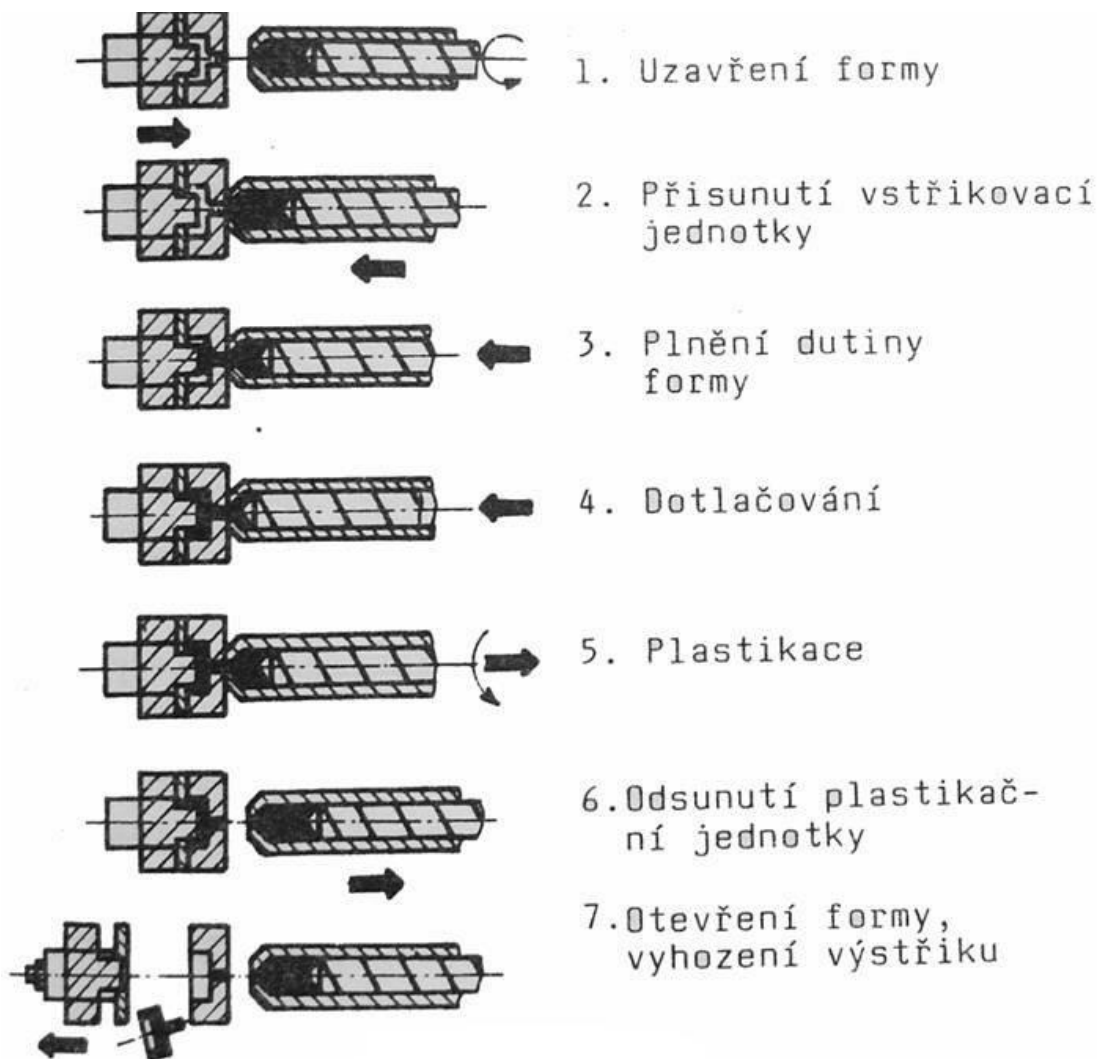


Obr. 7 Schéma vstřikovacího stroje[12]

3.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně nespécifikovaných úkonů. Jedná se o neizotermický proces, během kterého plast prochází teplotními změnami. Vstřikovací cyklus je znázorněn na Obr. 7. Před vstupem taveniny do formy se daná forma musí připravit (temperace, vložení zálišků, závitových jader...). Vytemperovaná a upnutá forma ve stroji je uzavřena uzavírací

silou tak, aby dělicí rovina formy nezůstala při vstřiku pootevřená. Průběh uzavírání formy je rychlý, zpomaluje se těsně před stykem desek, aby nedošlo k jejich poškození. Po uzavření formy se přisune vstřikovací jednotka a tryska dosedá na vtokovou vložku. Následuje vstřik, při kterém do dutiny formy vniká tavenina. Následný dotlaku kompenzuje smršťování materiálu při chladnutí přidáním potřebného množství materiálu. Pak se vstřikovací jednotka vrátí do původní polohy a pokračuje chladnutí výrobku. Po dostatečném ochlazení se forma otevírá, výrobek je systémem vyhazovačů vyhozen z formy a cyklus začíná znovu.[2]



Obr. 8 Schéma vstřikovacího cyklu

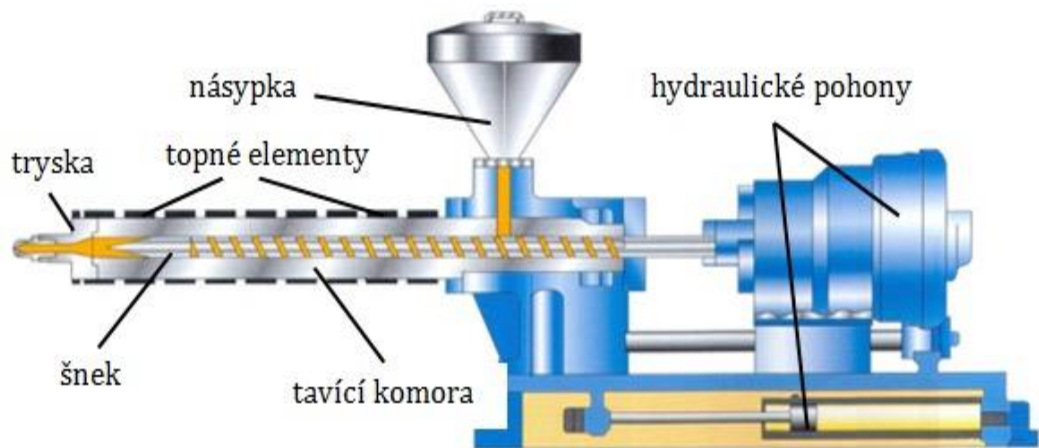
3.3 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka plní dva hlavní úkoly:

- přeměňuje granulát na taveninu o dané viskozitě
- vstřikuje taveninu vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy.

Mezi největší přednosti šnekových jednotek patří:

- spolehlivá plastikace a dobrá homogenizace roztaveného plastu,
- zabránění přehřívání materiálu v tavicí komoře,
- vysoký plastikační výkon i velký zdvihový objem, takže velikost výlisku lze teoreticky libovolně zvyšovat,
- odstranění problémů při čištění komory při výměně materiálu,
- zaručeno přesné dávkování hmoty,



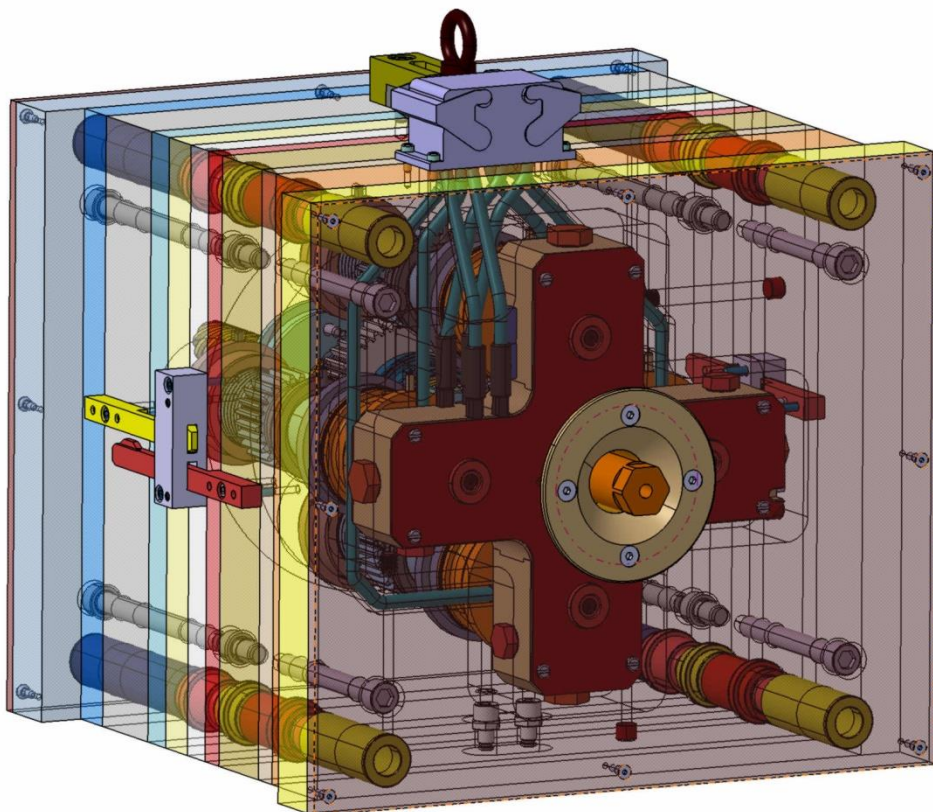
Obr. 9 Schéma tavicí komory šnekového stroje[12]

3.4 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zajišťovat plynulé zavírání a otevírání formu podle procesu vstřikování a zajištění uzavření formy takovou silou, aby se při vstřikování tlakem taveniny forma neotevřela. Základními součástmi jsou vodící sloupky (u sloupkových konstrukcí strojů), pevná a pohyblivá upínací deska stroje s potřebným upínacím systémem a mechanismus, který je potřebný při otevření a uzavření formy a dodal tak potřebný zdroj síly a který umožní vytvoření uzamykací síly, která drží formu uzavřenou a zároveň působí proti vstřikovacímu tlaku během fázi vstřiku a dotlaku. Současné moderní stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání formy.[2]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Forma dává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměry, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností.[10]



Obr. 10 Schéma vstřikovací formy

Kvalita formy se posuzuje podle těchto požadavků:

- technické: zaručují správnou funkci formy, která musí vyrobit požadovaný počet výrobků v požadované kvalitě a přesnosti. Musí také splňovat podmínku jednoduché manipulace a obsluhy
- ekonomické: produktivita práce, nákupní cena, využití materiálu
- společensko-estetické: umožňují vytvářet vhodné prostředí při bezpečné práci. Požadují dodržení všech bezpečnostních zásad při konstrukci, výrobě i provozu formy.

4.1 Násobnost formy

Optimální volba násobnosti formy vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých činitelů, které ji ovlivňují, jako například povaha výrobku, požadované vyráběné množství výrobků,

dodací lhůta, kapacita vstřikovacího stroje i ekonomičnost výroby. Pro tvarově příliš náročné, velkorozměrové, nebo výstřiky s vysokou přesností volíme formu jednovrstvou. Při větším počtu dutin hrozí totiž rozdílná kvalita výrobků z jednotlivých dutin z důvodu rozdílných drah, teplot a tlaků taveniny. Rozhodující je také typ vstřikovacího stroje, který svou kapacitou a výkonem musí dostatečně naplnit všechny dutiny formy i s rezervou (asi 20%). Násobnost formy se volí podle několika parametrů:[9]

- podle vstřikovací kapacity stroje,
- podle uzavírací síly,
- podle termínu dodávky,
- podle plastikačního výkonu stroje.

4.2 Konstrukce formy

Výroba dílů vstřikováním probíhá na vstřikovacím stroji a ve formě v krátké době za působení vysokých teplot a tlaků. Z toho vyplývají základní požadavky na formu:

- vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch dutiny i jiných dílů,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy jako 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 konstrukci i výrobě. Pro konstruktéra forem slouží jako hlavní podklad výkres výrobku spolu s jinými doplňujícími údaji jako je typ stroje, materiál, rozsah produkce atd.

Postup konstrukce pak zahrnuje:

- posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek. Je třeba znovu zkontrolovat rozměry, tolerance, rozdíly v tloušťkách stěn,
- určení, případně upřesnění dělicí roviny součástky a způsob zaformování, umístění ústí vtoku,

- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Volba vhodného typu vtokového systému, velikost průřezu, tvaru a délky hlavního a rozváděcího kanálu i ústí vtoku,
- stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému i odvzdušnění dutin formy,
- návržení rámu formy s ohledem na danou typizaci, počet i rozmístění dutin, systém výhozu i temperace formy,
- vhodné uspořádání ustředění a upínání formy na stroji s ohledem na využití dostupných prostředků,
- ověření plánu funkčních parametrů formy, hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu, vstřikovací a uzavírací tlak a další faktory s ohledem na doporučený stroj.

Při výrobě formy se většinou postupuje tzv. stavebnicovým způsobem, což znamená, že mnohé části formy (vtokové vložky, vodící prvky, samotné desky, vyhazovače atd.) jsou vyráběny v sériích specializovanými firmami a při výrobě formy poskládané do celku. Na výrobu náročnější jsou tvarové dutiny, které musí mít předepsaný povrch a často jsou velmi složité. Proto tvárník se většinou vyrábí s horní tolerancí, aby bylo možné po zkušebním provozu jeho rozměry upravit. Tvárnice naopak, je vyráběna se spodní tolerancí, aby se v případě potřeby mohla zvětšit. Konstruktor také předepisuje tepelné zpracování povrchů formy, aby byla zaručena potřebná životnost dílů formy.[10]

4.3 Zaformování výstřiku

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba mezistěny patří k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Dělicí rovina bývá zpravidla rovnoběžná s upínáním formy (s deskami formy). Může však mít i šikmý či zaoblený tvar, pokud je nutné, bývá forma doplněna pomocnými vedlejšími dělicími rovinami. Nepřesnosti v dělicí rovině jsou nežádoucí, protože způsobují nedovření formy a zatékání materiálu do této plochy (přetok). Při návrhu dělicí roviny je třeba řídit několika zásadami:[8]

- snadné vyjmutí výrobku z formy,
- pravidelný, jednoduchý geometrický tvar, dobře zlícovatelný,
- dělicí rovina by měla probíhat v hranách výrobku,
- stopa po rovině nesmí být funkční ani vzhledovou překážkou,

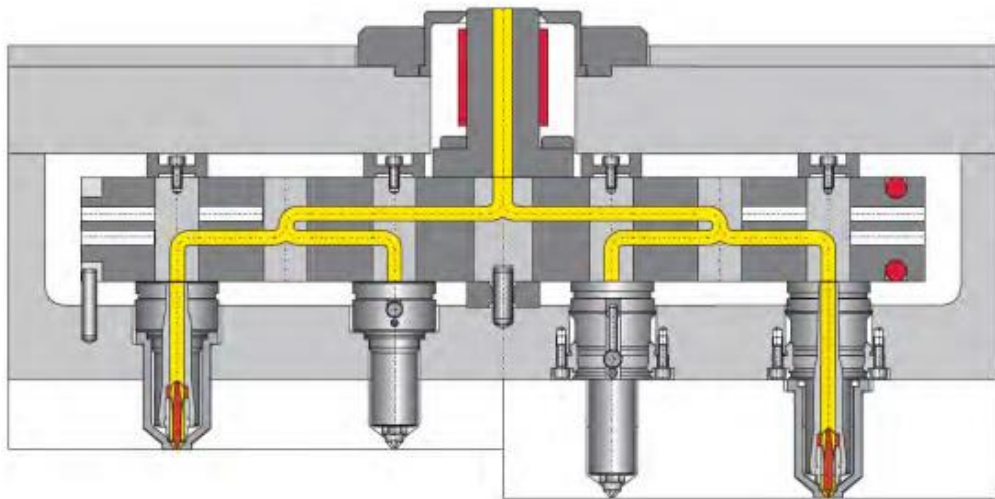
- u více mezistěn volíme jejich nejmenší možný počet.

4.4 Vyhřívání vtokový systém

Výhodou vyhřívání vtokových systémů je, že při jejich použití nezůstává vtokový zůstatek, což snižuje spotřebu materiálu i nároky na opracování výrobku. Než se došlo k současným typům VVS, předcházela jim řada jednodušších systémů, jako se zesílenými vtoky, izolovanými přívodními soustavami s předkomůrka apod. Dnešní mají vyhřívání trysky, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku i teploty v systému. To umožnilo výrobu vysokovýkonných topných těles a některých dalších dílů. Od forem se studenými přívodními soustavami se liší formy s VVS především tím, že tyto systémy se nakupují od specializovaných výrobců. Před použitím určitého typu je tedy třeba vyžádat si od výrobce potřebné technické údaje i dokumentaci. Využívání vyhřívání vtokových soustav stále narůstá, protože:

- umožňují automatizaci výroby,
- zkracují výrobní cyklus,
- snižují spotřebu materiálu,
- snižují náklady na dokončovací práce,
- odpadá recyklace vtokových zůstatků.

Technologie vstřikování pomocí VVS spočívá v tom, že tavenina po naplnění dutiny formy zůstává v celé oblasti vtoku až po ústí formy v plastickém stavu. To umožňuje použít jen bodové vyústění malého průřezu. I přesto je možné částečně pracovat s dotlakem. Celá soustava umožňuje snadnou demontáž, čištění a zpětnou montáž.[10]



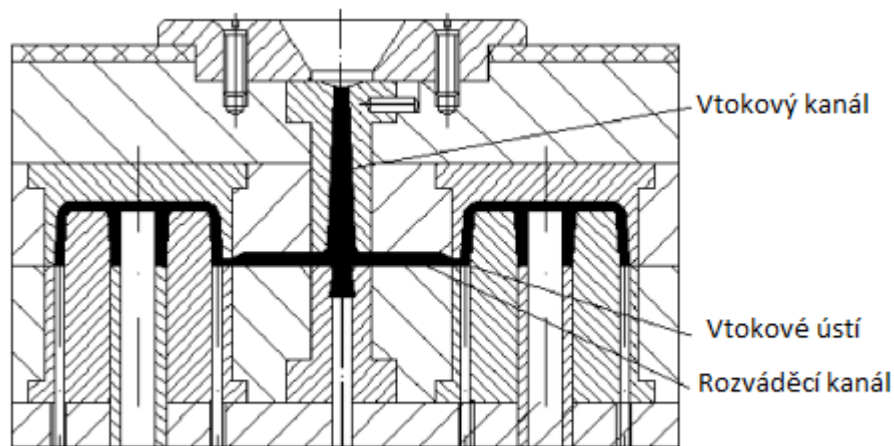
Obr. 11 Schéma horkého vtokového bloku

4.5 Studený vtokový systém

Vtokový systém formy zajišťuje při vstřiku vedení proudu roztaveného plastu od vstřikovacího stroje do dutiny formy. Musí přitom zaručit úplné naplnění dutiny v co nejkratším čase a s minimálními odpory. Průtok taveniny vtokovým systémem je převáděn složitými tepelně-hydraulickými poměry. Tvar a rozměry vtoku spolu s jeho umístěním mají vliv na rozměry, spotřebu materiálu, náročnost opracování, začištění výstřiku a také na energetickou náročnost výroby. U vícenásobných forem musí tavenina dorazit ke všem ústím vtoku za stejnou dobu a za stejného tlaku, aby byly vtoky vyvážené. U studeného vtokového systému se tavenina vstřikuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita taveniny na vnějším povrchu prudce roste a to vyžaduje vysoké tlaky v systému (40 až 200 MPa). Ztuhlý plast na stěnách vytvoří tepelnou izolaci a umožňuje proudění taveniny středem kanálu. Za tohoto stavu se naplní celá dutina. Funkční řešení vtokového systému musí zajišťovat:[10]

- co nejkratší dráhu toku taveniny od trysky stroje do dutiny bez tlakových a časových ztrát,
- při vícenásobných formách musí být dráha toku taveniny ke všem dutinám stejná, aby se zajistila homogenita vlastností všech výrobků v sérii,
- průřez kanálů musí být dostatečně velký na to, aby umožnil působení dotlaku. Přitom však třeba přihlížet i ke spotřebě plastu (zbytek po vtokové soustavě),
- kanál má mít minimální povrch při maximálním průřezu, čemuž odpovídá průřez kruhový. Z výrobních důvodů volíme kanál lichoběžníkový,

- u násobných forem je vhodné průřez stupňovat, aby zůstala rychlost proudění konstantní,
- zaoblení všech ostrých hran min. $R = 1$,
- stanovit úkosovost všech vtoků, pro jejich snadné odformování,
- řešit zachycení čela proudící taveniny prodloužením rozváděcího kanálu.



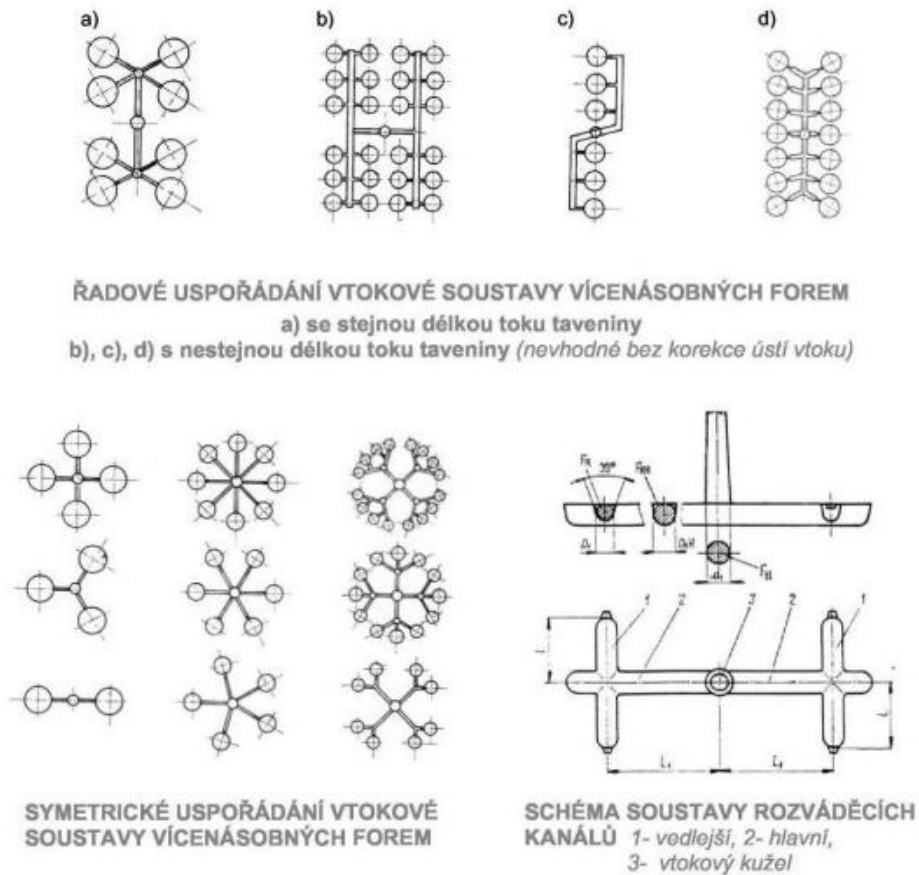
Obr. 12 Studený vtokový systém formy

4.6 Vtokové ústí

Vtokové ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Ve výjimečných případech může být použit plný nezúžený vtok. Jeho zúžením se zvýší klesající teplota taveniny před vstupem do tvarové dutiny. Omezí se tím strhávání ochlazených vrstev polymeru z obvodu vtoku a tím i tvorba defektů. Vtokové ústí se volí, co nejmenšího průřezu v závislosti na charakteru vyštěkl, plastu i technologií vstřikování. Velikost zúženého průřezu však musí spolehlivě naplnit dutinu formy a také musí umožnit působení dotlaku. Tvar ústí vtoku bývá štěrbinový pro ploché výstřiky, nebo kruhový pro rotační. Šířka bývá užší, než je rozváděcí kanál. Tloušťka (průřez) se určí podle objemu výstřiku. Při konstrukci se doporučuje volit vtokové ústí menší, s možností úpravy při zkušebním provozu. Rozhodující vliv na vzhled a kvalitu výrobku má i umístění vtokového ústí. Dutina je pokud možno plněna pouze jedním vtokem, aby se předešlo vzniku tzv. studených spojů. Jsou to místa, kde se při plnění dutiny několika vtoky spojuje částečně ochlazený materiál. Takový spoj má výrazně nižší mechanickou pevnost. Vtokové ústí bývá umístěno:[10]

- do nejtlustšího místa výstřiku. Tavenina má téct vždy z místa většího průřezu do míst s menším průřezem kvůli tuhnutí,

- do geometrického středu dutiny, tak aby tavenina zatekla do všech míst rovnoměrně,
- u vstříku s žebry má tavenina proudit ve směru jejich orientace,
- u výstřiků s otvory se umísťuje do těchto otvorů, nebo v jejich blízkosti,
- s ohledem na zamezení volného toku taveniny a tím turbulentního plnění dutiny kanálu.



Obr. 13 Uspořádání vtokových systémů

4.7 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je důležitou součástí formy. Jeho úkolem je zajistit bezpečné a rovnoměrné vyhození výstřiku z dutiny formy tak, aby nedošlo k zdeformování výstřiku. Existují různé druhy vyhazovacích systémů. Výstřik může být vyhazován z dutiny formy pomocí vyhazovacích kolíků. U tohoto typu vyhazování hrozí propíchnutí výstřiku. Stopy po kolících zůstávají, ale jsou velmi malých rozměrů, čili nemají na nic vliv. Výstřik je také možné vyhodit pomocí stírací desky, nebo kroužku. Tato metoda eliminuje propíchnutí dílce. Na vyhazování se používají i trubkové vyhazovače a stlačený vzduch. Metoda stlačeného vzduchu se používá zejména na tenkostěnné výrobky. Používají se i kombinace

těchto typů vyhazování. Důležitým parametrem vyhazovacího systému je vyhazovací síla, jejíž velikost závisí na smrštění výstřiku ve formě, také závisí na podtlakem vznikajícím při výhozu a od pružných deformací formy, na kvalitě opracování povrchu dutiny formy, jakož i na úkosem výstřiku. Čím jsou úkosey větší, tím je zapotřebí menší vyhazovací síla.[5]

4.7.1 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků

Je nejčastějším a nejlevnějším způsobem vyhazování výstřiku. Tento systém je lze použít tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Správná volba tvaru vyhazovacího kolíku i jeho vhodné umístění umožní snadné vyhození výstřiku bez poškození. Vyhazovací kolíky jsou základním prvkem mechanického vyhazování. Mají být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné. Jsou obvykle válcové. Mohou mít i jiný tvar. Jsou ukotveny ve vyhazovacích deskách. Vůle v uložení působí jako odvzdušnění. Tvar a způsob ukotvení ukazuje následující obrázek (Obr. 14).[5]

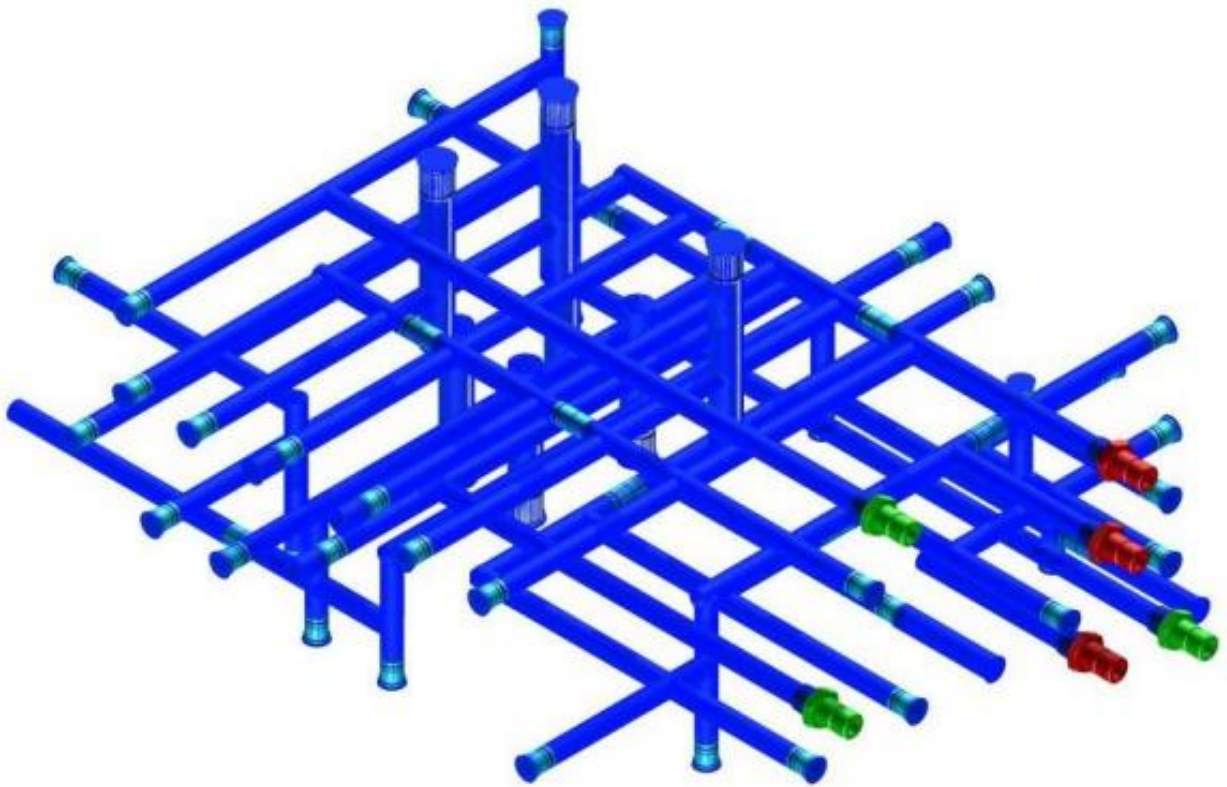
životnosti je stírací deska obvykle vyložená tepelně upravenou tvarovou vložkou, upevněnou v desce.[10]

4.8 Temperační systém

Temperace slouží k udržování konstantního teplotního režimu ve formě. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu při dodržení technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy, nebo její části. Během vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyhození výstřiku. Temperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Aby se každý další výstřik vyrobil při stanovené teplotě je nutné přebytečné teplo během pracovního cyklu odvést temperační soustavou formy. Úkolem temperace je:

- zajistit rovnoměrnou teplotu formy po celém povrchu její dutiny,
- odvádět přebytečné teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku.

Temperační systém formy je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými proudí vhodné temperační médium. U forem, kde se vyžaduje vyšší teplota, se používá zpravidla elektrické vyhřívání.[10]



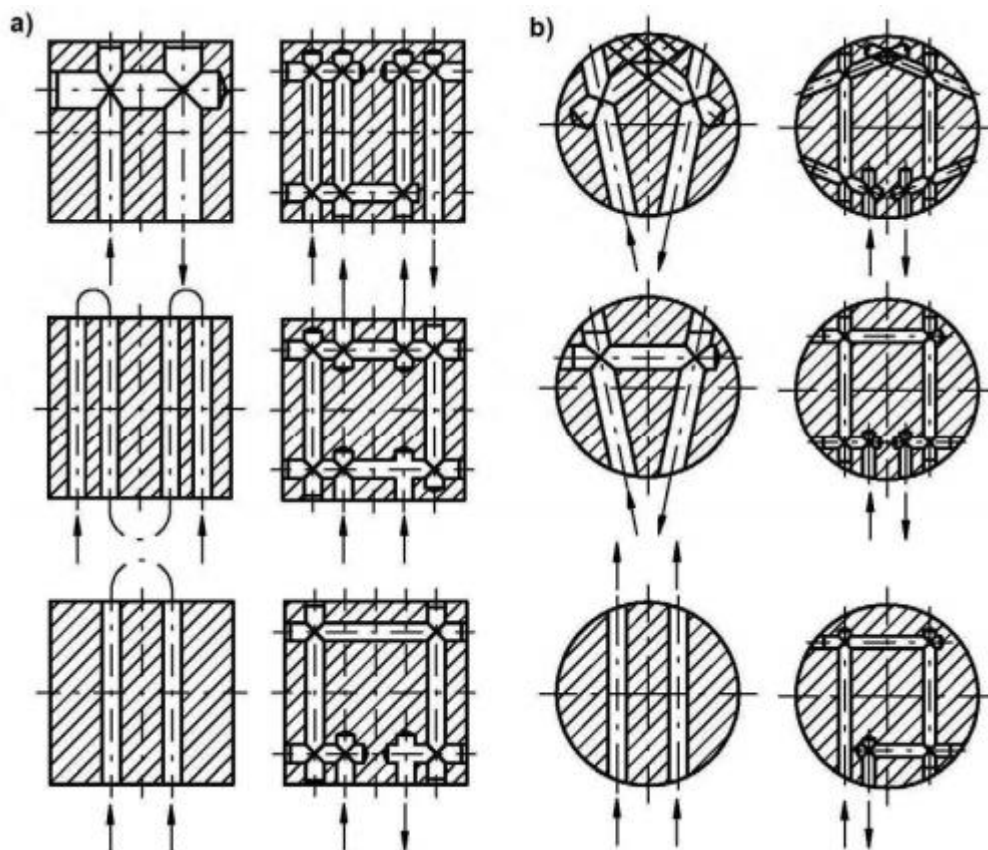
Obr. 15 Ukázka řešení temperačního systému

4.8.1 Zásady volby temperačních kanálů

Rozměry a rozmístění temperačních kanálů a dutin se volí s ohledem na celkové řešení formy. Vzdálenost kanálů od funkční dutiny má být optimální. Je třeba dbát na dostatečnou pevnost a tuhost stěny funkční dutiny. Je vhodnější použít větší počet menších kanálů s malými rozměry, než naopak. Kolem dutiny formy se kanály rozmísťují rovnoměrně a všude ve stejné vzdálenosti. Průřez kanálů se volí podle velikosti výstřiku, druhu plastu a rámu formy. Nejběžnější průřez je kruhový. Také se používají kanály s obdélníkovými průřezy, nebo se do nich vkládají tenkostěnné měděné trubky. Další zásady volby kanálů:

- kanály se umísťují tam, kde je forma ve styku s proudem taveniny (oproti vtoku),
- průtok chladicí kapaliny je regulován tak, aby proudila od nejteplejšího místa k nejchladnějšího (u ohřevu naopak),
- v kanálech nesmí být přítomny mrtvé kouty, protože jsou ohnisky koroze,
- před vstupem kapaliny do úzkých temperačních kanálů bývá zařazen filtr,
- kanály se dimenzují tak, aby se daly propojit hadicemi různými způsoby a s různým pořadím (pro případnou optimalizaci).

V praxi jsou temperace kanály často voleny podle zkušeností konstruktéra. Tyto návrhy jsou však u složitějších forem málokdy optimální. S rozvojem výpočetní techniky se stále více používají simulační programy, které pomáhají optimální volbě temperačního systému analýzou tepelných procesů při výrobě. Výsledek má vliv na kvalitu i produktivitu výroby.[10]



Obr. 16 Příklady konstrukčního řešení temperačních okruhů

4.8.2 Temperační prostředky

Představují média, které svým působením umožňují formě pracovat v optimálních tepelných podmínkách. Jejich volba je ovlivněna především koncepcí formy a požadavky na technologii výroby výstřiku. Rozdělují se na:

- aktivní, které působí přímo ve formě,
- pasivní, které svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy.

U aktivních médií se zpravidla jedná o kapaliny, které nuceným prouděním přetékají temperačními kanály. Dochází tak k přestupu tepla mezi kapalinou a formou. Mezi nejčastěji používané kapaliny patří:

- Voda: výhodou vody je nízká cena, viskozita, vysoký přestup tepla a ekologická nezávadnost. Nevýhodou je rozsah použitelnosti (bez použití tlakových obvodů jen do 90 ° C) a zanášení kanálů vodním kamenem či korozi,
- Oleje: jsou temperovatelné i nad 100 ° C, mají však vyšší viskozitu a zhoršený prostup tepla. Při poruše obvodu znečišťují prostředí,
- Glykoly: nezpůsobují korozi a ucpávání systému, časem se však jejich kvalita zhoršuje. Náročná je i jejich likvidace.

Chlazení vzduchem se používá zejména k odvodu tepla z povrchu formy a stroje. Vzhledem k jeho malé účinnosti ho používáme jen tam, kde použití kapaliny není kvůli nedostatku místa možné (tenké tvárníky, jádra a vyhazovače). V případě, že teplo dodané taveninou je menší než tepelné ztráty do okolí, instalují se do formy topné elektrické patrony. Je třeba dbát na to, aby byly vždy v těsném kontaktu s povrchem formy, čímž se zabrání lokálnímu přehřátí a poškození patron. Možné je i využití speciálních gelů s vysokým přestupem tepla, které jednak eliminují vzduchové mezery a také brání zavaření patrony do formy. Doporučuje se také, aby elektrické vývody byly zavedeny do pevného konektoru na těle formy. Pro umístování těchto patron platí obdobné zásady jako pro rozmístování rozvodných kanálů. Jako pasivní prostředky jsou označovány tepelně izolační materiály, které izolují formu od stroje, leštění povrchu formy pro zabránění ztrát vyzařováním, různé tepelně vodivé materiály atd.[10]

Tab. 1 Doporučené teploty taveniny a formy při temperaci

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABS	190-250	50-85
PA 6	230-290	40-120
PC	280-320	85-120
HDPE	180-270	20-60
LDPE	180-270	20-60
PMMA	200-250	50-80
POM	180-220	50-120
PP	170-280	20-100
PS	180-260	55-80
PVC tvrdé	190-220	30-60
SAN	200-260	50-85
PSU	340-400	120-160
PAEK	380-430	160-220
LCP	310-360	65-95

4.9 Odvzdušnění forem

Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k dominantním problémům při navrhování forem. Jeho důležitost obvykle vyplyne až při zkoušení hotového nástroje, kdy odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výstřiku, nebo jeho nízkých mechanických vlastností. Dutina formy je před vstříkáním naplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny. Nejčastějším jevem při rychlém plnění je stlačení vzduchu, který se vlivem vysokého tlaku silně ohřívá a způsobuje tzv. Dieselův efekt (Obr. 18). Je to spálené místo na výrobku, které vzniká důsledkem zvýšené teploty komprimovaného vzduchu. Protitlak stlačeného vzduchu také zvyšuje při plnění dutiny nároky na vstříkací tlak, jehož zvyšováním se vnášejí do výrobku zbytečné pnutí. Při nižších teplotách a tedy zvýšené viskozitě taveniny může zase dojít vlivem stlačeného vzduchu k nedostatečnému zatékání taveniny do dutiny a tudíž nedotečenému výstřiku. V neposlední řadě může tento vzduch způsobovat bubliny ve výrobku, což je opět nežádoucí. Volba místa pro odvzdušnění ve formě je někdy zřejmá z tvaru výstřiku, jindy je pouze obtížně zjistitelná. Odvzdušnění je možné realizovat:

- středním trnem,
- odvzdušňovacími vložkami z porézních materiálů,
- kolem vyhazovačů (vůle v uložení),
- dělenými kruhovými vložkami,

- drážkami frézovanými pro tento účel (průměry řádově 10-2 mm).

Rozměry odvodušňovacích kanálů se volí s přihlédnutím k viskozitě použitého materiálu, použitý vstřikovací tlak, objem a tvar výrobku i umístění vtoků do dutiny formy. Je také třeba pamatovat na pravidelné čištění těchto kanálů, které se vlivem zplodin snadno zanášejí, čímž se snižuje efektivita odvodušňování formy, tudíž i kvalita výrobků.[9]



Obr. 18 Dieselův efekt

4.10 Materiály pro výrobu forem

Vstřikovací forma je nákladný celek sestavený z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiku se vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. Důležitým aspektem je materiál forem, který je ovlivněn podmínkami výroby, jež jsou určeny:

- druhem vstřikovaného polymerního materiálu,
- přesností a jakostí výstřiku,
- podmínkami vstřikování,
- vstřikovacím strojem.

Pro výrobu forem se používají materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře a mají univerzální rozsah použití. Takové druhy představují:

- oceli vhodných jakostí,

- neželezné slitiny kovu (Cu, Al, ...),
- ostatní materiály (tepelně izolační, tepelně vodivé).

Oceli jsou nejvýznamnějším druhem používaných materiálů pro výrobu forem. Svou pevností a ostatními mechanickými vlastnostmi těžko nacházejí alternativu. Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci, proto vyžadují specifické požadavky na volbu materiálu, z kterého budou vyrobeny. Jejich výběr musí odpovídat funkci součásti, s ohledem na opotřebení a požadovanou životnost.

Od materiálu vhodných pro výrobu forem se očekává:

- dostatečná mechanická pevnost,
- dobrá obrobitelnost,
- dobrá tepelná zpracovatelnost (cementování, kalení, nitridování, atd.).

Z technologického hlediska výroby výstřiku má materiál dále zajišťovat speciální požadavky na kvalitu struktury, která je dána:

- dobrou leštitelností a obrusitelností,
- zvýšenou odolností proti otěru,
- odolností proti korozi a chemickým vlivům polymeru,
- vyhovující kalitelností a prokalitelností,
- stálostí rozměru a minimálními deformacemi při kalení.[13]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI

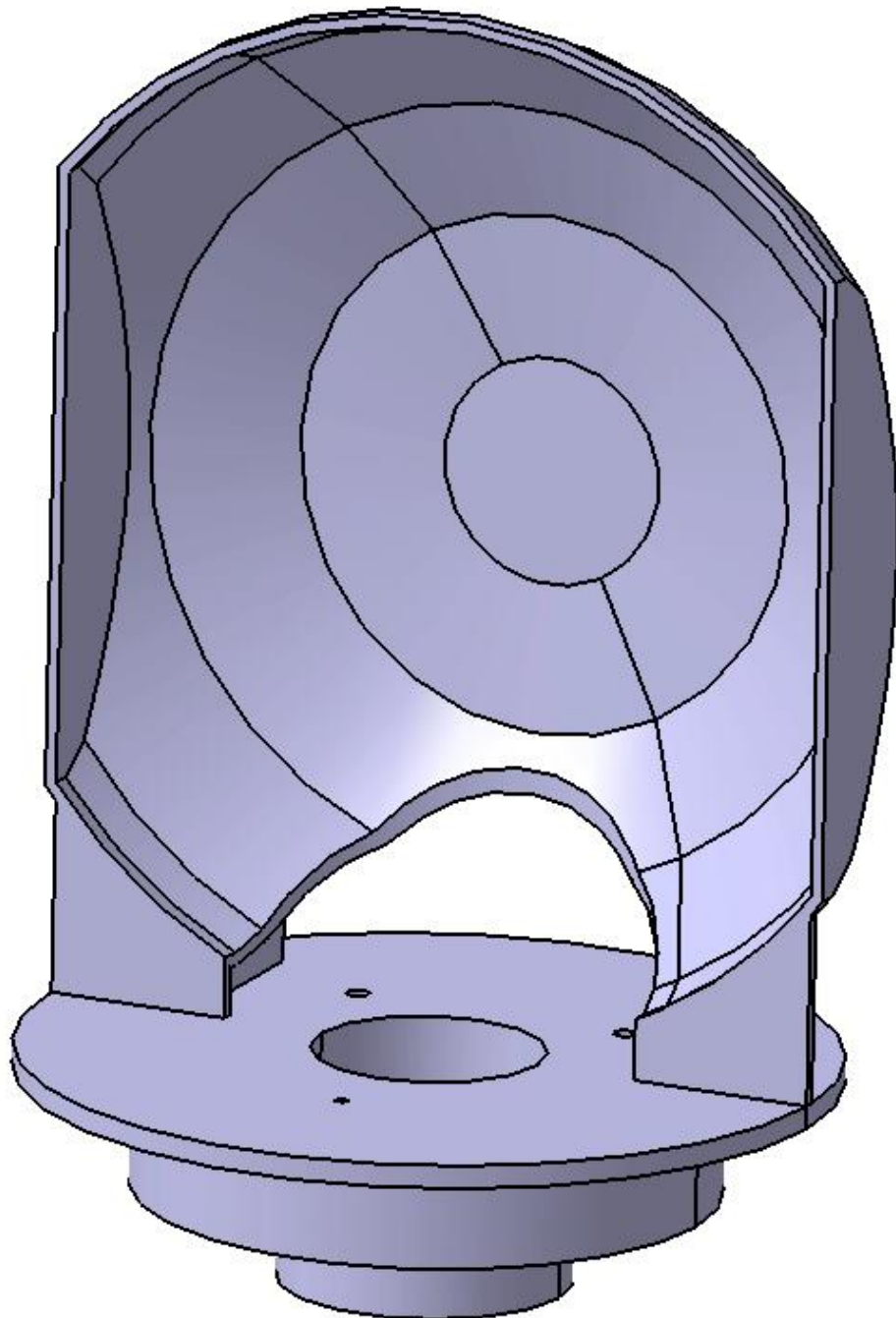
V bakalářské práci byly stanoveny následující cíle:

- vypracování teoretické studie na dané téma
- provedení konstrukce 3D modelu vstříkovaného obrobku
- provedení návrhu konstrukce vstříkovací formy pro zadaný výrobek
- zhotovit 2D výkresovou dokumentaci, včetně všech náležitostí

Teoretická část na základě prostudování dostupné literatury popisuje materiály, jejich rozdělení, teorii vstříkování s obecným popisem a konstrukcí forem. V praktické části bylo cílem provedení konstrukce 3D modelu a navrhnout vstříkovací formu pro daný dílec. Konstrukce modelu vstříkovaného výrobku i vstříkovací formy byla provedena v programu CATIA V5R19 s použitím knihoven normálíí HASCO. Dalším úkolem bylo provedení výkresové dokumentace, dle norem technického kreslení.

6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaným výrobkem je součást reflektoru. Při návrhu musely být zohledněny všechny úhly, aby součást splňovala požadavky pro dané použití. Hlavní rozměry výrobku jsou 111x72x70 mm a průměrná tloušťka stěny je 1 mm.



Obr. 15 Model vstříkované součásti

6.1 Materiál vstřikovaného výrobku

Materiál výrobku byl zadán ABS, který je složen ze tří monomerů - akrylonitrilu, butadienu a styrenu. Výroba je založena na roubované polymerizaci butadienového kaučuku (pružná fáze) se styreno-akrylonitrilovými polymery (plastická fáze). Vyrábí se ve formě granulí, které se dále zpracovávají injekčním vstřikováním (vznik výlisků) nebo extruzí (vznik polotovarů – desek, trubek, profilů). Plasty na bázi ABS nabízejí téměř dokonalou rovnováhu mezi pevností v tahu, nárazovou a ořezovou odolností, rozměrovou stabilitou, tvrdostí povrchu, tuhostí, tepelnou odolností, mechanickými vlastnostmi, chemickou odolností a elektrickými charakteristikami. Díky butadienové složce má ABS vynikající nárazovou houževnatost, speciální typy dokonce i při nízkých teplotách ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Obecné typy ABS jsou vhodné i pro exteriérové aplikace. Působením UV záření a vzdušného kyslíku však dochází k poškození butadienového elastomeru, což vede ke žloutnutí výrobku a snížení jeho nárazové odolnosti. Tento proces může být zmírněn použitím tmavých barev nebo UV stabilizací. Výstřiky z ABS jsou inertní k působení vody, solí, anorganických kyselin a zásad, jejich vliv však závisí na době působení a teplotě, a obzvláště na vnitřním napětí vneseném do výstřiku. ABS lze použít v skoro ve všech odvětví průmyslu, od tvarově a funkčně jednoduchých součástí až po součásti složité s nárokem na chemickou, tepelnou a mechanickou odolnost. [2]

Tab. 2 Vlastnosti ABS (Akrylonitrilbutadienstyren) [3]

Vlastnosti ABS	Hodnota	Jednotka	Parametr
Hustota	1,04	g/cm^3	
Modul pružnosti	1700	MPa	1 mm/min
Síla v tahu	32	MPa	50 mm/min
Mez pevnosti v tahu	32	MPa	50 mm/min
Pevnost v ohybu	49	MPa	2 mm/min, 10N
Pevnost v tlaku	15/26	MPa	1%/2%. 5 mm/min, 10N
Nasákavost	0,07/0,2	%	24h / 96h (23°C)

7 POUŽITÉ PROGRAMY

7.1 CATIA V5R19

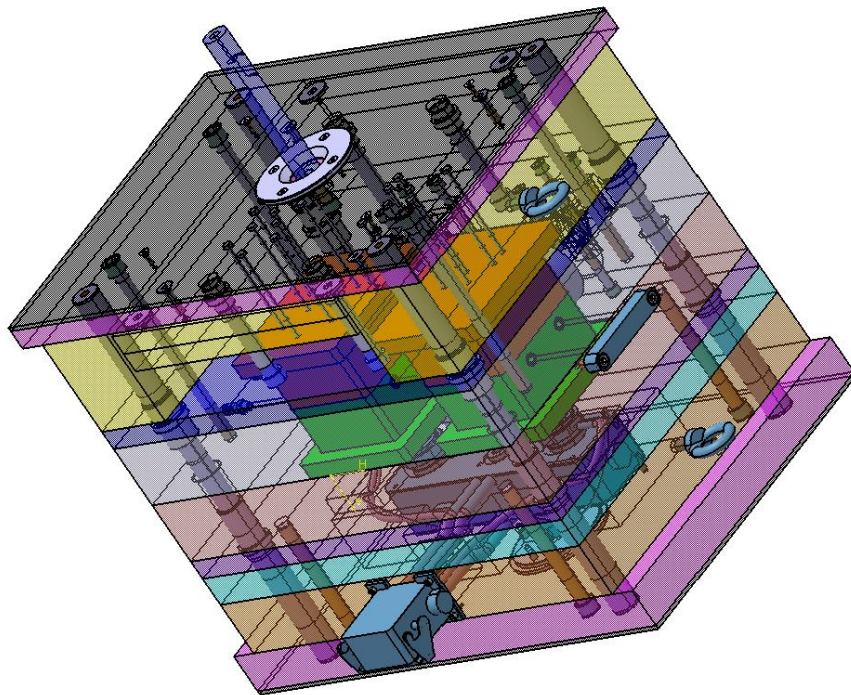
Konstrukční řešení zadaného výrobku i vstříkovací formy včetně výkresové dokumentace bylo zhotoveno ve 3D softwaru francouzské společnosti Dassault Systèmes CATIA verze V5R19. Tento produkt je programový software podporující inovaci a výrobu strojírenských dílů. [16]

7.2 HASCO DAKO Katalog

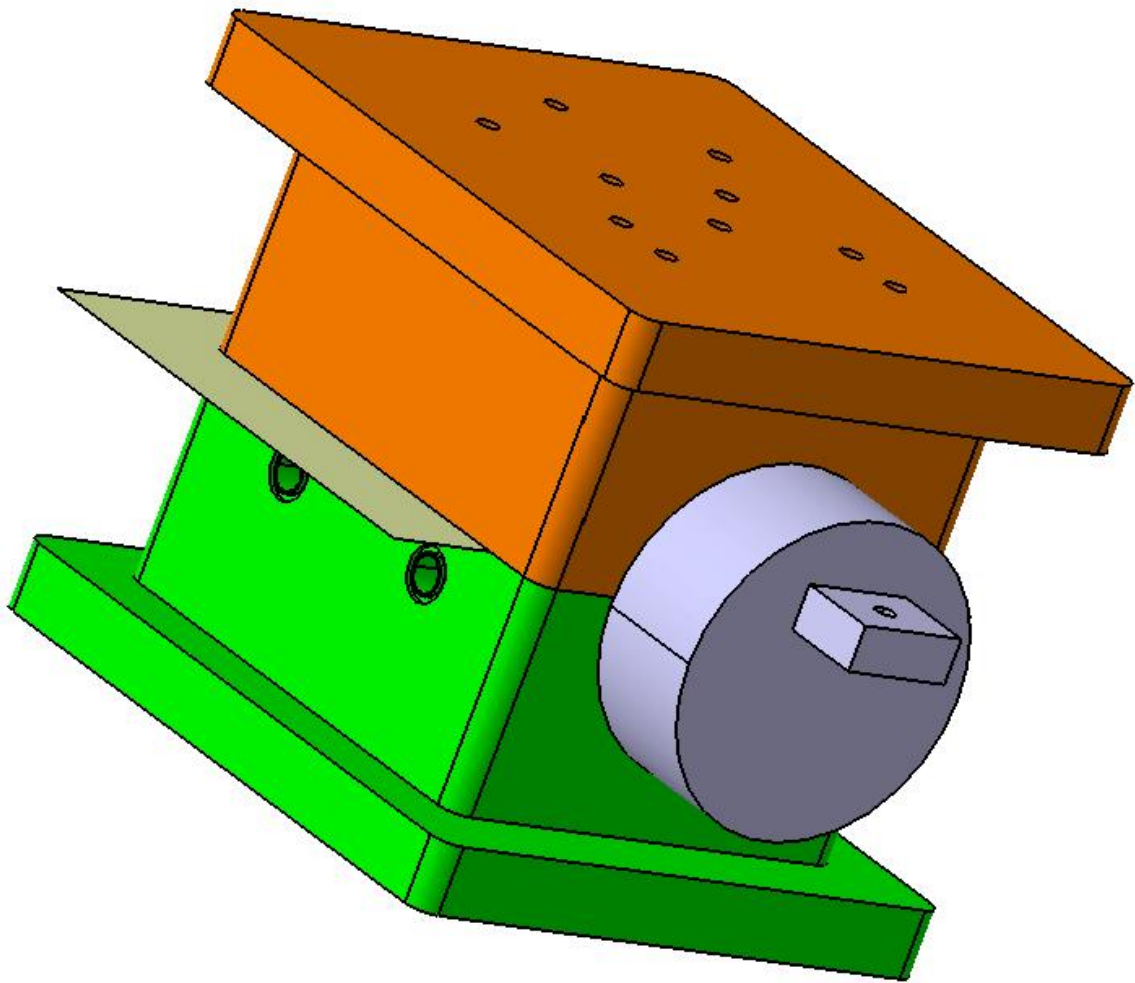
Z ekonomického a časového hlediska byly použity normalizované součásti z katalogu firmy HASCO. Tyto součásti byly pomocí HASCO DAKO 3D Modulu importovány do softwaru CATIA V5R19. [15]

8 KONSTRUKCE FORMY

Konstrukce formy by měla být co nejpřesnější a zároveň co nejjednodušší s ohledem na tvarovou složitost vstřikovaného výrobku. Při konstrukci je snahou použít co nejvíc normalizovaných dílů firmy HASCO, díky kterým se zvýší rychlost návrhu konstrukce formy a sníží ekonomickou náročnost celé formy.



Obr. 16 Vstřikovací forma



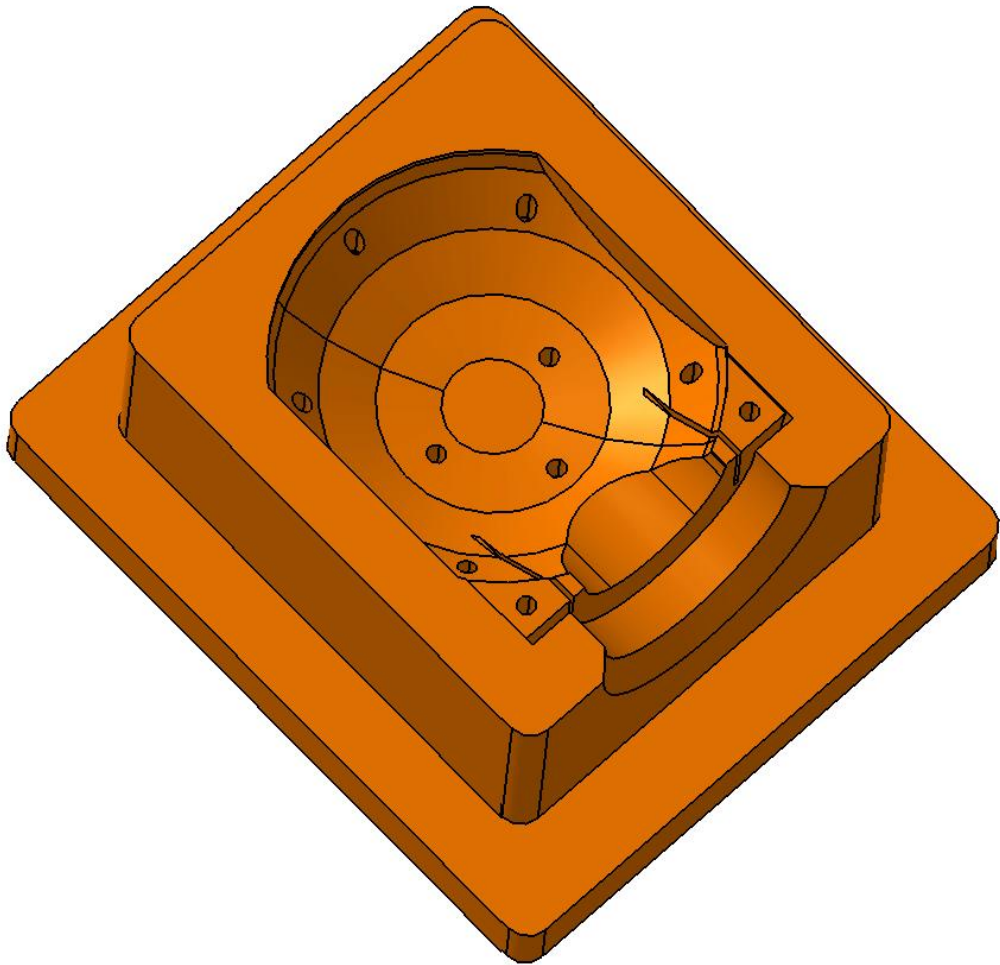
Obr. 17 Schéma volby dělicí roviny

8.1 Dutina formy

Tvarová dutina formy je tvořená ze tří částí, které se nazývají tvárník a tvárnice a tvarová vložka (šibr). Tyto tři části spolu vytvoří ve tvarové dutině negativ požadovaného vstříkovaného výrobku. Jejich dosednutí je zajištěno vodícími doplňky a šibrem, který také slouží jako tvarový doplněk při vstříkování. Tyto části ve tvarové dutině formy jsou vyrobeny z oceli třídy 19, dále jsou cementovány a kaleny. Netěsnost mezi tvarovými dutinami lze využít jako odvodušnění formy.

8.1.1 Tvárník

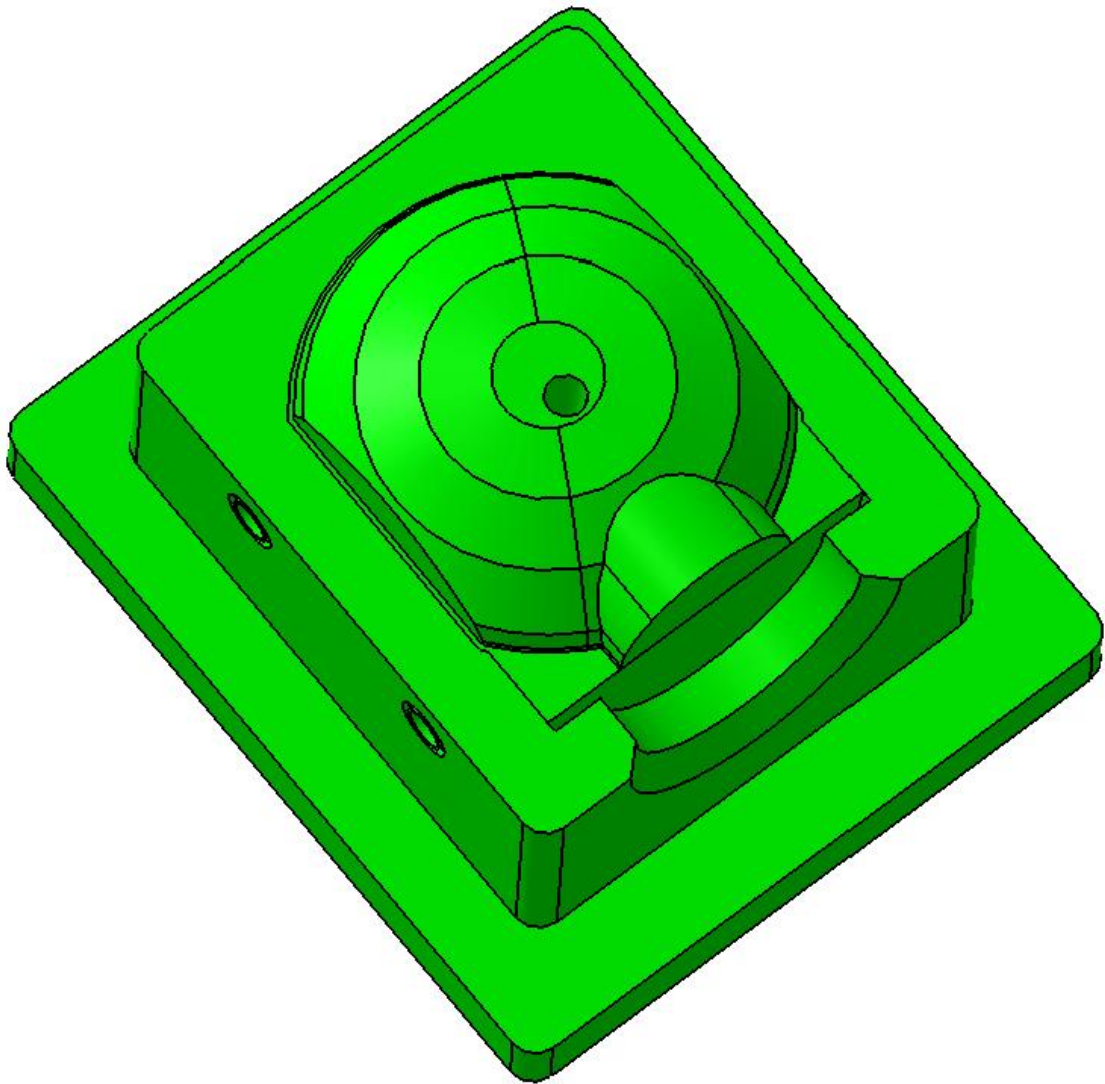
Tvárník je umístěn na levé pohyblivé části vstřikovací formy, která tvoří dutiny formy. Tvárník má osazení, ve kterém je uložen a je dotlačen opěrnou deskou, která zaručí pevné sevření a tvarovou stálost.



Obr. 18 Tvárník

8.1.2 Tvárnice

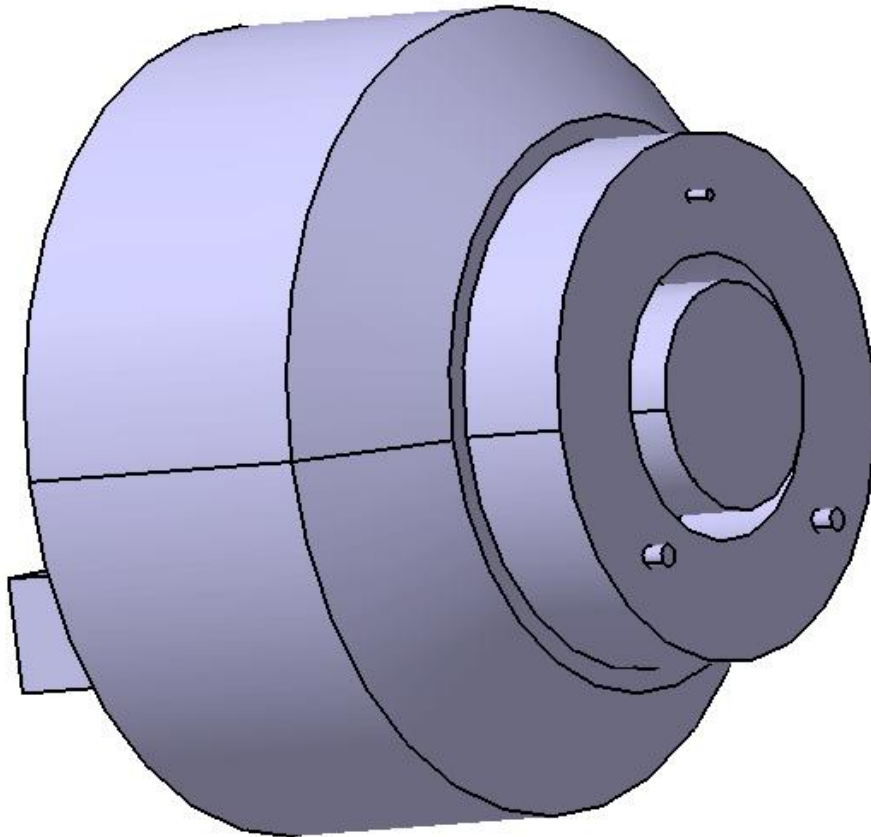
Tvárnice je umístěna na pravé pevné části vstřikovací formy. Tvárnice je uložena v levé kotevní desce pomocí osazení. Dále je dotlačena opěrnou deskou.



Obr. 19 Tvárnice

8.1.3 Tvarová vložka (šíbr)

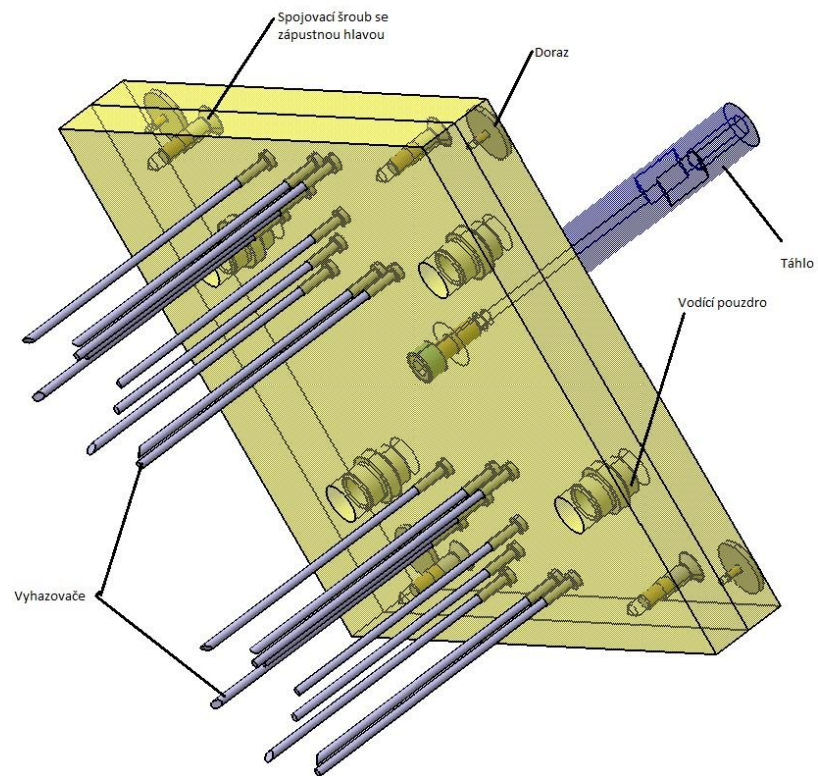
Tvarová vložka je uložena mezi levou a pravou stranou formy a uchycena k táhlu pomocí šroubu. Tato vložka odjíždí při odformování výrobku a její zpětné dosednutí je zajištěno tvarovým stykem s tvárnicí a tvárníkem pomocí zkosené hrany o 45°.



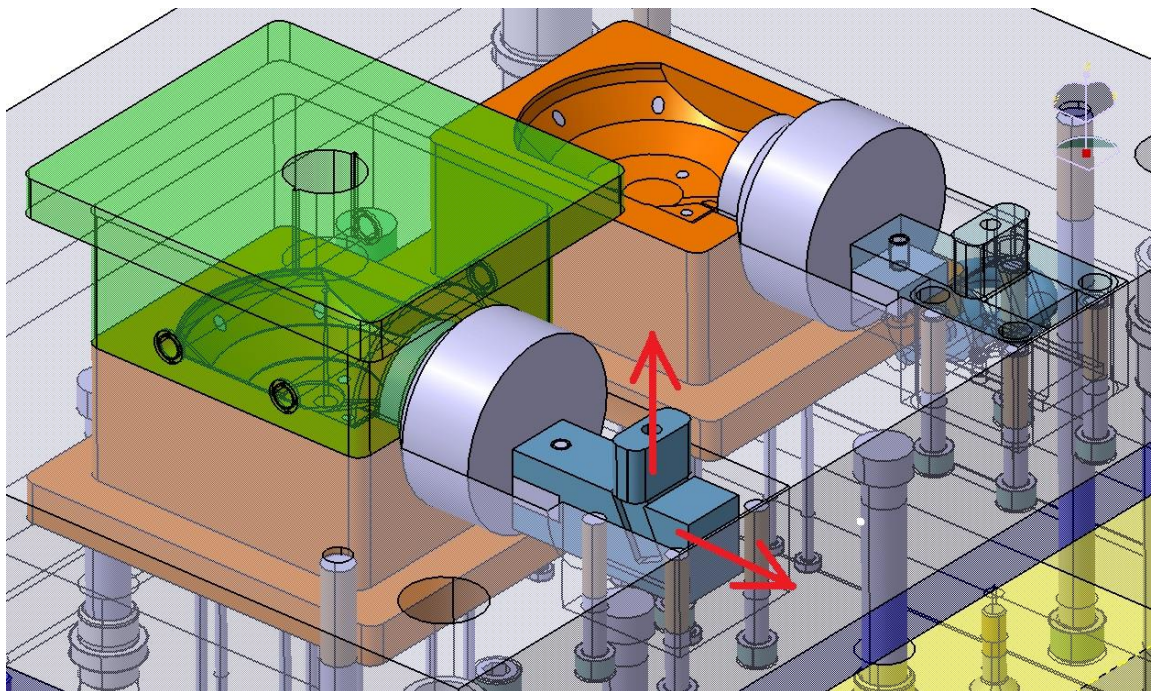
Obr. 20 Tvarová vložka

8.2 Vyhazovací systém

Vyhození vstříkovaného výrobku je zajištěno pomocí deseti válcových vyhazovačů o průměru 4mm. Ty jsou uloženy v kotevní desce vyhazovacího systému a zajištěny opěrnou deskou. Vyhazovače jsou ukončeny na stěně tvárníku. Vyhazovače jsou tvarově upravené kvůli zkoseným hranám na výstřiku. Vedení vyhazovacího systému je zajištěno vodíci čep. Ty jsou vedené ve vodících pouzdrech mezi kotevní a opěrnou deskou. Při rozmístění vyhazovačů bylo dbáno na rovnoměrné vyhození, aby nedošlo k deformaci dílu. Po vyhození zůstávají na výstřiku stopy po vyhazovačích na vnější straně, které však nemají vliv na funkčnost výrobku. V levé části formy je ukotveno táhlo, které má v pravé části přišroubován šikmý čep, kde při odformování výrobku dochází k posunutí tvarové vložky v horizontálním směru od tvarové dutiny.



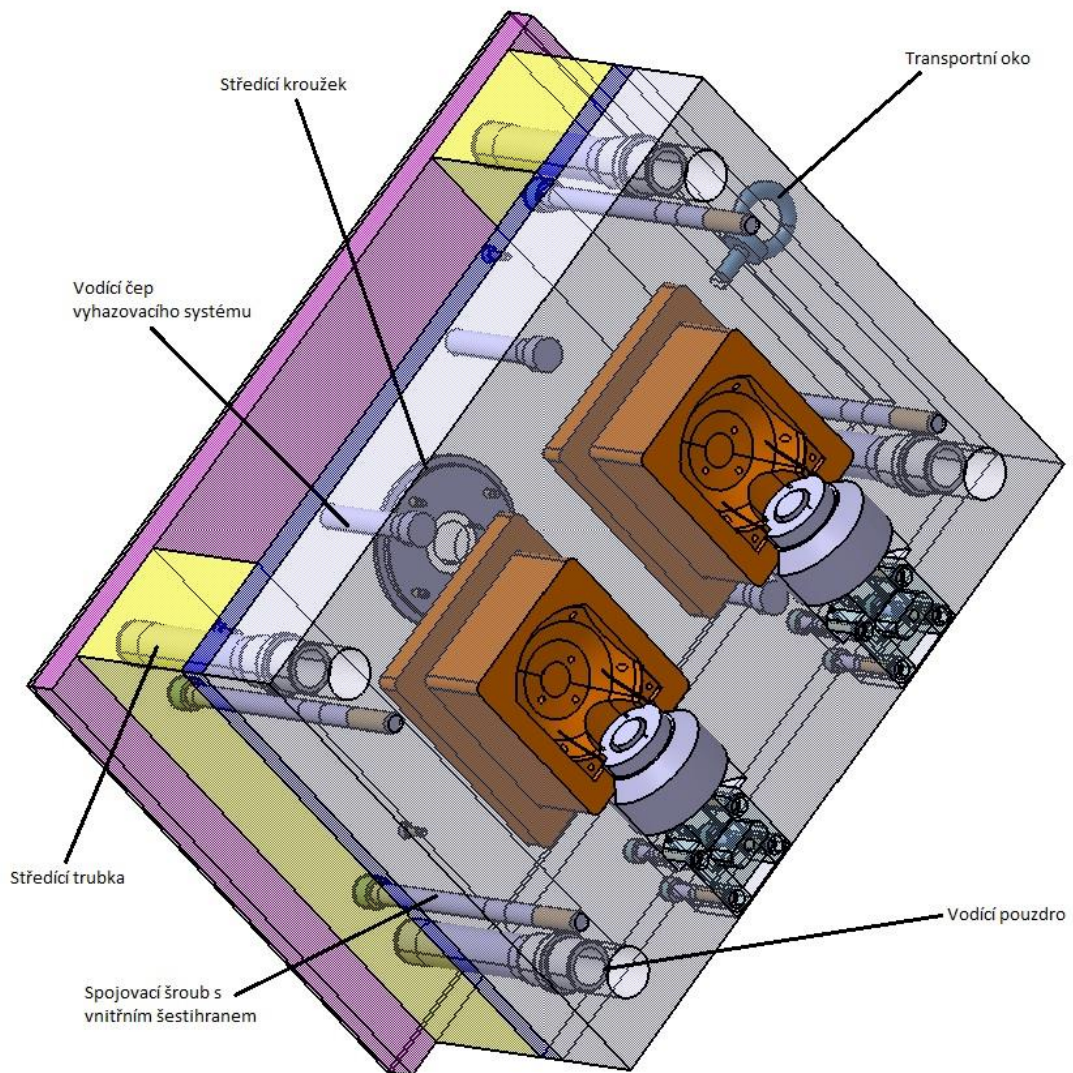
Obr. 21 Vyhazovací systém formy



Obr. 22 Naznačení směru čepu a táhla při vyhození výrobku

8.3 Levá (pohyblivá) část formy

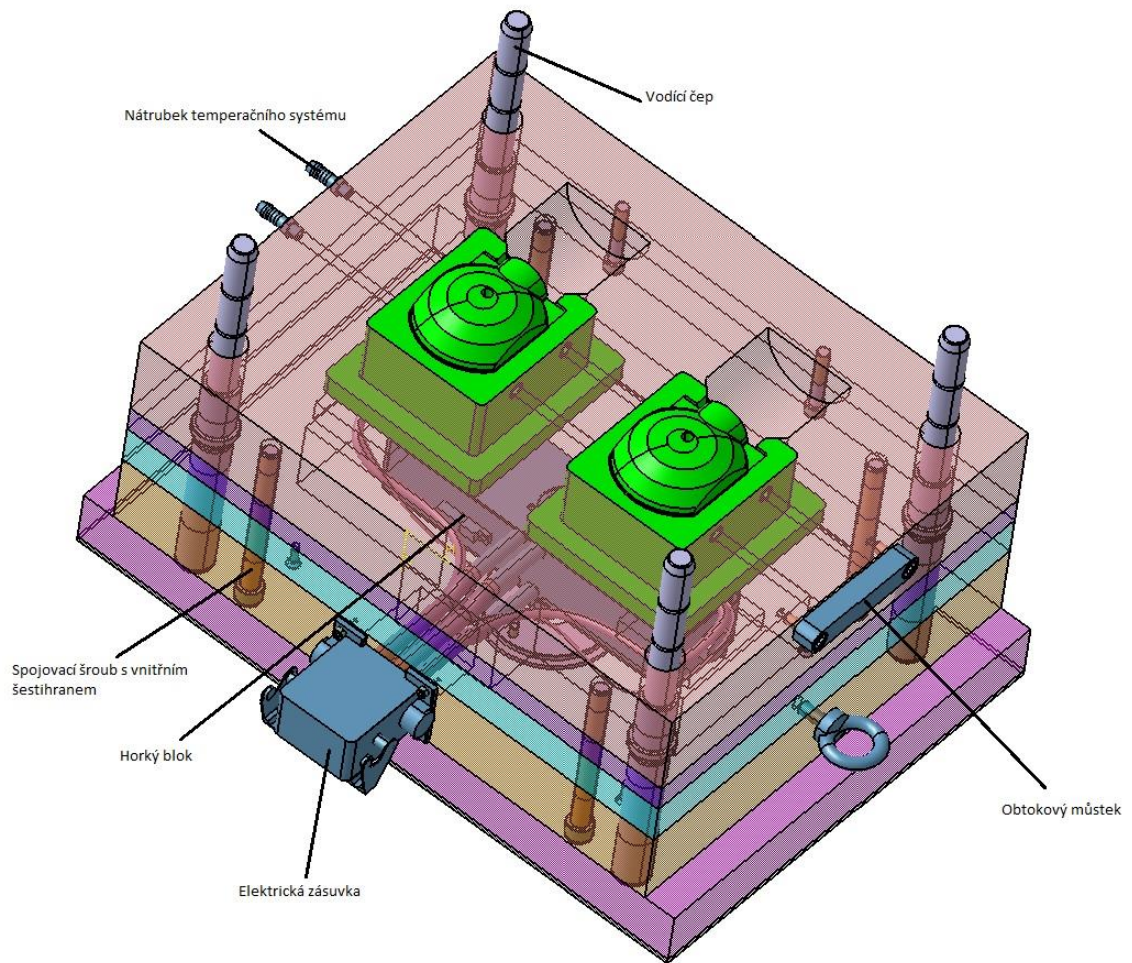
Levá část se skládá z izolační desky, upínací desky, dvou rozpěrných desek, opěrné desky, kotevní desky a tvárníků. Desky jsou k sobě spojeny šrouby s vnitřním šestihranem. Levá strana formy je pohyblivá pomocí vodících kolíků, které se pohybují ve vodících pouzdrech a středící trubce. Součástí levé strany je vyhazovací systém, který se taktéž pohybuje v horizontálním směru mezi opěrnou a upínací deskou.



Obr. 23 Levá část formy

8.4 Pravá (pevná) část formy

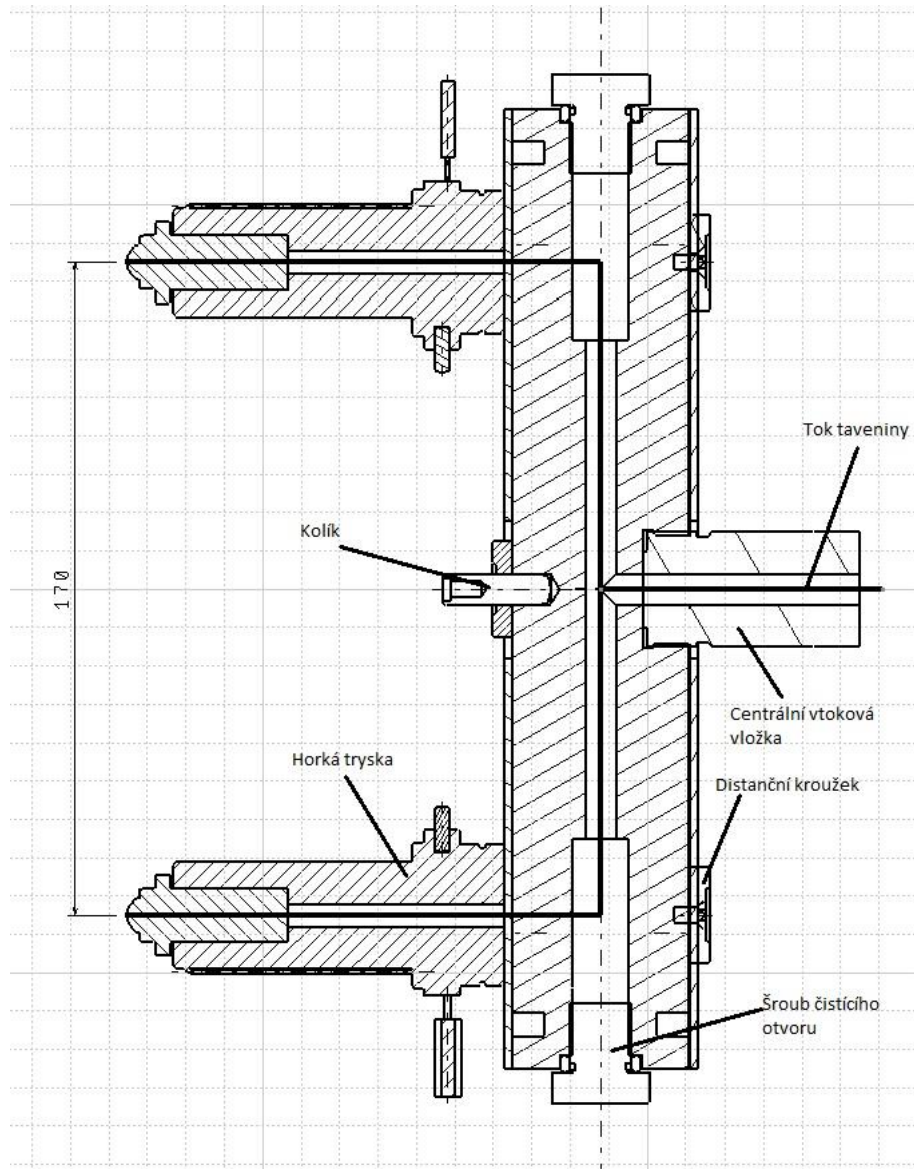
Pravá část se skládá z izolační desky, upínací desky, desky pro vyhřívání bloku, desky na přidržení trysky, kotevní desky a dvou tvárnic. Nachází se zde i vyhřívání blok s tryskami, temperační systém, elektrická zásuvka s kabeláží a vodící kolíky.



Obr. 24 Pravá část formy

8.5 Vtokový systém

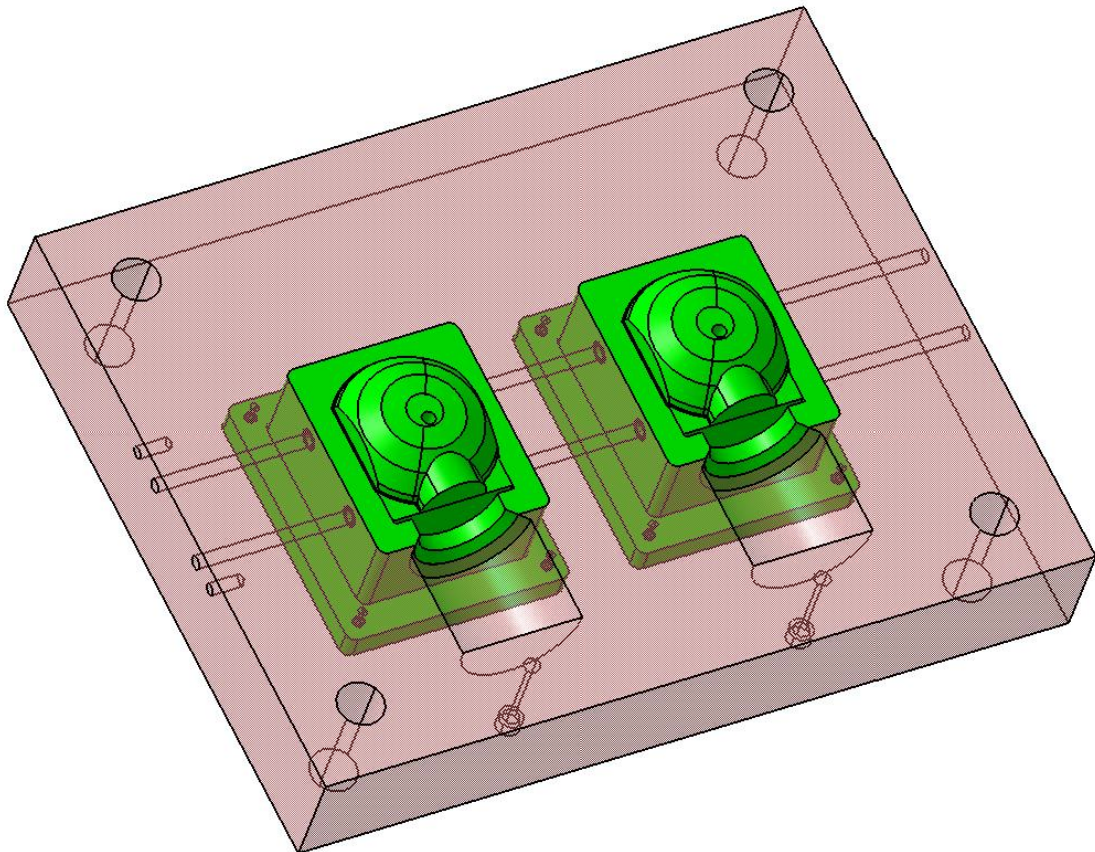
Pro daný výrobek byla zvolena vyhřívaná vtoková soustava. Vtoková tryska vede přes desku pro přidržení trysky přes kotevní desku až do tvárnice, kde protéká tavenina přímo do tvarové dutiny. Pro trysku jsou v deskách vyfrézovány drážky proti pootočení.



Obr. 25 Schéma vyhřívaného vtokového vtoku [14]

8.6 Násobnost

Při volbě násobnosti formy bylo zohledněno více parametrů. V potaz byl brán charakter a přesnost výrobku, velikost a kapacitu vstřikovacího stroje, požadované množství výrobků a taktáž ekonomiku výroby. Pro násobnost bylo zadáno řešení dvojnásobné formy.



Obr. 26 Schéma násobnosti formy

8.7 Odvzdušnění formy

Dutina formy je před vstřikováním naplněná vzduchem. Při plnění tvarové dutiny taveninou je třeba zajistit únik nežádoucího vzduchu a případných spálených míst na výstřiku. Pro odvzdušnění při této konstrukci formy byla zvolená metoda odvzdušňovací vůlí mezi vyhazovači. Část nežádoucího vzduchu unikne i dělicí rovinou.

8.8 Temperace

Pro dodržení optimální délky vstřikovacího cyklu při zachování technologických požadavků na výrobu je nutné formu chladit. V tomto případě jsme vyvrtali temperační kanály do pravé tvarové desky a tvárnic. Průměr kanálů jsem zvolil 8mm. Temperační kanály proudí přes temperační můstek a jsou zvolené tak, aby rovnoměrně vedly temperační médium skrze tvárnice.

9 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Podle rozměrů formy byl ke vstřikování zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 630 S od německé firmy ARBURG.



Obr. 27 Vstřikovací stroj ALLROUNDER 630 S

Základní technické parametry stroje:

Tab. 3 Parametry uzavírací jednotky[17]

	Jednotka	Hodnota
Uzavírací síla	max. kN	2500
Výška formy	mm	300 - 700
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	mm	630 x 630
Otevírací zdvih	mm	900 - 1300
Vyhazovací zdvih	max. mm	225

ZÁVĚR

Výsledkem této bakalářské práce je, podle zadaných požadavků zmíněných v oficiálním zadání této práce, vytvořit a navrhnout vstřikovací formu pro zadaný výrobek. Konstrukce byla prováděna v programu CATIA V5R19 a výběrem normálií z katalogu HASCO, které byly importovány.

V teoretické části bakalářské práce jsem se zabýval vlastnostmi a rozdělením polymerů, dále principem činností vstřikování plastů a v neposlední řadě jsem se zabýval konstrukcí vstřikovacích forem.

Materiál pro výstřik byl zvolen ABS (Akrylonitrilbutadienstyren) s vlastnostmi, které splňují funkční a ekonomické požadavky.

Konstrukce se odvíjela od zadaného výrobku a násobnosti formy. Pro zaformování výstřiku byly navrženy tři tvarové vložky. Pro vstřikovací formu byl zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 630 S od německé firmy ARBURG. Při navrhování a konstrukci formy byla aplikována teoretická znalost zadaného tématu. Vtokový systém byl zadán horký. Temperační okruh je tvořen dvěma vrtanými kanály, které procházejí pravou kotevní deskou a oběma tvárnicemi. Temperační médium je voda. Vyhození výstřiku probíhá pomocí vyhazovacího systému s válcovými vyhazovači umístěných v levé části formy a tvarovou vložkou, která se pohybuje pomocí šikmého čepu v táhle. Odvzdušnění formy probíhá přes dělicí rovinu a vůli ve vyhazovačích. Pro lepší manipulaci formy byly připevněny transportní oka do levé i pravé části formy.

Závěrem bylo vytvoření 3D modelu formy a výrobku. Následovala tvorba výkresové dokumentace, kde bylo nutné nakreslit sestavu vstřikovací formy včetně kusovníku dle zásad technického kreslení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] UNGER, Peter. 2006. *Gastrowinjectionmolds*. 4. vyd. Munich : Carl HanserVerlag, 2006. 335 s. ISBN 978-3-446-40592-9
- [2] DLUHOŠ, Jindřich. 1998. *Materiály a technologie: Plasty a vybrané nekovové materiály*, 3. vyd. Ostrava: OU, 1998. 141 s. ISBN 80-7042-131-2
- [3] VESELÝ, K.: *Polymery – struktura, syntézy, vlastnosti, zpracování*. 1. vyd. Brno: Česká společnost průmyslové chemie, 1992, 177s., ISBN 80-02-00951-7.
- [4] MAŇAS, Miroslav; HELFŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení. Gumárenské a plastikářské stroje. Díl 2*. VUT Brno, 1987, 199s
- [5] KAZMER, David O. 2007. *Injectionmold design engineering*. 1. vyd. Munich : Carl HanserVerlag, 2007. 423 s. ISBN 978-3-446-41266-8
- [6] ZEMAN, Lubomír. 2009. *Vstřikování plastů*. 1. vyd. Praha : BEN, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3
- [7] STANĚK, M. *přednášky T5KF*
- [8] SEDIL, M.: *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. 1. vyd. Střední odborné učiliště Svitavy, 2015, ISBN 978-80-88-058-71-7. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [9] BOBČÍK, L. a kol.: *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. UNIPLAST Brno, 1999, 134s.
- [10] BOBČÍK, L. a kol.: *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. UNIPLAST Brno, 1999, 214 s.
- [11] MALLOY, Robert A. 1994. *Plastic part design for injection molding*. 1. vyd. Munich: Carl HanserVerlag, 1994. 460 s. ISBN 978-3-446-15956-3
- [12] LENFELD, Petr. *Technologie II. - Vstřikování plastů* [online]. Technická univerzita Liberec. [cit. 2013-12-28]. Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [13] MÉZL, Milan. *Základy technologií vstřikování plastů* Maprospol.s.r.o., Olomouc: 2012. 301 s. ISBN 978-80-970749-7-5

- [14] BARTOŠ, Lukáš. *Konstrukce vstřikovací formy pro zadaný díl*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012, 67 s. (62 900 znaků). Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/21716>
- [15] HASCO [online]. Dostupné z WWW: <http://www.hasco.com/hasco/en/>
- [16] DASSAULT SYSTEMES [online]. Dostupné z WWW: <http://www.3ds.com/>
- [17] ARBURG [online]. Dostupné z WWW: <http://www.arburg.com>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvojměrný
3D	Trojměrný
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PVC	Polyvinylchlorid
PMMA	Polymethylmetakrylát
HDPE	Vysokohustotnípolyethylen
SAN	Styrene acrylonitrile
PSU	Polysulfone
LDPE	Nízkohustotnípolyethylen
POM	Polyformaldehyd
PE	Polyolefiny
PS	Styrenové polymery
PA	Polyamidy
PC	Polykarbonát
MPa	Megapascal
Cu	Měď
Al	Hliník
m	Metr
s	Sekunda
kN	KiloNewton
h	Hodina
°	Stupeň
%	Procento
g	Gram
mm	Milimetr

°C	Stupeň celsia
cm ³	Kubický centimetr
R	Poloměr
min	Minuta
N	Newton
h	Hodina
t	Tun

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Dělení polymerů podle aplikace a nadmolekulární struktury</i>	12
<i>Obr. 2 Rozdělení polymerů</i>	13
<i>Obr. 3 Struktura reaktoplastu</i>	13
<i>Obr. 4 Struktura termoplastu</i>	14
<i>Obr. 5 Průběh smrštění výstřiku</i>	16
<i>Obr. 6 Teplota stěny formy</i>	18
<i>Obr. 7 Schéma vstřikovacího stroje[12]</i>	19
<i>Obr. 8 Schéma vstřikovacího cyklu</i>	20
<i>Obr. 9 Schéma tavicí komory šnekového stroje[12]</i>	21
<i>Obr. 10 Schéma vstřikovací formy</i>	22
<i>Obr. 11 Schéma horkého vtokového bloku</i>	26
<i>Obr. 12 Studený vtokový systém formy</i>	27
<i>Obr. 13 Uspořádání vtokových systémů</i>	28
<i>Obr. 14 Typy vyhazovacích kolíků</i>	30
<i>Obr. 15 Model vstřikované součásti</i>	40
<i>Obr. 16 Vstřikovací forma</i>	43
<i>Obr. 17 Schéma volby dělicí roviny</i>	44
<i>Obr. 18 Tvárník</i>	45
<i>Obr. 19 Tvárnice</i>	46
<i>Obr. 20 Tvarová vložka</i>	47
<i>Obr. 21 Vyhazovací systém formy</i>	48
<i>Obr. 22 Naznačení směru čepu a táhla při vyhození výrobku</i>	48
<i>Obr. 23 Levá část formy</i>	49
<i>Obr. 24 Pravá část formy</i>	50
<i>Obr. 25 Schéma vyhřívaného vtokového vtoku [14]</i>	51
<i>Obr. 26 Schéma násobnosti formy</i>	52
<i>Obr. 27 Vstřikovací stroj ALLROUNDER 630 S</i>	53

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Doporučené teploty taveniny a formy při temperaci</i>	35
<i>Tab. 2 Vlastnosti ABS (Akrylonitrilbutadienstyren) [3]</i>	41
<i>Tab. 3 Parametry uzavírací jednotky[17]</i>	53

SEZNAM PŘÍLOH

- P1 CD-ROM, který obsahuje - textový soubor s bakalářskou prací
- výkres sestavy včetně kusovníku
- výkresy levé a pravé části formy
- P2 Výkres sestavy
- P3 Řez B-B
- P4 Kusovník
- P5 Pohled do levé části formy
- P6 Pohled do pravé části formy