

Návrh vstřikovací formy pro výrobu ochranné krytky konektoru

Andrea Šuláková

Bakalářská práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Andrea Šuláková**
Osobní číslo: **T20277**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro výrobu ochranné krytky konektoru**

Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii pro dané téma.
2. Provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti.
3. Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl.
4. Nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s výkresy a kusovníkem.

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.

OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6

REES, Herbert. Mold engineering. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2023**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 22. února 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro výrobu ochranné krytky konektoru. Teoretická část práce uvádí popis materiálů, technologie vstřikování a zásady pro konstrukci dílů i forem. Praktická část popisuje zvolený výrobek a postup návrhu konstrukce nástroje pro jeho výrobu v softwaru CATIA V5R19. Konstrukční řešení je doplněno o tokové simulace v programu Moldex3D a výkres sestavy společně s kusovníkem.

Klíčová slova: vstřikování plastů, vstřikovací forma, konstrukce, krytka konektoru, simulace

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of an injection mold for the production of a protective connector cover. The theoretical part of the thesis presents a description of materials, injection molding technology and principles for the design of parts and molds. The practical part describes the chosen product and the procedure of designing its tooling in CATIA V5R19 software. The design solution is complemented by flow simulations in Moldex3D and drawing of the assembly together with a bill of materials.

Keywords: injection molding, injection mold, construction, connector cover, simulation

Tímto chci poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Martinu Ovsíkovi Ph.D., za čas, rady a trpělivost, jenž mi poskytoval při vedení této práce. Dále bych chtěla poděkovat Bc. Davidu Pohůnkovi za dlouholeté zkušenosti, které mi předal. V poslední řadě děkuji rodině a nejbližším za to, že mi věnovali podporu a prostor ke studiu.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I. TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY	11
1.1 PLASTY	11
1.1.1 Termoplasty.....	11
1.1.2 Reaktoplasty.....	12
1.2 ELASTOMERY	12
1.2.1 Termoplastické elastomery	12
1.3 MOLEKULÁRNÍ STRUKTURA	12
1.4 NADMOLEKULÁRNÍ STRUKTURA	13
1.4.1 Amorfní	13
1.4.2 Semikrystalická	14
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	15
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	15
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	16
2.2.1 Vstřikovací jednotka	17
2.2.2 Uzavírací jednotka	18
2.2.3 Řídící a kontrolní jednotka.....	19
2.2.4 Periferní zařízení	19
3 KONSTRUKCE PLASTOVÝCH VÝROBKŮ	20
3.1 TLOUŠŤKA STĚN	20
3.2 ZAOBLNĚNÍ HRAN A ROHŮ	21
3.3 ÚKOSY A PODKOSY.....	22
3.4 ŽEBRA	23
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	25
4.1 RÁM FORMY	26
4.2 NÁSOBNOST	27
4.3 VTOKOVÉ SYSTÉMY	28
4.3.1 Studené vtokové systémy	28
4.3.2 Horké vtokové systémy	31
4.4 VYHAZOVCÍ SYSTÉMY.....	32
4.5 TEMPERACE.....	32
5 CAE ANALÝZA	33
II. PRAKTICKÁ ČÁST	34
6 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	35

7	VÝROBEK	36
7.1	MATERIÁL VÝROBKU	36
8	KONSTRUKCE FORMY	37
8.1	VOLBA DĚLICÍ ROVINY	37
8.2	VOLBA NÁSOBNOSTI.....	38
8.3	TVAROVÉ ČÁSTI	39
8.4	BOČNÍ POSUVNÝ SYSTÉM	41
8.5	RÁM FORMY	42
8.6	VTKOVÝ SYSTÉM	43
8.6.1	Studený vtokový systém	43
8.6.2	Horký vtokový systém	44
8.7	ODVZDUŠNĚNÍ.....	44
8.8	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	45
8.9	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	47
8.10	VEDENÍ A STŘEDĚNÍ FORMY	48
8.11	TRANSPORT	49
9	TOKOVÁ ANALÝZA	50
9.1	ČAS PLNĚNÍ	51
9.2	TEPLOTA TAVENINY	52
9.3	ČAS DOSAŽENÍ VYHAZOVACÍ TEPLoty	53
9.4	ÚČINNOST CHLAZENÍ.....	53
9.5	SMRŠTĚNÍ.....	54
9.6	VSTŘIKOVACÍ CYKLUS VÝROBKU	55
10	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	56
	ZÁVĚR	57
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	58
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM TABULEK	66
	SEZNAM PŘÍLOH	67

ÚVOD

První syntéza polymerů byla nenahraditelným objevem pro lidstvo. Od počátku 20. století tyto látky prochází prudkým rozvojem a dnes už si bez nich nelze představit každodenní život. Své nezastupitelné místo nachází při balení potravin, výrobě textilních vláken, v automobilovém průmyslu a mnoho dalších odvětvích. Polymery disponují širokou škálou vlastností, mezi ty nejvýznamnější patří nízká měrná hmotnost, dobré izolační schopnosti nebo odolnost proti korozi.

Ruku v ruce s rozvojem materiálů jdou také technologie, kterými je lze zpracovávat. V současnosti je nejrozšířenější vstřikování, vytlačování, lisování a válcování, popřípadě kombinace těchto technologií. Samotné vstřikování umožňuje s vysokou produktivitou vyrábět i velmi tvarově složité díly dobré jakosti, avšak za cenu vysoké pořizovací ceny nástroje. Z této technologie už se vyvinuly mnohé další jako vstřikování s podporou vody (WIT), plynu (GIT) nebo mikrovstřikování. Hojně využití ve zlepšování procesu nalézají také aditivní technologie, konkrétně 3D tisk z kovu nebo plastu, který umožňuje například výrobu prototypových dílů.

Od příchodu 3. průmyslové revoluce nastal rozmach počítačové techniky a jejího softwarového vybavení. Díky tomu dnešní konstruktéři již nerýsují ručně, ale pomocí 2D a 3D programů jako CATIA, NX, SolidWorks a dalších. To umožňuje urychlení procesu, vizualizaci a případně snadné provedení změn v návrhu tak složitého nástroje, jakým vstřikovací forma je. V posledních letech se stále více používají CAE analýzy, které simulují tokové chování polymerní taveniny v dutině formy. S využitím analýzy lze ušetřit nemalé náklady spojené se špatným návrhem formy, zvětšit procesní okno nebo optimalizovat cyklus. Z těchto ekonomických důvodů se v praxi čím dál více používají.

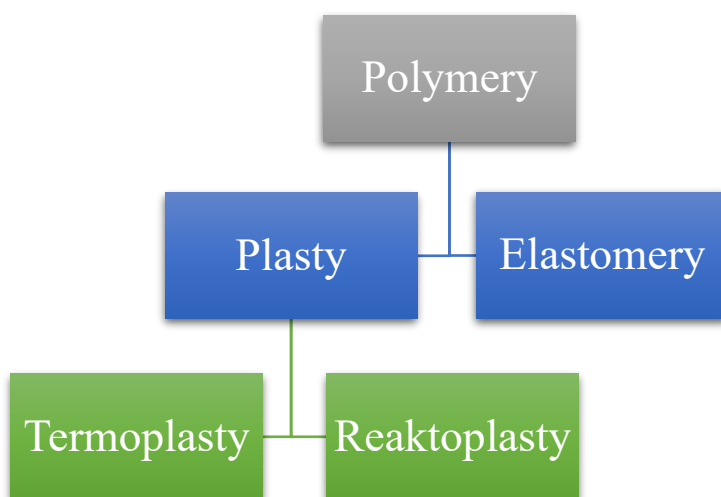
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymerní materiály mají díky svým jedinečným vlastnostem nepostradatelné využití v každodenním životě. Své uplatnění nachází především v elektronice, stavebnictví, obalovém nebo automobilovém průmyslu. [1]

Jedná se o makromolekulární látky, jejichž řetězec se skládá ze základní stavební jednotky – meru. Od nízkomolekulárních látek se odlišují vysokou relativní molekulovou hmotností. Jednotlivé atomy nebo skupiny atomů jsou spojeny kovalentní i vazbami. [1], [2], [3]

Technologií vstřikování se nejčastěji zpracovávají termoplasty, v omezené míře pak reaktoplasty a elastomery. Rozdělení polymerů podle chování za působení teploty uvádí následující obrázek (Obr. 1).



Obr. 1 Rozdělení polymerů [4]

1.1 Plasty

Plasty jsou polymerní materiály, které jsou za obvyklých podmínek tvrdé a křehké. Vlivem zvýšené teploty jsou plastické a tvarovatelné. Podle tepelného chování je můžeme rozdělit dále na termoplasty a reaktoplasty. [2], [5]

1.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou plasty, které mají schopnost opakovaně tuhnout a měknout vlivem zvýšené teploty a tlaku. Limitujícím faktorem opakovaného zpracování je chemická degradace materiálu v průběhu zpracovatelského cyklu. [2], [5]

1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou polymery, které vlivem nevratné chemické reakce (vytvrzování) ztrácejí svůj termoplastický charakter. Při vytvrzování se mění lineární řetězec na zesíťovaný. Tyto polymerní materiály není možné opakovaně zpracovávat jako to bylo v případě termoplastů. Výrobky z reaktoplastů jsou velmi chemicky a tepelně odolné, tvrdé a tuhé. [2], [4]

1.2 Elastomery

Elastomery jsou polymery, u kterých za působení nevratné chemické reakce (vulkanizace) vzniká řídká síť. Tato síť umožňuje velké elastické deformace vlivem působení malé síly. Vulkanizací gumárenské směsi za působení vulkanizačního činidla a zvýšené teploty vzniká pryž. Oblast použití pryžových výrobků je při pokojové teplotě, a proto jejich teplota skelného přechodu bývá výrazně nižší než 0 °C. [3], [4], [6]

1.2.1 Termoplastické elastomery

Přechodem mezi elastomery a termoplasty jsou termoplastické elastomery. Vzhledem k minimálnímu obsahu dvojných vazeb jsou tyto polymery velmi odolné vůči degradaci. Řetězec je spojen pouze fyzikální reakcí, a tak je možné je opakovaně zpracovávat. Technologií vstřikování se zpracovávají obdobně jako termoplasty, avšak po ochladnutí získávají vlastnosti elastomerů. [6]

1.3 Molekulární struktura

Polymery mají velmi širokou škálu vlastností. Při zpracovatelských procesech je nutné znát vliv molekulární struktury na výsledné vlastnosti polymerních látek, a to jsou například:

- typ monomeru,
- chemická vazba mezi strukturními jednotkami,
- stupeň polymerace,
- druh řetězce,
- reakce chemicky odlišných polymerů v polymerním řetězci (kopolymerace),
- konstituce kopolymerů,
- mezimolekulární síly. [1]

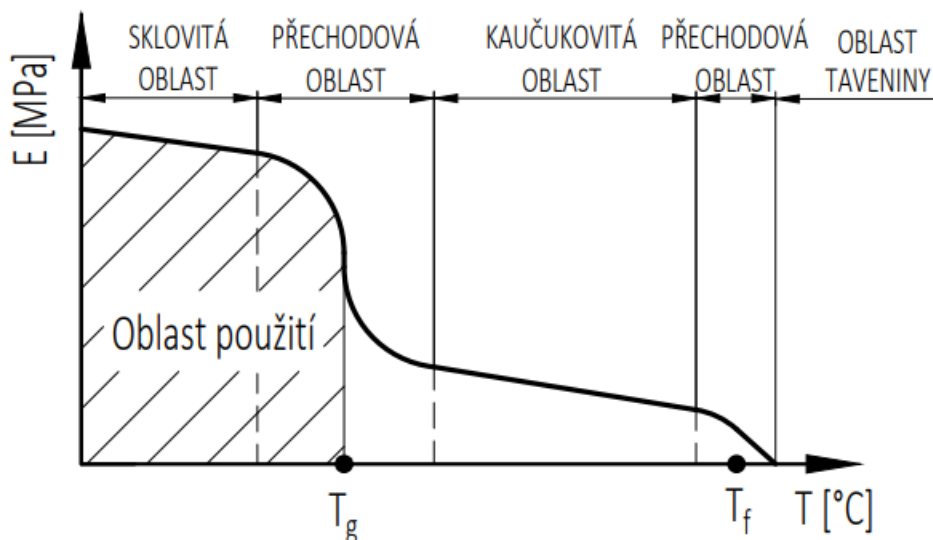
Dále můžeme molekulární strukturu dělit na konstituci, konfiguraci a konformaci. Konstituce pojednává o chemickém složení dané látky. Konstituční jednotky jsou nejčastěji tvořeny atomy C, H, O, N, Cl a F. Konfigurace uvádí prostorové uspořádání atomů makromolekuly. Toto uspořádání lze změnit rozštěpením chemické vazby. Konformace je okamžité prostorové uspořádání v makromolekule. Atomy nebo skupiny atomů se otáčejí kolem jednoduché vazby, a tak se konformace v čase stále mění. [1], [2]

1.4 Nadmolekulární struktura

Schopnost krystalizace je jedna z odlišností polymerů od nízkomolekulárních látek. Makromolekuly však nemají dobré podmínky pro tvorbu uspořádané struktury, a tak polymery mohou krystalizovat buď jen částečně, anebo vůbec. Částečně krystalické polymery se nazývají semikrystalické, ty bez schopnosti krystalizovat jako amorfni (beztvaré). Další odlišnost od nízkomolekulárních látek jsou fázové oblasti – sklovitá, kaučukovitá a oblast taveniny. V určitých oblastech teplot je možné pozorovat náhlé změny vlastností, která jsou definovány jako přechodové teploty – T_g , T_m a T_f . Teoretická hranice použitelnosti plastu je s ohledem na spolehlivou funkci dílu o 10 až 40 °C nižší než přechodová teplota, u které dochází k výrazné ztrátě vlastností. [2], [4], [7]

1.4.1 Amorfni

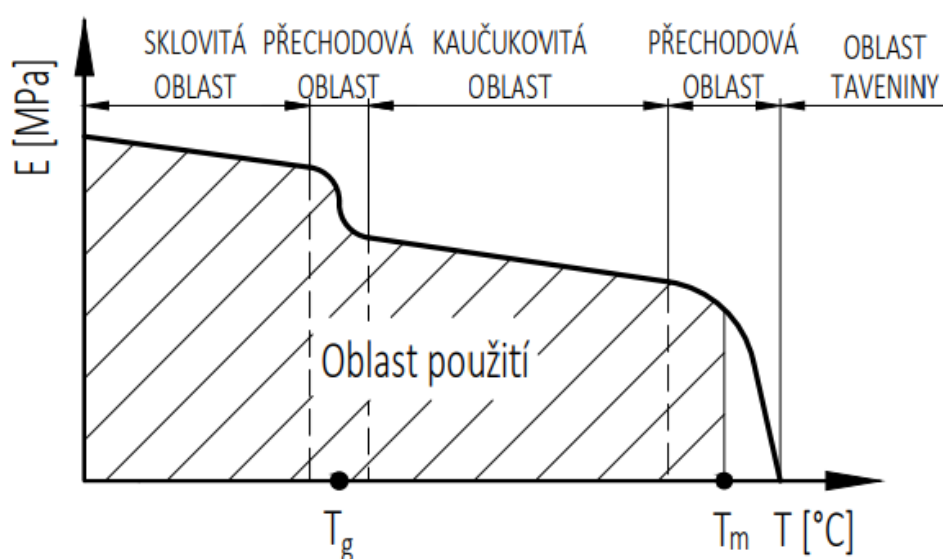
Řetězce amorfni polymerů vykazují vysoký stupeň neuspořádanosti a zaujímají nejvýhodnější energetickou konformaci. Jedná se o látky tvrdé, křehké, a dobře rozpustné v organických rozpouštědlech. Díky absenci fázových rozhraní jsou transparentní. Půžitelnost výrobků z amorfni polymerů je pod teplotou skelného přechodu T_g . Příklad amorfniho plastu je PC, PMMA nebo ABS. [1], [2], [4], [7]



Obr. 2 Charakteristické oblasti amorfních polymerů [4]

1.4.2 Semikrystalická

Jak už bylo výše zmíněno, polymery nemohou krystalizovat na 100 %. Podíl krystalické struktury se pohybuje v rozmezí 30 až 80 %, zbytek tvoří amorfni matrice. S rostoucím podílem krystalinity jsou změny chování kolem T_g méně výrazné. Samotná krystalizace může být samovolná nebo za určitých podmínek (snížení teploty, působení deformační síly). Semikrystalické polymery jsou látky pevné, houževnaté, špatně rozpustné nebo nerozpustné v organických rozpouštědlech. Oblast použití výrobků ze semikrystalických polymerů je pod teplotou tání T_m . Hlavní zástupci jsou PP, PE nebo PBT. [2], [4]



Obr. 3 Charakteristické oblasti semikrystalických plastů [4]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je nepoužívanější technologie pro výrobu plastových dílů. Jedná se o složitý fyzikální proces, na kterém se podílí polymer, forma a stroj. Jak už bylo v předchozí kapitole zmíněno, nejčastěji se vstřikují termoplasty. Princip spočívá ve vstříknutí roztaveného polymeru pod tlakem do dutiny formy, kde ochladnutím dojde k zafixování tvaru a rozměrů. [8], [9]

Vstřikováním se vyrábí díly, které mají výbornou kvalitu povrchu, tvarovou i rozměrovou přesnost. Výrobky mohou být malých i velkých objemů, detailní a tvarově složité. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady na stroj i nástroj, a tak je tato technologie vhodná spíše pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [8], [10]

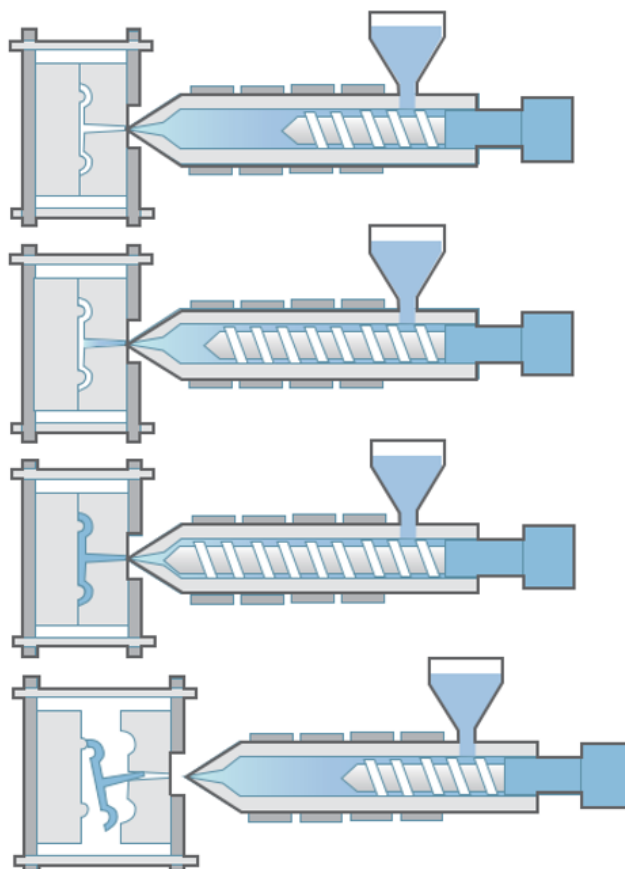
2.1 Vstřikovací cyklus

Technologie vstřikování je proces, který je diskontinuální a cyklický. Vstřikovacím cyklem se rozumí sled operací, které se podílí na výrobě vstřikovaného dílu. Obecně je snahou dobu vstřikovacího cyklu minimalizovat, což vede k úspoře nákladů. Před začátkem výroby je nutné formu upnout na vstřikovací stroj a temperovat na požadovanou teplotu. Během cyklu vstřikovaný materiál prochází teplotními i tlakovými změnami. Samotný cyklus začíná uzavřením vstřikovací formy. [10], [11], [12]

Vstřikovací cyklus lze rozdělit do čtyř fází, které se překrývají:

- 1) Fáze zavírání formy:** Vstřikovací forma se zavře a tryska plastikační jednotky dosedne na vtokovou vložku. U formy s horkým vtokovým systémem plastikační jednotka nemusí měnit polohu. Šnek vstřikovacího stroje se otáčí a zároveň odjíždí dozadu. [12], [13], [14]
- 2) Fáze vstřikování a dotlaku:** Dopředným pohybem šneku je tavenina protlačena z pracovního válce vtokovým systémem až do tvarové dutiny formy. Vrstva taveniny zatuhne okamžitě při kontaktu s chladnými stěnami formy. Tyto objemové změny způsobené chladnutím materiálu je nutné kompenzovat fází dotlaku. Dotlak doplňuje taveninu do nezchladlých míst vstřikovaného dílu a minimalizuje vznik vad. Dotlakem lze působit do zatuhnutí vtokového ústí. [13], [14]
- 3) Fáze chlazení a plastikace:** Po skončení dotlaku plastikační jednotka odjíždí a začíná připravovat materiál pro další cyklus. Mezitím se v uzavřené formě výrobek chladí na vyhazovací teplotu. [12], [14]

- 4) **Fáze otevírání formy a vyhazování výrobku:** Ve chvíli, kdy je výrobek dostatečně ochlazen, forma se otevře a výrobek je pomocí vyhazovacího systému vyhozen z dutiny formy, kde chladne na teplotu okolí. [13], [14]



Obr. 4 Schéma průběhu vstřikovacího cyklu [15]

2.2 Vstřikovací stroj

Technologie vstřikování je realizována na vstřikovacím stroji, který zpracovává polymer nejčastěji ve formě granulí. Stroj se skládá ze dvou vzájemně nezávislých částí, a to uzavírací a vstřikovací jednotky, které jsou ovládány kontrolní a řídicí jednotkou. Je nutné, aby byl stroj, nástroj i periferie připojeny ke zdroji elektrické energie, vodnímu okruhu a eventuálně také ke zdroji tlakového vzduchu. Vstřikovací stroje je možné dělit například podle typu pohonu na elektrické, hydraulické a hybridní. Podle pracovního členu na šnekové a pístové, přičemž pístové jsou dnes převážně vytlačeny šnekovými. Dále podle směru posuvu pohyblivé desky na horizontální a vertikální. Výrobci strojů také nabízí sloupkové i bezsloupkové konstrukční řešení uzavírací jednotky. [13]



Obr. 5 Vstřikovací stroj [16]

1 – uzavírací jednotka, 2 – řídicí a kontrolní jednotka,
3 – vstřikovací jednotka

Nejdůležitější parametry pro volbu stroje:

- uzavírací síla,
- vzdálenost mezi vodicími sloupky,
- kapacita plastikační jednotky. [17]

Mimo tyto parametry je potřeba brát ohled i na cenu a přesnost výrobku, požadavky zákazníka nebo strojový park instituce. Pro správnou funkci stroje je nutná pravidelná údržba, která zahrnuje například čištění hydraulického média nebo jeho výměnu. [17], [18]

2.2.1 Vstřikovací jednotka

Hlavní úkoly vstřikovací jednotky jsou doprava polymeru, jeho plastikace, vstřikování do dutiny formy a dotlak. Dalším úkolem je v každém cyklu připravit stejné množství homogenní taveniny, což zajišťuje reprodukovatelnost kvality výrobků. Materiál v podobě granulí putuje z násypky do pracovního prostoru, kde se otáčí šnek, který zároveň odjíždí dozadu. Před vstupem do pracovního válce musí být materiál zbaven přebytečné vlhkosti. Polymer se pohybuje směrem od násypky, vlivem disipace a ohřevu pomocí topných těles se taví a hromadí před čelem šneku. Když je plastikace materiálu dokončena, šnek se přestane otáčet a pomocí hydraulického tlaku nebo elektrického motoru dopředným pohybem vstříkne materiál přes vtokový rozvod do dutiny formy. Pohyb vstřikovací

jednotky je umožněn díky uložení na pohyblivé konzoli, jenž musí zajistit těsné a přesně centrované dosednutí trysky na vtokovou vložku formy. [8], [13], [17]



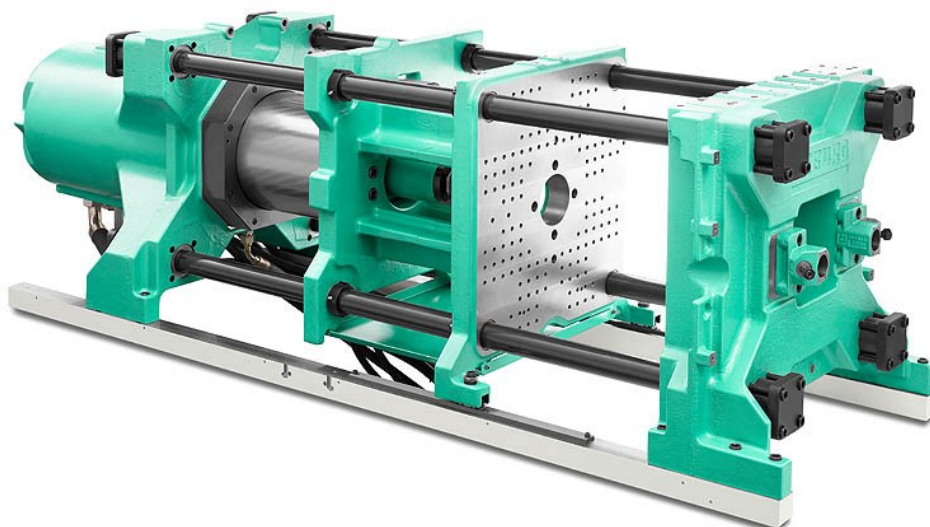
Obr. 6 Vstřikovací jednotka [15]

Zpětný ventil zabraňuje úniku taveniny zpět do drážek šneku. Jedná se o jedno z nejdůležitějších zařízení celého stroje. Nejčastější konstrukční řešení je typ posuvný kroužek – sedlo. Při zpětném pohybu šneku materiál odtlačí posuvný kroužek ze sedla a tím vytvoří před čelem šneku dávku materiálu zvanou polštář. Ve chvíli, kdy šnek funguje jako píst, působením odporu taveniny dosedne uzavírací kroužek na sedlo, a tím prostor utěsní. [18]

Kapacita plastikační jednotky musí být větší než součet objemů všech výrobků včetně vtokového systému s rezervou 20 %. V ideálním případě by se na jeden cyklus mělo vyprázdnit 50 % kapacity pracovního válce, ale zároveň by vstřikovaná dávka neměla být menší než 20 % a větší než 80 %. [17]

2.2.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je plynule otevírat a uzavírat formu v průběhu vstřikovacího cyklu. Uzavírací mechanismus musí vyvinout dostatečnou sílu, aby zabránil otevření formy ve fázi vstřikování a dotlaku v důsledku vstřikovacího tlaku. Základní části uzavírací jednotky jsou u sloupkových konstrukcí vodící sloupky, pevná a pohyblivá upínací deska stroje s upínacím mechanismem a uzavírací mechanismus. Pohyblivá strana formy (levá) je upnuta na pohyblivou upínací desku stroje a analogicky pevná strana formy (pravá) na pevnou upínací desku stroje. Forma se upevní na stroj pomocí upínek, bajonetového systému nebo magnetického upínání. Uzavírací mechanismy jsou hydraulické, hydraulicko-mechanické a elektro-mechanické. [11], [13], [14]



Obr. 7 Uzavírací jednotka [16]

Stanovení maximální potřebné uzavírací síly stroje je možné ze stanovení plochy průmětu výrobku (včetně vtokového systému) do dělicí roviny vztažené na tlak v dutině formy. Dále je možné stanovit hodnotu vstřikovacího tlaku z nomogramů, tabulek a grafů. Nejpřesněji lze určit hodnotu uzavírací síly pomocí počítačových simulací v programech např. Moldflow nebo Moldex3D. [18]

2.2.3 Řídící a kontrolní jednotka

Interakce mezi vstřikovacím strojem, formou a periferiemi je řízena technologickými parametry jako je tlak, teplota, čas, dráha a rychlost. K monitorování a řízení těchto veličin slouží kontrolní a řídicí jednotka, která se skládá z ovládacích prvků. Ovládací panel je nejčastěji umístěn mezi vstřikovací a upínací jednotku (Obr. 5), kde má obsluha přístup k nastavení stroje pomocí grafického displeje HMI (rozhraní člověk – stroj). Signály z pozicních senzorů, časovačů a jiných snímačů jsou zpracovány pomocí PLC. Teplota formy i stroje je řízena regulátory teploty. Všechna výše zmíněná zařízení jsou závislá na napájení, a tak vyžadují příslušné rozvody elektrické energie. [13], [14]

2.2.4 Periferní zařízení

Pro správnou funkci technologie vstřikování, optimální kvalitu výrobku nebo zvýšení automatizace výroby musí ke stroji připojena periferní (přídavná) zařízení, která nejsou přímou součástí vstřikovacího stroje. Nezbytným příslušenstvím je temperační jednotka, která realizuje optimální tepelné podmínky ve formě. Dále je snaha zefektivnit proces pomocí robotů, manipulátorů nebo dopravníkových systémů, které jsou kolem stroje sestaveny tak, aby byl celý proces s co nejvyšším stupněm automatizace. [13]

3 KONSTRUKCE PLASTOVÝCH VÝROBKŮ

Návrh plastových dílů je náročný úkol, při kterém je potřeba zvážit mnoho aspektů. Konstruktor výrobku musí posoudit, zda lze součást vyrobit jako celek, jsou-li požadované tolerance v souladu se způsobem výroby, další použití (montáž, svařování, lakování), očekávanou cenu, estetické a funkční vlastnosti a mnoho dalších. Faktory se mohou vzájemně prolínat, a tak celkový návrh vyžaduje úzkou spolupráci konstruktéra výrobku a formy. [17]



Obr. 8 Faktory ovlivňující návrh výrobku [17]

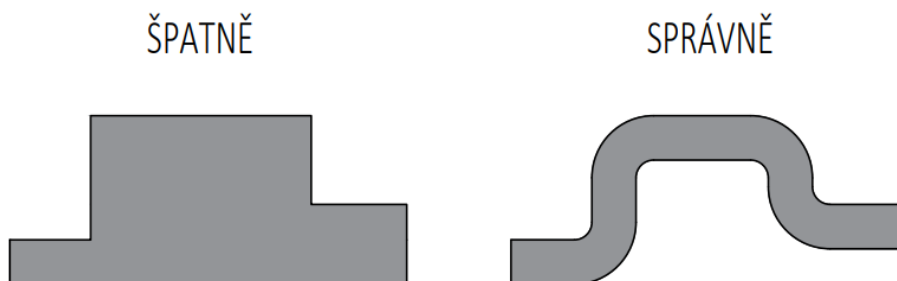
Mimo tyto faktory je potřeba znát zásady a doporučení při konstrukci plastových dílů, o kterých bude hovořeno v následujících kapitolách. Dodržení těchto zásad minimalizuje vznik smrštění, deformací, reziduálních napětí a jiných problémů, které by ovlivnily výslednou kvalitu výrobku. [19], [20]

3.1 Tloušťka stěn

Vstřikované výrobky se nejčastěji vyrábí jako tenkostěnné, a právě tloušťka stěny hraje významnou roli na mechanické odolnosti, povrchových vlastnostech, estetice, zpracovatelnosti a ceně dílu. Optimalizace tloušťky je nejčastěji na základě kompromisu mezi pevností a hmotností nebo trvanlivostí a cenou. Při nesprávném návrhu mohou nastat problémy se smrštěním, plněním dutiny, vyhozením výrobku nebo příliš dlouhou dobou chladnutí. [8], [19]

Je snaha o rovnoměrnou tloušťku stěny, protože každá část s rozdílnou tloušťkou má rozdílné smrštění, což má za následek deformace výrobku a vznik reziduálních napětí. Kvůli

přechodům tavenina špatně obtéká rohy, vznikají mrtvá místa a tlak v průběhu vstřikování kolísá. Na výrobku v důsledku nedostatečného plnění vznikají propadliny, lunkry a vzduchové bubliny. Těmto problémům lze předcházet návrhem výrobku s konstantní tloušťkou stěny nebo alespoň bez výrazných přechodů. [8], [17]



Obr. 9 Tlustostěnný výrobek s přechody v tloušťce vs. tenkostěnný s rovnoměrnou tloušťkou stěny [21]

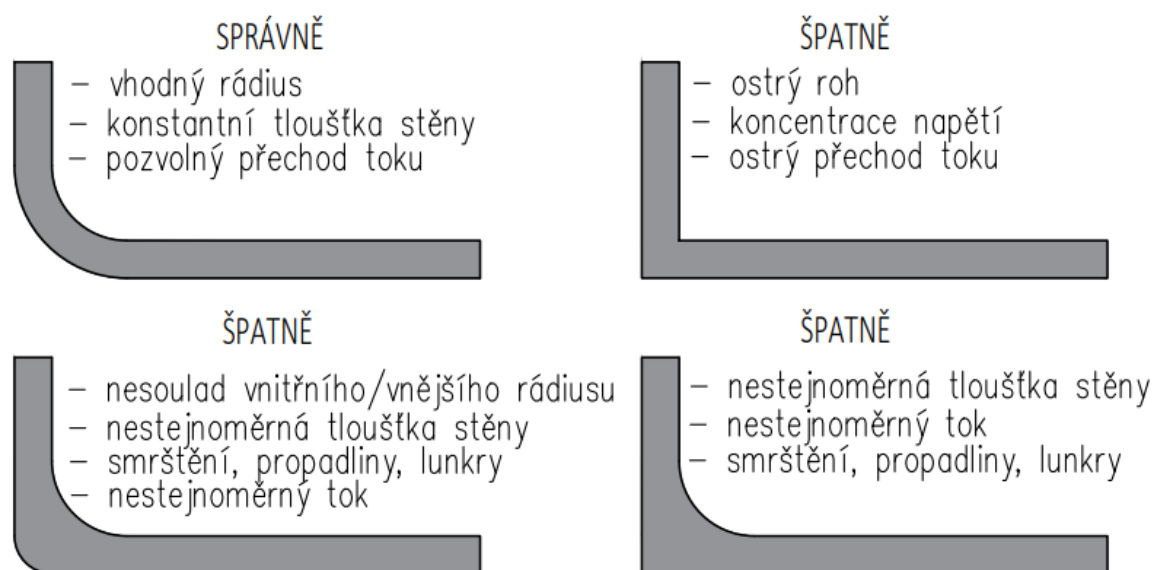
Zvýšení tloušťky stěny o 10 % navyšuje tuhost o 33 %, ale nese s sebou mnohá úskalí. Prodlužuje se doba cyklu, zvyšuje se hmotnost a rostou také náklady na materiál. Při požadavku zvýšení tuhosti mnohem vhodnější využití konstrukčních prvků jako např. žeber, o kterých bude podrobněji hovořeno v další kapitole. Vyšší tloušťky stěn mají za následek vzhledové vady ve formě propadlin. U tlustostěnných výrobků je vyvoláno větší smrštění než u tenkostěnných větším uzavřeným tepelným obsahem, který komplikuje efektivní využití dotlaku a zároveň dodržení rozměrů. [18], [19]

Nižší tloušťka stěny vede ke snížení nákladů na materiál a zkrácení výrobních cyklů díky kratší době chlazení. Naopak snížení tloušťky vede ke zvýšení vstřikovacího tlaku, možným problémům s plněním dutiny formy a vzhledovým vadám. Vzdálenost, kterou tavenina urazí od vtokového ústí do nevdálenějšího místa je limitována druhem materiálu a tloušťkou stěny. Například u dílu z materiálu ABS je doporučena tloušťka stěny v rozmezí 1,1 až 3,6 mm, její zvýšení z 1 mm na 2 mm prodlouží dobu chlazení 2,6× a sníží vstřikovací tlak přibližně 3×. [8], [17], [19]

3.2 Zaoblení hran a rohů

Ostré hrany a vruby mají negativní účinek na pevnost vstřikovaného dílu, protože zde vzniká koncentrace napětí a toto místo je pak náchylné k prasknutí vlivem mechanického namáhání. Nejcitlivější na vznik koncentrace napětí jsou vnitřní rohy, u kterých je doporučený rádius alespoň 50 % tloušťky stěny dílu. Velikost vnějšího rádiusu by měla být hodnota vnitřního zvýšená o tloušťku stěny. Je snaha vyvarovat se ostrým rohům, ale zároveň není nutné

opatřovat zaoblením všechny hrany, pokud by to mělo komplikovat zaformování, a tím zvyšovat náklady na výrobu formy. [17], [19], [21]



Obr. 10 Schéma vhodné a nevhodné konstrukce rádiusu [20]

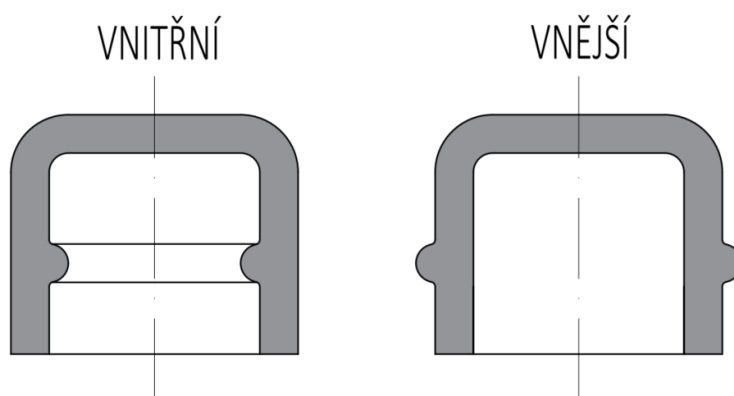
3.3 Úkosy a podkosy

Vstříkované výrobky se opatřují úkosy zejména kvůli zlepšení odformování a vyhození výrobku z formy. Úkos je žádoucí na ploše, která je rovnoběžná se směrem otevírání formy. Volba jeho velikosti se odvíjí od drsnosti povrchu dutiny formy, typu plastu, geometrie dílu a použitého druhu vyhazovacího systému. Minimální hodnota úkosu je nejčastěji $0,5^\circ$, přičemž běžně používány jsou hodnoty 1 až 2° . Semikrystalické plasty mají větší smrštění než amorfni, a tak vyžadují větší úkosy stejně jako povrchy drsné a dezénované, kdy hodnota dále roste s hloubkou dezénu. Použití menšího úkosu u žeber zvýší jejich tuhost, ale naproti tomu se mohou zalamovat v dutině. Tento problém může narůstat při vstříkování plněných materiálů s nízkým smrštěním do dutiny s vysokou drsností povrchu. [19], [22]



Obr. 11 Správně navržený výrobek s úkosem [19]

Podkosy oproti úkosům jsou spíše nežádoucím prvkem na vstříkovaných dílech, a tak je snaha se jim vyhýbat. Používají zejména z estetického a funkčního hlediska. Jejich použití na výrobku komplikuje odformování, vyhození, zvyšuje cenu nástroje a prodlužuje vstříkovací cyklus. V určitých případech je možné použít tzv. deformační odformování podkosů. Výrobek je tímto způsobem možné vyhodit nebo setřít pouze, je-li hloubka podkosu a jeho tvar navržen vhodně tak, aby umožnil přetažení přes příslušný díl vstříkovací formy. Při konstrukci formy je nutné uvažovat s tím, aby měl materiál prostor se elasticky deformovat. Tento způsob odformování není vhodný pro tuhé a křehké plasty. [19], [21]



Obr. 12 Přípustný vnitřní a vnější podkos [21]

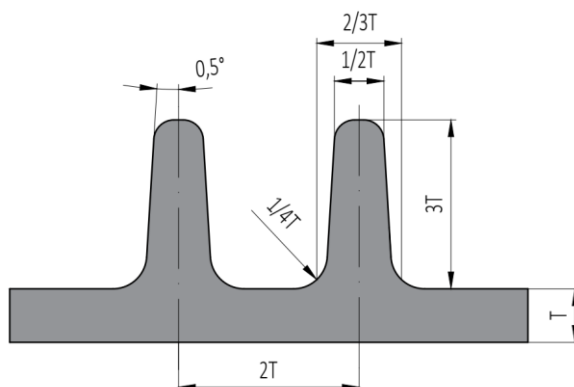
3.4 Žebra

Při požadavku na zvýšení tuhosti a pevnosti v ohybu je ekonomičtější možnost použití vyztužujících žeber než zvyšování tloušťky, které bylo vysvětleno v předchozí kapitole. [19], [21]



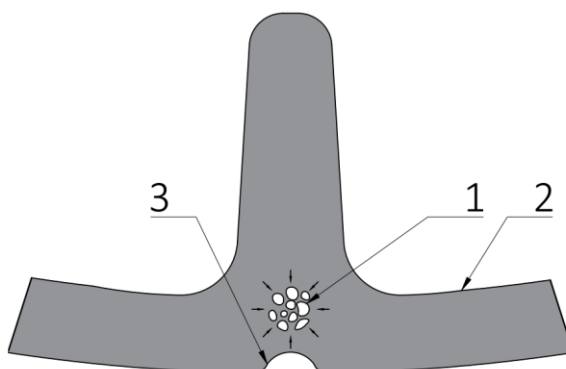
Obr. 13 Použití žeber [21]

Vhodný návrh jednotlivých parametrů žeber může předcházet problémům při výrobě. Platí, že je lepší použít více kratších žeber než jedno s velkými rozměry. Žebra je nutné opatřit úkosem $0-5^\circ$ na obou stranách, aby bylo možné je snadno odformovat z dutiny. Úkos by neměl být příliš velký, aby vrchní část žebra nebyla natolik zúžena, že by vznikaly problémy s plněním. [8], [17], [22]



Obr. 14 Ukázka návrhu rozměrů žeber [17]

Připojení žebra k hlavní stěně má za následek hromadění materiálu. V průběhu vstřikovacího cyklu tenké žebro chladne dříve než tlustší hlavní stěna, což má velký vliv na smrštění výrobku a jeho deformaci. Z tohoto důvodu také vzniká propadlina na protilehlé straně žebra, která na výrobku působí rušivě. Propadliny je možné kompenzovat speciálními tvarovými prvky nebo alespoň částečně opticky zakrýt. [8], [18], [19], [21]



Obr. 15 Vady při vstřikování žeber

1 – lunkry, 2 – deformace, 3 – propadlina [21]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je velmi složitý nástroj, při jehož konstrukci je potřeba vzít v úvahu velké množství vlivů. Bez kvalitně vyrobeného nástroje, správně navrženého výrobku, vhodně zvoleného materiálu a optimálních technologických podmínek není možné vyrábět díly požadované kvality. U konstrukce a návrhu nástroje by měl být brán zvláště zřetel na kvalitu, protože právě forma je z více než 60 % odpovědná za výslednou kvalitu výrobku. [17]

Hlavní funkce vstřikovací formy:

- určuje tvar vstřikovaného výrobku,
- rozvod taveniny do dutiny,
- odvod přebytečného vzduchu,
- rovnoměrné ochlazení výrobku,
- vyhození výrobku. [9]

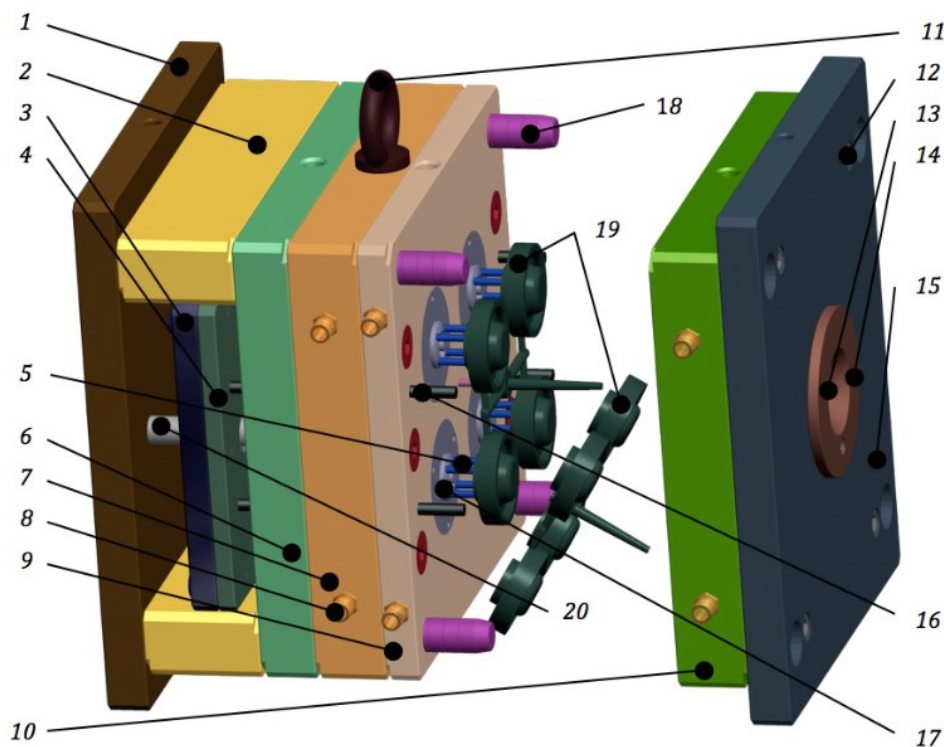
Mimo tyto hlavní funkce existuje nepřeberné množství dalších vlivů, které konstruktér formy musí zhodnotit. Mnohdy jsou tyto požadavky ve vzájemném konfliktu, kdy například temperační kanál je v místě, kde je ideální poloha pro umístění vyhazovače, a tak by výsledný návrh měl být kompromisem. V některých případech není nutné dodržet všechna pravidla, která se při návrhu formy doporučují, pokud by toto řešení vedlo ke zbytečnému zvyšování rozměrů formy a jejich výrobních nákladů. [19]

Vstřikovací formy je možné klasifikovat dle různých kritérií:

- dle násobnosti,
- dle počtu dělicích rovin,
- dle způsobu výroby,
- dle druhu vtokového systému,
- dle metody vyhození. [9]

4.1 Rám formy

Nejpoužívanější typ konstrukce je dvoudeskový systém formy (Obr. 16), jehož název vyplývá z toho, že právě dvě desky přichází do styku s roztaveným materiálem. Jednotlivé desky formy jsou vzájemně propojeny pomocí šroubů, nejčastěji s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Na obou stranách vstřikovací formy se nachází upínací desky, které slouží k upnutí na rám stroje. Na těchto deskách mohou být navíc izolační desky, jejichž význam spočívá v zabránění úniku tepla do rámu stroje a přenosu koroze. Kotevní desky jsou opatřeny tvarem výrobku nebo slouží k upevnění vložek, v kterých je negativ dutiny zobrazen. Toto řešení je v praxi více používané, protože části ve styku s taveninou musí být vyrobeny z odolnějších a dražších materiálů. Pouze pro ukotvení těchto vložek lze použít méně jakostní a tím pádem levnější materiály, a tím ušetřit náklady na výrobu. Na pravé straně nebo obou stranách formy se nachází středící kroužek, který zajišťuje, aby osa trysky stroje byla totožná s osou vtokové vložky formy. Zároveň je nutné, aby osa táhla vyhazovacích desek byla v ose stroje a nedocházelo tak k problémům s vyhazováním. U tohoto konstrukčního řešení se nachází vtokový systém v dělicí rovině. K oddělení vtokového zbytku od výrobku dochází díky existenci střižné hrany, která se nachází v tvarové vložce. Tento typ konstrukce ve srovnání s třídeskovým systémem je méně nákladný, snadno se udržuje a má lepší možnosti pro rozložení chladicích kanálů. Při vstřikování vznikají vysoké síly cyklického charakteru, kterým musí jednotlivé díly být schopny odolávat. [17], [19]



Obr. 16 Schéma dvoudeskového systému formy

1 – upínací deska levá, 2 – rozpěrná deska, 3 – vyhazovací deska opěrná, 4 – vyhazovací deska kotevní, 5 – válcový vyhazovač, 6 – podpěrná deska, 7 – opěrná deska tvárníku, 8 – přípojka chlazení, 9 – kotevní deska levá, 10 – kotevní deska pravá, 11 – závěsné oko, 12 – hlavní spojovací šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pravý, 15 – upínací deska pravá, 16 – vracející vyhazovače, 17 – tvárník, 18 – vodící kolíky, 19 – vstříkovaný výrobek, 20 – podpěrné válce [19]

4.2 Násobnost

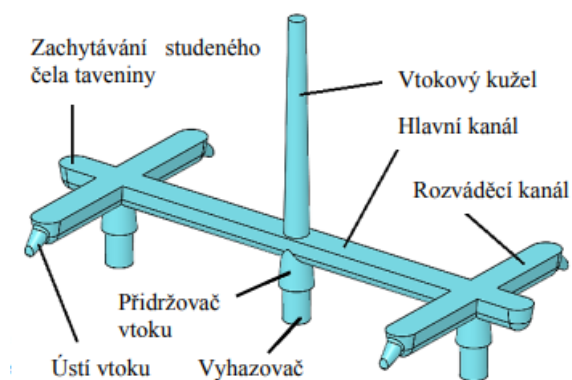
Násobností se rozumí počet výrobků vyrobených na jeden cyklus vstříkovací formy. Jednonásobné bývají formy pro objemné výrobky, pro velkosériovou se z ekonomických důvodů používají formy vícenásobné. Nejčastější používané násobnosti forem jsou 2, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, hodnoty mimo tuto řadu s sebou nesou jistá úskalí, protože je lze obtížně uspořádat do kruhového nebo obdélníkového pole. Je potřeba si uvědomit, že čtyřnásobná forma má 4 × větší efektivitu než forma jednonásobná, ale roste její cena, velikost, složitost, potřebná kapacita plastikační jednotky a uzavírací síla. S použitím větší formy klesá variabilita použitých strojů a zároveň roste hodinová sazba na stroj. [14], [23]

4.3 Vtokové systémy

Pojem vtokový systém je užíván pro dráhu taveniny od vstupu do formy přes vtokový kanál, rozváděcí kanál, vtokové ústí až po tvarovou dutinu. Všechny tyto části výrazně ovlivňují proces i samotnou kvalitu výrobku. Vtokový systém má v rámci cyklu vliv na plnění, dotlak, vstřikovací rychlost, uzavírací sílu a čas cyklu. Výrobek je ovlivněn zejména u vícenásobných forem, kdy vlivem nerovnovážného vtokového systému vznikají odlišnosti mezi rozměry, hmotností a mechanickými vlastnostmi jednotlivých výrobků vyrobených na jeden cyklus. Rovnovážný vtokový systém je tehdy, když je vzdálenost k jednotlivým dutinám stejná a rovněž zajištěn rovnoměrný vstřikovací tlak. Vtokové systémy se provádí jako studené, horké a jejich kombinace. [24]

4.3.1 Studené vtokové systémy

Studené vtokové systémy (dále SVS) jsou nejzastoupenějším typem vtokových systémů. Jejich použití je 70 % veškeré produkce vstřikovacích forem. Je nutné, aby zajistil naplnění dutiny v co nejkratším čase a s minimálním odporem. Nevýhodou je, že SVS zvyšuje spotřebu materiálu a efektivitu jeho využití. Celý vtokový zbytek je odpad, který je možné recyklovat, ale samotná recyklace kvůli opakovanému tepelnému namáhání materiálu výrazně zhoršuje mechanické vlastnosti výrobku. Na Obr. 17 je schéma SVS, který se skládá z vtokového kužele, rozváděcího kanálu a vtokového ústí. [14], [24]



Obr. 17 Studený vtokový systém [10]

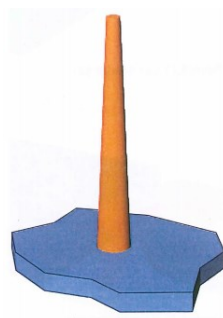
Vtoková ústí

Vtokové ústí je poslední část vtokového systému před vstupem taveniny do dutiny formy. Poloha ústí by měla být v místě, které nebude nadměrně namáháno, kde nebude působit rušivým pohledovým dojmem a vznikne žádoucí tok v dutině. Umístění a počet vtokových ústí na výrobku je důležitý faktor, který může ovlivnit mechanické, rozměrové a vzhledové

vlastnosti výrobku. Mimo tyto faktory může být ovlivněn vstřikovací tlak, upínací síla a schopnost plnit dutinu požadovanou rychlostí. Doporučená velikost vtokového ústí se pohybuje v rozmezí 40 až 70 % tloušťky stěny, ke které je připojeno. Menší, než doporučená velikost způsobuje snazší oddělení vtoků od výrobku a menší stopu, ale zároveň způsobuje problémy při vstřikování. Délka vtokového ústí by měla být co nejkratší, aby bylo možné předcházet poklesu tlaku. Vtokové ústí se umísťuje do nejtlustšího místa na výrobku, aby materiál tekla z tlustších oblastí do tenčích, a tak vtokové ústí zatuhlo jako poslední. [24]

- **Plný kuželový vtok**

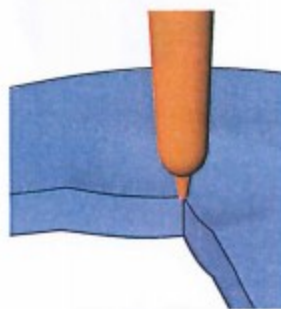
Jedná se o nejjednodušší případ vtokového ústí. Používá se zejména u jednonásobných forem a válcových tlustostěnných symetrických výrobků jako jsou nádoby a šálky. Vtokové ústí je umístěno do nejtlustšího místa výrobku a po oddělení vtokového zbytku od výrobku vzniká značná stopa. Umožňuje vyvození vysokých hodnot dotlakové fáze. [24]



Obr. 18 Plný kuželový vtok [24]

- **Bodový vtok**

Bodový vtok se používá pro třídeskový systém formy. U tohoto řešení je vtokový systém umístěn v odlišné dělicí rovině než výrobek, což umožňuje oddělit vtokový zbytek od výrobku přímo ve formě. Rozměry vtokového ústí musí být dostatečně malé, aby jej bylo možné snadno vytrhnout z výrobku a nezanechával příliš velkou stopu. [24]



Obr. 19 Ukázka bodového vtoku [24]

- **Tunelový vtok**

Tunelový vtok je zvláštní případ bodového vtoku, který nejčastěji leží v dělicí rovině. Při jeho použití není potřeba třídeskového systému formy a dovoluje oddělení vtokového zbytku přímo ve formě. Je typický kuželovým tvarem, který je ukončen nejužší částí připojenou k výrobku. Během vyhození je vtok díky střížné hraně oddělen od výrobku, zdeformován a následně vyhozen. Všechny hrany, které by mohly způsobit zalomení vtoku v dutině by měly být zaobleny. Provedení vtoku ovlivňuje smrštění, dotlak a tlakový spád taveniny během plnění. [24]

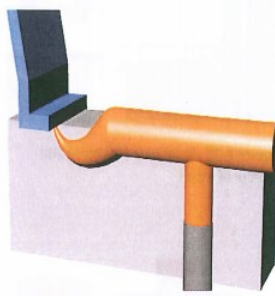
Ústí vtoku do dutiny by mělo mít minimální rozměry, aby nedošlo k porušení výrobku během oddělování a vtok nezanechal na výrobku velkou stopu. Je-li průměr vtoku příliš malý, může dojít k předběžnému zamrznutí a neúčinnému použití dotlaku. Průměr vtokového ústí se pohybuje v rozmezí 40 až 70 % tloušťky stěny. Vtok se během vyhazování značně deformuje, a tak není vhodné použít křehké materiály. [24]



Obr. 20 Použití tunelového vtoku [24]

- **Banánový vtok**

Banánový vtok je speciálním případem tunelového vtoku, který se používá v případě, kdy použití tunelového vtoku není možné nebo by stopa po vtoku narušovala estetické vlastnosti výrobku. Při vyhození se vtok musí značně deformovat, což vymezuje použití pouze na velmi houževnaté materiály. [24]

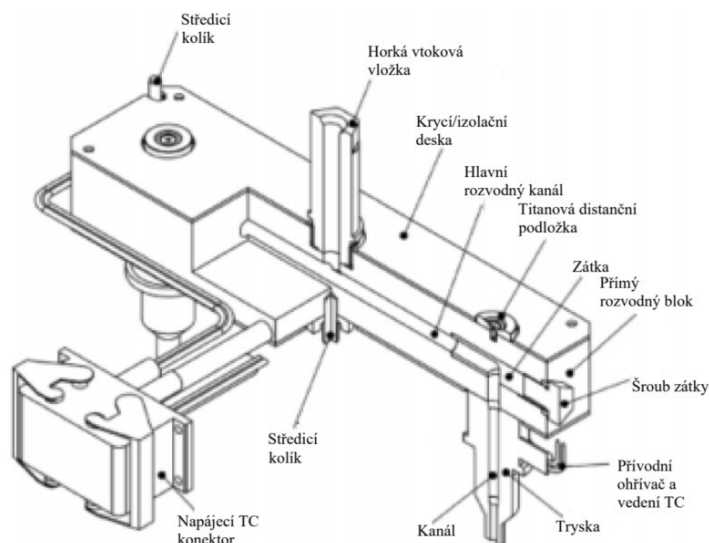


Obr. 21 Banánový vtok [24]

4.3.2 Horké vtokové systémy

Horké vtokové systémy (dále HVS) jsou používány zejména v případě, kdy je důležitá efektivnost procesu a úspora materiálu. Pomocí HVS je možné oproti SVS zrychlit cyklus o 20 % a ušetřit až 20 % materiálu. Ve formách s HVS je materiál během celého procesu roztaven ve vyhřívaném kanálu, a tak plastikační jednotka nemusí během cyklu odjíždět od formy, na výrobku zůstane minimální stopa po vtoku a nevzniká odpad v podobě vtokového systému. Nevýhodou použití HVS jsou vysoké pořizovací náklady a nutnost použití senzorů a regulátorů, což vyžaduje vyšší nároky na spotřebu energie. Při použití tohoto systému je nutné pečlivě zvážit, zda je rentabilní. [22], [24]

Na Obr. 22 je schéma horkého rozvodného bloku, který je složen z horké vtokové vložky, rozvodného bloku, dvou trysek, čtyř topných hadů a jiných součástí. Rozvodný blok je nutné dokonale tepelně izolovat od zbytku formy, a to pomocí distančních podložek, které udržují vzduchovou mezeru mezi tělem bloku a chladnějšími deskami formy. [22]



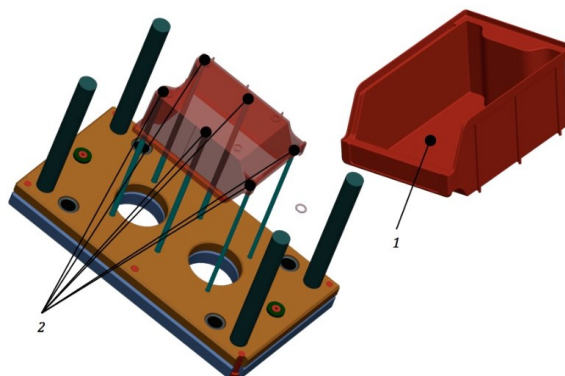
Obr. 22 Schéma horkého rozvodného bloku [22]

4.4 Vyhazovací systémy

Při každém cyklu musí dojít k snadnému vyjmutí součásti a vtokového zbytku z formy. Volba vyhazovacího systému je zásadní pro zabránění deformace dílu a komplikací s vyhozením. Po vstříknutí taveniny nastává prodleva, kdy materiál chladne na vyhazovací teplotu. Doba prodlevy musí být dostatečně dlouhá, aby vyhazovací kolíky nepronikly do materiálu, ale zároveň nesmí prodlužovat dobu cyklu, a tím cenu výrobku. [17], [22]

Vyhazovací systém musí být schopný překonat adhezi výrobku k povrchu formy. Je snaha, aby po otevření formy výrobek zůstal na vyhazovací straně. Velikost vyhazovací síly závisí na velikosti smrštění výrobku, složitosti výrobku, jakosti povrchu dutiny formy a technologických parametrech procesu. [17], [22]

Vyhazování může být mechanické, pneumatické nebo hydraulické. Nejběžnější způsob mechanického vyhazování jsou vyhazovací kolíky, stírací deska, šikmé vyhazovače nebo víceúrovňové vyhazování. [17], [19]



Obr. 23 Ukázka umístění vyhazovacích kolíků

1 – výrobek, 2 – umístění vyhazovačů [19]

4.5 Temperace

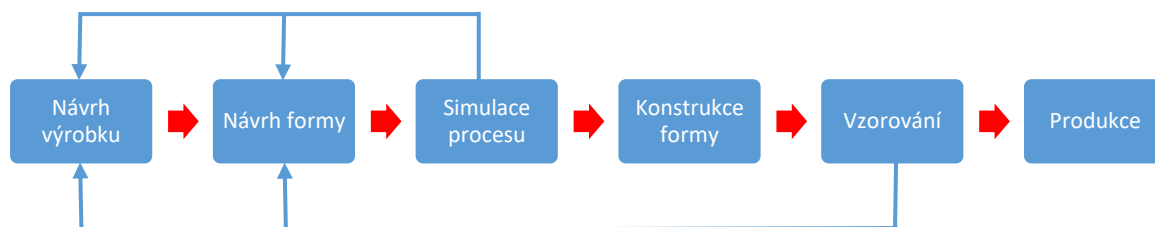
K udržení rovnoměrného teplotního pole formy slouží soustava nejčastěji vrtaných kanálů v deskách a tvarových dílech. Před zahájením výroby je nutné formu vyhřát na požadovanou teplotu a po vstříknutí odvést přebytečné teplo dodané polymerem. Správně navržená temperační soustava zajišťuje optimální podmínky pro tuhnutí a chladnutí polymeru ve formě, a tím zvýší tvarovou i rozměrovou stabilitu výrobku.

Nejběžněji používaným temperačním médiem je voda, méně často pak olej nebo směs vody a glykolu. Je snaha o turbulentní typ proudění, protože nejlépe přenáší teplo. [17]

5 CAE ANALÝZA

CAE (Computer Aided Engineering) je druh počítačového softwaru, který využívá počítačové simulace a analýzy k diagnostice a podpoře procesu vstřikování. CAE dokáže matematicky popsat složité reologické, termální a mechanické chování polymeru a umožňuje tak provádět kvalitativní a kvantitativní analýzu vstřikovacích forem a technologických podmínek. [15], [25]

Z výsledků těchto analýz mohou vývojáři zjistit příčiny problémů, testovat změny návrhu, a tak najít nejvhodnější řešení. Testovat návrhy metodou pokus-omyl je vzhledem k ceně úprav formy, nákladům na čas a materiál nemyslitelné, a proto je běžné implementovat CAE do ověření návrhu v průběhu vývojového procesu a také k optimalizaci samotných provozních parametrů. [15], [26]



Obr. 24 Vývojový diagram produktu s implementací CAE [15]

Největší uplatnění CAE v procesu vstřikování:

- **Ve fázi návrhu produktu a před konstrukcí formy:** lze odhalit a předvídat vady v návrhu výrobku a snížit tak náklady na opravu formy nebo zvětšit procesní okno pro následnou optimalizaci.
- **Po konstrukci formy před zahájením sériové výroby:** pokud je výrobek špatně zkonstruovaný a příčiny se obtížně hledají zkoušením na formě, lze nalézt chyby prostřednictvím simulace.
- **Po konstrukci formy během sériové výroby:** možnost aplikovat analýzu ke zlepšení efektivity produkce a zkrácení vstřikovacího cyklu. [23], [15]

I. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cíle této bakalářské práce jsou definovány v následujících bodech:

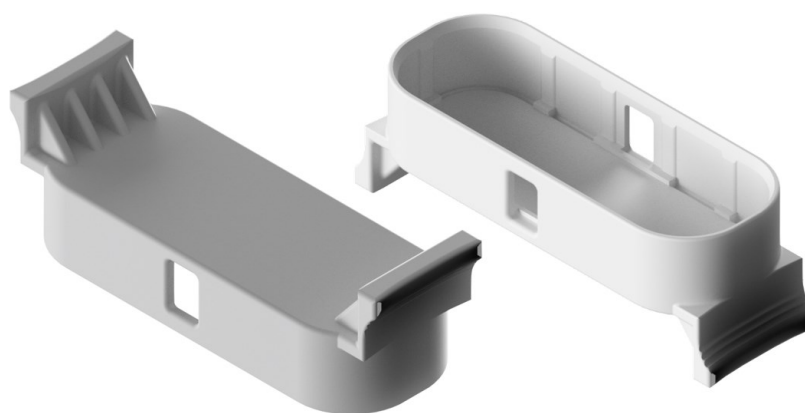
- 1) vypracovat literární studii pro dané téma;
- 2) provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti;
- 3) navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl;
- 4) nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s výkresy a kusovníkem.

Cílem literární rešerše bylo sjednotit aktuální poznatky známé o vstřikování. V první kapitole jsou popsány polymerní materiály, jejich rozdělení, chemická struktura a vlastnosti. V následující kapitole je podrobně popsán stroj a jeho části v kontextu se vstřikovacím cyklem. Třetí a čtvrtá kapitola uvádí zásady konstrukce plastových výrobků a nástrojů pro jejich výrobu. V poslední části je vysvětlen význam CAE analýzy v procesu vstřikování.

Prvním cílem praktické části je vytvořit 3D model výrobku dle uvedených zásad. Jedná se o model ochranné krytky konektoru. Dalším stěžejním krokem je vytvořit návrh vstřikovací formy pro tento výrobek. Tento návrh zahrnuje zaformování, určení vtokového, temperačního a vyhazovacího systému. Posledním cílem je nakreslení 2D výkresů sestavy a kusovníku. Vše je uskutečněno v softwaru CATIA V5R19. Celý konstrukční návrh je podpořen pomocí CAE analýzy v programu Moldex3D a použitím normálií od firmy Meusburger.

7 VÝROBEK

Vstříkovaným výrobkem je krytka konektoru, která slouží k ochraně před nečistotami a mechanickým poškozením. Chrání konektor před poškozením během nečinnosti zejména během skladování v prašném prostředí či transportu. Vnitřek krytky je profilován tak, že umožňuje nasunutí krytky na konektor. Z vnější strany se nachází ergonomické úchopy, které dovolují snadné sejmutí krytky z konektoru. Největší rozměry výrobku jsou $17 \times 16 \times 48$ mm (š \times v \times d) a celkový objem je $2,3 \text{ cm}^3$.



Obr. 25 Vstříkovaný výrobek

7.1 Materiál výrobku

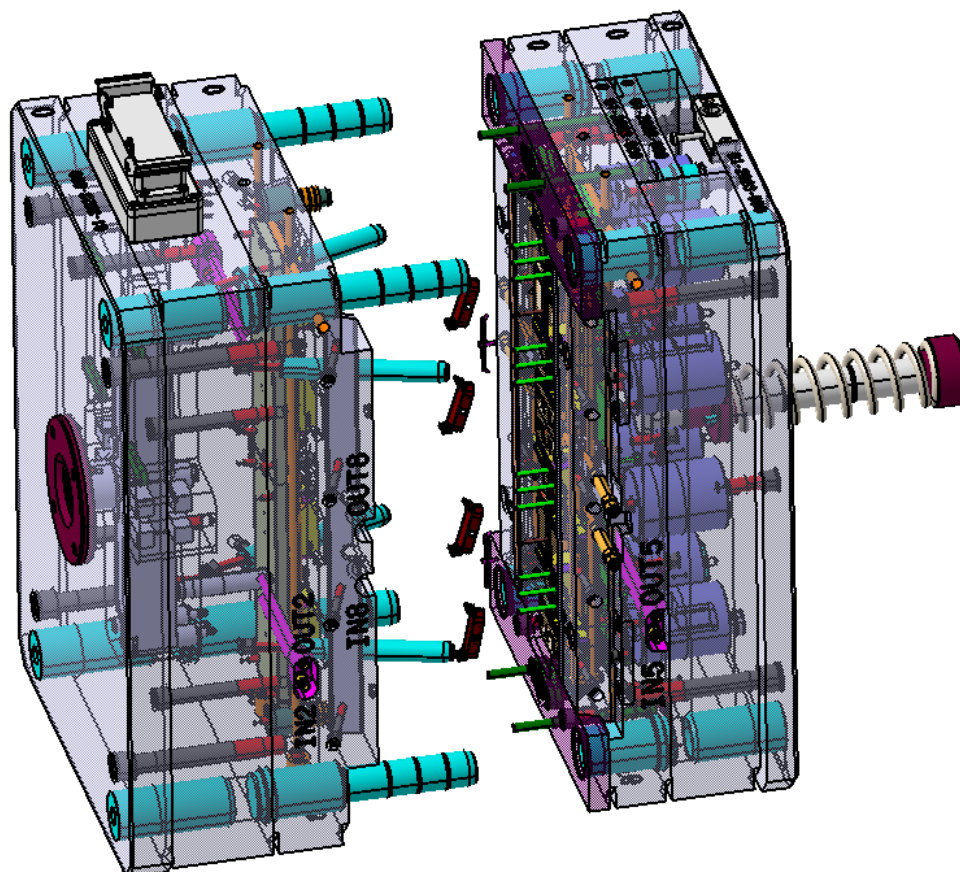
Výrobek nevyžaduje speciální požadavky na materiál, protože není nijak mechanicky, tepelně ani chemicky namáhán. Z tohoto důvodu byl zvolen polypropylen, a to konkrétně PP Borealis BC142MO, což je heterofázový kopolymer PP vynikající vysokou houževnatostí, tuhostí, procesní stálostí, dobrými tokovými vlastnostmi a nízkým sklonem k deformacím. Další mechanické, fyzikální a tokové vlastnosti jsou uvedeny v materiálovém listu v příloze. Používá se na přepravky, krabice a technické součásti. [27]

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti [27]

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Hustota	0,905	g/cm^3
Smrštění	1–2	%
ITT (230 °C, 2,16 kg)	5	g/10 min

8 KONSTRUKCE FORMY

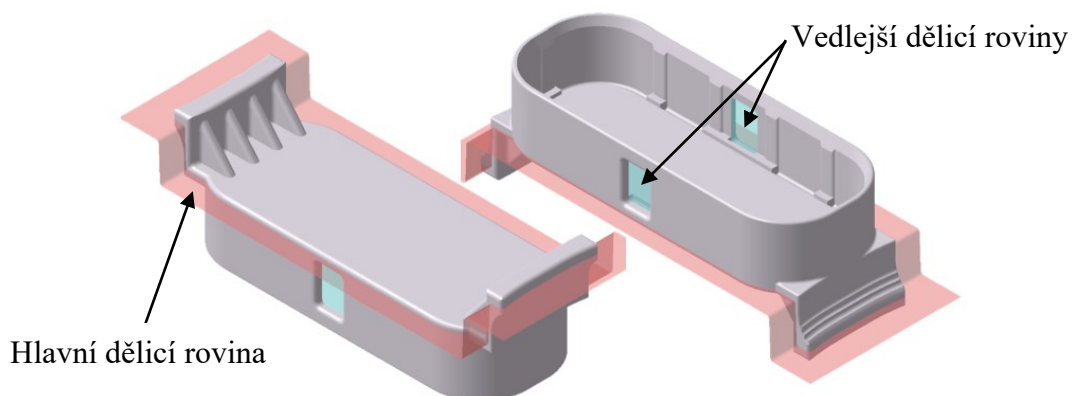
Konstrukce formy byla provedena dle zásad uvedených v literární rešerši. Základní požadavky jsou, aby forma měla minimální rozměry, byla řešena jednoduše a ekonomicky. Pro tvorbu modelu byl použit internetový katalog normálií od firmy Meusburger. Model formy byl vytvořen v softwaru CATIA V5R19 od firmy Dassault Systèmes, konkrétně v modulu Part design a Assembly design.



Obr. 26 Otevření formy a vyhození výrobků a vtoků

8.1 Volba dělicí roviny

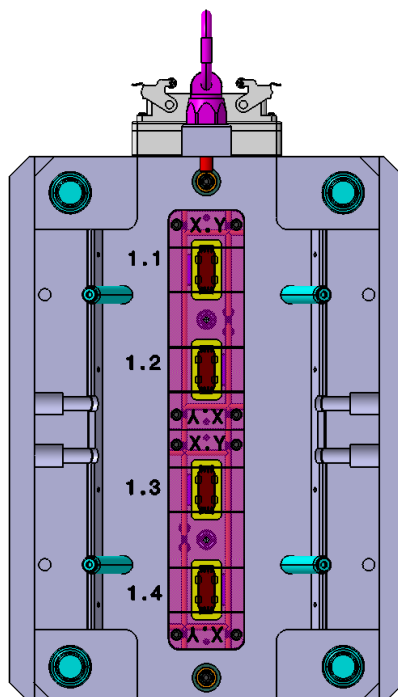
Hlavní dělicí rovina (dále HDR) je plocha, která odděluje samotnou formu na vstřikovací a vyhazovací stranu a ve které se forma otevírá. Měla by být navržena tak, aby zajišťovala co nejjednodušší odformování výrobku. V tomto případě je HDR umístěna těsně pod horní plochou krytky, aby bylo umožněno zaformovat i zaoblení, která se v této části nachází. Otvory kolmé na dělicí rovinu nelze z HDR odformovat, a tak je nutné určit i dvě vedlejší dělicí roviny. Vlivem vedlejších dělicích rovin vznikají rozměry nevázané formou, které mohou vést k problémům s přesností výrobku.



Obr. 27 Návrh dělicích rovin na výrobku

8.2 Volba násobnosti

Na základě ekonomického hlediska a složitosti výrobku byla stanovena optimální násobnost formy jako čtyřnásobná. S rostoucí násobností formy klesá přesnost výrobků. Jednotlivé tvarové vložky jsou rozmístěny kolem středu formy symetricky, aby docházelo k rovnoměrnému namáhání vlivem tlaku taveniny během vstřikování. Tvarové vložky jsou rozmístěny v deskách ve sloupci (Obr. 28), což je nejjednodušší varianta vzhledem k nutnosti posuvného systému.



Obr. 28 Násobnost formy

8.3 Tvarové části

Tvarové části tvoří dutinu, která bude určovat výsledný tvar výrobku. Tato dutina je zvětšena o přídavek na smrštění výrobku při chlazení, který je pro tento materiál 1,75 %. Tvarové části jsou v kontaktu s horkou polymerní taveninou, která vyžaduje použití vysoce jakostních materiálů. Pro tento případ je tvar výrobku realizován vložkami, které jsou vsazeny do desky, která není v kontaktu s polymerem, a tak může být z levnějšího materiálu. Při tvorbě tvarových částí bylo využíváno barevného značení, které je podrobněji vysvětleno v Tab. 2.

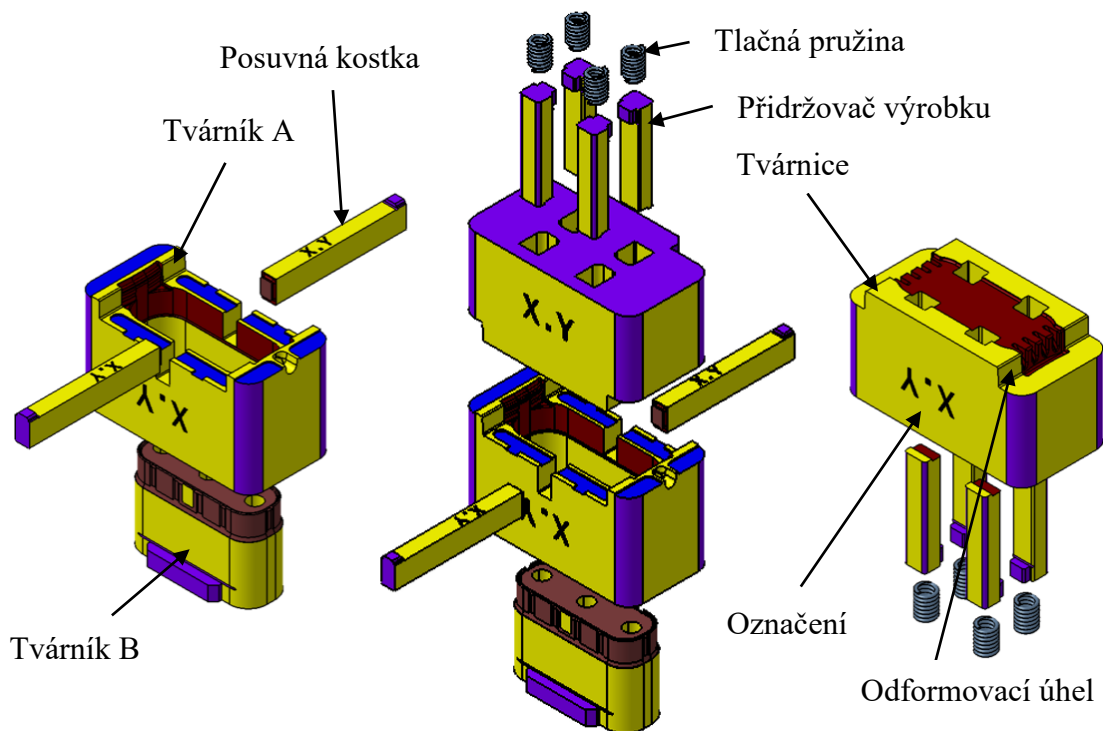
Tab. 2 Použité barevné značení tvarových částí

Typ plochy	RGB	Ra [μm]
Dosedací/těsnicí plochy	255, 255, 000	0,8
Volné plochy	112, 48, 160	1,6
Tvarové plochy	131, 060, 011	0,8
Hrubé odvzdušnění	021, 066, 229	1,6
Jemné odvzdušnění	255, 000, 000	1,6

Vložka, která je na vyhazovací straně se nazývá tvárník. Konstrukční řešení tvárníku je ze dvou dílů, přičemž první (A) formuje vnější obvod a druhý (B) vnitřní dutinu. Tvárnice je pojmenování pro tvarovou vložku nacházející se na vstřikovací straně. V tomto případě tvárnice formuje horní plochu krytky a žebra. Tvárník A i tvárnice jsou v místě, kde se setkávají plochy rovnoběžné se směrem otevírání formy opatřeny odformovacím úhlem 2° . Je snaha, aby po otevření formy zůstal výrobek na straně tvárníku. K pojištění této funkce slouží přídržovače výrobku, které po otevření formy díky zdvihu a tuhosti pružiny překonají adhezi mezi tvárnicí a výrobkem, a tak zajistí polohu výrobku na vyhazovací straně. Všechny tvarové díly jsou opatřeny výstupkem, který zajišťuje správné vsazení do jiné součásti a také zabraňuje posuvu. Nad výstupkem je drážka, jenž eliminuje rádius vzniklý výrobní technologií a umožňuje dokonalé dosednutí ploch.

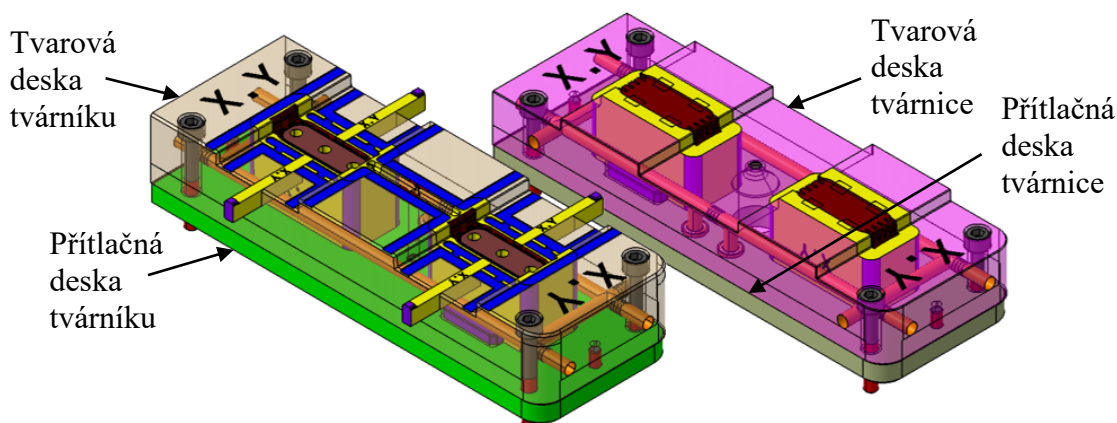
Je nezbytné, aby výrobek i všechny tvarové vložky byly očíslovány podle dutiny, v které se nachází. V případě, že by při výrobě vznikly problémy například s odvzdušněním formy, musí být možné rychle analyzovat, v které dutině tyto neshodné výrobky vznikají a následně konkrétní tvarové vložky upravit. Na Obr. 29 je zobrazeno obecné značení X.Y., kde X je

poloha dutiny ve vodorovné ose a Y je poloha dutiny ve svislé ose, pro konkrétní případ sloupcového uspořádání pak 1.1, 1.2, atd.



Obr. 29 Tvarové vložky

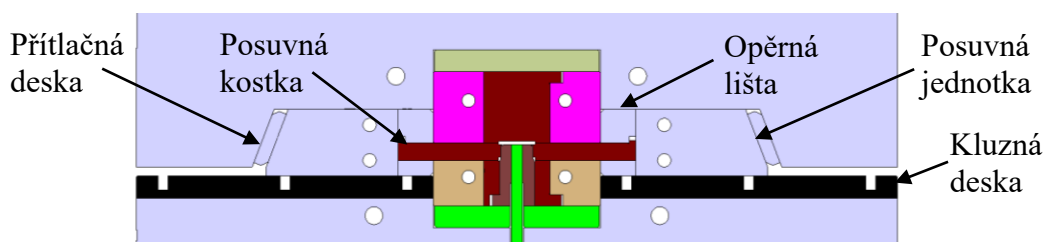
Tvarové vložky jsou umístěny do tvarových desek (Obr. 30), přičemž dvě tvarové desky se umístí do společné kapsy v desce formy. Tyto desky jsou do kapsy umístěny přímo z dělicí roviny a připevněny šrouby s vnitřním šestihranem. Toto konstrukční řešení je výhodné, že v případě zjištění poruchy na stroji, lze vložku vytáhnout, aniž by forma musela být sundána ze stroje. Tvarová deska je spojena s přítlačnou deskou, jejíž funkce zajišťuje polohu tvarových součástí. Je-li zjištěno, že dělicí rovina dostatečně nelícuje a vznikají přetoky, slouží přítlačná deska také k dolícování na přesný rozměr.



Obr. 30 Umístění tvarových vložek do tvarových desek

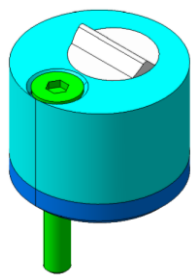
8.4 Boční posuvný systém

Boční posuvný systém umožňuje odformovat dva boční otvory výrobku, které přímo z hlavní dělicí roviny odformovat nelze. Při otevírání formy se posuvná jednotka pohybuje po šikmém čepu, jehož sklon dovoluje odjetí posuvné kostky z bočního otvoru. Základní části posuvného systému znázorňuje Obr. 31.



Obr. 31 Řez hlavními částmi posuvného systému

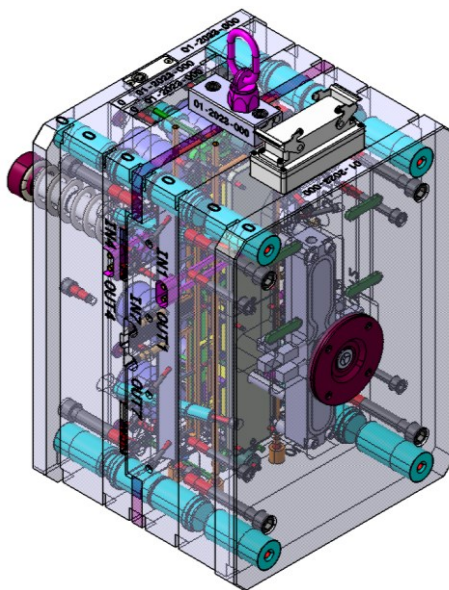
Přesné vedení posuvné jednotky zajišťuje vodící lišta a kluzná deska, které jsou opatřeny mazacími drážkami pro ulpívání maziva. Je zajištěna aretace posuvné jednotky v koncové poloze, aby při zavírání formy nedošlo k srážce kolíku a posuvné části. Tato funkce je realizována pomocí výstupku pod pružinou (Obr. 32), který zapadá do vybrání v posuvné jednotce.



Obr. 32 Aretace posuvného dílu

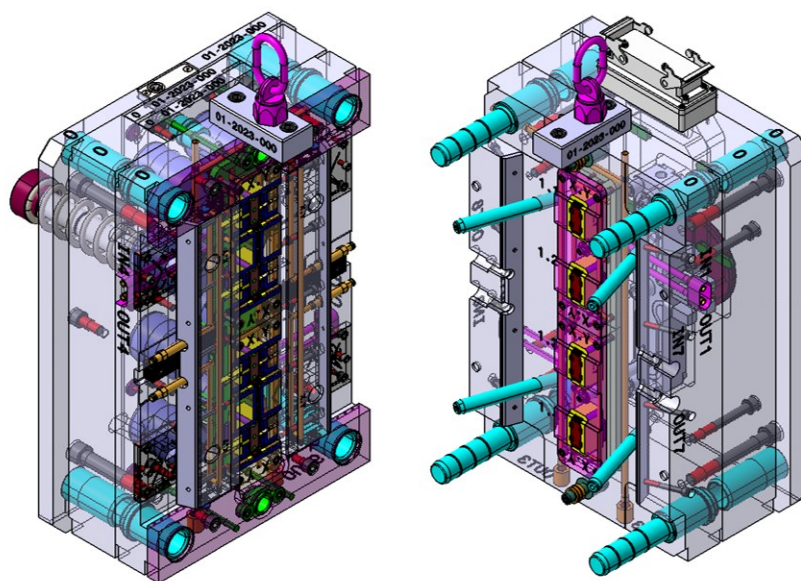
8.5 Rám formy

Rám formy je tvořen šesti hlavními deskami, jejichž rozměry jsou typizované dle výrobců normálí, a to 396×546 mm (š \times v). Vyhazovací a upínací desky jsou pro přehlednost opatřeny číslem formy. Všechny desky mají vyfrézované trojúhelníkové drážky, které usnadňují operátorovi demontáž formy.



Obr. 33 Vstřikovací forma

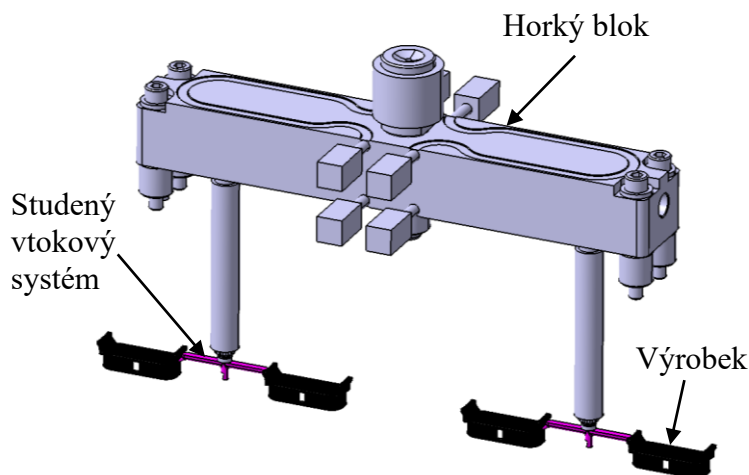
Šikmé čepy jsou ve formě zajištěny na vstřikovací straně a posuvný systém je spojený se stranou vyhazovací (Obr. 34).



Obr. 34 Pohled do pravé a levé strany formy z dělicí roviny

8.6 Vtokový systém

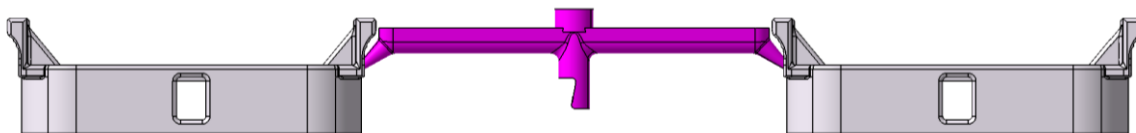
Vtokový systém dopravuje taveninu do dutiny formy. Vzhledem k použité násobnosti formy a tvaru výrobku vyžadujícího boční odformování, je nejvhodnější varianta použít kombinovaný vtokový systém (Obr. 35).



Obr. 35 Kombinovaný vtokový systém

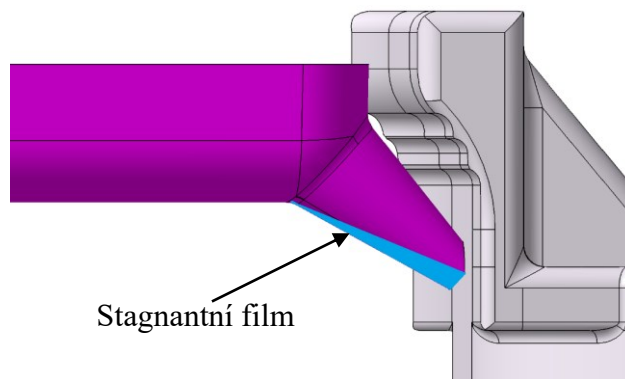
8.6.1 Studený vtokový systém

Ve studeném vtokovém systému bylo využito tunelové vtokové ústí. Aby bylo možné minimalizovat ztráty ochlazováním, rozvodné kanály by měly mít při minimálním smáčeném povrchu maximální průřez. Tomuto vyhovuje parabolický tvar, který je rovněž výrobně výhodný, protože zasahuje pouze do jedné strany formy. Rozměry vtokového zbytku jsou ve všech třech osách menší než u výrobku, což umožňuje separaci na třídícím bubnu, a tím plně automatický chod nástroje. Hmotnost jednoho vtokového zbytku je 0,6 g, z toho vyplývá, že na jeden pracovní zdvih nástroje vznikne 1,2 g odpadu, pro který se musí řešit recyklace a skladování.



Obr. 36 Vtokový zbytek včetně výrobků

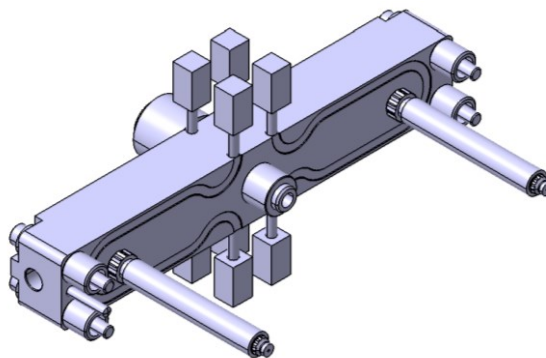
Vtokové ústí bylo umístěno do jednoho z nejtlustších míst na výrobku. Ústí je ukončeno těsně před stěnou, ke které je připojeno, čímž vznikne zatuhlá izolační vrstva polymeru a zmenší se průřez. Tato konstrukční varianta zlepšuje účinnost dotlaku a snižuje stopu po vtoku na výrobku.



Obr. 37 Detail vtokového ústí

8.6.2 Horký vtokový systém

Sestava horkého vtokového rozvodu (Obr. 38) byla vytvořena v online konfigurátoru od dodavatele Meusburger. Při tvorbě bylo vycházeno z použitého plastu, kterým je PP, potřebných rozměrů a z dávky na trysku, která i s rezervou činí 8,5 g. Jsou použity dvě trysky EH4100, které jsou zakončeny ústím EH4240. Tento typ vtokového ústí je vhodný i pro kombinované vtokové systémy a jeho průměr byl zvolen na základě závislosti použitého plastu a dávky pro jednu trysku na 1,5 mm. Pro vřehv horkého bloku je použita zásuvka se 24 piny. Kabely jsou uchyceny magnetickými příchýtkami, které brání poškození kabelu během montáže.

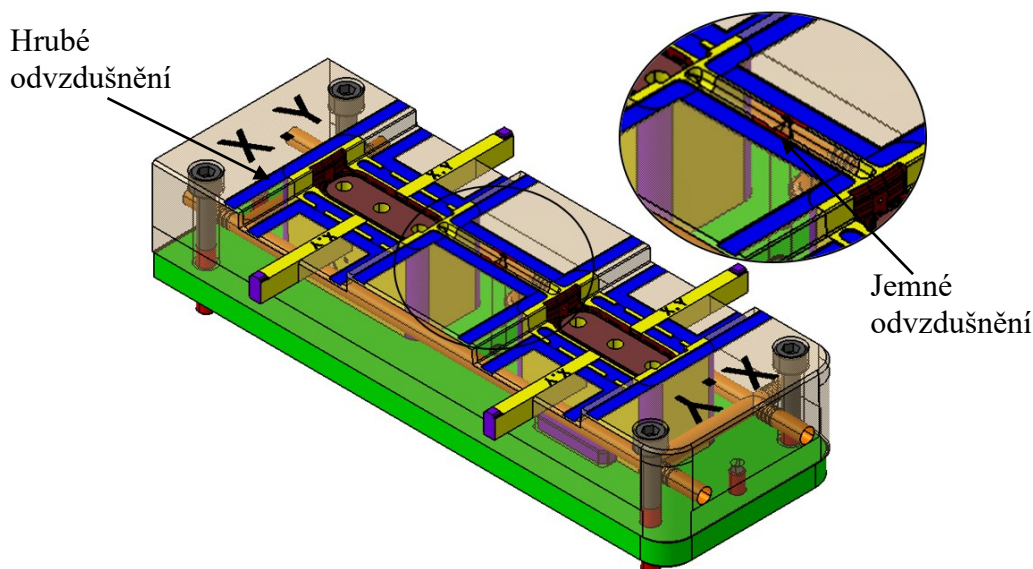


Obr. 38 Horký blok

8.7 Odvzdušnění

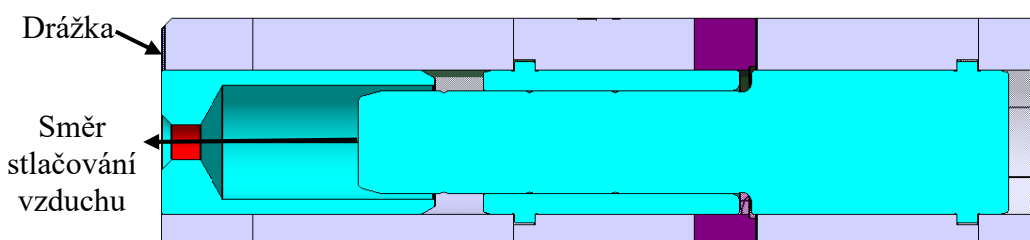
Při zavírání formy se v dutinách uzavře vzduch, který nemá kam uniknout, protože plochy na sebe těsně dosedají. Při plnění dutiny tavenina před sebou vzduch adiabaticky stlačuje, až může dojít například k tzv. Diesel efektu, který se vyznačuje vznikem nevzhledných spálených míst na výrobku. Tento nežádoucí efekt lze eliminovat návrhem vhodného odvzdušnění. V tomto případě je odvzdušnění realizováno skrze odvzdušňovací kanály o

hloubce 0,5 mm, do kterých může vzduch skrz nerovnosti uniknout a být odveden z formy. Vtok je odvzdušněn drážkou hlubokou 0,01 mm a vzduch rovněž uniká vůlí mezi vyhazovači. Pokud by vzorování ukázalo, že toto řešení je nedostatečné, vyfrézuje se napojení v kritickém místě (nejčastěji v největší vzdálenosti od vtoku).



Obr. 39 Odvzdušnění tvarových částí

Vodící čep a vodící pouzdro jsou velmi přesné součásti, mezi kterými je minimální vůle. Při uzavírání formy vodící čep před sebou tlačí vzduch, který brání formě v zavírání a zvyšuje uzavírací sílu stroje. Z tohoto důvodu byla v místě zobrazeném na Obr. 40 navržnuta odvzdušňující drážka.

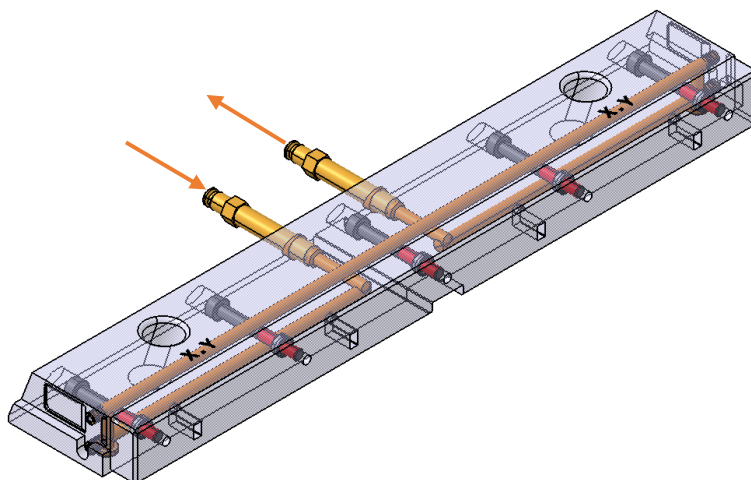


Obr. 40 Odvzdušnění vodících elementů

8.8 Temperační systém

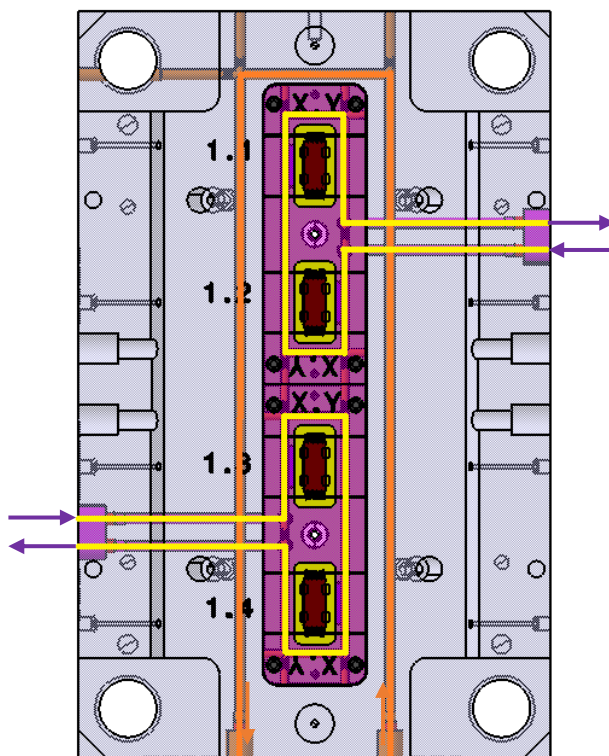
Funkce temperačního systému spočívá v udržení rovnoměrného teplotního pole formy. Před zahájením výroby je nutné formu vyhřát na požadovanou teplotu. Při procesu se vstříkuje roztavený polymer o vysoké teplotě, který je nutné ochladit, aby bylo možné vyhodit výrobek. Polymer předává teplo jednotlivým komponentám formy a musí se průběžně odvádět. Pro konstrukční řešení bylo zvoleno celkem 8 temperačních okruhů s průměry

6 a 8 mm dle prostorových dispozic. Kanály jsou vrtané a k jejich utěsnění byly použity ucpávky, O-kroužky a záslepky od firmy Meusburger. K napojení na hadice temperačního okruhu stroje slouží přípojky. Temperačním médiem je voda s průtokem 7 l/min a tlakem 12 barů. V posuvné jednotce se nachází okruh, který je detailně vyobrazen na Obr. 41.



Obr. 41 Temperační okruh v posuvné kostce

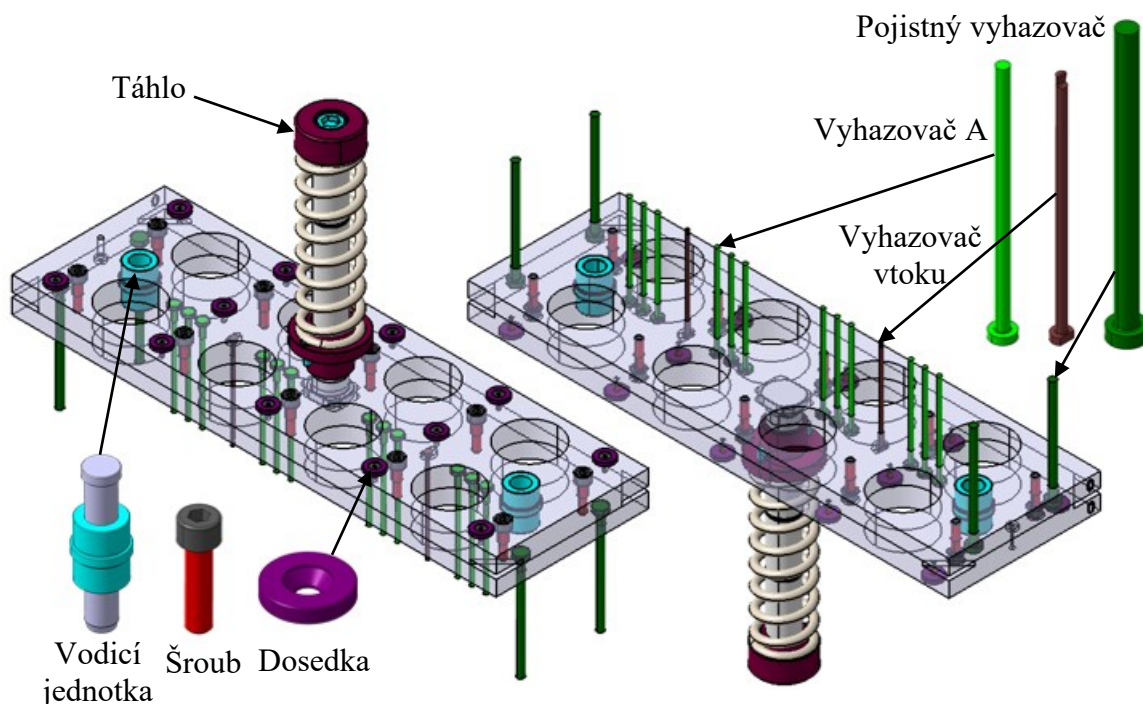
Temperační okruhy se také nachází v jednotlivých tvarových deskách a kotevních deskách. Obr. 42 zobrazuje rozložení okruhů na straně tvárnice. Na straně tvárníku je rozložení okruhů identické.



Obr. 42 Temperační okruhy na straně tvárnice

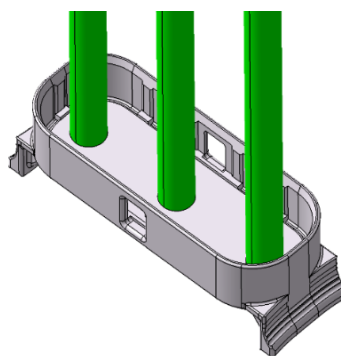
8.9 Vyhazovací systém

Ihned po ochlazení výrobku se výrobek musí vyjmout z formy. K tomu slouží vyhazovací systém, který se nazývá také jako vyhazovací paket. Ten je tvořen dvěma vyhazovacími deskami spojenými šrouby. Vedení vyhazovacích desek je realizováno vodícím čepem a kluzným kuličkovým pouzdem, které je samomazné, a tak má delší životnost. Vůli mezi vyhazovacím paketem a upínací deskou vymezují dosedky, díky kterým je chod formy tišší. Do volného prostoru jsou umístěny podpěrné válce přišroubované k upínací desce, jenž zabraňují, aby se forma vlivem vstřikovacího tlaku deformovala, a tím zvyšují její tuhost.



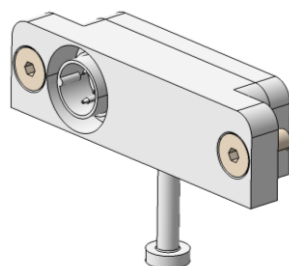
Obr. 43 Vyhazovací paket

Výrobek je vyhozen třemi válcovými vyhazovacími o průměru 5 mm, jejichž stopa bude na nepohledové straně výrobku (Obr. 44). Vyhození vtoku je pomocí jednoho vyhazovače o průměru 4 mm opatřeného podkosem.



Obr. 44 Umístění vyhazovačů na výrobku

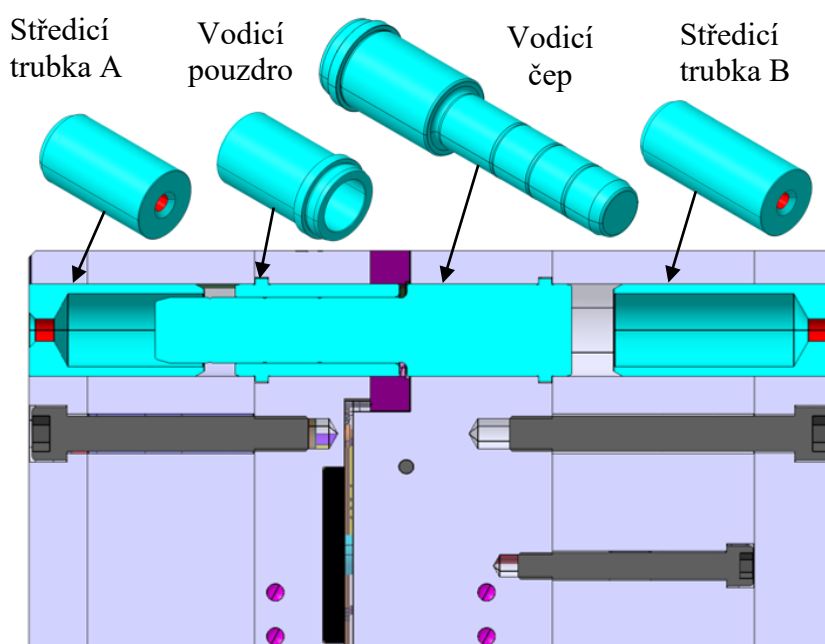
Jak již bylo zmíněno, vstřikovací forma je velice nákladná záležitost, a proto je nutné zabývat se i ochranou proti kolizím během procesu. Pojistné vyhazovače mají ochrannou funkci, kdy při zavření odtláčí pevná strana formy vyhazovací paket do koncové polohy. V případě, že by například pružina vyhazovacího táhla byla opotřebená a pojistné vyhazovače selhaly, je do formy umístěn koncový spínač (Obr. 45), který nedovolí stroji započít další cyklus, pokud nejsou vyhazovače dojety v koncové poloze.



Obr. 45 Koncový spínač

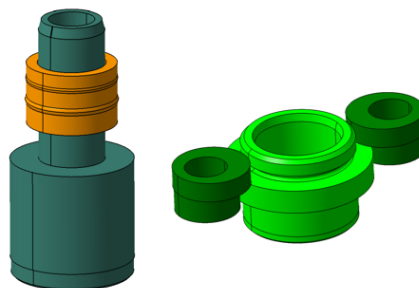
8.10 Vedení a středění formy

Při pohybu levé strany formy vůči pravé musí být zajištěno vzájemné vedení. Tuto funkci zabezpečují vodicí čepy, které zapadají do vodicích pouzder. Čepy i pouzdra jsou od výrobce dodávány v sérii 3+1, kdy jedna dvojice těchto vodicích komponent je menší, a umožňuje tak operátorovi složit formu pouze jedním způsobem. Tento princip se nazývá poka-joke a slouží k zamezení neúmyslných chyb. Středicí trubky centrují desky, do kterých jsou vsazeny. Pro správné dosednutí trysky stroje na vtokovou vložku slouží středicí kroužek.



Obr. 46 Přehled použitých středících komponent

Na vstříkovací formě bylo použito přesné středění od firmy Agathon AG (Obr. 47). Tento centrovací systém umožňuje dokonalé dosednutí v místě dělicí roviny pomocí valivých elementů a se zanedbatelnou vůlí.



Obr. 47 Přesné středění

8.11 Transport

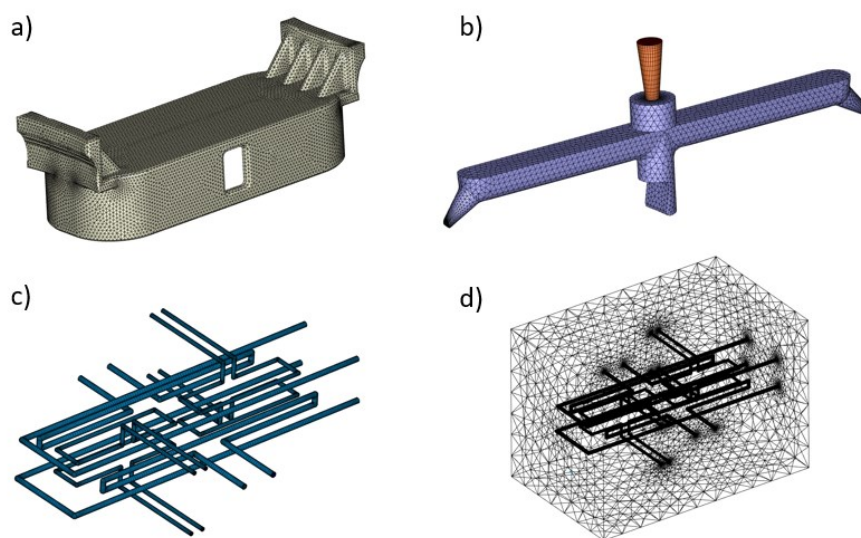
Pro přepravu a manipulaci byla na horní plochu formy umístěna traverza se závěsným okem. Traverza je jednoduchá plochá tyč s otvory pro šrouby, která zároveň brání otevření formy během přepravy, a slouží tak jako zámek. Závěsné oko je normálie od firmy Meusburger, jejíž minimální únosnost je 600 kg. Hmotnost celé formy je 510 kg, a tak hodnota uvedená výrobcem nebyla překročena. Závěsné oko je umístěno do těžiště formy, což umožní lepší manipulaci, protože se forma během manipulace nebude naklánět na stranu.



Obr. 48 Traverza se závěsným okem

9 TOKOVÁ ANALÝZA

Celý proces návrhu konstrukce formy byl podpořen pomocí tokové analýzy v softwaru Moldex3D. Nejprve byl připraven CAD model výrobku, vtokového a temperačního systému, z nichž byla vytvořena síť. Tato síť byla tvořena čtyřstěnnými a šestistěnnými elementy, které byly použity podle specifického případu. Velikost elementů byla přizpůsobena dle rozměrů daného simulovaného prvku.



Obr. 49 3D síť

a) výrobku, b) vtokového systému,
c) temperačního systému, d) formy s temperačním systémem

Dalším nezbytným krokem pro spuštění simulace je zadat vstupní hodnoty pro výpočet.

Tab. 3 Nastavení procesních podmínek

Veličina	Hodnota	Jednotka
Teplota taveniny	230	° C
Teplota formy	20	° C
Vyhazovací teplota	105	° C
Teplota okolí	25	° C
Bod přepnutí na dotlak	99,8	%
Čas plnění	0,6	s
Doba dotlaku	5	s
Průtok chladicí vody	7	l/min

9.1 Čas plnění

Čas plnění udává, za jakou dobu se naplní dutina polymerem. Pro zadání referenčního času byl proveden teoretický výpočet rychlosti smykové deformace $\dot{\gamma}$ podle uvedené rovnice (9.1). Výpočet je uveden pro studené vtokové ústí (dále SVÚ), protože je ve styku s výrobkem a v tomto místě je snahou, aby nebyla překročena maximální povolená rychlost smykové deformace (pro materiál PP 100.000 1/s). Druhým důvodem této volby je, že SVÚ má menší rozměry, a tak zde bude rychlost smykové deformace vyšší.

$$\dot{\gamma} = \frac{32 \cdot V}{\pi \cdot t \cdot D} \cdot 10^3 \quad (9.1)$$

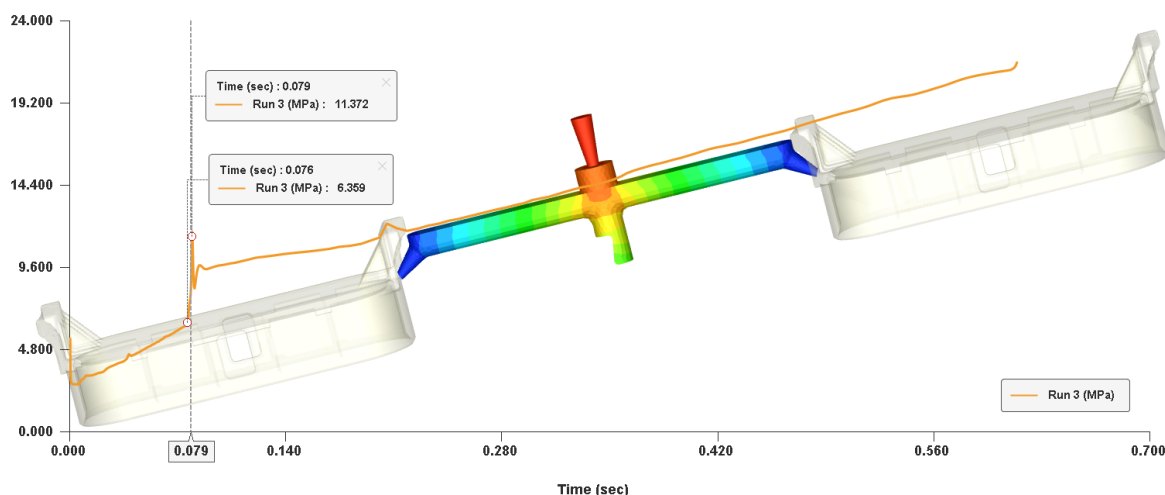
$$\dot{\gamma} = \frac{32 \cdot 5,2}{\pi \cdot 0,6 \cdot 1} \cdot 10^3 = 88\,278 \text{ s}^{-1} \quad (9.2)$$

V – objem materiálu na jednu trysku [cm^3] V = 5,2 cm^3

t – doba vstřiku [s] t = 0,6 s

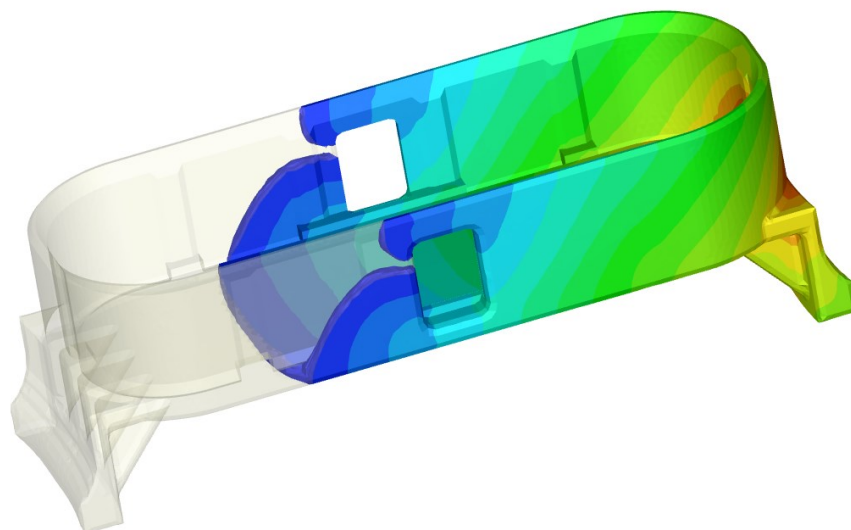
D – průměr vtokového ústí [mm] D = 1 mm

Dále budou zvýrazněny některé body při analýze plnění výrobku. Při 13 % plnění vstupuje tavenina skrz SVÚ do výrobku, což se vyznačuje významným nárůstem na tlakové křivce o 5 MPa.



Obr. 50 Vstřikovací tlak při plnění

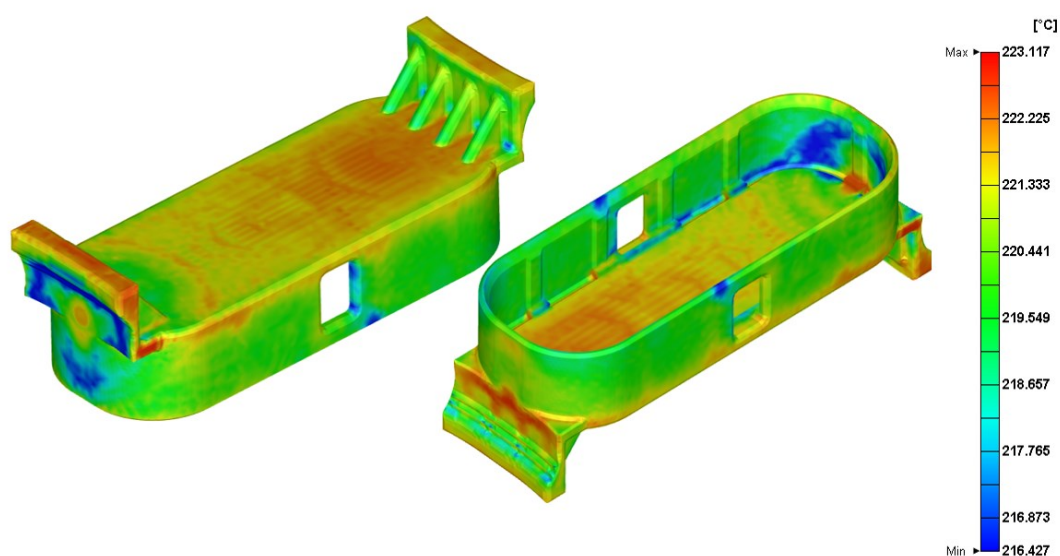
Ve chvíli, kdy je výrobek naplněn z 64 %, tavenina obtéká obdélníkový otvor. Dochází ke střetu dvou čel taveniny a vzniku studeného spoje (Obr. 51), který se vyznačuje nižšími mechanickými vlastnostmi.



Obr. 51 Vznik studeného spoje

9.2 Teplota taveniny

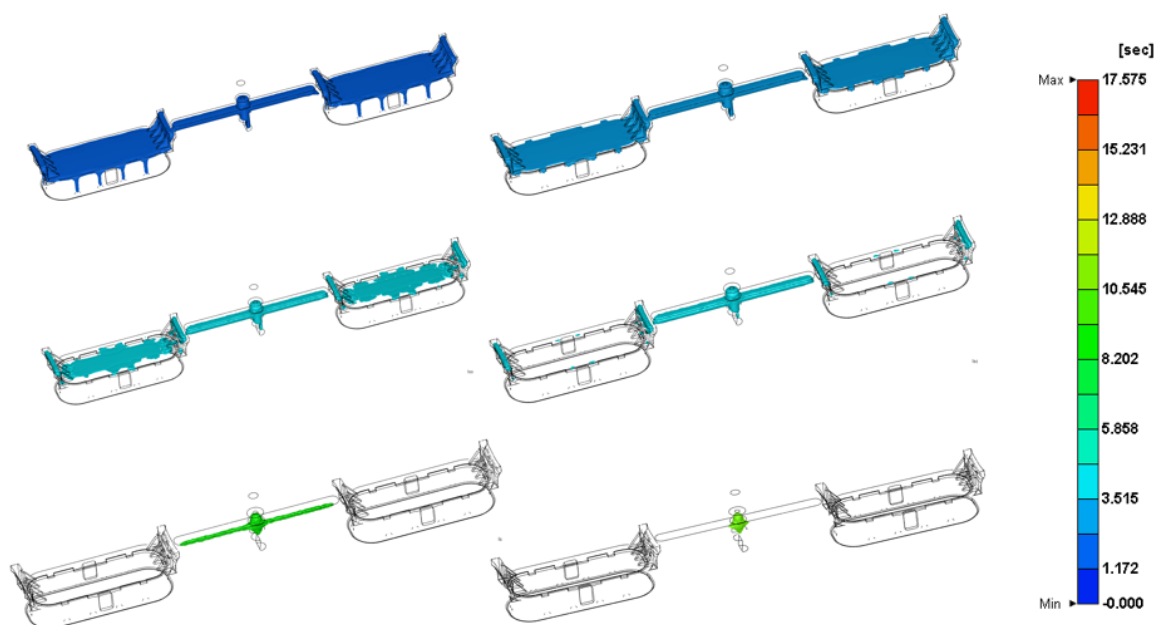
Na Obr. 52 je průběh plnění, kde je zobrazena teplota čela taveniny. Tato hodnota uvádí, kolik tepla je předáváno a disipováno v průběhu fáze vstřikování. Teplota taveniny nepřekračuje hodnoty doporučené výrobcem, a tak nedochází k lokálnímu přehřátí a následné degradaci polymeru.



Obr. 52 Teplota taveniny v průběhu vstřikovací fáze

9.3 Čas dosažení vyhazovací teploty

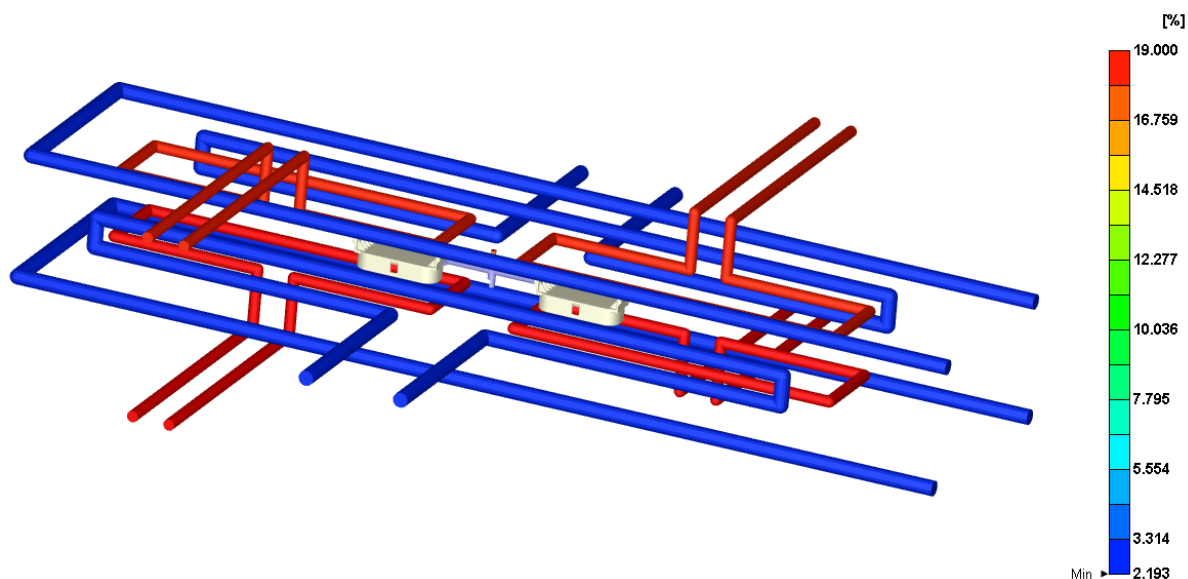
Výrobek se po vstříknutí musí ochladit na takovou teplotu, aby jej bylo možné vyhodit z dutiny formy. Při příliš krátké době chlazení nemá materiál čas zrelaxovat a zůstávají v něm zamrzlá napětí. Dalším důsledkem mohou být problémy s vyhozením. Naopak příliš dlouhá doba chlazení způsobuje prodloužení cyklu, a tím zvyšování ceny výrobku. Vypočtená maximální doba dosažení vyhazovací teploty je 18 s. Na Obr. 53 je zobrazena studie postupného ochlazování výrobku. V posledních dvou krocích je výrobek plně ochlazený a tuhne pouze vtokový systém. Z tohoto důvodu byla doba dosažení vyhazovací teploty dle zelené škály bezpečně zkrácena na 10 s (snížení o 45 %).



Obr. 53 Průběh chlazení

9.4 Účinnost chlazení

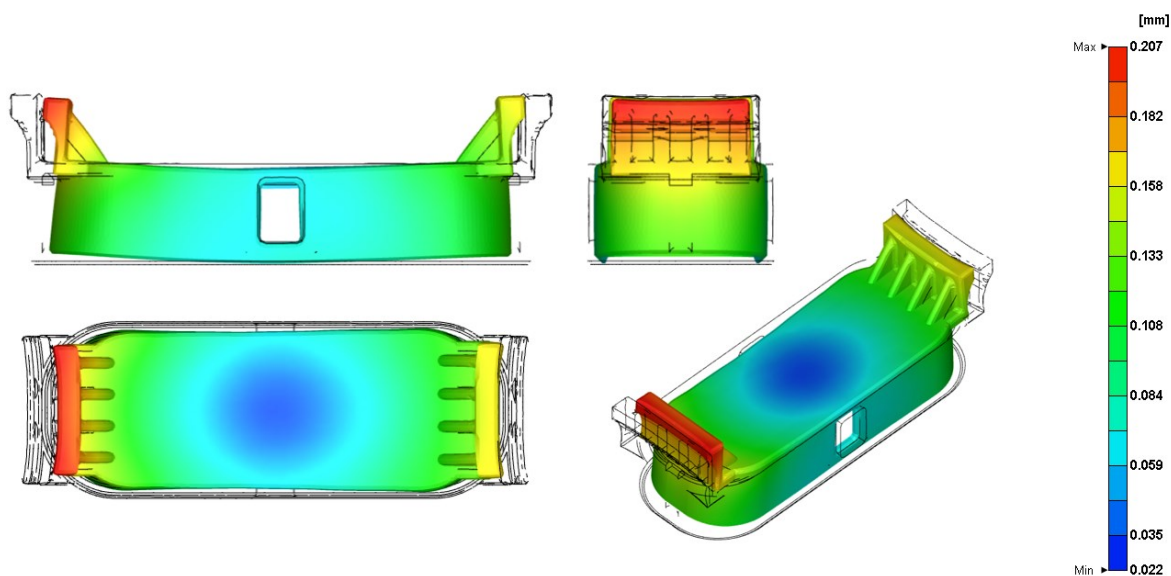
Byla provedena analýza účinnosti navrženého temperačního systému. Vnitřní okruhy jsou blíže výrobku, a tak jsou efektivnější v odvodu tepla z dutiny. Vnější okruhy slouží pouze k udržení rovnoměrného teplotního pole formy. Teplotní rozdíl distribuce temperačního média by měl být menší než 4 °C. V tomto případě je rozdíl 0,05 °C, a tak tato podmínka byla splněna.



Obr. 54 Efektivita temperačního systému

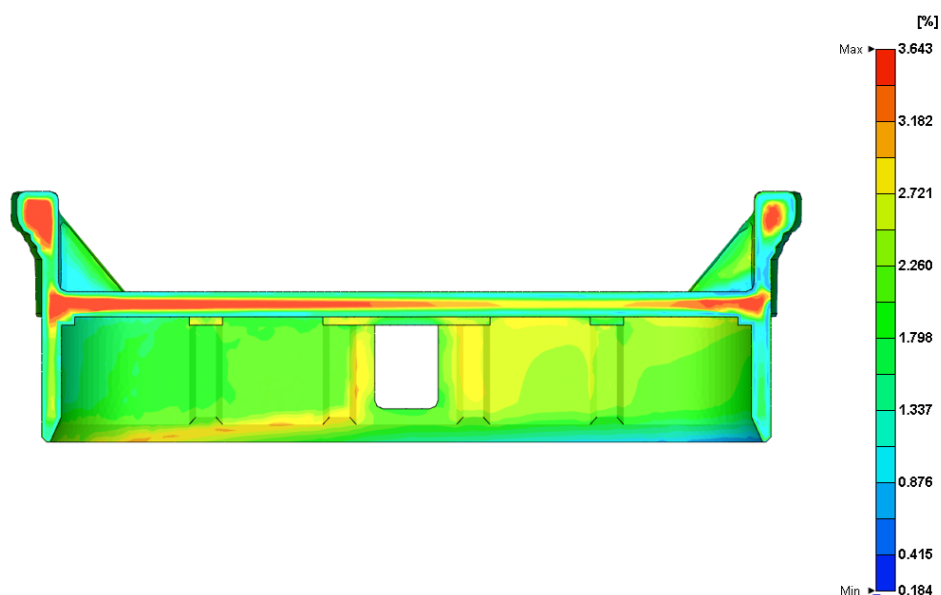
9.5 Smrštění

Při chladnutí se výrobek vlivem smrštění deformuje. Na Obr. 55 je zobrazena deformace vůči původnímu rozměru 15x opticky zvětšena pro zvýraznění vůči původnímu měřítku. Nejvíce se výrobek smršťuje v místě, kde je nejvyšší tloušťka, a to o hodnotu 0,2 mm.



Obr. 55 Celková deformace výrobku

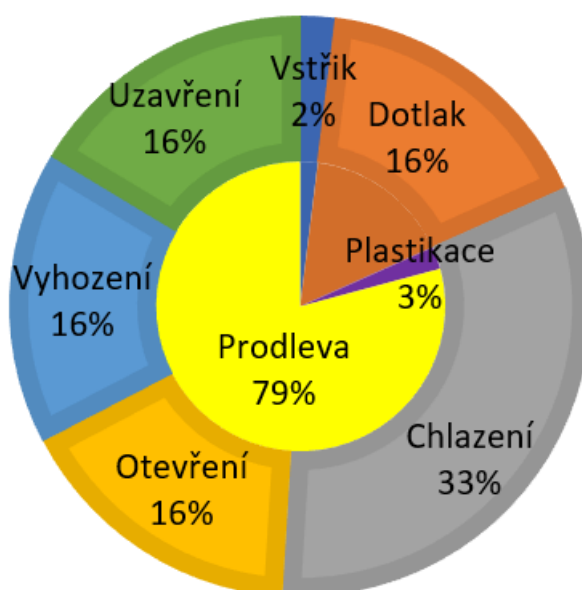
V místech s přechody v tloušťce stěny se hromadí materiál a toto místo má větší sklon k smršťování se. V řezu výrobkem jsou viditelná místa, která způsobují jeho deformace.



Obr. 56 Objemové smrštění

9.6 Vstřikovací cyklus výrobku

Vstřikovací cyklus udává pořadí jednotlivých operací na stroji a jejich časovou náročnost. Vnější kruh koláčového grafu zobrazuje cyklus formy a vnitřní kruh cyklus plastikační jednotky. Při použití horkého rozvodného systému plastikační jednotka nepřijíždí ani neodjíždí od stroje. Celková doba potřebná na výrobu čtyř výrobků je 31 s.



Obr. 57 Vstřikovací cyklus

10 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Nejdůležitější parametry pro volbu vstřikovacího stroje jsou:

- uzavírací síla,
- vzdálenost mezi vodicími sloupy,
- kapacita plastikační jednotky.

Ověření dostatečné kapacity plastikační jednotky bylo provedeno dle výpočtu **zdvihové hmotnosti plastu M**:

$$M = 1,2 \cdot (G \cdot n + A) \cdot \frac{\alpha_x}{\alpha_p} \quad (10.1)$$

$$M = 1,2 \cdot (2,1 \cdot 4 + 1,2) \cdot \frac{74}{100} = 8,5 \text{ g} \quad (10.2)$$

G – hmotnost jednoho výrobku [g] G = 2,1 g

n – násobnost formy [-] n = 4

A – hmotnost vtokového zbytku [g] A = 1,2 g

$\frac{\alpha_x}{\alpha_p}$ – poměr vstřikovaného plastu ke GPPS [-] $\frac{\alpha_x}{\alpha_p} = \frac{74}{100}$

Na základě výstupních hodnot simulace a technických parametrů formy byl zvolen vhodný vstřikovací stroj s modelovým označením Ferromatik K85 s magnetickým upínáním formy.

Další údaje o stroji společně s výkresy jsou uvedeny v příloze.

Tab. 4 Parametry pro volbu stroje [28]

Parametr	Požadovaná hodnota	Hodnota stroje
Vzdálenost mezi vodicími sloupy [mm]	396 × 546	420 × 420
Uzavírací síla [kN]	96	850
Zdvihová hmotnost [g]	8,5	216
Vstřikovací tlak [MPa]	22	194
Zdvih vyhazovačů [mm]	33	150
Délka formy [mm]	367	190–740
Váha pevné strany formy [kg]	290	max. 300
Váha pohyblivé strany formy [kg]	220	max. 692

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se skládá z literární studie a praktické části, která popisuje tvorbu 3D modelu krytky konektoru, nástroje pro jeho výrobu, tokovou simulaci a volbu stroje.

V provedené literární rešerši byly popsány aktuální poznatky ohledně problematiky vstřikování. Bylo hovořeno o polymerních materiálech, technologii a zákonitostech při návrhu ať už výrobku, tak i formy, z kterých bylo dále čerpáno v praktické části.

V prvním kroku praktické části bylo nutné provést tvorbu modelu, a to konkrétně přepravní ochranné krytky konektoru. Pro tuto aplikaci byl zvolen materiál PP s komerčním označením Borealis BC142MO, který vyniká nízkou cenou a dobrými zpracovatelskými vlastnostmi.

Dalším cílem bylo provést konstrukční návrh formy pro tento zvolený výrobek. Výsledkem je čtyřnásobná forma s dvoudeskovým systémem otevírání. Při návrhu bylo hojně využíváno typizovaných součástí od firmy Meusburger. Zaformování výrobku podmínilo vznik jedné hlavní dělicí roviny a dvou vedlejších, přičemž boční otvory byly odformovány mechanicky vlivem sklonu šikmého čepu. Vtoková soustava byla zvolena jako kombinace horkého rozvodného systému a studeného tunelového vtokového ústí, které umožňuje oddělit vtokový zbytek od výrobku přímo ve formě. Parabolické rozváděcí kanály jsou obráběny pouze do vyhadzovací strany. Rovnoměrné teplotní pole formy je udržováno pomocí proudící vody skrz 8 temperačních okruhů. Výrobek je vyhozen třemi válcovými vyhadzovači umístěnými na nepohledovou stranu výrobku. Vtok je vyhozen prostřednictvím vyhadzovače opatřeného podkosem. Odvzdušňující drážky kopírují tvar výrobku a rovněž jsou odvzdušněny vodící elementy. Forma je chráněna proti kolizím koncovým spínačem a pojistnými vyhadzovači. Pro manipulaci slouží traverza se závěsným okem, jejíž funkce spočívá také jako zámek při přepravě.

Celý konstrukční návrh byl doplněn o tokovou analýzu v programu Moldex3D. Díky studii ochlazování výrobku byla celková doba cyklu zkrácena o 25 % na 31 s. Efektivita navrženého temperačního systému se pohybuje okolo 20 % pro vnitřní okruhy, vnější slouží pouze k udržení rovnoměrného teplotního pole. Při obtékání bočního otvoru se střetávají dvě čela taveniny a vzniká studený spoj, který snižuje mechanické vlastnosti. Teplota taveniny je v průběhu vstřikovací fáze stabilní a nedochází k přehřátí polymeru. Nejdlejší strana výrobku se nejvíce smršťuje kvůli místům s nerovnoměrnou tloušťkou stěny, která způsobují objemové smrštění.

Stroj byl zvolen na základě rozměrových parametrů formy, výstupů simulace a výpočtu na Ferromatik K85. V příloze je výkres sestavy formy spolu s kusovníkem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOLTZENBURG, Sebastian, Michael MASKOS a Oskar NUYKEN. Polymer chemistry. Berlin: Springer, [2017], x, 584 s. ISBN 9783662492772.
- [2] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 8070806176. Dostupné také z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid_isbn-80-7080-617-6/anotace/
- [3] PROKOPOVÁ, Irena. Makromolekulární chemie. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2007, 207 s. ISBN 9788070806623. Dostupné také z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-978-80-7080-662-3/pages-img/
- [4] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery [online]. 2016 [cit. 2023-01-01]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [5] RODRIGUEZ, Ferdinand, Claude COHEN a Lynden ARCHER. Principles of Polymer Systems [online]. 2003 [cit. 2023-04-29]. ISSN edsair. Dostupné z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsair&an=edsair.doi.dedup.....fdb1e113dfa5664e680500fabb971876&scope=site>
- [6] DUCHÁČEK, Vratislav a Zdeněk HRDLIČKA. Gumárenské suroviny a jejich zpracování. Vyd. 4., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009, 199 s. ISBN 9788070807132.
- [7] STOYKO FAKIROV. Fundamentals of Polymer Science for Engineers. 2017. ISBN 9783527341313. Dostupné také z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsebk&an=1561318&scope=site>
- [8] BEAUMONT, John P., R. L. NAGEL a R. SHERMAN. Successful injection molding: process, design, and simulation. Munich: Hanser Publishers, c2002, xiii, 362 s. ISBN 1569902917
- [9] MANAS CHANDA. Plastics Technology Handbook. 2018. ISBN 9781498786218. Dostupné také z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsebk&an=1628326&scope=site>
- [10] LENFELD, Petr. Technologie vstřikování [online]. [cit. 2023-01-24]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>

- [11] LENFELD, Petr. Technologie II: Zpracování plastů [online]. In: . Technická univerzita Liberec [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [12] AUSPERGER, Aleš. Technologie zpracování plastů [online]. [cit. 2023-01-24]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Impresum.html>
- [13] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. [cit. 2023-01-24]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Impresum.html>
- [14] REES, Herbert. Mold engineering. 2nd ed. Munich: Hanser, 2002, xxiii, 688 s. ISBN 3446216596.
- [15] WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. Molding simulation: theory and practice. Cincinnati: Hanser Publications, [2018], xviii, 513 s. ISBN 9781569906194.
- [16] ARBURG spol. s r.o. [online]. 2023 [cit. 2023-01-29]. Dostupné také z: <https://www.arburg.com/cs/cz/>
- [17] GORDON, M. Joseph. Total quality process control for injection molding. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2010, xviii, 746 s. Wiley series on plastics engineering and technology. ISBN 9780470229637. Dostupné také z: <http://catalogimages.wiley.com/images/db/jimages/9780470229637.jpg>
- [18] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Grada, 2018, 1 online zdroj (464 stran). ISBN 978-80-271-0614-1. Dostupné také z: <https://www.bookport.cz/AccountSaml/SignIn/?idp=https://shibboleth.utb.cz/idp/shibboleth&returnUrl=/kniha/vstrikovani-plastu-4633/>
- [19] BOBEK, Jiří. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů [online]. © Code Creator, s.r.o., 2016 [cit. 2023-02-01]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
- [20] MALLOY, Robert A. Plastic part design for injection molding: an introduction. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2011, xiv, 549 s. ISBN 9781569904367.
- [21] CAMPO E. ALFREDO. Complete Part Design Handbook - For Injection Molding of Thermoplastics. 2006. ISBN 9781601191526. Dostupné také z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsknv&an=edsknv.kpCPDHFIM1&scope=site>

- [22] KAZMER, David. Injection mold design engineering. 2nd edition. Munich: Hanser, [2016], xxiv, 529 s. ISBN 9781569905708.
- [23] HUAMIN ZHOU. Computer Modeling for Injection Molding: Simulation, Optimization, and Control. 2013. ISBN 9780470602997. Dostupné také z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsebk&an=529181&scope=site>
- [24] BEAUMONT JOHN P. Runner and Gating Design Handbook - Tools for Successful Injection Molding (3rd Edition). 2019. ISBN 9781523126859. Dostupné také z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsknv&an=edsknv.kpRGDHTS11&scope=site>
- [25] KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. Flow analysis of injection molds. 2nd ed. Munich: Hanser, c2013, xxviii, 349 s. ISBN 9781569905128.
- [26] MOAYYEDIAN, Mehdi. Intelligent optimization of mold design and process parameters in injection molding. Cham: Springer Theses, 2019. ISBN 978-3-030-03355-2.
- [27] MatWeb. Materiálové listy [online]. In.: [cit. 2023-03-25]. Dostupné také z: <https://www.matweb.com>
- [28] Danzoplast GmbH & Co. KG [online]. [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <http://www.danzoplast.com/injection%20moulding%20machines/Ferromatik%20K%2085%20-%20493%20520101.htm>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Hmotnost vtokového zbytku
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
C	Uhlík
CAD	Počítačem podporované konstruování
CAE	Počítačem podporované projektování
Cl	Chlór
cm ³	Centimetr krychlový
d	Délka
D	Průměr vtokového ústí
F	Fluór
g	Gram
G	Hmotnost jednoho výrobku
GIT	Vstřikování s podporou plynu
GPPS	Polystyren pro všeobecné použití
g/cm ³	Gram na centimetr krychlový
g/10min	Gram za 10 minut
H	Vodík
HDR	Hlavní dělicí rovina
HMI	Rozhraní člověk-stroj
HVS	Horké vtokové systémy
ITT	Index toku taveniny
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
l/min	Litr za minutu
M	Zdvihová hmotnost plastu

mm	Milimetr
MPa	Megapascal
n	Násobnost formy
N	Dusík
O	Kyslík
Obr.	Obrázek
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonát
PE	Polyetylén
PLC	Programovaný logický automat
PMMA	Polymethylmetakrylát
PP	Polypropylen
s	Sekunda
SVS	Studené vtokové systémy
SVÚ	Studené vtokové ústí
š	Šířka
T	Teplota
t	Doba vstříku
Tab.	Tabulka
T_f	Teplota tečení
T_g	Teplota skelného přechodu
T_m	Teplota tání
v	Výška
V	Objem materiálu na jednu trysku
VDR	Vedlejší dělicí rovina
WIT	Vstřikování s podporou vody

%	Procento
°C	Stupeň Celsia
1/s	Reciproká sekunda
2D	Dvourozměrný
3D	Trojrozměrný
$\frac{\alpha_p}{\alpha_x}$	Poměr vstříkovaného plastu ke GPPS
$\dot{\gamma}$	Rychlost smykové deformace
π	Ludolfovo číslo

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdělení polymerů [4]</i>	11
<i>Obr. 2 Charakteristické oblasti amorfních polymerů [4]</i>	14
<i>Obr. 3 Charakteristické oblasti semikrystalických plastů [4]</i>	14
<i>Obr. 4 Schéma průběhu vstřikovacího cyklu [15]</i>	16
<i>Obr. 5 Vstřikovací stroj [16]</i>	17
<i>Obr. 6 Vstřikovací jednotka [15]</i>	18
<i>Obr. 7 Uzavírací jednotka [16]</i>	19
<i>Obr. 8 Faktory ovlivňující návrh výrobku [17]</i>	20
<i>Obr. 9 Tlustostěnný výrobek s přechody v tloušťce vs. tenkostěnný s rovnoměrnou tloušťkou stěny [21]</i>	21
<i>Obr. 10 Schéma vhodné a nevhodné konstrukce rádiusu [20]</i>	22
<i>Obr. 11 Správně navržený výrobek s úkosem [19]</i>	22
<i>Obr. 12 Přípustný vnitřní a vnější podkos [21]</i>	23
<i>Obr. 13 Použití žeber [21]</i>	23
<i>Obr. 14 Ukázka návrhu rozměrů žeber [17]</i>	24
<i>Obr. 15 Vady při vstřikování žeber</i>	24
<i>Obr. 16 Schéma dvoudeskového systému formy</i>	27
<i>Obr. 17 Studený vtokový systém [10]</i>	28
<i>Obr. 18 Plný kuželový vtok [24]</i>	29
<i>Obr. 19 Ukázka bodového vtoku [24]</i>	30
<i>Obr. 20 Použití tunelového vtoku [24]</i>	30
<i>Obr. 21 Banánový vtok [24]</i>	31
<i>Obr. 22 Schéma horkého rozvodného bloku [22]</i>	31
<i>Obr. 23 Ukázka umístění vyhazovacích kolíků</i>	32
<i>Obr. 24 Vývojový diagram produktu s implementací CAE [15]</i>	33
<i>Obr. 25 Vstřikovaný výrobek</i>	36
<i>Obr. 26 Otevření formy a vyhození výrobků a vtoků</i>	37
<i>Obr. 27 Návrh dělicích rovin na výrobku</i>	38
<i>Obr. 28 Násobnost formy</i>	38
<i>Obr. 29 Tvarové vložky</i>	40
<i>Obr. 30 Umístění tvarových vložek do tvarových desek</i>	41
<i>Obr. 31 Řez hlavními částmi posuvného systému</i>	41
<i>Obr. 32 Aretace posuvného dílu</i>	41
<i>Obr. 33 Vstřikovací forma</i>	42

<i>Obr. 34 Pohled do pravé a levé strany formy z dělicí roviny</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 35 Kombinovaný vtokový systém</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 36 Vtokový zbytek včetně výrobků</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 37 Detail vtokového ústí</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 38 Horký blok</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 39 Odvzdušnění tvarových částí</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 40 Odvzdušnění vodicích elementů</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 41 Temperační okruh v posuvné kostce</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 42 Temperační okruhy na straně tvárnice</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 43 Vyhazovací paket</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 44 Umístění vyhazovačů na výrobku</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 45 Koncový spínač</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 46 Přehled použitých středících komponent</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 47 Přesné středění</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 48 Traverza se závěsným okem</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 49 3D síť</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 50 Vstřikovací tlak při plnění</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 51 Vznik studeného spoje</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 52 Teplota taveniny v průběhu vstřikovací fáze</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 53 Průběh chlazení</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 54 Efektivita temperačního systému</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 55 Celková deformace výrobku</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 56 Objemové smrštění</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 57 Vstřikovací cyklus</i>	<i>55</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Fyzikální vlastnosti [27]</i>	36
<i>Tab. 2 Použité barevné značení tvarových částí</i>	39
<i>Tab. 3 Nastavení procesních podmínek</i>	50
<i>Tab. 4 Parametry pro volbu stroje [28]</i>	56

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list

Příloha P II: Technické parametry stroje

Příloha P III: Výkresová dokumentace:

- sestava formy,
- kusovník.

Příloha P IV: CD obsahující:

- text práce ve formátu PDF/A,
- 3D model výrobku,
- 3D model formy,
- tokovou analýzu,
- výkresovou dokumentaci.

PŘÍLOHA PI: MATERIÁLOVÝ LIST

04.12.2007 Ed.7



Polypropylene BC142MO

Description

BC142MO is a controlled rheology polypropylene heterophasic copolymer. It is characterized by high impact strength, good stiffness, excellent processability, good flow properties and low warpage.

Applications

Crates and boxes
Technical parts

Special features

High impact strength
Very good stiffness

Good processability
Good flow behaviour

Physical Properties

Property	Typical Value	Test Method
<small>Data should not be used for specification work</small>		
Density	905 kg/m ³	ISO 1183
Melt Flow Rate (230 °C/2,16 kg)	5 g/10min	ISO 1133
Tensile Modulus (1 mm/min)	1.100 MPa	ISO 527-2
Tensile Strain at Yield (50 mm/min)	9,5 %	ISO 527-2
Tensile Stress at Yield (50 mm/min)	25 MPa	ISO 527-2
Heat Deflection Temperature (0,45 N/mm ²)	80 °C	ISO 75-2
Instrumented Falling Weight (0 °C)	Max Force Total Penetration Energy	ISO 6603-2
Instrumented Falling Weight (-20 °C)	Max Force Total Penetration Energy	ISO 6603-2
Charpy Impact Strength, notched (23 °C)	32 J 9 kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy Impact Strength, notched (-20 °C)	4 kJ/m ²	ISO 179/1eA
Hardness, Rockwell (R-scale)	82	ISO 2039-2

Processing Techniques

This product is easy to process with standard injection moulding machines.

Following parameters should be used as guidelines:

Melt temperature	230 - 260 °C	
Holding pressure	200 - 500 bar	Minimum to avoid sink marks.
Mould temperature	10 - 30 °C	
Injection speed	High	

Shrinkage 1 - 2 %, depending on wall thickness and moulding parameters

Borealis AG | Wagramerstrasse 17-19 | 1220 Vienna | Austria
Telephone +43 1 224 00 0 | Fax +43 1 22 400 333
FN 269858a | CCC Commercial Court of Vienna | Website www.borealisgroup.com



PŘÍLOHA PII: TECHNICKÉ PARAMETRY STROJE

