

Konstrukce a vývoj vstřikovací formy pro technický díl

David Červenka

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	David Červenka
Osobní číslo:	T22011
Studijní program:	B0788A270001 Procesní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukce a vývoj vstřikovací formy pro technický díl

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární studii na dané téma.
- Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného plastového dílu.
- Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
- Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

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

Seznam doporučené literatury:

1. ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
2. 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
3. BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.
4. CATOEN, Bruce a Herbert REES. Injection mold design handbook. Munich: Hanser publishers, [2021], xxviii, 786 s. ISBN 978-1-56990-815-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Janošík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 6. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- 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 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, považují 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(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí a vývojem vstřikovací formy pro technický díl. Práce je rozdělena na dvě části – teoretickou a praktickou. Teoretická část se zaměřuje na rozdělení polymerních materiálů, technologii vstřikování a její cyklus. Dále se také zaměřuje na základní rozdělení vstřikovacích strojů a konstrukční principy formy i samotného výrobku.

Praktická část zahrnuje návrh a následné vytvoření 3D modelu plastového dílu a vstřikovací formy v softwaru CATIA V5-6R2020, ve kterém byla vytvořena také výkresová dokumentace. Během konstrukce byly využity normalizované součásti od společností Meusburger a Hasco.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, konstrukce formy, polymery

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the design and development of an injection mold for a technical part. The work is divided into two main sections – a theoretical part and a practical part. The theoretical part focuses on the classification of polymer materials, the injection molding technology and its cycle. It also focuses on the basic classification of injection molding machines and the design principles of the mold and the product itself.

The practical section includes the design and subsequent creation of a 3D model of the plastic part and the injection mold using CATIA V5-6R2020 software, where the technical drawing documentation was also prepared. During the design process, standardized components from Meusburger and Hasco were used.

Keywords: injection molding, injection mold, mold design, polymers

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Václavu Janoščíkovi, Ph.D., za jeho vedení, odborné rady a čas, který mi věnoval během konzultací této práce. Dále bych chtěl poděkovat přátelům, a hlavně mé rodině za obrovskou podporu během mého studia.

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

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYMERŇÍ MATERIÁLY	13
1.1 TERMOPLASTY	13
1.2 REAKTOPLASTY.....	14
1.3 ELASTOMERY	14
1.4 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	15
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	16
2.1 PŘÍPRAVA MATERIÁLU PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	16
2.1.1 Míchání	16
2.1.2 Sušení	16
2.1.3 Barvení	17
2.1.4 Granulace	17
2.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	17
2.2.1 p-v-T diagram.....	18
2.2.2 Plastikační fáze.....	19
2.2.3 Vstřikovací fáze	20
2.2.4 Dotlaková fáze	21
2.2.5 Chladicí fáze.....	22
3 VSTŘIKOVACÍ STROJ	23
3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	24
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	25
3.3 ŘÍDÍCÍ A KONTROLNÍ JEDNOTKA	26
4 PRVKY KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	27
4.1 NÁVRH DĚLÍCÍ ROVINY	27
4.2 NÁSOBNOST FORMY	28
4.3 VLIV SMRŠTĚNÍ VÝROBKU	29
4.4 TEMPERAČNÍ SYSTÉMY	29
4.5 VTOKOVÉ SYSTÉMY	30
4.5.1 Studený vtokový systém	31
4.5.2 Vyhříváný vtokový systém	33
4.6 VYHAZOVACÍ SYSTÉMY.....	35
4.7 ODVZDUŠŇOVACÍ SYSTÉMY	36
5 PRVKY KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU.....	37
5.1 TLOUŠŤKA STĚN	37
5.2 ÚKOSY	37

5.3	ZAOBLENÍ HRAN	38
5.4	ŽEBRA	38
5.5	KOMÍNKY	39
II	PRAKTICKÁ ČÁST	40
6	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	41
7	POUŽITÉ SOFTWARE	42
7.1	CATIA V5-6R2020	42
7.2	ONLINE KATALOGY MEUSBURGER A HASCO	42
8	POPIS VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	43
8.1	VOLBA MATERIÁLU	43
9	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	44
9.1	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	45
9.2	NÁVRH DĚLÍCÍ ROVINY	47
9.3	TVAROVÉ ČÁSTI.....	48
9.4	POSUVNÉ ČELISTI	49
9.5	NEPOHYBLIVÁ STRANA FORMY	51
9.6	POHYBLIVÁ STRANA FORMY	53
9.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	55
9.8	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	56
9.8.1	Temperace pevné strany formy	56
9.8.2	Temperace trysek horkého vtoku	58
9.8.3	Temperace pohyblivé strany formy	59
9.8.4	Temperace tvarových vložek posuvných čelistí.....	60
9.9	MANIPULAČNÍ SYSTÉM	62
10	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	63
	ZÁVĚR.....	64
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK.....	69
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	70
	SEZNAM PŘÍLOH.....	71

ÚVOD

Technologie vstřikování jednoznačně dominuje ve výrobě plastových dílů, a to hlavně z důvodu možnosti výroby složitých a přesných dílů za krátký čas s vysokou reprodukovatelností. Mezi klíčové aspekty této technologie patří návrh vstřikovací formy, který zásadně ovlivňuje kvalitu finálních výrobků, efektivitu výroby a celkové náklady. [26]

V současné době se oblast návrhu vstřikovacích forem soustředí na zakomponování moderních technologií za účelem zvýšení efektivity celého procesu. Jeden z velmi rozšířených přístupů je zařazení senzorů přímo do formy. Tyto senzory kontrolují a informují obsluhu o kritických parametrech po dobu procesu v reálném čase, což poskytuje možnost okamžité úpravy parametrů a zajištění konzistentní kvality výrobků. [27; 28]

Další oblastí, na kterou se v současnosti klade důraz při návrhu forem je jednoznačně využití pokročilých simulačních programů. Tyto softwary umožňují detailní analýzu chování taveniny během vstřikovacího cyklu ještě před samotnou výrobou formy a dokážou tak odhalit možné komplikace. [27; 28]

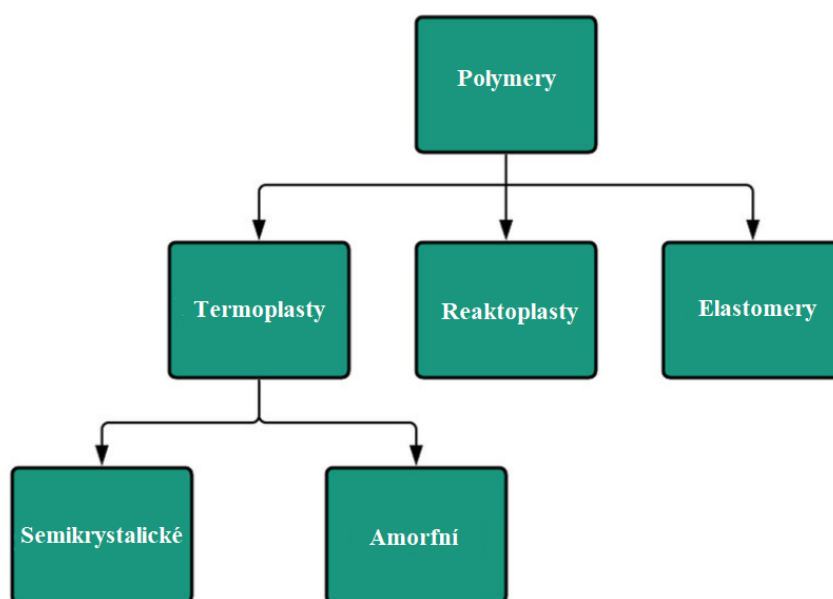
Návrh a konstrukce vstřikovací formy zahrnuje pečlivé zohlednění technologických zásad a využití moderních softwarových nástrojů. Tyto pokročilé nástroje umožňují nejen vytvoření detailních 3D modelů forem, ale také simulací samotného procesu vstřikování, které slouží jako účinný nástroj pro minimalizaci výrobních defektů a zkrácení času potřebného pro vyladění formy. V kombinaci s moderními senzory a důrazem na kvalitu povrchu se tak konstrukce forem stává stále více multidisciplinární oblastí, spojující strojní inženýrství, materiálové vědy i digitální technologie. [26; 27]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymerní materiály jsou vysokomolekulární látky složené z velkých molekul, které jsou také nazývány jako makromolekuly, tyto makromolekuly obsahují obrovské množství neustále se opakujících základních strukturních dílů neboli merů. [1; 2]

Polymery se v dnešní době nacházejí téměř všude a jsou nedílnou součástí světa okolo, jejich obrovská všestrannost a široká škála vlastností je důvodem, kvůli kterému jsou tak hojně využívány. Většina těchto materiálů disponuje velmi dobrými mechanickými, tepelnými a chemickými vlastnostmi, což je činí vhodné pro různé aplikace. Polymery se nejčastěji rozdělují do tří skupin: Termoplasty, Reaktoplasty a Elastomery, všechny je možné zpracovávat technologií vstřikování, ovšem využití termoplastů v této technologii značně dominuje. [1; 3]



Obrázek 1 Rozdělení polymerů [4]

1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou polymerní materiály, které vlivem vysoké teploty měknou a při přechodu do plastického stavu neprocházejí chemickou změnou, z tohoto důvodu jsou opakovatelně tavitelné a také velmi dobře tvárné za působení tepla, což u vstřikování přispívá k lepšímu vyplnění formy a možnosti vyrábět tvarově složitější součásti. Mezi další výhody patří jednoznačně jednoduchá recyklace a možnosti úpravy v jejím průběhu, které zvýhodňují výrobu jak z hlediska nákladů, tak i z hlediska životního prostředí. [1; 3]

Termoplasty se rozdělují do dvou skupin:

- Amorfnní termoplasty – např. PS, PMMA, PC, SAN,
- semikrystalické termoplasty – např. PE, PP, PA, POM, PBT,

tyto skupiny mají odlišné chování při zahřívání a vstřikování, což má velký dopad na vlastnosti konečného výrobku. [1; 3]

Amorfnní termoplasty nevytváří z taveniny uspořádanou krystalickou strukturu aneb netvoří sférolity na rozdíl od semikrystalických termoplastů, které mohou mít obsah krystalického podílu až 80 %, díky této vlastnosti mohou být amorfnní termoplasty průhledné a nacházejí využití například ve světelné technice u automobilů, nebo v optice. Dále disponují nižším smrštěním vůči formě (pod 1 %), tudíž jsou používány pro rozměrově přesné součásti. Semikrystalické termoplasty jsou naopak díky svému krystalickému podílu odolnější vůči mechanickému a tepelnému namáhání, a proto jsou hojně využívány v strojním průmyslu. [1; 3]

1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou taktéž jako termoplasty tavitelné a tvarovatelné za působení tepla ovšem jen po určitou dobu, při zahřívání dochází v polymeru k chemické reakci, která způsobuje tzv. zesíťování, tato reakce se nazývá vytvrzování a polymer se po ní stává netavitelný a nelze opětovně tvarovat. Díky této reakci vznikají unikátní vlastnosti jako vysoká chemická a tepelná odolnost, vysoká tvrdost a tuhost. [1; 5]

Patrně nejzásadnější rozdíl mezi vstřikováním reaktoplastů oproti termoplastům je absence doby chlazení a její nahrazení dobou vyhřívání formy neboli vytvrzování, rozsah teplot se pohybuje od 150 do 200 °C. Jeden z dalších rozdílů je tvoření nežádoucích plynů při zahřívání reaktoplastů, kvůli kterým se v konečném výrobku mohou vytvořit defekty a je potřeba je odvádět například pomocí odvzdušňovacích kanálů. [1; 5]

1.3 Elastomery

Elastomery jsou velmi pružné materiály s malou tuhostí, které snesou poměrně velkou hodnotu deformace bez toho, aby se porušily. Ovšem tyto vlastnosti jsou dosažitelné jen pomocí reakce, kterou elastomer prochází během zpracování. Tato reakce se nazývá tzv. vulkanizace a dochází při ní k zesíťování neboli k vytvoření příčných vazeb mezi polymerními řetězci a tím pádem ke zlepšení mechanických vlastností, tepelné a chemické

odolnosti. Po této reakci už se zesíťovaný elastomer nedá znovu roztavit ani tvarovat a stává se, podobně jako u reaktoplastů, dále nezpracovatelný za působení tepla. [1; 5]

U procesu vstřikování elastomerů je nutné se zaměřit na několik úkonů, bez kterých by výsledné výrobky nedosahovaly požadovaných vlastností. Elastomery vyžadují z důvodu jejich pružných vlastností a vyšší viskozity při tečení specifické nastavení teploty, tlaku a rychlosti vstřikování, čímž docílíme požadovaného vyplnění formy. [1; 5]

1.4 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery neboli TPE jsou polymerní materiály, které jsou v dnešní době velmi využívané nejen v procesu vstřikování ale také v dalších odvětvích. Tyto materiály lze opakovaně zpracovávat a velmi dobře tvarovat za působení tepla, a to díky kombinaci vlastností elastomerů a termoplastů, tato kombinace vlastností dělá termoplastické elastomery velmi žádané v dnešním průmyslu. [1; 3]

Termoplastické elastomery dokážou být poměrně pružné a snášet deformace jako klasické elastomery, a zároveň se za působení tepla dostanou do tekutého stavu díky jejich zesíťované struktuře, tato skutečnost umožňuje zpracování na klasických strojích určených pro vstřikování termoplastů, což zvyhodňuje výrobu z hlediska výrobních nákladů. Další výhodou je možnost recyklace, která je při současných kritériích výroby velmi žádaná a samozřejmě výrazně zvyhodňuje výrobu. [1; 3]



Obrázek 2 Příklady aplikací termoplastů (a), reaktoplastů (b), pryží (c), termoplastických elastomerů (d) [1]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování patří v průmyslové výrobě polotovarů ale i hotových dílů k nejvíce používaným metodám zpracování polymerů, princip této technologie spočívá v cyklickém opakování postupně jdoucích úkonů vstřikovacího cyklu. (Cyklus je podrobněji popsán v podkapitole 2.2). Mezi největší výhody vstřikování patří možnost vyrobit tvarově velmi složité výrobky s vysokou rozměrovou přesností, a to za jeden cyklus. Dále pak možnost snadné automatizace výroby, která je spojena s velkou efektivitou a relativně nízkými náklady. Velké využití nachází vstřikování v automobilovém průmyslu, ale také ve spotřebním průmyslu a domácnostech. [5; 6]

Vstřikování se sebou nese mnoho požadavků, bez kterých by výsledné výrobky nedosahovaly požadovaných vlastností a je nutné na ně brát zřetel. Mezi tyto požadavky patří například správný výběr nebo kombinace materiálů a jejich vlastností, design a návrh konstrukce výrobku a formy, druh aplikace a provozní podmínky kterým bude výrobek vystaven, chování polymeru při zahřátí atd. [2]

2.1 Příprava materiálu před vstřikováním

Správná příprava materiálu před vstřikováním je velmi důležitá a patří k hlavním požadavkům vstřikovací technologie. Nesprávná příprava materiálu může mít za následek tvoření defektů ve výrobku, ale také ztrátu požadovaných mechanických a estetických vlastností. Příprava se liší podle typu použitého materiálu a také aplikace. [7]

2.1.1 Míchání

Míchání je proces, ke kterému dochází za účelem správného a rovnoměrného rozložení různých druhů polymerů, aditiv, stabilizátorů, plniv nebo barviv ve výsledném granulátu, tyto přísady dokážou za správného promíchání ovlivnit konečné vlastnosti výrobku jako například pevnost či pružnost. Proces je prováděn na speciálních míchačkách. [7; 8]

2.1.2 Sušení

Vlhkost v polymeru je v kontextu vstřikování nežádoucí jev, který často vede k tvoření defektů uvnitř nebo na povrchu konečného výrobku a tím pádem může ovlivňovat jeho mechanické a vzhledové vlastnosti. Z tohoto důvodu je nutné polymery, které jsou náchylné k absorpci vlhkosti sušit v tzv. sušičkách při určitých teplotách po dobu několika hodin před

samotným zpracováním. Teplota a doba sušení závisí na typu polymeru a může se lišit, ovšem v průměru se teploty při sušení pohybují v rozmezí 80-120 °C. [7; 8]

2.1.3 Barvení

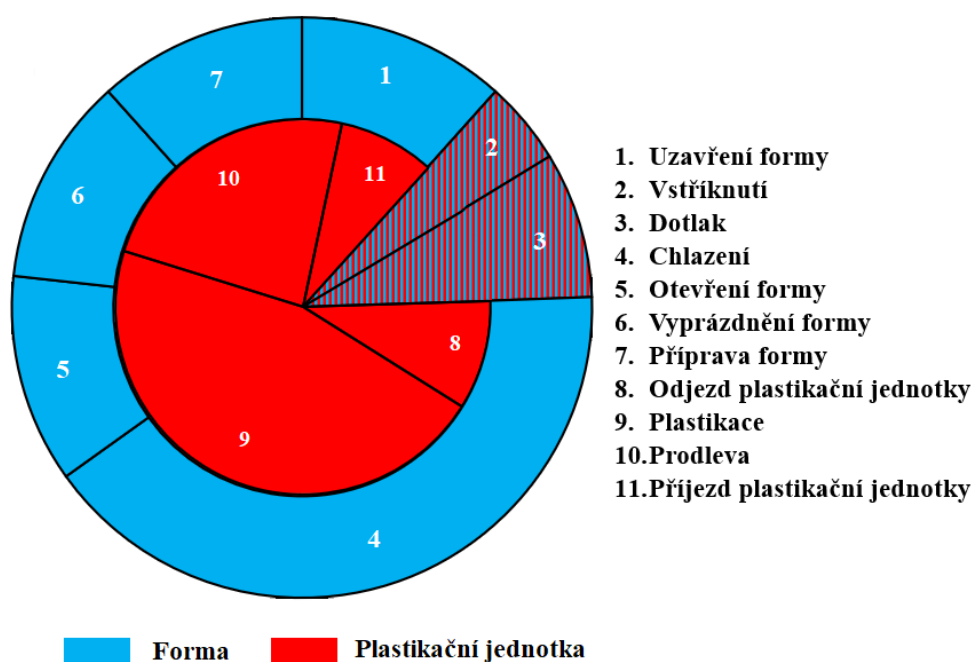
Polymery se mohou také barvit za použití specifických přísad, nejčastěji barevných koncentrátů, které se přidávají do granulátu po čas jeho míchání, čímž je docíleno správné rozložení barvy v granulátu. Barvení se provádí ať už za účelem estetické stránky, tak například za účelem zvýšení odolnosti materiálu vůči UV záření. [7; 8]

2.1.4 Granulace

Za účelem ideálního tavení a promísení uvnitř vstřikovacího stroje provádíme tzv. granulaci. Tento proces se nejčastěji děje v extruderech, kde se roztavená směs polymeru vytlačuje přes vytlačovací hlavu do provazců požadovaného průměru, tyto provazce jsou poté nasekány na stejně velké granule. Granulace má také pozitivní vliv na rovnoměrné dávkování polymeru při samotném vstřikování a jeho manipulaci během skladování. [7; 8]

2.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je neustále se opakující proces několika specifických kroků, jehož výsledkem je vstříknutý díl. Po čas tohoto cyklu je vstřikovaný polymer podroben teplotnímu a tlakovému působení, které má vliv na finální vlastnosti výrobku. [9; 10]



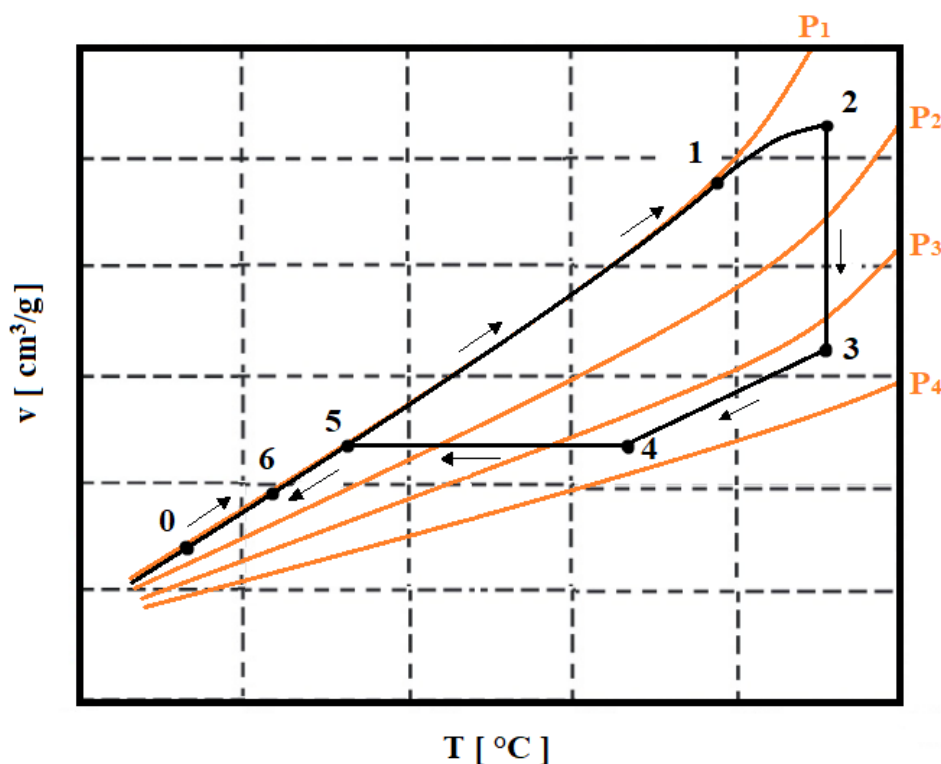
Obrázek 3 Schéma vstřikovacího cyklu

Začátek cyklu lze definovat uzavíráním formy a následným přijetím plastikační jednotky směrem k formě, po tomto kroku přichází na řadu už samotné vstříknutí roztaveného polymeru do dutiny formy a fáze dotlaku. Po ukončení dotlaku dochází k chlazení a současně odjíždí plastikační jednotka ve které poté dochází k plastikaci další dávky polymeru. Po dostatečném ochlazení dojde k otevření formy a vyhození výrobku. Následuje příprava formy pro další cyklus a celý proces se opakuje. [9; 11]

Tento proces můžeme popsat jak pomocí diagramu p_i-t , který vyjadřuje časovou závislost vstřikovacího tlaku v dutině formy, tak i pomocí $p-v-T$ diagramu. [9]

2.2.1 $p-v-T$ diagram

Vstřikovací cyklus je v diagramu $p-v-T$ popisován pomocí stavových termodynamických veličin jako jsou tlak (p), měrný objem (v) a teplota polymeru (T). [5]



Obrázek 4 $p-v-T$ diagram [5]

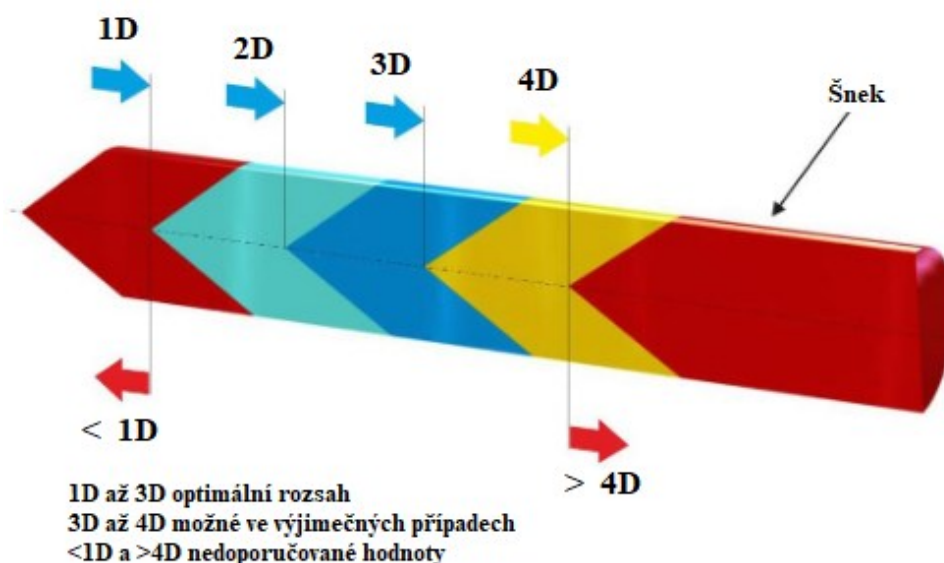
V bodě 0 na obrázku 4 je již vstřikovací forma uzavřena a začíná zahřívání a plastikace polymeru při pokojové teplotě a barometrickém tlaku p_1 . V bodě 1 se pak tlak vlivem tavení a komprese polymeru začíná zvyšovat a přibližovat hodnotě vstřikovacího tlaku p_2 . Při dosažení bodu 2 je ukončena plastikace a tavenina je připravena k samotnému vstříknutí do dutiny formy. Po překročení bodu 2 dochází k náhlému zvýšení tlaku, díky axiálnímu

pohybu šneku a nastává plnění dutiny formy roztaveným polymerem, z důvodu zjednodušení se teplota vstřikovaného polymeru po čas plnění dutiny formy nemění. V bodě 3 je vstřikovací dutina téměř zaplněna a tlak nabývá své maximální hodnoty někde mezi izobarou p_3 a p_4 . Mezi body 3 a 5 dochází k dotlaku, který je rozdělen na dvě fáze, první fáze začíná v bodě 3 a dochází při ní k tzv. izobarickému dotlaku, při kterém se hodnota tlaku nemění. V bodě 4 se pak dotlak přepne na izochorickou fázi, která probíhá za stejného objemu polymeru v dutině formy. Tato fáze končí v bodě 5, kdy dochází k úplnému zatuhnutí vtokového ústí a tlak klesne až na původní hodnotu p_1 . Teplota vstřikované taveniny klesá už při prvním doteku se stěnou formy, ovšem to je stále za působení určitého tlaku, chlazení mezi body 5 a 6 už probíhá bez působení tlaku a dochází k při něm ke zvyšování tuhosti výstřiku. Celý proces končí bodem 6, při kterém dojde k otevření formy a vyhození výstřiku. [5; 10]

2.2.2 Plastikační fáze

Proces plastikace je jednou z nejdůležitějších částí při vstřikování a slouží k přeměně granulátu na homogenní taveninu vhodnou pro vstřiknutí. Tento proces se děje v plastikační jednotce stroje a polymer je během něj podroben rotačnímu a zpětnému axiálnímu pohybu šneku, díky kterému dochází k tření, a tedy k zahřívání plastikované dávky, zahřívání je také doplňováno topnými pásy, které však tvoří menší podíl požadovaného tepla, přibližně jednu třetinu. Pro úspěšné vyplnění dutiny formy a dosažení požadovaných mechanických a estetických vlastností je nutné docílit optimální teplotní a viskozitní homogenity taveniny před čelem šneku. V případě nedostatečného promísení taveniny se na výrobku mohou objevit nedokonalosti jako například tokové čáry, studené spoje nebo bubliny. [2; 5]

Při výpočtech požadovaného objemu taveniny pro vyplnění dutiny a vtokového systému je nutné brát zřetel také na smrštění polymeru. K redukci tohoto jevu nám přispívá tzv. polštář neboli množství taveniny, které je v průběhu fáze dotlaku nashromážděno před čelem šneku, což kompenzuje náhlé změny objemu a obvykle zahrnuje 5 až 15 % celkového objemu výrobku. Zvolení nedostatečného objemu polštáře vede k nedostatečnému vyplnění formy, a tím pádem k nedodržení požadovaných rozměrů. Naopak maximální objem polštáře by neměl překračovat čtyřnásobek průměru šneku. [5]

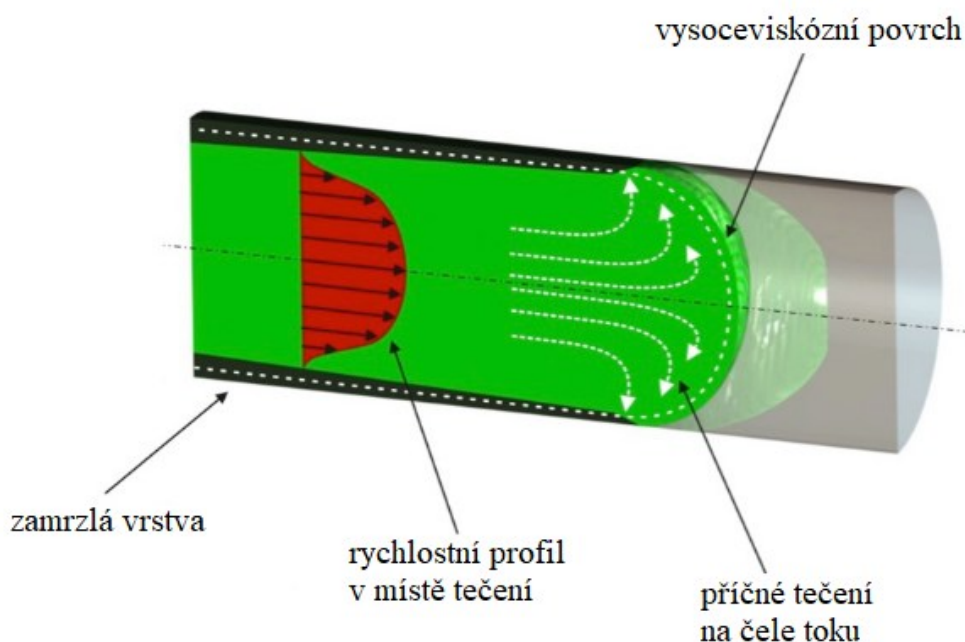


Obrázek 5 Rozsah objemu dávky u vstřikovacích strojů [5]

2.2.3 Vstřikovací fáze

Vstřikovací fáze je proces, při kterém dochází k plnění dutiny formy homogenní taveninou připravenou v předchozím kroku, tedy v plastikační fázi. Je to velmi důležitý proces, který má obrovský vliv na vlastnosti konečného výrobku a závisí především na axiálním posuvu šneku směrem vpřed neboli rychlosti vstřikování, která je ovlivňována faktory jako teplota taveniny, tlak, teplota formy a druh materiálu. Při vstřikování je žádoucí, aby byla rychlost čela proudící taveniny konstantní v každém místě průřezu tokové dráhy. [2; 5]

Během samotného plnění formy je také nutné, aby tavenina neproudila volně ale postupně, což vede k laminárnímu proudění. U vstřikování termoplastů je teplota formy nižší než teplota taveniny, a proto se tavenina při styku se stěnou formy okamžitě ochladí a vytvoří tuhou izolační vrstvu, díky které může tavenina uvnitř stěn dobře proudit. Tento stav umožňuje postupné zaplnění celé dutiny formy. Ve středu proudu taveniny je rychlost i teplota nejvyšší a směrem ke stěnám formy postupně klesají, čímž dochází k zakřivení čela toku a poklesu tlaku směrem ke stěně formy. [2; 5]



Obrázek 6 Průběh rychlosti tečení u neplněných plastů [5]

Délka doby vstřikování závisí na mnoha faktorech, jako třeba hmotnost vstřikovaného výrobku, druh materiálu, nastavení stroje, požadované vlastnosti výrobku atp., ovšem je žádoucí, aby byla co nejkratší. V průměru se tato doba pohybuje v rozmezí jednotek až desítek sekund. [5]

Po naplnění formy dochází ke stlačování taveniny a tím pádem ke zvýšení tlaku, který se následně vyrovná ve fázi dotlaku. [5]

2.2.4 Dotlaková fáze

Dotlaková fáze začíná ihned po ukončení vstřikovací fáze neboli ihned po naplnění dutiny formy a jejím cílem je redukce hodnoty smrštění výstřiku při jeho ochlazování a tím pádem dodržení požadovaných rozměrů a odstranění případných defektů jako například propadlin, lunkrů, trhlin atp. [2; 5]

Při naplnění dutiny formy začne docházet ke stlačování materiálu uvnitř a začne se prudce zvyšovat tlak v dutině formy, v případě že by stejný tlak působil po delší dobu, mohlo by dojít ke vzniku tzv. tlakové špičky a následně k porušení některé části formy, což je vzhledem k vysokým nákladům na pořízení formy nežádoucí. Abychom předešli tomuto jevu, je nutné snížit vstřikovací tlak neboli přepnout na dotlak, ovšem velkou roli zde hraje načasování, protože při příliš brzkém přepnutí na dotlak může dojít k nedostatečnému vyplnění formy a tím pádem k defektu na výstřiku. [5]

Při vstřikování je žádoucí vyrobit výrobek, který se vždy vejde do dané toleranční meze, a je tedy reprodukovatelný, tuto vlastnost lze sledovat pomocí objemu taveniny neboli tzv. polštáře, který zůstane před čelem šneku po ukončení dotlaku. Shodné hodnoty po jednotlivých vstřikovacích procesech vypovídají o reprodukovatelnosti výrobku. [2]

Doba dotlaku je omezena do doby, než dojde k zatuhnutí vtokového ústí v celém průřezu a už není dále možné dodávat taveninu do dutiny formy, řádově několik sekund. [5]

2.2.5 Chladicí fáze

Chladicí fáze zabírá nejdelší část procesu vstřikování, a tudíž jsou na ni kladené velké nároky jak z hlediska technologického, tak i ekonomického. Cílem této fáze je ochlazení výstřiku na teplotu, při které nedojde k jeho deformaci vlivem vyhazovacího mechanismu. U termoplastů dochází k ochlazování už ve fázi vstřikování, a to díky tomu, že je teplota formy nižší než teplota vstřikovaného materiálu. Jakmile se tavenina dotkne stěny dutiny formy začne jí předávat své teplo, které je následně odváděno temperačním systémem pryč z formy, jako chladicí médium se nejčastěji používá voda. [5; 7]

Doba chlazení by měla být co nejkratší ovšem s ohledem na požadované vlastnosti výstřiku, při příliš krátké době chlazení se ve výsledném výstřiku může objevit vnitřní pnutí, které má za následek zhoršení mechanických vlastností. Například u semikrystalických plastů je delší doba ochlazování doprovázena zvýšením krystalického podílu, což má za následek zlepšení mechanických vlastností výsledného výrobku, ovšem zvýšení krystalického podílu je doprovázeno vyšší hodnotou smrštění. [2; 7]

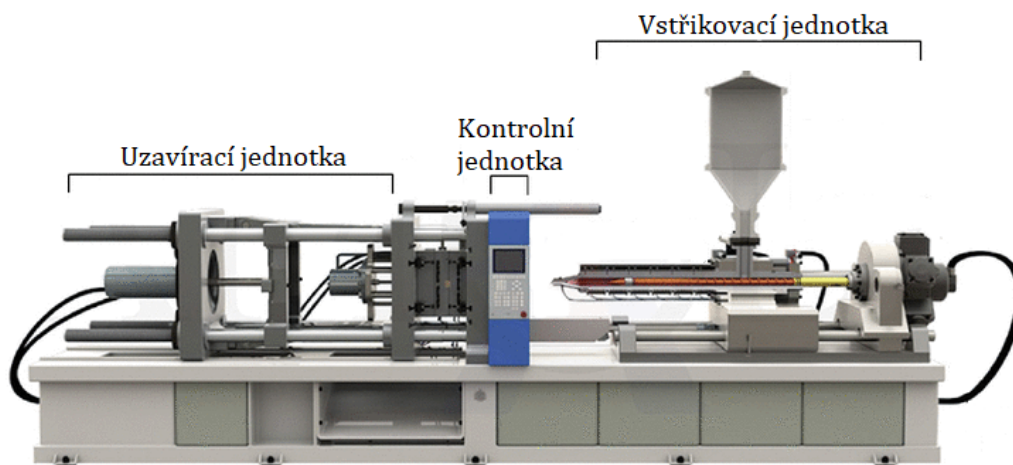
Z důvodu tepelně izolačních vlastností polymerů je délka doby chlazení v řádech několika jednotek až stovek sekund a velmi se odvíjí od tloušťky stěny vstřikovaného výrobku. Vzhledem k tomu, že je teplota výrobku při vyhození stále vyšší než teplota okolí, chlazení nadále pokračuje i mimo formu. [5]

3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj patří mezi nejdůležitější prvky celé technologie vstřikování a odvíjí se od něj efektivita a přesnost výroby. Existuje více typů vstřikovacích strojů, které je možné rozdělit do skupin podle různých hledisek, přičemž každý stroj je výhodnější pro jiný druh aplikace. [11; 12]

Stroje rozdělujeme například:

- Podle typu pracovního členu vstřikovací jednotky – šnekové a pístové vstřikovací stroje.
- Podle směru posuvu pohyblivé desky uzavírací jednotky – horizontální a axiální vstřikovací stroje.
- Podle typu pohonu vykonávající pohyb v hlavních osách stroje – hydraulické, elektrické nebo také hybridní stroje.



Obrázek 7 Vstřikovací stroj [6]

Rozměry stroje záleží na velikosti vstřikovaného dílu a také na jeho projekční ploše, přičemž větší stroje bývají obvykle ekonomicky výhodnější při současné výrobě více menších dílů, tedy pro vícenásobné formy. Mezi základní konstrukční části vstřikovacího stroje patří vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka a společná řídicí a kontrolní jednotka. Tyto jednotky jsou vzájemně propojeny a jejich koordinované fungování je klíčové pro dosažení vysoké přesnosti a efektivity celého procesu vstřikování. [11; 12]

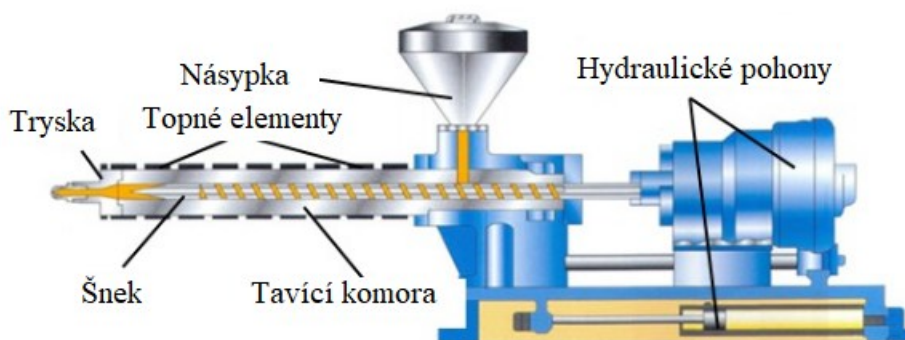
Při procesu vstřikování strojem proudí polymer od zásobníku až k formě, kde je za působení vysoké teploty a tlaku tvarován. Vstřikovací tlak může dosáhnout hodnoty až 2000

barů, z toho důvodu je nutná robustní konstrukce a dostatečně velká uzavírací síla, aby nedocházelo k otevření a případnému úniku materiálu. [11]

3.1 Vstřikovací jednotka

Cílem vstřikovací jednotky je plastikace a následné vstříknutí polymerního materiálu do dutiny formy, tento proces musí být vstřikovací jednotka schopna provést co nejrychleji a nejefektivněji, z důvodu rychlého tuhnutí materiálu. [13; 14]

Jednotka se skládá z částí jako je šnek, tryska, násypka, tavící komora, topná tělesa a hydraulický pohon, který zajišťuje potřebný tlak pro vstřikování. Násypka je vstupní element, skrze který granulát proudí do tavící komory, kolem které jsou rozmístěny topné elementy. Na konci tavící komory se nachází tryska, která při přijetí jednotky směrem k formě dosedne na vtokovou vložku. Uvnitř tavící komory je umístěn šnek s charakteristickou geometrií a je rozdělen na tři hlavní pásma: vstupní pásmo, přechodové pásmo a výstupní pásmo. Ve vstupním pásmu je granulát z násypky přiváděn do tavící komory a pomocí šneku je posouván směrem k trysce. V přechodovém pásmu dochází vlivem tření a topných pásů k tavení materiálu, zatímco ve výstupním pásmu dochází k zajištění správné homogenizace a tlaku pro vstříknutí, současně dochází ke zpětnému pohybu šneku vlivem hromadění taveniny před jeho čelem. [10; 13; 14]



Obrázek 8 Vstřikovací jednotka [11]

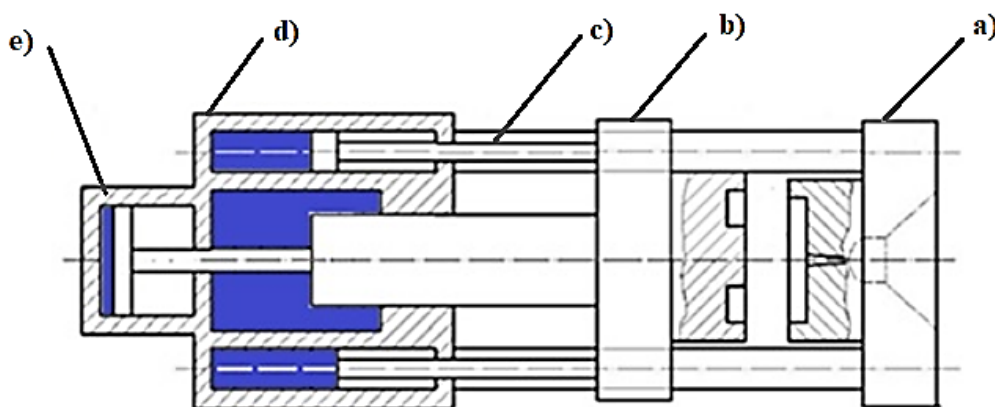
Celková výkonost a efektivita vstřikovací jednotky lze popsat dvěma parametry, a to vstřikovací a plastikační kapacitou. Vstřikovací kapacita udává maximální objem taveniny, který lze dopravit z tavící komory do volného prostoru za jeden pracovní zdvih šneku. Naopak plastikační kapacita udává maximální objem taveniny, který stroj dokáže převést do plastického stavu za určitý čas. [11]

3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka je jedna z hlavních částí vstřikovacího stroje. Úkol této jednotky spočívá v zajištění co nejrychlejšího a zároveň plynulého otevírání/zavírání formy a udržení pevného spojení pevné a pohyblivé části formy během vstřikování, které probíhá pod vysokým tlakem. Při špatném uzavření formy může docházet k úniku taveniny v oblasti dělicí roviny a tím pádem k defektu na výrobku. [10; 11]

Existují dva hlavní typy uzavíracích jednotek: hydraulické a mechanické.

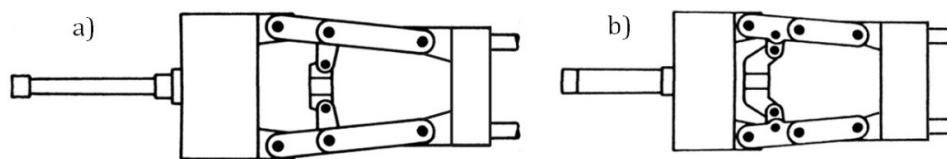
- Hydraulické jednotky jsou vybaveny hydraulickými válci, kterými je realizován přímý pohyb formy a vytvoření potřebné uzavírací síly. Tento systém umožňuje flexibilní přizpůsobení různým rozměrům forem a není ovlivněn teplotními změnami. Hydraulické systémy jsou považovány za ideální pro aplikace vyžadující vysoké uzavírací síly a široké otevření formy, avšak jsou charakterizovány složitější údržbou a nebezpečím úniku hydraulické kapaliny. [12; 13]



a) pevná část formy, b) pohyblivá část formy, c) vodící tyče, d) rám stroje, e) hydraulický válec pro ovládání pohyblivé části formy

Obrázek 9 Hydraulická uzavírací jednotka [11]

- Mechanické jednotky, například kloubové mechanismy umožňují dosahování vysokého uzavíracího tlaku s nižší spotřebou energie. Tyto jednotky jsou považovány za efektivní při neměnných rozměrech formy, avšak hůře zvládají přizpůsobení změnám způsobeným teplotními výkyvy. Mechanické systémy jsou označovány za rychlejší a méně energeticky náročné, ale jejich konstrukce je složitější, pokud mají být zajištěny vysoké uzavírací síly. [12; 13]



Obrázek 10 Vícekloubové mechanismy a) 4-kloubový b) 5-kloubový [11]

V praxi jsou také hojně využívány kombinace výše zmíněných systémů, které disponují výhodami obou typů. [10]

3.3 Řídící a kontrolní jednotka

Bez řídicí a kontrolní jednotky vstřikovacího stroje by nebylo možné dosáhnout efektivního a bezpečného provozu. Tato část stroje se také přímo podílí na optimalizaci výrobních procesů a patří mezi nejdůležitější části vstřikovacího stroje. [11; 13]



Obrázek 11 Kontrolní jednotka společnosti Arburg [11]

Jednotka se skládá ze dvou hlavních částí:

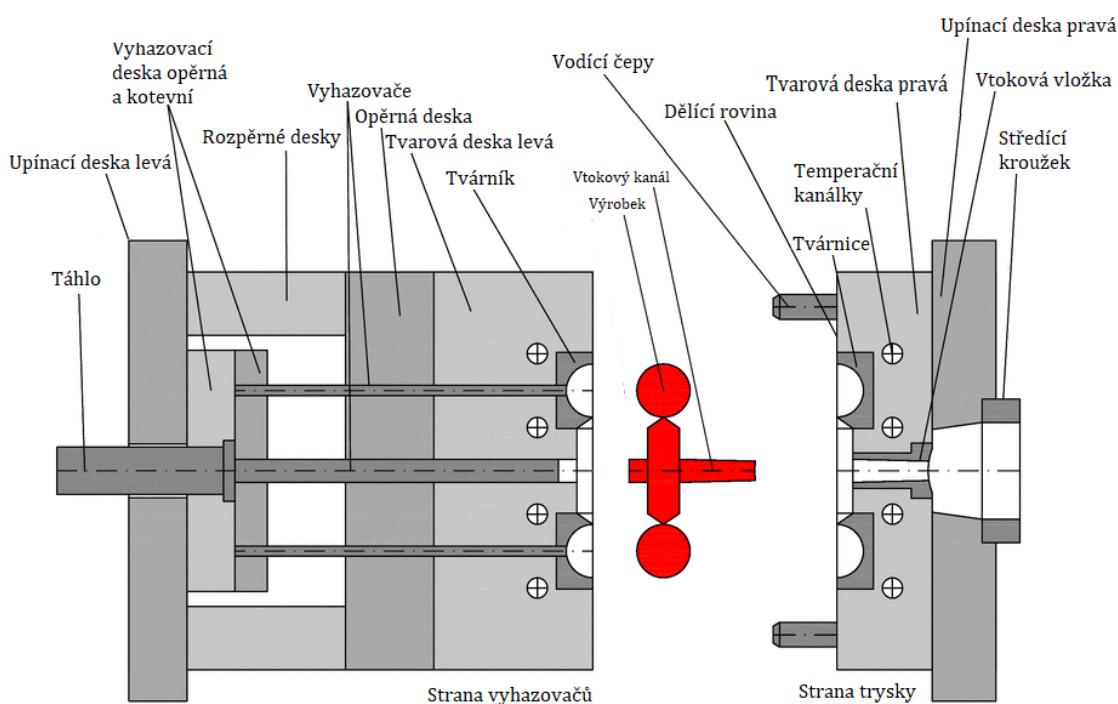
Uživatelské rozhraní umožňuje operátorům zadávat a monitorovat technologické parametry. Tvoří jej displej (často dotykový), klávesnice nebo myš, které umožňují intuitivní ovládání. Rozhraní zobrazuje aktuální hodnoty, diagnostiku poruch a často zahrnuje statistické nástroje pro sledování kvality. Jeho rozložení se liší podle výrobce stroje. Kromě toho umožňuje přenos dat a výrobních programů pomocí paměťových médií. [12; 13]

Regulační část, která je operátorovi neviditelná, zpracovává signály ze senzorů a řídí pohyby stroje. Tato část reguluje parametry, jako jsou teplota, tlak nebo rychlost při vstřikování a porovnává jejich aktuální hodnoty s nastavenými, v případě potřeby aktivuje regulační prvky. Moderní jednotky využívají mikroprocesory nebo CNC systémy, což umožňuje nejen rychlé a přesné reakce, ale také automatickou optimalizaci procesů a ukládání výrobních dat. [12; 13]

4 PRVKY KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

V procesu vstřikování patří vstřikovací forma k nejdůležitějším částem a mezi její hlavní úkoly patří udržení polymerní taveniny v dutině formy, efektivní přenos tepla z horké taveniny na chladnější ocel formy a rychlé vyjmutí hotového dílu. Návrh vstřikovací formy zahrnuje zohlednění různých komponentů a jejich funkcí, jako jsou chladicí kanály, které pomáhají regulovat teplotu během procesu, vyhazovací mechanismus, který usnadňuje vyjmutí hotových výrobků, nebo vtokový systém, který zajišťuje přenos taveniny z trysky stroje do dutiny formy. Forma musí odolávat vysokým tlakům a silám, které by mohly způsobit její otevření nebo deformaci. [6; 15]

Správný a efektivní návrh formy výrazně zvyšuje efektivitu výroby, což má pozitivní dopad na celkové náklady na výrobu. [6]

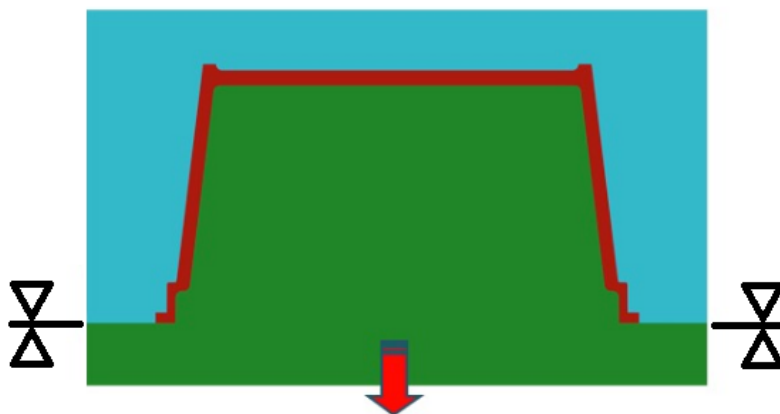


Obrázek 12 Popis dvoudeskové formy [16]

4.1 Návrh dělicí roviny

Dělicí rovina vstřikovací formy je možné definovat jako kontaktní plochu mezi pevnou a pohyblivou částí formy. Návrh dělicí roviny by měl být co nejjednodušší a měl by zajistit dokonalou těsnost, aby se zabránilo úniku taveniny polymeru. Toto nepropustné spojení se také odvíjí od velikosti uzavírací síly, která působí kolmo na dělicí rovina. Správný návrh a

a orientace tvarových dutin vstřikovací formy vůči dělicí rovině přispívá k efektivnějšímu odformování výrobku, zejména když výrobek disponuje žebrováním či složitými tvary. I přes veškeré úsilí navrhnout dělicí rovinu tak, aby neovlivňovala vzhled výrobku, často se objevují mírné stopy. Z tohoto důvodu by se měla dělicí rovina nacházet na nepohledových místech, kde nebude negativně ovlivňovat vzhled nebo funkci výrobku. [13; 15]



Obrázek 13 Příklad dělicí roviny [18]

4.2 Násobnost formy

Násobnost formy neboli počet dílů vyrobených během jednoho vstřikovacího cyklu přímo ovlivňuje efektivitu výroby, celkové náklady a kvalitu výrobků. Obecně platí, že při velkých požadavcích na kvalitu a přesnost výrobků je vhodnější menší násobnost, a naopak při hromadné výrobě mnoha kusů je vhodnější vyšší násobnost, a to hlavně z hlediska ekonomiky. Vyšší násobnost umožňuje současnou výrobu více kusů, čímž se zkracuje výrobní čas a náklady. Při návrhu je také nutné zohlednit uspořádání dutin, které může být například lineární, mřížkové nebo hvězdicové a musí zajišťovat rovnoměrné plnění všech dutin formy současně, aby se minimalizovalo riziko defektů. [10; 15; 17]



Obrázek 14 Příklad rozložení dutin při vyšší násobnosti formy [22]

4.3 Vliv smrštění výrobku

Polymerní materiály se při zahřívání roztahují a při ochlazení smršťují, což výrazně ovlivňuje konstrukci vstřikovací formy, neboť tyto změny přímo určují rozměry výsledného výrobku. Při návrhu formy je důležité brát v úvahu jak vlastnosti materiálu, tak i jeho chování během procesu vstřikování. Vhodnou analýzou například pomocí CAE analýzy se dají identifikovat oblasti s vysokým rizikem smrštění a následně se tyto oblasti mohou optimalizovat. [2; 18]

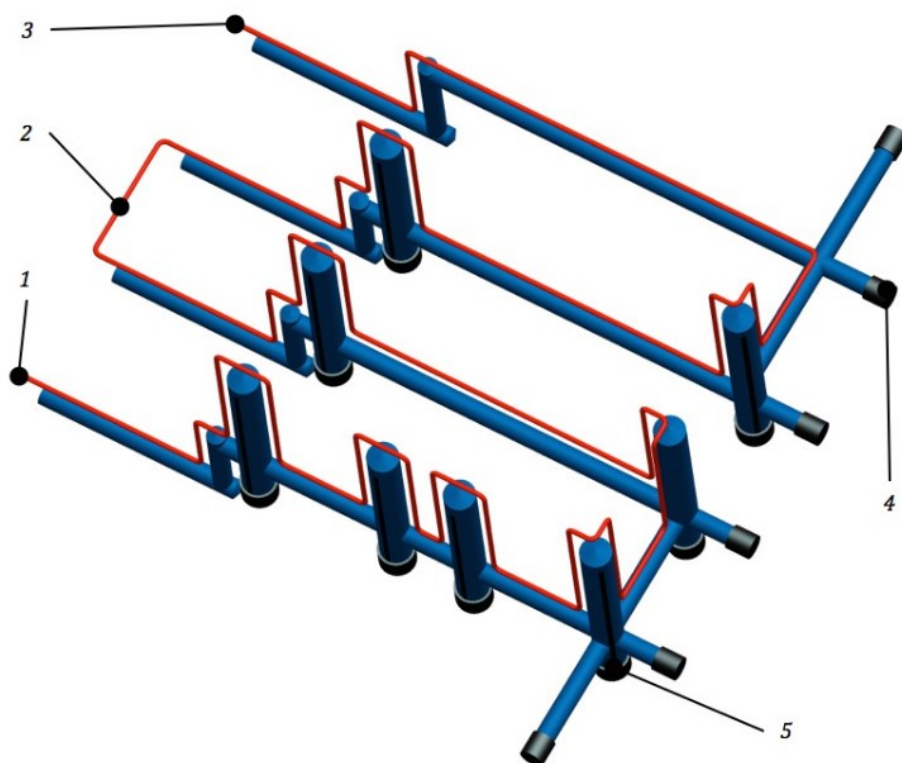
Rozměry při návrhu tvarových dutin formy vycházejí z jmenovitých rozměrů výrobku, ovšem k těmto hodnotám je často nutné přičíst hodnotu středního výrobního smrštění. Tato hodnota odpovídá průměru hodnot smrštění ve směru toku a kolmo na směr toku taveniny a lze ji nalézt v materiálovém listu konkrétního plastu. Z toho vyplývá, že rozměry dutiny vstřikovací formy musí být přizpůsobeny tak, aby výsledný výrobek dosahoval požadovaných rozměrů. [2; 18]

4.4 Temperační systémy

Temperační systém je velmi důležitá část procesu vstřikování polymerů a slouží k dosažení a udržení požadované teploty formy v průběhu vstřikování. Chlazení či případné ohřívání probíhá pomocí temperačního média (nejčastěji voda nebo minerální oleje), které proudí vyvrtanými kanály ve formě, konstrukce těchto kanálů je zásadní a přímo se podílí na efektivitě a rychlosti odvodu tepla z míst, kde se teplo hromadí, například v oblasti žeber, silných stěn nebo ostrých rohů. Špatný návrh temperačního systému může vést ke ztrátě účinnosti chlazení a k nežádoucímu zvýšení teploty formy. [6; 15; 17]

Další důležitou částí při návrhu temperačního systému je zvolení správné rychlosti přenosu tepla a průtoku chladicí kapaliny a tím pádem dosažení rovnoměrného teplotního rozložení v různých částech formy. K uskutečnění těchto požadavků pomáhají moderní počítačové programy, které simulují návrhy temperačních systémů, což konstruktérům umožňuje optimalizovat provedení a dosáhnout tak lepších výsledků. [15; 17]

Pro zvýšení efektivity tradičních temperačních systémů se používají různé moderní prvky, jako například spirálové přepážky, které zvětšují plochu, při které dochází k výměně tepla. Prvky jsou normalizované a jsou dostupné v mnoha provedeních a rozměrech. V neposlední řadě je také důležitá dokonalá nepropustnost temperačního systému, tu zajišťují normalizované prvky jako ucpávky, pryžové O-kroužky a rychlospojky. [15; 17]



1 - vstup temperačního média, 2 - propojovací větev, 3 - výstup temperačního média, 4 - ucpávky, 5 - přímá přepážka

Obrázek 15 Temperační okruh pevné části formy [18]

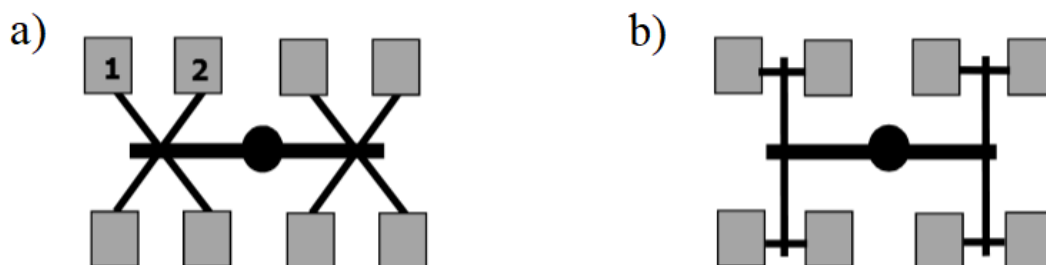
4.5 Vtokové systémy

Vtokový systém slouží k dopravení taveniny z trysky vstřikovací jednotky do dutiny formy a jedná se o důležitou část procesu vstřikování z hlediska dosažení požadovaných vlastností výrobku. Hlavním úkolem vtokového systému je vedení taveniny a zajištění optimálních podmínek pro vstřikování jako například rovnoměrné plnění dutiny nebo minimalizace tlakových a teplotních ztrát. Vtokový systém by samozřejmě neměl obsahovat žádná slepá místa, kde by se mohla proudící tavenina hromadit a následně chladnou či degradovat, což záleží na konstrukci systému. [16; 19; 20]

Existují různá provedení vtokových systémů a nejčastěji je rozdělujeme podle toho, jestli jsou umístěny v hlavní či vedlejší dělicí rovině nebo podle toho, jestli jsou studené, kde se tavenina ochlazuje a tuhne, nebo horké, kde se tavenina udržuje v roztaveném stavu a nedochází ke vzniku vtokového zbytku. [7; 21]

Vtokový systém se skládá z tří hlavních částí: Vtokový kanál, který slouží jako hlavní cesta taveniny z trysky vstřikovacího stroje, dále rozvodný kanál, který usměrňuje tok

taveniny k jednotlivým dutinám a vtokové ústí přes které tavenina přímo vstupuje do dutiny formy. [19; 21]

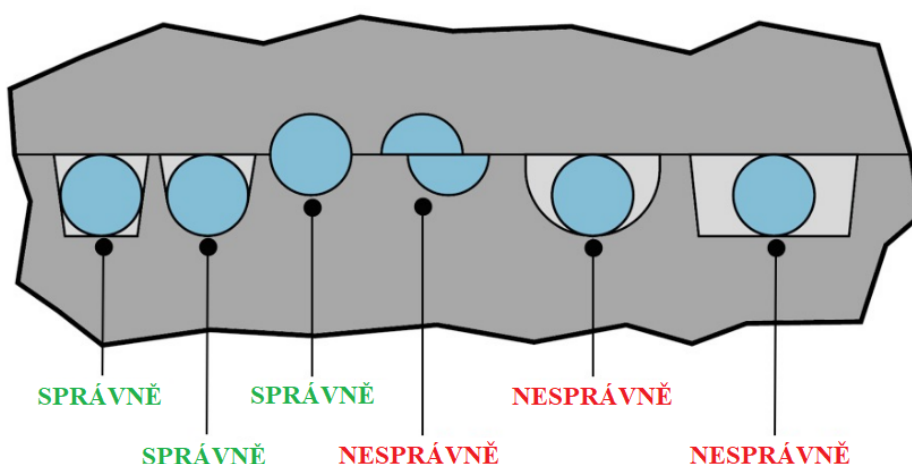


Obrázek 16 a) nevhodné řešení rozvodných kanálů, dutina 1 se plní rychleji než dutina 2 b) vhodné řešení rozvodných kanálů [22]

4.5.1 Studený vtokový systém

Mezi hlavní výhody studeného vtokového systému patří jeho jednoduchost a nižší náklady na údržbu v porovnání s horkým vtokovým systémem. Po skončení vstřikovacího cyklu je dostatečně ochlazený výrobek vyhozen z formy společně s vtokovým systémem, který je následně odstraněn. [7; 20]

Při návrhu studeného vtokového systému je důležité správné umístění a tvar vtokového kanálu a jeho ústí. Pro lepší plynulost toku taveniny a následné bezproblémové vyhození by měl být vtokový kanál kruhového nebo parabolického průřezu a u vtokového ústí je požadováno umístění v části s největší tloušťkou stěny, aby se zajistil rovnoměrný tok taveniny a minimalizovalo se riziko deformací. [7; 16]

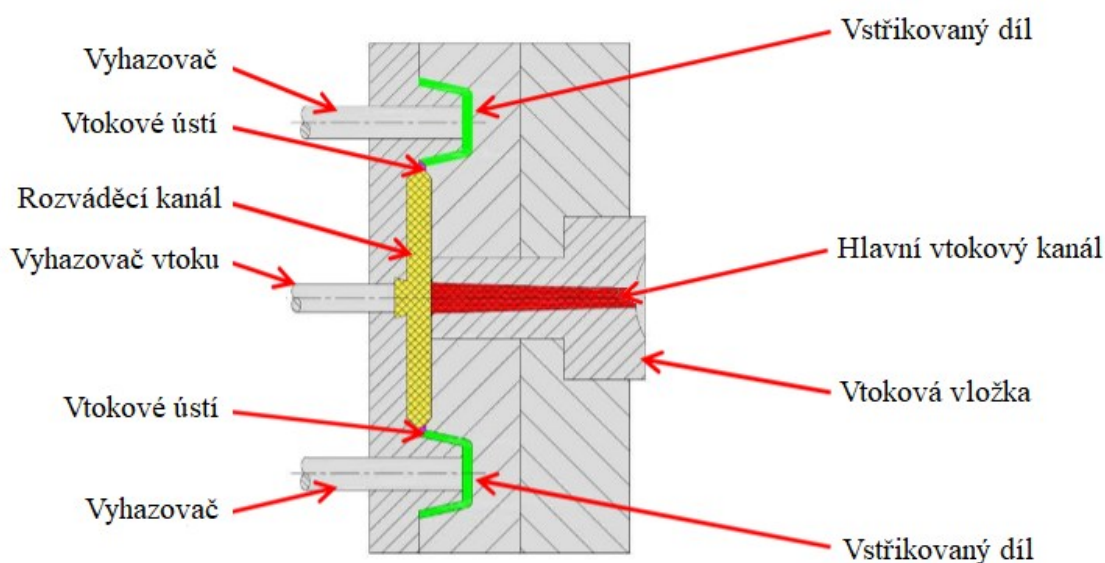


Obrázek 17 Příklady průřezu rozvodného kanálu [18]

Existují dva typy konstrukce formy při použití studeného vtokového systému:

Dvoudesková konstrukce:

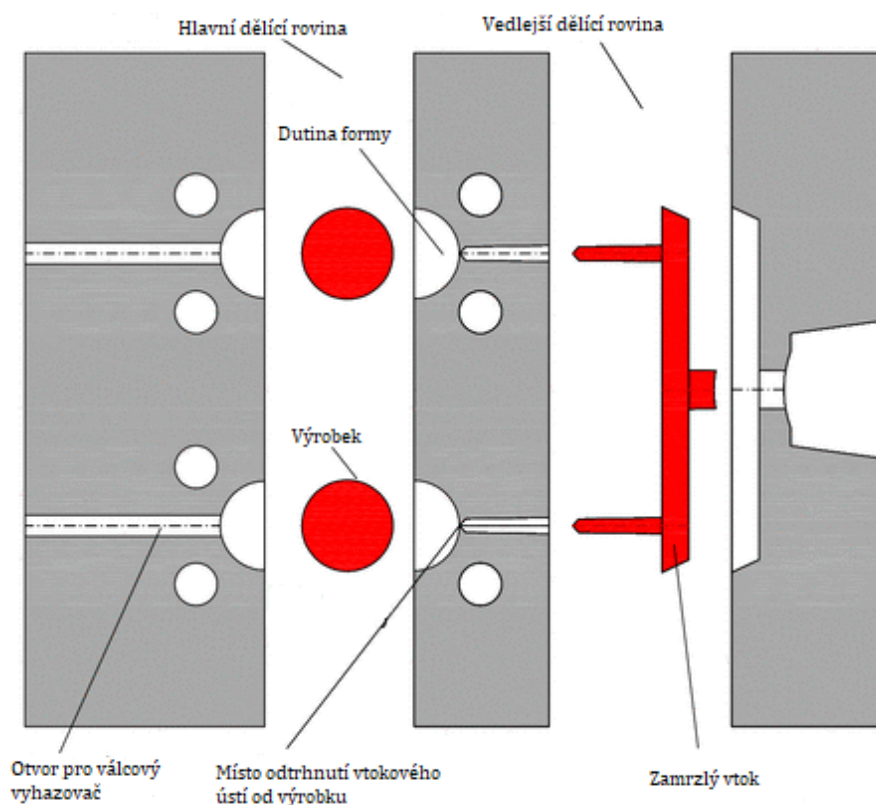
Tento typ formy patří mezi nejběžněji využívané, a to hlavně z důvodu jednoduchosti konstrukce. Vtokový systém je zde umístěn v hlavní dělicí rovině formy a po jejím otevření je vyhozen společně s výstřikem, zamrzlý vtok může být od formy oddělen samovolně (vlivem smykového napětí) nebo mechanicky (například nožem). Dvoudeskové konstrukce se využívají spíše pro jednonásobné formy, kde je vtokové ústí na výrobku umístěno do jeho středu. [16; 21]



Obrázek 18 Schéma studeného vtoku s dvoudeskovou konstrukcí [22]

Třidesková konstrukce:

Tato konstrukce se využívá u vícenásobných forem, kde umožňuje přímé oddělení vtokového systému od výrobku, což je žádoucí u mnoha aplikací. Forma je rozdělena na hlavní a vedlejší dělicí rovinu. Ve vedlejší dělicí rovině dochází k oddělení zamrzlého vtokového systému od výrobku a v hlavní dělicí rovině následně dochází k vyhození samotného výrobku z formy. Konstrukce třideskové formy je složitější a vyžaduje větší prostor kvůli oddělení vtokového systému, což má vliv na stavební výšku stoje. [16; 21]



Obrázek 19 Schéma studeného vtoku s třideskovou konstrukcí [16]

4.5.2 Vyhříváný vtokový systém

Pokrok v technologii a snaha o snížení odpadu vedly k zavedení systémů bez studených vtoků, které eliminují potřebu odstranění zamrzlého vtokového systému, a tím zvyšují ekologický aspekt výrobního procesu. Na rozdíl od SVS má VVS schopnost udržovat taveninu v tekutém stavu až do okamžiku vstříknutí do dutiny formy. Tím se minimalizuje riziko zatuhnutí a zvyšuje se účinnost plnění formy. [19; 20]

Základní částí horkých vtokových systémů jsou vytápěné rozvodné bloky, které mají za úkol rovnoměrně rozvádět taveninu k jednotlivým horkým tryskám a zároveň udržovat její teplotu. Tyto bloky se vyrábějí jako normalizované díly, které si konstruktér formy může vybrat z katalogu, nebo mohou být upraveny na míru podle specifických požadavků na velikost a tvar výrobku či použitý materiál. [19; 20]



Obrázek 20 Příklad konstrukce rozvodných bloků [7]

Další klíčovou součástí VVS jsou vyhřívané trysky, které mohou být vyhřívány dvěma způsoby. Nejčastěji se využívá vnějšího vyhřívání, kdy je topná spirála umístěna na vnější straně kanálu, kterým protéká tavenina, což zajišťuje rovnoměrné rozložení teploty po celé délce trysky. Alternativou je vnitřní vyhřívání, kdy je topné těleso umístěno v ose trysky a tavenina proudí mezikružím mezi stěnou trysky a povrchem topného tělesa. Tento způsob je však méně běžný a není doporučen pro vstřikování transparentních výrobků. [19; 20]



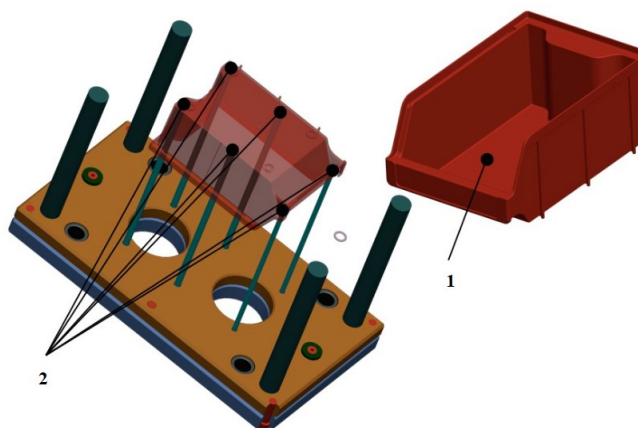
Obrázek 21 Vyhřívané trysky Vario Shot z katalogu HASCO [23]

Mezi hlavní technické výzvy patří zajištění správné tepelné izolace mezi vyhřívány a chlazenými částmi formy a také správná údržba, která zahrnuje čištění a prevenci vzniku usazenin. Například změna barvy nebo typu vstřikovaného materiálu vyžaduje důkladné vyčištění systému. Vyhřívané vtokové systémy představují moderní řešení, které se díky své vyšší pořizovací ceně využívají spíše při sériové výrobě. Umožňují však zkrácení výrobních cyklů, snižují odpad a přispívají ke zvýšení efektivity výroby. [7; 19]

4.6 Vyhazovací systémy

Vyhazovací systém slouží k vyhození hotového výrobku z dutiny formy. Tento výrobek musí být před vyhozením ochlazen na požadovanou teplotu, aby se vlivem vyhazovací mechanismu nezdeformoval, což by mohlo mít za následek uvíznutí ve formě a následný prostoj ve výrobě. Existuje více typů vyhazovacích systémů jako například mechanické, pneumatické či hydraulické. [15; 18; 24]

Nejběžněji používaný je mechanický způsob, který využívá vyhazovacích kolíků nebo stíracích desek. Vyhazovací kolíky jsou většinou ukotveny v kotvící desce vyhazovacího paketu a k vyhození dochází vlivem otevírání formy, kdy se kolíky vysunou a vytlačí hotový díl ven. Při návrhu vyhazovacího systému je umístění a počet vyhazovacích kolíků velmi důležité z důvodu rovnoměrného rozložení vyhazovací síly. Stírací desky pak fungují tak, že se pohybují zpět s jádrem formy a vytahují díl, který se během procesu chladnutí přilepil na jádro. V neposlední řadě je důležité zajistit, aby vyhazovací systém nezabraňoval efektivnímu přechodu tepla z formy na chladicí systém, což by mohlo ovlivnit kvalitu výrobků. [15; 18]



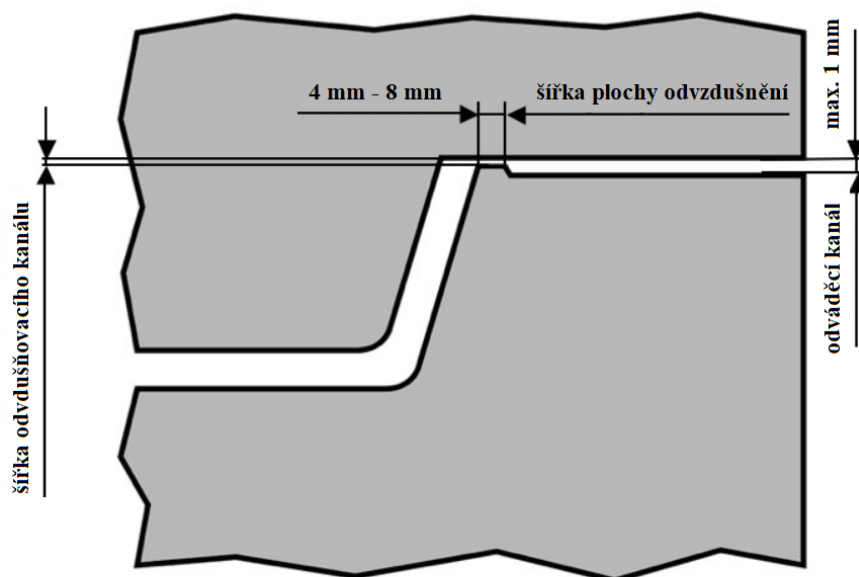
Obrázek 22 Příklad konstrukce vyhazovacích elementů 1) výrobek 2) poloha vyhazovačů [11]

Dále lze použít pneumatický mechanismus, u kterého dochází k vyhození pomocí stlačeného vzduchu, který vytvoří sílu potřebnou k překonání adheze mezi výrobkem a povrchem formy. Tato metoda je vhodná pro větší a tenkostěnné výrobky a pro komponenty ve formě nádob. Pro tyto výrobky by byl mechanický způsob neefektivní například kvůli velké stavební výšce stroje anebo by mohl způsobovat deformace na výrobku. [15; 18]

Některé vyhazovací systémy mohou obsahovat posuvné mechanismy, které umožňují vyhození dílů se složitou geometrií. [15]

4.7 Odvzdušňovací systémy

Hlavním úkolem odvzdušňovacího systému je efektivní odvedení vzduchu z dutiny formy, který zde zůstal po uzavření. Při vstupu taveniny do dutiny může být část vzduchu vytlačena přes dělicí rovinu nebo vodicí plochy vyhazovačů, ovšem pro efektivnější a rychlejší odvedení vzduchu je většina vstřikovacích forem navržena s odvzdušňovacími kanály. Špatné odvzdušnění vede k vadám na výrobku jako například neúplný tvar, oslabená struktura dílu nebo popáleniny, které vznikají nadměrným stlačením uzavřeného vzduchu a jeho následným přehřátím (tzv. diesel efekt). [15; 25]



Obrázek 23 Příklad konstrukce odvzdušňovacího kanálu [18]

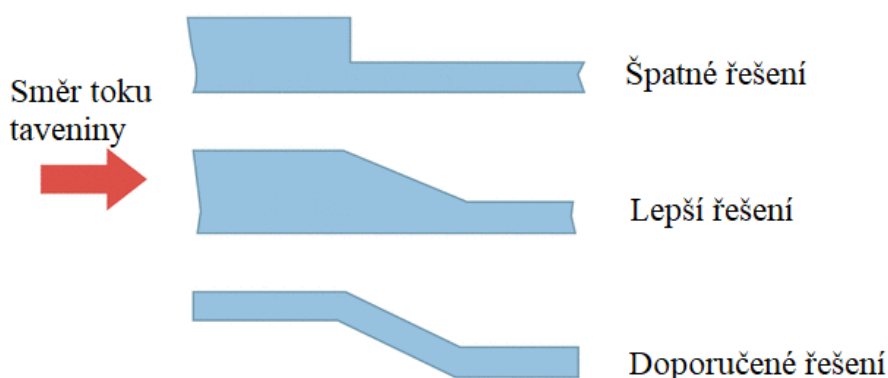
Při návrhu odvzdušňovacího systému je potřeba určit správný počet a konstrukci kanálů, které je nutné umístit do rizikových míst, jako jsou slepé otvory, žebra nebo místa, kde se současně potkávají proudy taveniny. Mezi rizikové oblasti dutiny formy patří také místa, která jsou zaplněna jako poslední a dochází zde k hromadění vzduchu. Rozměry kanálů by měly být navrženy také s ohledem na vstřikovaný materiál, například polymer s nižší viskozitou vyžaduje menší rozměry kanálů, aby se předešlo nadměrnému přetékání taveniny. Dodržením těchto zásad se minimalizují rizika spojená s nedostatečným odvedením vzduchu z dutiny formy, což vede k lepší kvalitě finálních dílů. [15; 25]

5 PRVKY KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

Konstrukce výrobku zahrnuje spoustu zásad, které jsou důležité pro jeho správnou výrobu. Mezi tyto zásady patří například rovnoměrná tloušťka stěn, správná konstrukce žeber a komínků, nebo vhodné začlenění zaoblení a úkosů. Dodržení těchto principů při návrhu výrobku přispívá k optimalizaci vstřikovacího procesu, snižuje riziko výrobních vad a zároveň zajišťuje lepší mechanické vlastnosti. [9; 18]

5.1 Tloušťka stěn

Tloušťka stěny vstřikovaného výrobku patří k těm nejdůležitějším zásadám konstrukce vstřikovaných dílů, jelikož její nerovnoměrnost může způsobit deformace, jako například prohlubně, a ovlivnit tak celkovou kvalitu výroby. V praxi se tloušťka stěny pohybuje u nezpevněných plastů v rozmezí 0,5 a 5 mm a u vyztužených plastů v rozmezí 0,7 až 3 mm. Při návrhu vstřikovaného dílu je žádoucí, aby byla tloušťka stěny co nejvíce homogenní neboli bez náhlých přechodů tloušťky stěny. [9; 18; 19]



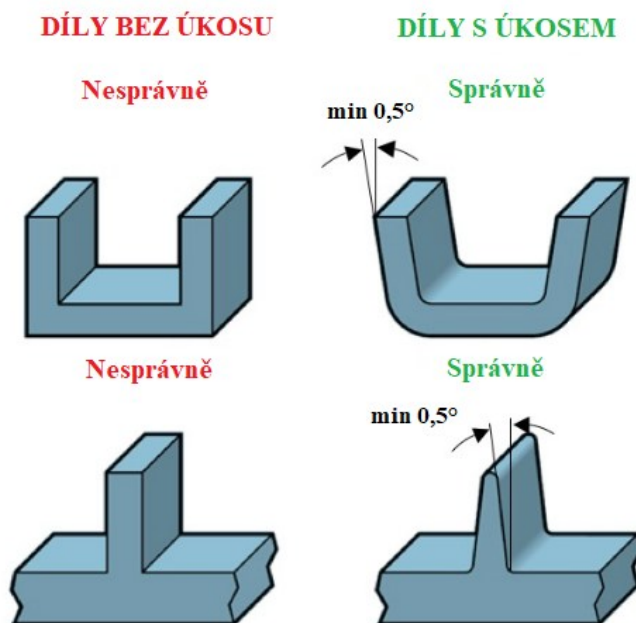
Obrázek 24 Doporučené řešení tloušťky stěny výrobku [9]

Zvýšením tloušťky stěny lze docílit zvýšení tuhosti, ovšem současně také dojde ke zvýšení doby cyklu a výrobních nákladů, což není žádoucí. Z tohoto důvodu se využívá konstrukčních prvků, jako jsou žebra nebo zakřivení, čímž je docíleno požadované tuhosti bez výrazného zvýšení hmotnosti. [9; 18; 19]

5.2 Úkosy

Úkosy významně usnadňují vyjmutí výrobku z formy a snižují riziko poškození nejen samotného výrobku ale také formy. Příliš malá hodnota úkosu může způsobit zaseknutí dílu ve formě, což způsobuje prostoje a tím pádem vyšší náklady. Pro většinu materiálů platí

pravidlo minimálního úkosu $0,5^\circ$ stupně, ovšem záleží na umístění úkosu a způsobu zaformování dílu. Úkosy se obvykle umísťují na boční stěny, žebra a další konstrukční prvky. [9; 18; 19]



Obrázek 25 Doporučení pro návrh úkosů [18]

5.3 Zaoblení hran

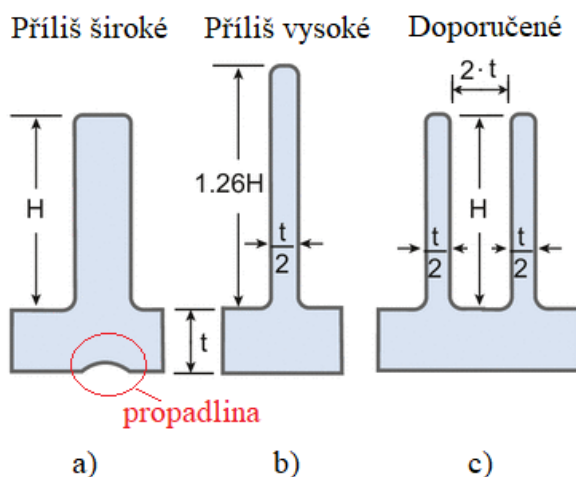
Vstřikované výrobky by v ideálním případě neměly obsahovat ostré rohy, protože zde dochází ke koncentraci napětí vlivem zatížení během používání. Z tohoto důvodu je nutné hrany opatřit zaoblením, které rozkládá a absorbuje napětí uvnitř výrobku, což snižuje riziko trhlin a dalších vad. Při volbě zaoblení se lze řídit dle poměru mezi velikostí zaoblení a tloušťkou stěny, jehož doporučená hodnota činí $0,15$. Dodržením této zásady se zajistí jak estetické, tak funkční aspekty výrobku. [9; 18; 19]

5.4 Žebra

Žebra slouží ke zvýšení tuhosti a stability vstřikovaných výrobků za předpokladu že tloušťka hlavní stěny výrobku zůstane stejná. Volba tloušťky žebra závisí na tloušťce hlavní stěny a neměla by přesahovat její $0,5$ násobek. Při příliš velké tloušťce žebra by mohlo docházet ke vzniku propadlin na opačném povrchu z důvodu nerovnoměrného chlazení. [9; 18; 19]

Naopak při příliš velké výšce žebra může vlivem úkosu docházet k nežádoucímu ztenčení konce žebra a snížení jeho pevnosti. Z tohoto důvodu je vhodnější použít více menších žebířků, čímž snížíme riziko deformací a současně zachováme tuhost. V tomto

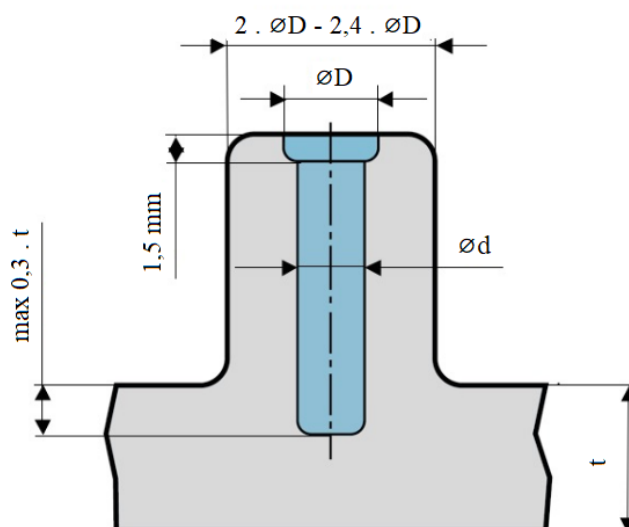
případě je nutné, aby minimální vzdálenost mezi žebry činila dvojnásobek tloušťky stěny. [9; 18; 19]



Obrázek 26 Doporučení pro návrh žeber [9]

5.5 Komínky

Komínky při návrhu vstřikovaných výrobků slouží pro montážní a spojovací účely. Toto konstrukční řešení umožňuje spojování součástí například pomocí šroubů, které jsou zašroubovány do otvoru komínku. Hloubka komínku by ve stěně výrobku neměla přesahovat 30 % celkové tloušťky stěny, a tloušťka stěny na vrcholu komínku by měla být alespoň dvojnásobek průměru hlavy šroubu. Komínky by měly být také opatřeny úkosem pro bezproblémové odformování. [9; 18; 19]



Obrázek 27 Příklad řešení komínku [18]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V mé bakalářské práci byly stanoveny následující cíle:

1. Vypracovat literární studii na dané téma,
2. provést konstrukci 3D modelu vstřikovaného výrobku,
3. navrhnout vstřikovací formu pro zadaný výrobek,
4. nakreslit 2D řez formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

V rámci teoretické části práce byla vypracována literární studie na téma konstrukce a vývoj vstřikovací formy pro technický díl, ve které byly shrnuty základní principy návrhu vstřikovacích forem, vlastnosti polymerních materiálů, samotný popis technologie vstřikování a také konstrukčních prvků formy. Tyto informace byly dále nezbytné pro správný návrh vstřikovací formy.

V praktické části práce byl vytvořen 3D model plastové bedničky, z kterého poté vycházel návrh vstřikovací formy. Před samotnou konstrukcí formy byla provedena důkladná analýza tvaru výrobku a jeho zaformování, což přispělo ke zvolení vhodného konstrukčního řešení formy. Vytvoření 3D modelů a výkresové dokumentace probíhalo v softwaru Catia V5-6R2020.

7 POUŽITÉ SOFTWARE

Při konstrukci vstřikovací formy byly použity software jako je Catia V5-6R2020 od společnosti Dassault Systèmes a online katalogy od společností Meusburger a Hasco. Tyto software výrazně usnadňují a urychlují proces konstrukce formy a zvyšují tak jeho efektivitu.

7.1 Catia V5-6R2020

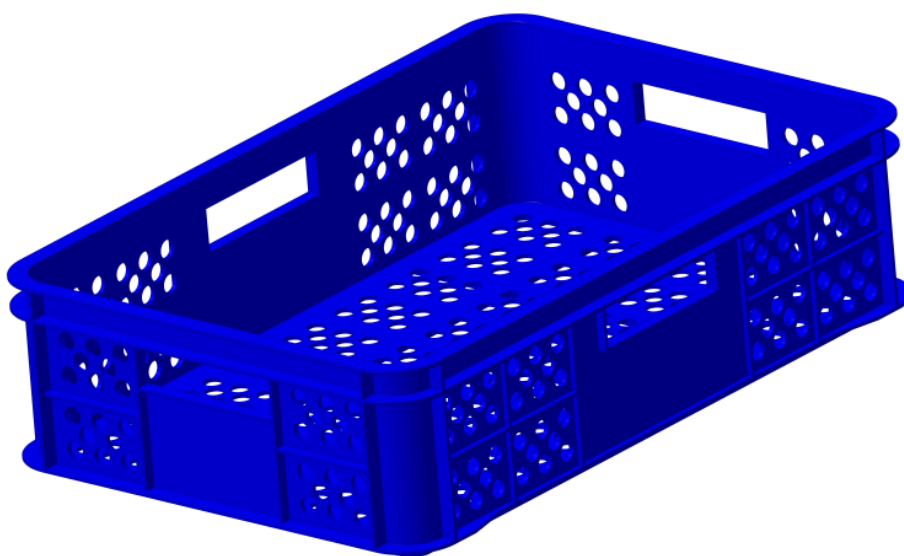
Catia je výkonný CAD software, určený pro 3D modelování, konstrukci a tvorbu technické dokumentace. Jak model vstřikovaného výrobku, tak i model vstřikovací formy byly vytvořeny v prostředí tohoto programu. Model výrobku byl vytvořen v prostředí part design, kde bylo využito jeho základních tak i pokročilých modelovacích funkcí díky kterým bylo dosaženo správného tvaru vstřikovaného dílu. Model formy byl poté tvořen v prostředí assembly design, do kterého byly vkládány součásti z online katalogů a také součásti vytvořeny vlastnoručně v prostředí part design. Výkresová dokumentace byla tvořena rovněž v tomto softwaru ovšem v prostřední drafting, což napomáhalo k zobrazení dílů v souladu se zásadami technického kreslení.

7.2 Online katalogy Meusburger a Hasco

Při konstrukci vstřikovací formy bylo využito mnoho standardizovaných komponent vygenerovaných z online katalogů firem Meusburger a Hasco, které disponují obrovským sortimentem normalizovaných dílů – od jednotlivých šroubů až po celé rámy forem. Tyto online katalogy poskytují možnost snadného a přehledného filtrování podle rozměrů a také automaticky nabízejí příslušenství k jednotlivým komponentám. Dále umožňují stažení 3D modelů vybraných součástí v různých formátech jako například STEP nebo IGES, které jsou kompatibilní s CAD software. Využití těchto nástrojů významně zjednodušuje návrh formy, zvyšuje přesnost a podporuje standardizaci výrobního procesu.

8 POPIS VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

Vstřikovaným dílem je bednička, která se běžně používá pro skladování ovoce, pečiva a dalších potravin. Další využití pak nachází v logistice, kde díky své stohovatelnosti a prostorové úspoře usnadňuje manipulaci a následnou přepravu. Hlavními úkolem tohoto výrobku je zajistit hygienicky nezávadné skladování a přepravu potravin s dostatečným prouděním vzduchu, čemuž napomáhá perforovaný design. Dalšími požadavky na bedničku jsou dostatečná pevnost, odolnost vůči otěru, nízká hmotnost a snadné čištění.



Obrázek 28 3D model bedničky

Hlavní rozměry výrobku jsou 413x613x160 a jeho hmotnost činí 1,5 kg.

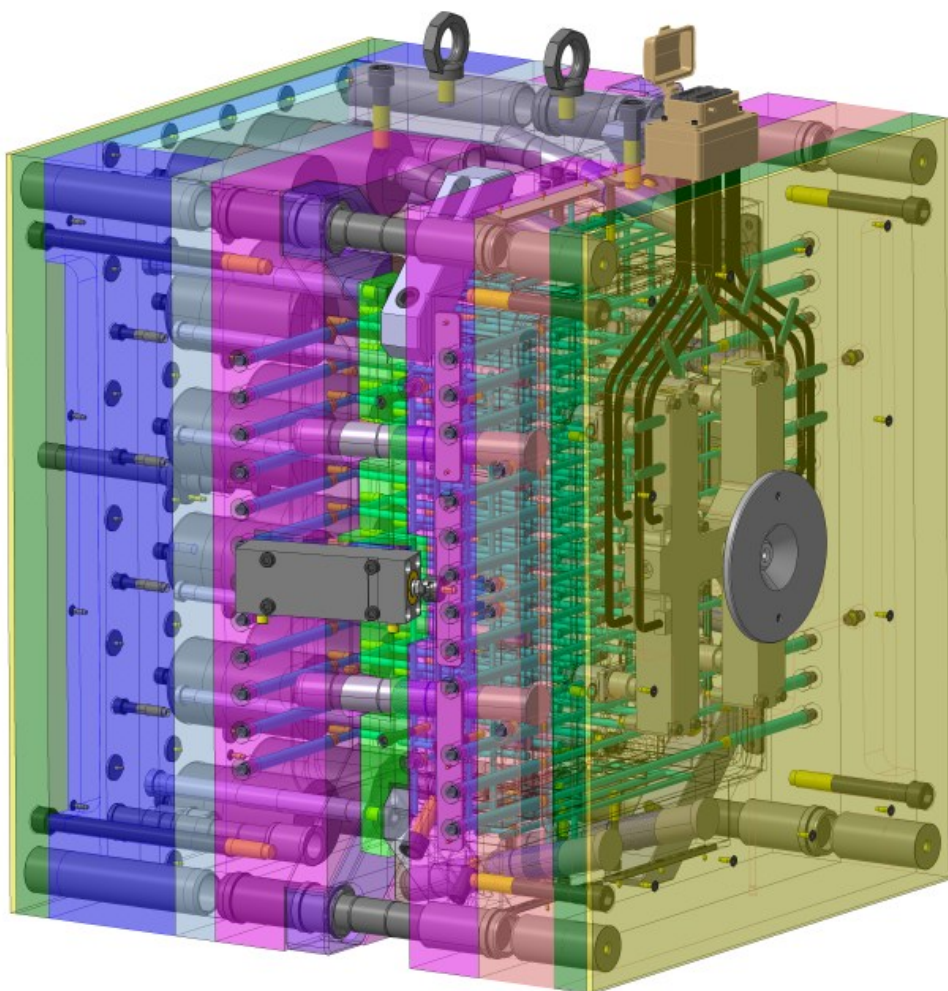
8.1 Volba materiálu

Vzhledem k výše zmíněným požadavkům byl jako vhodný materiál zvolen PP-polypropylen. Tento materiál disponuje nízkou hmotností, dobrou odolností vůči otěru a také opakovanému mechanickému namáhání, což je při přepravě zásadní. Z hlediska hygieny a bezpečnosti tento materiál splňuje požadavky pro styk s potravinami, a navíc je odolný vůči většině kyselinám, tukům a čistícím prostředkům, kterým je výrobek často vystaven, například při čištění. Mezi další výhody tohoto materiálu patří nízká cena, dobrá zpracovatelnost při vstřikování a také možnost recyklace, což výrazně snižuje ekologický dopad výroby. Materiálový list obsahující podrobné informace o zvoleném materiálu je přiložen v příloze (P I) této práce.

9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Při konstrukci vstřikovací formy je žádoucí, aby byl návrh co nejjednodušší a co nejméně ekonomicky náročný, přičemž musí být dodrženy požadavky na kvalitu vstřikovaného výrobku. Z tohoto důvodu byly použity normalizované díly z online katalogů Meusburger a Hasco, které velmi usnadňují konstrukci vstřikovacích forem.

Forma byla navržena jako jednonásobná s horkým vtokovým systémem se čtyřmi tryskami. K odformování výrobku byl použit systém čtyř posuvných čelistí, které jsou poháněny pomocí hydraulického válce. Posuvné čelisti disponují vyměnitelnými vložkami, což umožňuje změnu tvarových částí výrobku. Následné vyhození výrobku je zajištěno stírací deskou společně s vyhazovači.

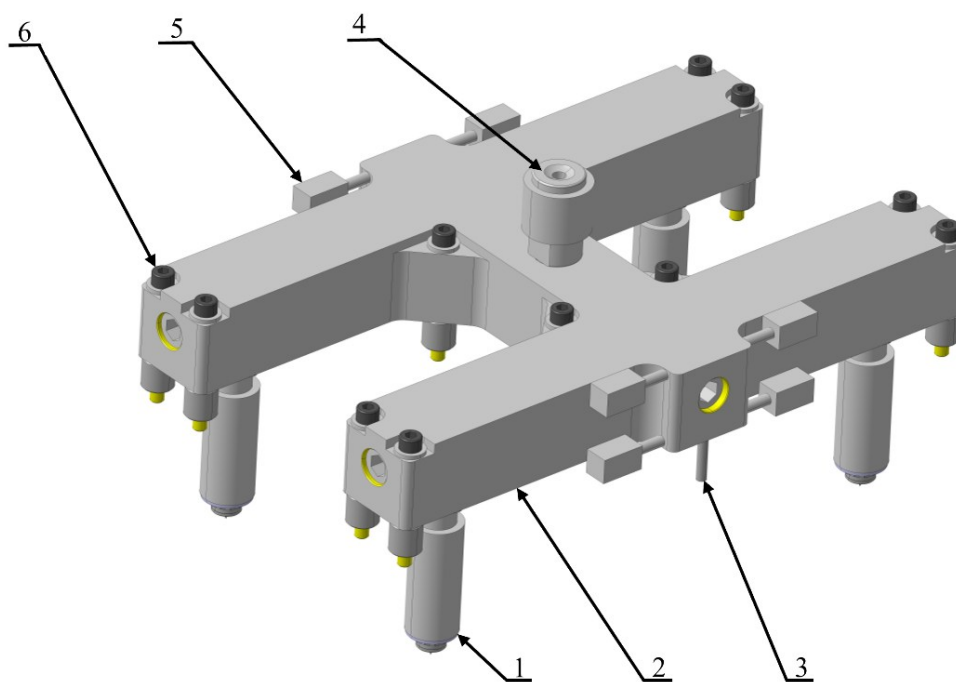


Obrázek 29 Model kompletní vstřikovací formy

Hlavní rozměry formy jsou 746x896x812 a její hmotnost činí 3 600 kg.

9.1 Vtokový systém

Při návrhu vstřikovací formy byl zvolen horký vtokový systém od společnosti Meusburger EH 6000 HMT4, a to z důvodu sériové výroby a velikosti vstřikovaného dílu. Při použití studeného vtoku by vznikalo velké množství vtokových zbytků, což by mělo negativní dopad na efektivitu výroby. Vzhledem k velikosti vstřikovaného dílu byly zvoleny čtyři trysky, které zajistí rovnoměrné plnění dutiny formy. Do online generátoru systému horkého vtoku byly zadány vstupní parametry: typ vstřikovaného materiálu, požadovaná rozteč trysek a hmotnost vstřikovaného výrobku, která činí přibližně 1,5 kg, což znamená že na jednu trysku připadá 375 g taveniny. Generátor dle těchto parametrů automaticky vygeneroval 3D model horkého bloku společně s tryskami v souladu s konstrukčními zásadami pro horké vtoky. Systém se skládá z horkého bloku a čtyř trysek, které jsou samozřejmě pomocí kabeláže propojeny se zásuvkou. Trysky i samotná deska horkého vtoku jsou temperovány.



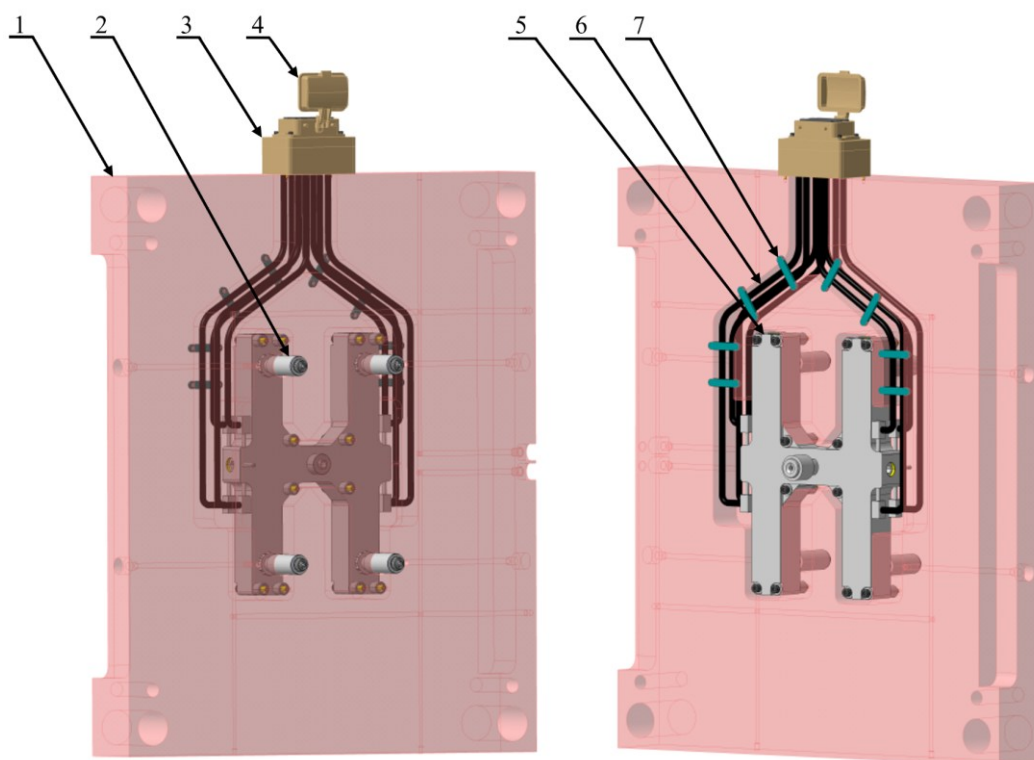
Obrázek 30 Model systému horkého vtoku od společnosti Meusburger

- 1 – tryska, 2 – rozvodný blok, 3 – středící kolík, 4 – sedlo trysky,
5 – konektor, 6 – montážní šroub

Tabulka 1 Parametry systému horkého vtoku

Systém horkého vtoku		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Počet trysek	4	-
Typ trysky	EH 4100 - smartFILL	-
Typ ústí trysky	EH 4200 - smartFILL RT	-
Rozteč trysek	177x307	mm
Hmotnost dávky na trysku	375	g
Typ rozvaděče (bloku)	EH 6000 - HMT4	-
Materiál rozvaděče (bloku)	1.2311	-

Z hlediska údržby je použití standardizovaného horkého vtokového systému od výrobce Meusburger velmi výhodné, a to hlavně díky snadné dostupnosti náhradních dílů, která umožňuje rychlou výměnu v případě poruchy.

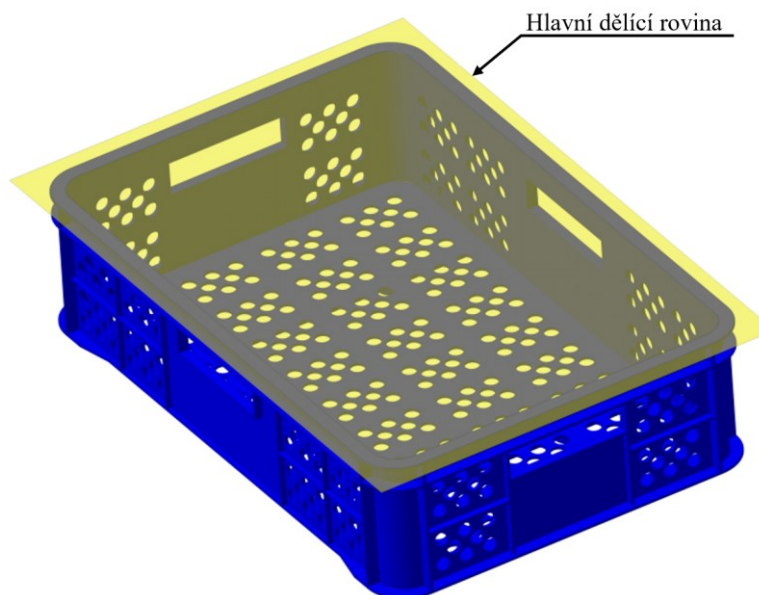


Obrázek 31 Kompletní vtokový systém

- 1 – deska horkého vtoku, 2 – tryska, 3 – kryt kabeláže, 4 – kryt zásuvky,
5 – horký blok, 6 – kabeláž, 7 – magnetický držák kabeláže

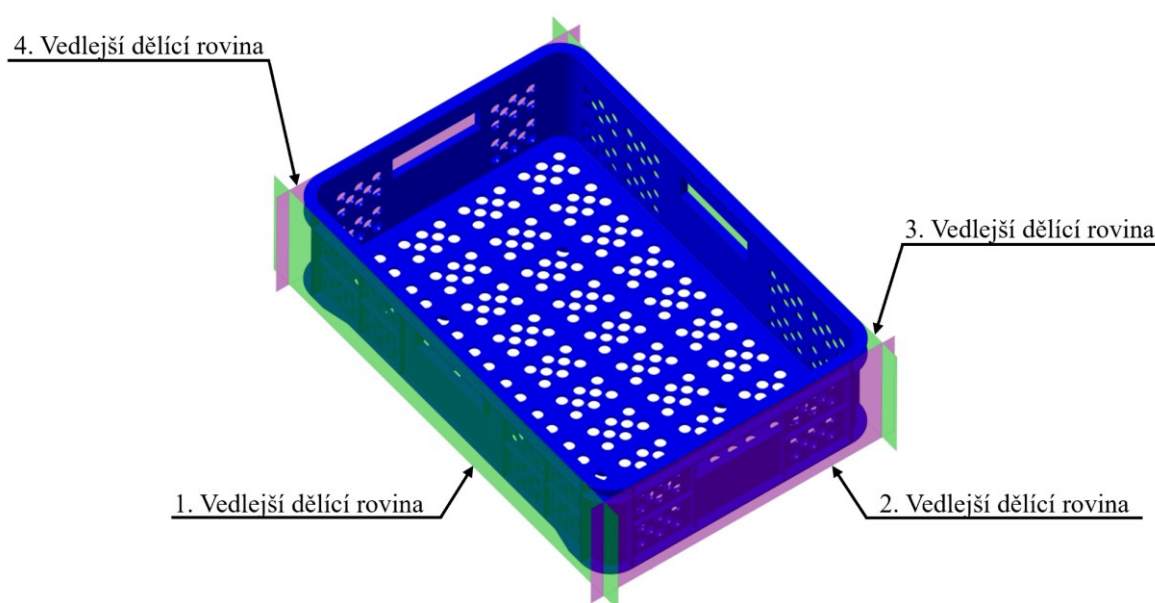
9.2 Návrh dělicí roviny

Při konstrukci bylo zvoleno celkem 5 dělicích rovin – jedna hlavní a čtyři vedlejší. Hlavní dělicí rovina je umístěna na vrcholu součásti, tj. na vrchním čele a je navržena tak, aby umožňovala bezpečné a plynulé odformování vstřikovaného výrobku.



Obrázek 32 Hlavní dělicí rovina

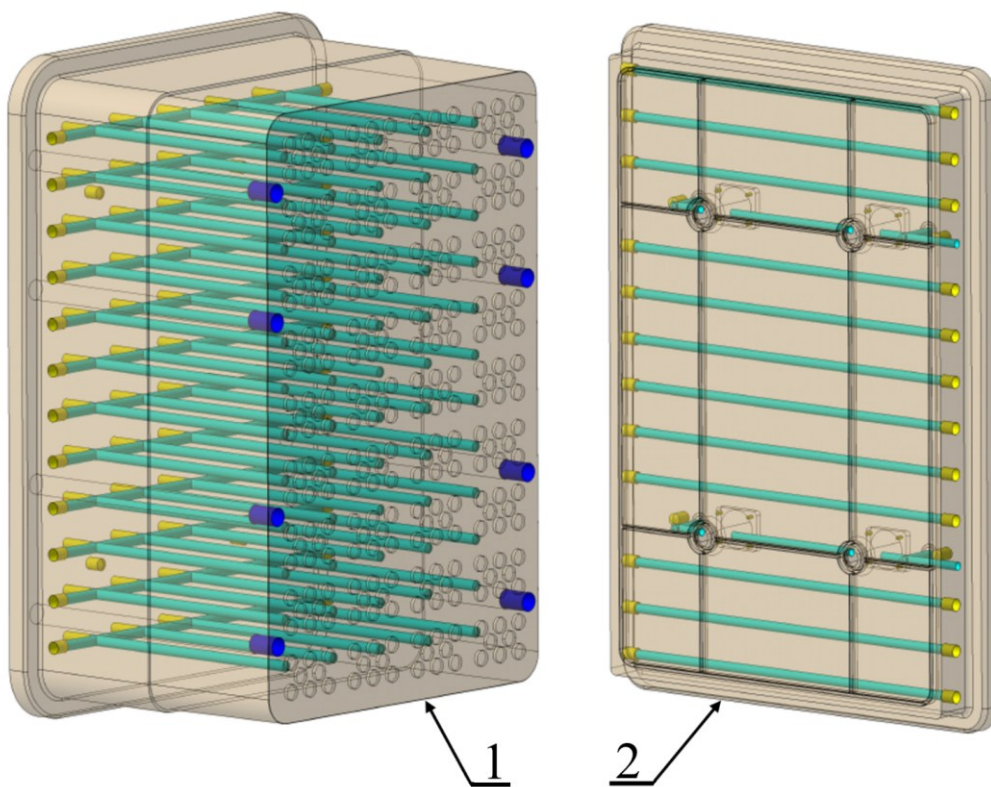
Vedlejší dělicí roviny byly umístěny po obvodu vstřikovaného výrobku, tak aby bylo možné odformování tvarově složitých oblastí výrobku.



Obrázek 33 Vedlejší dělicí roviny

9.3 Tvarové části

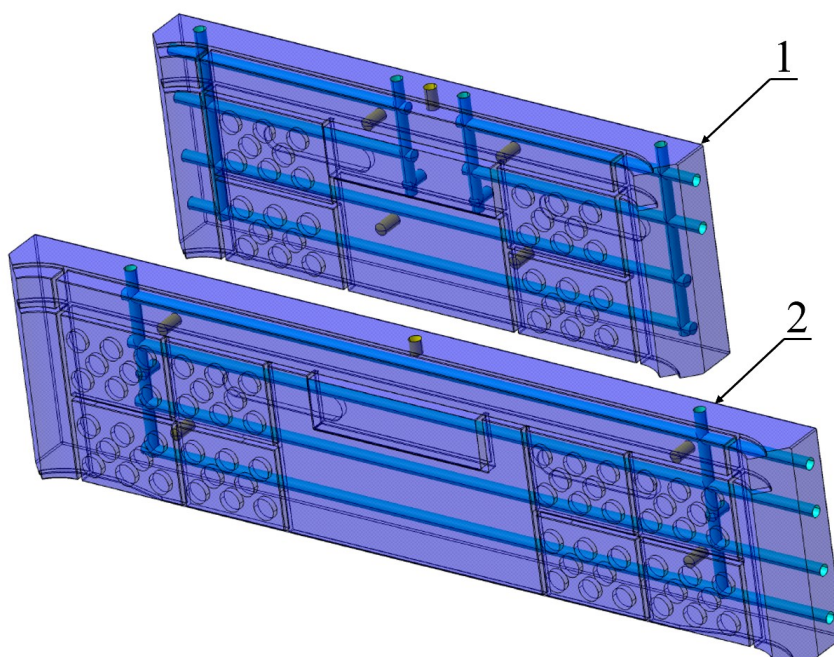
Tvarové části tvoří dutinu, ve které se tavenina formuje do požadovaného tvaru výrobku. V tomto případě tvarové části tvoří tvárník a tvárnice společně se čtyřmi tvarovými vložkami po stranách součásti. Všechny tvarové části jsou temperovány za účelem dosažení rovnoměrného chlazení výrobku. Tvárník je umístěn v pohyblivé polovině formy a obsahuje otvory pro vyhazovací kolíky společně s kanály pro spirálové přepážky temperace. Tvárnice je součástí pevné poloviny formy a je vybavena čtyřmi otvory pro trysky horkého vtokového systému a samotnými temperačními kanály po stranách. Obě části – tvárník i tvárnice jsou opatřeny osazením, čímž je zajištěna jejich přesná poloha v tvarových deskách.



Obrázek 34 Hlavní tvarové části

1 – tvárník, 2 – tvárnice

Tvarové vložky jsou uloženy v posuvných čelistech, kde je jejich přesná poloha zajištěna pomocí vyfrézovaných drážek a následně fixována pomocí čtyř šroubů. Vložky jsou uspořádány do dvou párů, které tvoří kratší a delší stranu vstřikovaného výrobku.



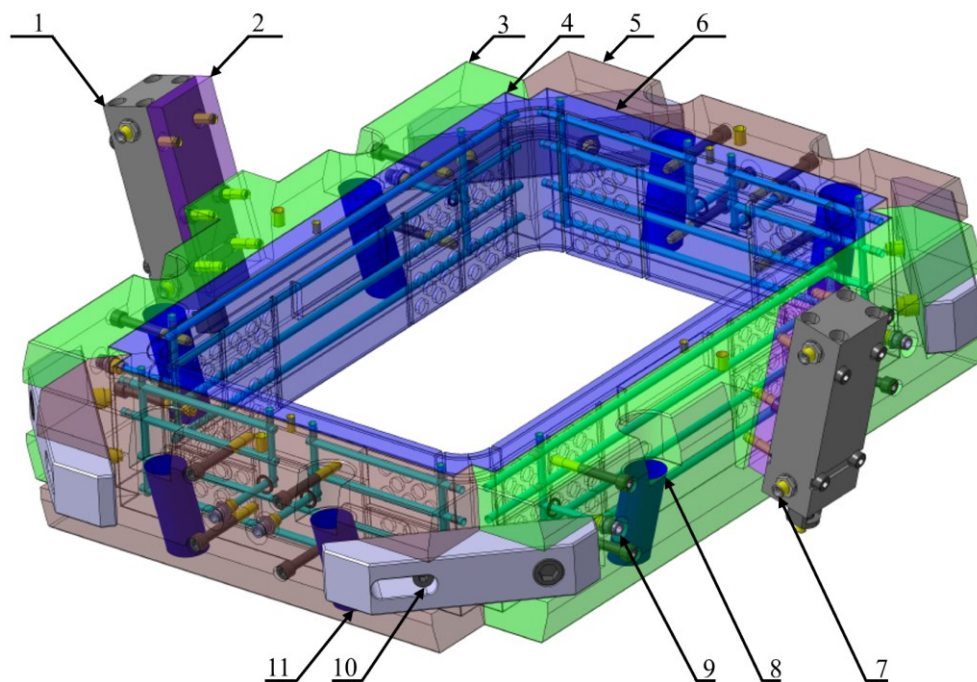
Obrázek 35 Tvarové vložky posuvných čelistí

1 – krátká tvarová vložka posuvné čelisti, 2 – dlouhá tvarová vložka posuvné čelisti

9.4 Posuvné čelisti

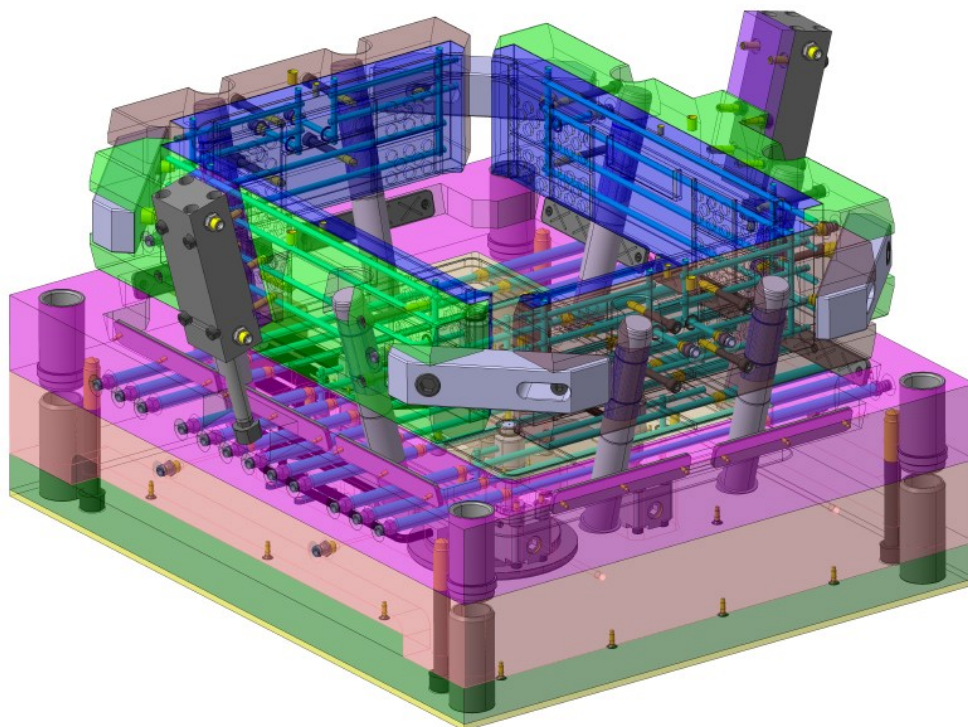
Posuvné čelisti byly zvoleny z důvodu odformování bočních stěn vstřikovaného výrobku a vzhledem ke tvarové složitosti by je nebylo možné jinak odformovat. Návrh se skládá ze čtyř posuvných čelistí s tvarovými vložkami, dvou hydraulických válců a dvou montážních desek. Posuvné čelisti se pohybují po vodících čepech pod úhlem 15° a současně se rozevírají a uvolňují tak vstřikovaný výrobek. K delšímu páru těchto čelistí jsou pomocí šroubů připevněny dvě montážní desky, na které jsou připevněny dva hydraulické válce s maximálním zdvihem 130 mm. Potřebný zdvih pro bezpečné odformování je 110 mm.

Kratší pár posuvných čelistí se pohybuje díky čtyřhranům, které jsou vedeny v drážkách čelistí a jsou pevně spojeny s delším párem pomocí šroubu. Posuvné čelisti jsou zajištěny vůči nadměrnému vysunutí šroubem bez hlavy, který se pohybuje v drážce každého čtyřhranu.



Obrázek 36 Systém posuvných čelistí

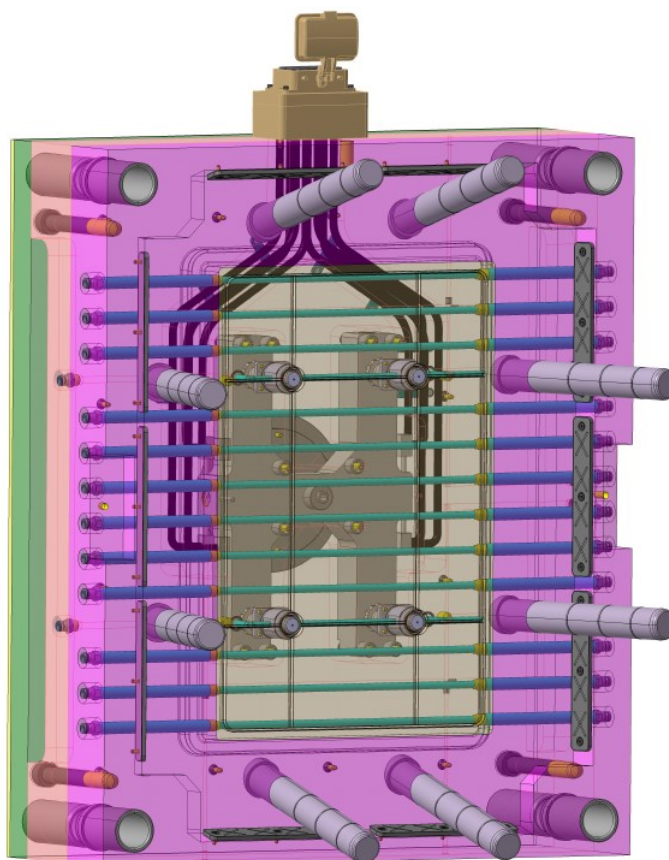
1 – hydraulický válec, 2 – montážní deska, 3 – dlouhá posuvná čelist, 4 – dlouhá tvarová vložka, 5 – krátká posuvná čelist, 6 – krátká tvarová vložka, 7 – šroubení k hydraulice, 8 - otvor pro vodící čep, 9 – přípojka temperace, 10 – šroub bez hlavy, 11 – čtyřhran



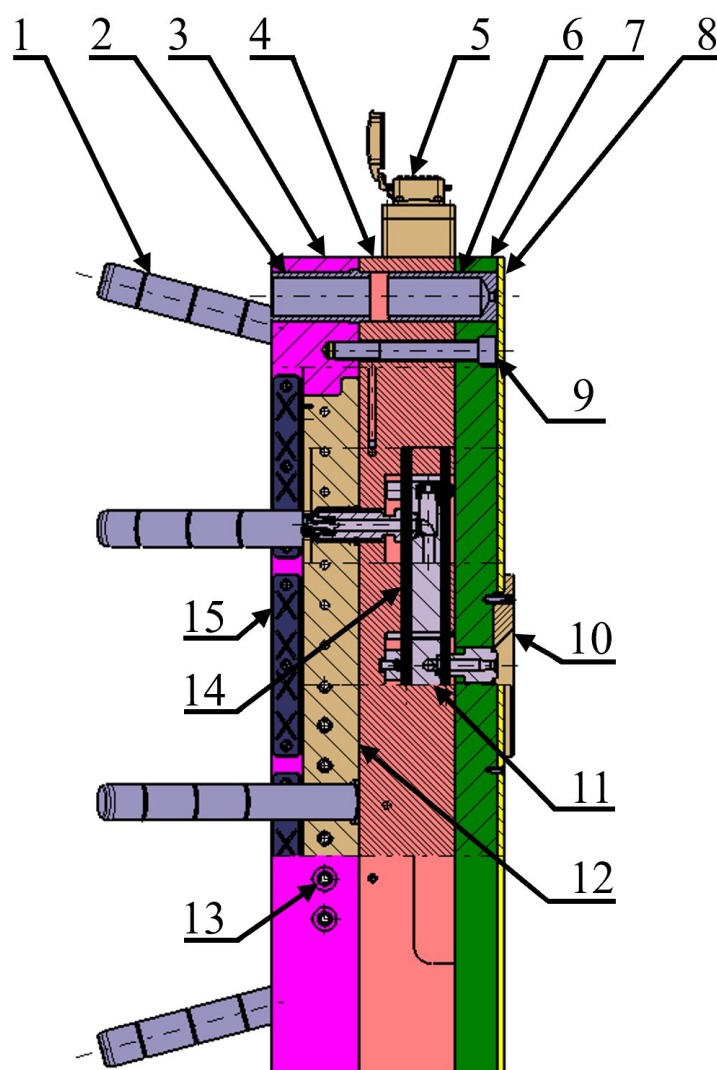
Obrázek 37 Posuvné čelisti ve vysunuté poloze

9.5 Nepohyblivá strana formy

Nepohyblivá strana neboli strana trysky je nehybná část formy a jejím hlavním úkolem je přívod taveniny do dutiny formy. Skládá se z desek jako izolační, upínací, tvarové a desky horkého vtoku, ve které je umístěn horký rozvodný blok se čtyřmi chlazenými tryskami. Dále je do této desky zapuštěna kabeláž vedoucí k zásuvce, kabely jsou opatřeny magnetickými držáky, které zabraňují jejich poškození během skládání formy. Izolační deska má za úkol zamezit přestupu tepla z formy do upínacích částí vstřikovacího stroje a je připevněna k upínací desce pomocí 12 šroubů. Upínací deska slouží k pevnému upnutí nepohyblivé části formy ve stroji a jsou do ní zapuštěny 4 šrouby, které spojují celou nepohyblivou část. Pro přesné dosednutí vstřikovací jednotky stroje do sedla horkého bloku je forma opatřena středícím kroužkem připevněným dvěma šrouby se zápustnou hlavou. Dále se zde nachází tvarová deska, do které je uložena temperovaná tvarová vložka (tvárnice). Správné vystředění formy a hladký chod zde zajišťují středící trubky a vodící pouzdra uložené v tvarové desce. Tvarová deska je také opatřena kluznými deskami, které zajišťují řízený a plynulý pohyb posuvných čelistí pohybujících se po vodících čepech.



Obrázek 38 Model nepohyblivé (pravé) strany formy

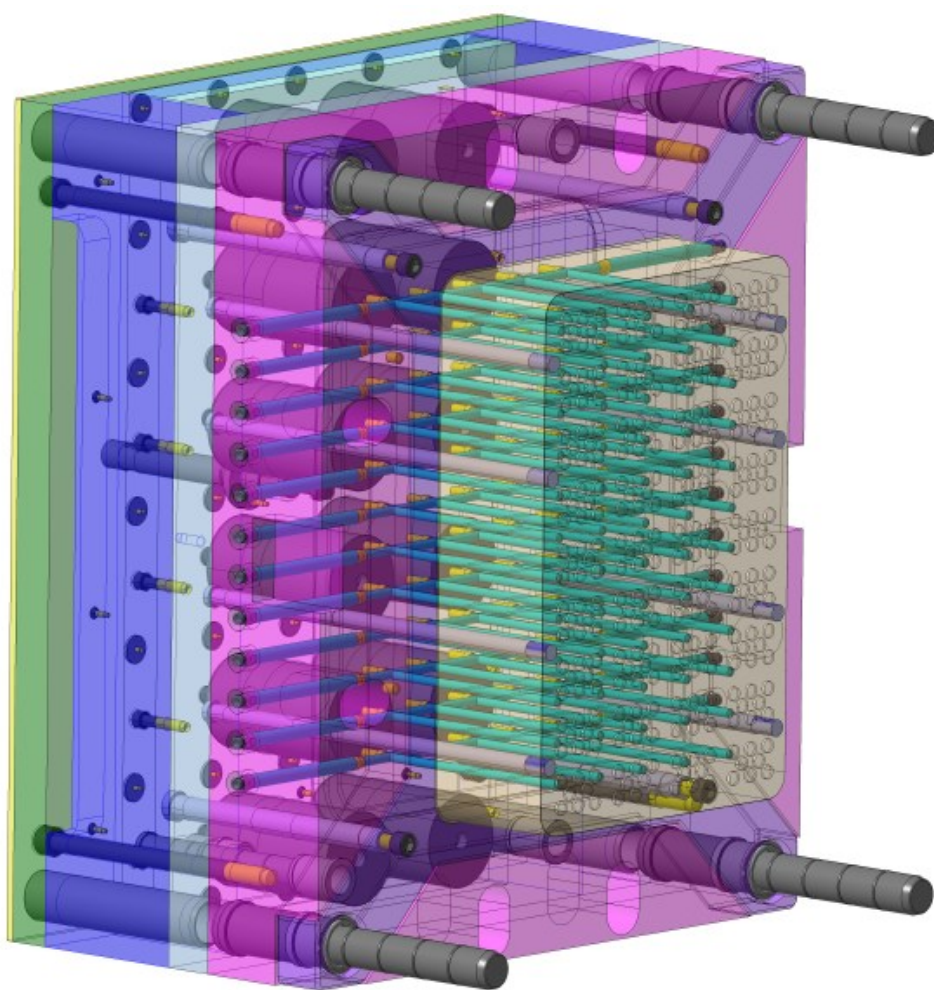


Obrázek 39 Schématický řez pravé (nepohyblivé) strany formy

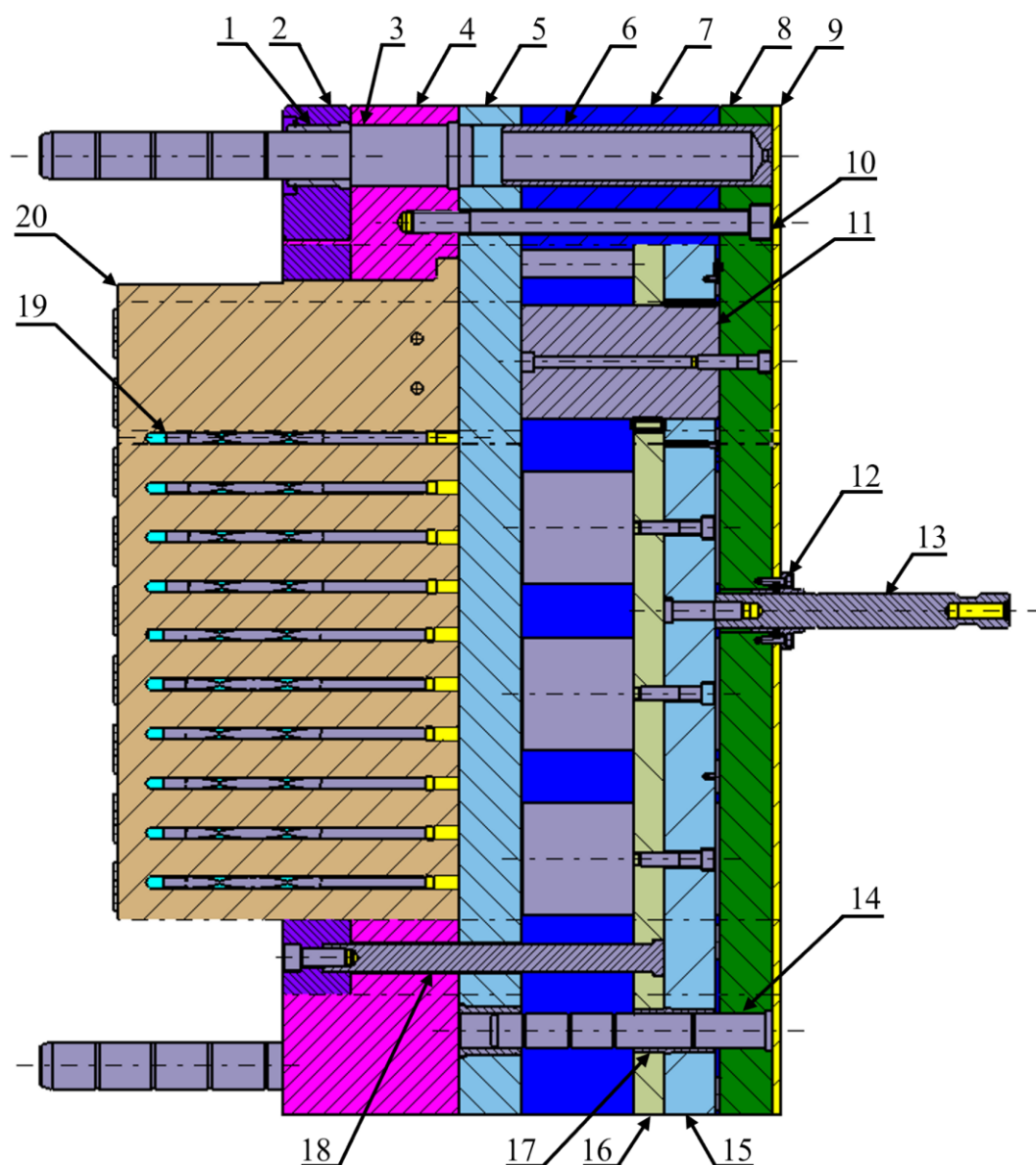
1 – vodící čep posuvných čelistí, 2 – vodící pouzdro, 3 – tvarová deska, 4 – deska horkého bloku, 5 – zásuvka, 6 – středící trubka, 7 – upínací deska, 8 – izolační deska, 9 – montážní šroub, 10 – středící kroužek, 11 – horký blok, 12 – tvárnice, 13 – přípojka temperace s prodloužením, 14 – kabeláž, 15 – kluzná deska

9.6 Pohyblivá strana formy

Pohyblivá neboli levá strana vstřikovací formy zajišťuje otevření a uzavření formy společně s vyhozením vstřikovaného dílu a skládá se z desek jako izolační, upínací, dvou rozpěrných, opěrné a tvarové. Izolační a upínací deska plní stejný úkol jako v nepohyblivé straně formy. Do upínací desky jsou opět zapuštěny čtyři šrouby, které spojují celou pohyblivou stranu formy. Následují dvě rozpěrné desky, které tvoří prostor pro vyhazovací mechanismus. Pohyb tohoto mechanismu je zajištěn pomocí táhla, které je vedeno středícím pouzdem zajišťujícím hladký chod. Rozpěrné desky jsou opatřeny vyfrézovanými drážkami, které slouží k upnutí formy ve stroji. Poté se zde nachází opěrná deska, o kterou se opírá tvarová vložka (tvárník), která je uložena v tvarové desce a je temperována. V tvarové desce jsou ukotveny hlavní vodící čepy a také je do ní zapuštěna stírací deska, která společně s vyhazovači vyhodí vstřikovaný výrobek. Přesné ustavení jednotlivých desek pohyblivé části vůči sobě zajišťují středící trubky umístěné v rozích formy.



Obrázek 40 Model levé (pohyblivé) strany formy



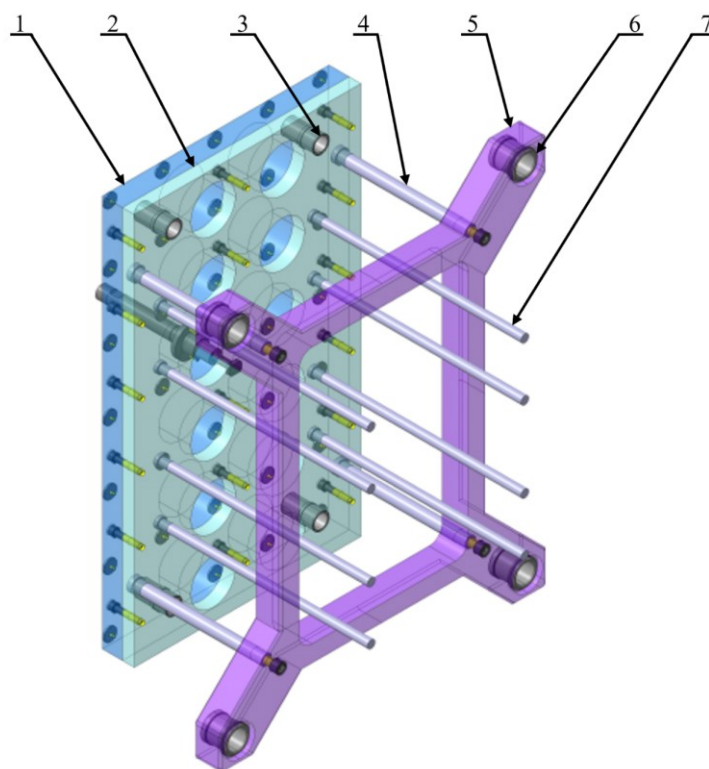
Obrázek 41 Schématický řez levé (pohyblivé) strany formy

1 – vodící pouzdro stírací desky, 2 – stírací deska, 3 – hlavní vodící čep, 4 – tvarová deska, 5 – opěrná deska, 6 – středící trubka, 7 – rozpěrná deska, 8 – upínací deska, 9 – izolační deska, 10 – montážní šroub, 11 – podpěrný čep, 12 – středící pouzdro táhla, 13 – táhlo, 14 – vodící čep vyhazovacího paketu, 15 – opěrná vyhazovací deska, 16 – kotevní vyhazovací deska, 17 – vodící pouzdro vyhazovacího paketu, 18 – táhlo stírací desky, 19 – spirálová přepážka, 20 – tvárník

9.7 Vyhazovací systém

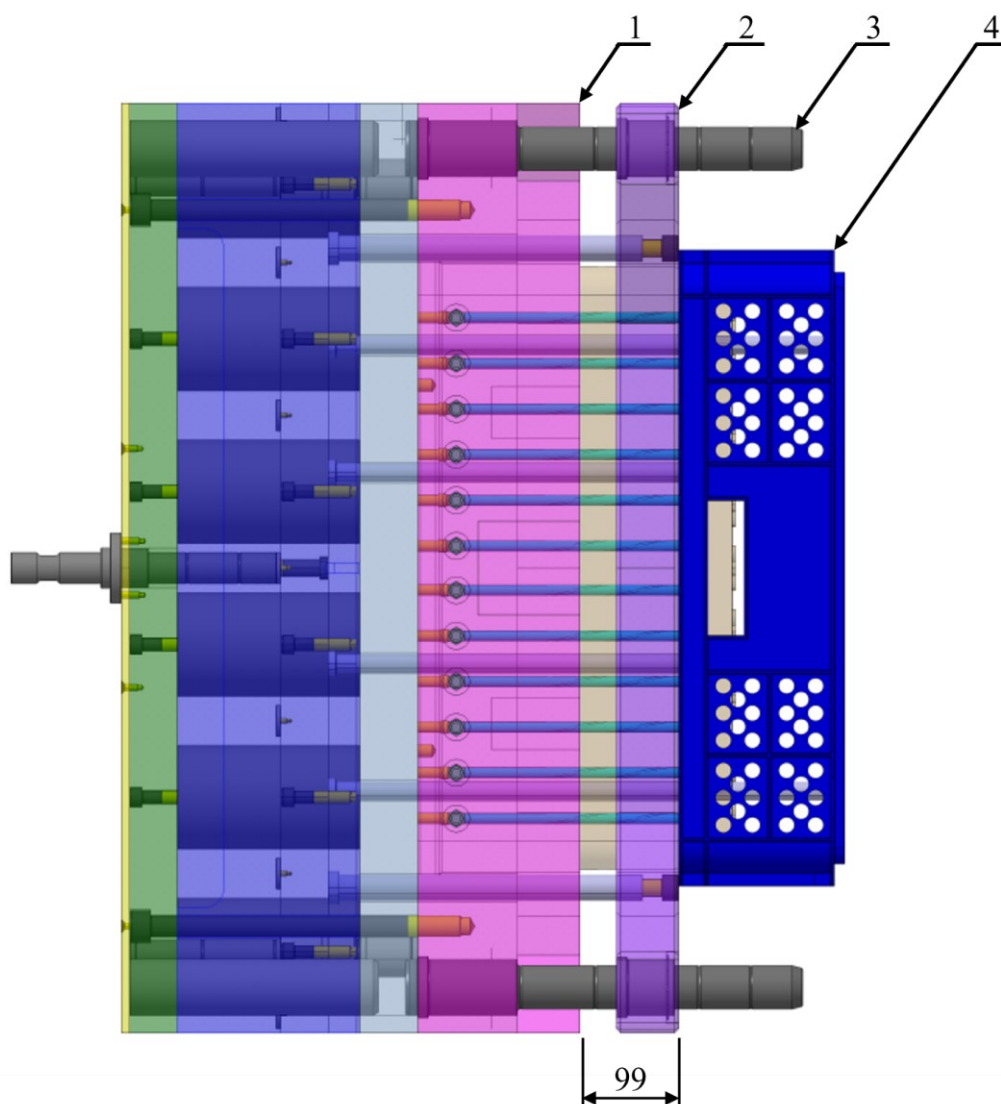
Vyhazovací mechanismus se skládá z opěrné a kotevní vyhazovací desky. Tyto desky jsou spojeny šrouby a nachází se v prostoru mezi rozpěrnými deskami, kde se pohybují po čtyřech vodících čepech upevněných v upínací desce. Desky jsou samozřejmě vybaveny vodícími pouzdry pro přesný a hladký chod. Mezi upínací a opěrnou deskou pohyblivé strany formy jsou také začleněny podpěrné čepy o $\varnothing$ 100 mm, které zabraňují prohnutí opěrné desky a celkově zvyšují tuhost formy.

Pro bezpečné vyhození výrobku z formy byl zvolen systém se stírací deskou a osmi vyhazovači $\varnothing$ 18 mm. Stírací deska se pohybuje po hlavních vodících čepech formy a působí po obvodu vstřikovaného dílu. Propojení stírací desky s vyhazovacím mechanismem je zajištěno čtyřmi táhly o $\varnothing$ 25 mm, které jsou ukotveny v kotvící desce stejně jako vyhazovače. Úkol vyhazovačů zde spočívá v zajištění efektivnějšího oddělení vstřikovaného výrobku od tvárníku. Rozmístění vyhazovačů je soustředěno po okrajích tvárníku a působí na výrobek z vnitřní strany. Maximální zdvih vyhazovacího mechanismu je 99 mm.



Obrázek 42 Vyhazovací mechanismus

1 – opěrná vyhazovací deska, 2 – kotevní vyhazovací deska, 3 – vodící pouzdro, 4 – táhlo stírací desky, 5 – stírací deska, 6 – vodící pouzdro stírací desky, 7 – válcový vyhazovač



Obrázek 43 Vyhazovací mechanismus ve vysunuté poloze

1 – levá tvarová deska, 2 – stírací deska, 3 – hlavní vodící čep, 4 – vstřikovaný výrobek

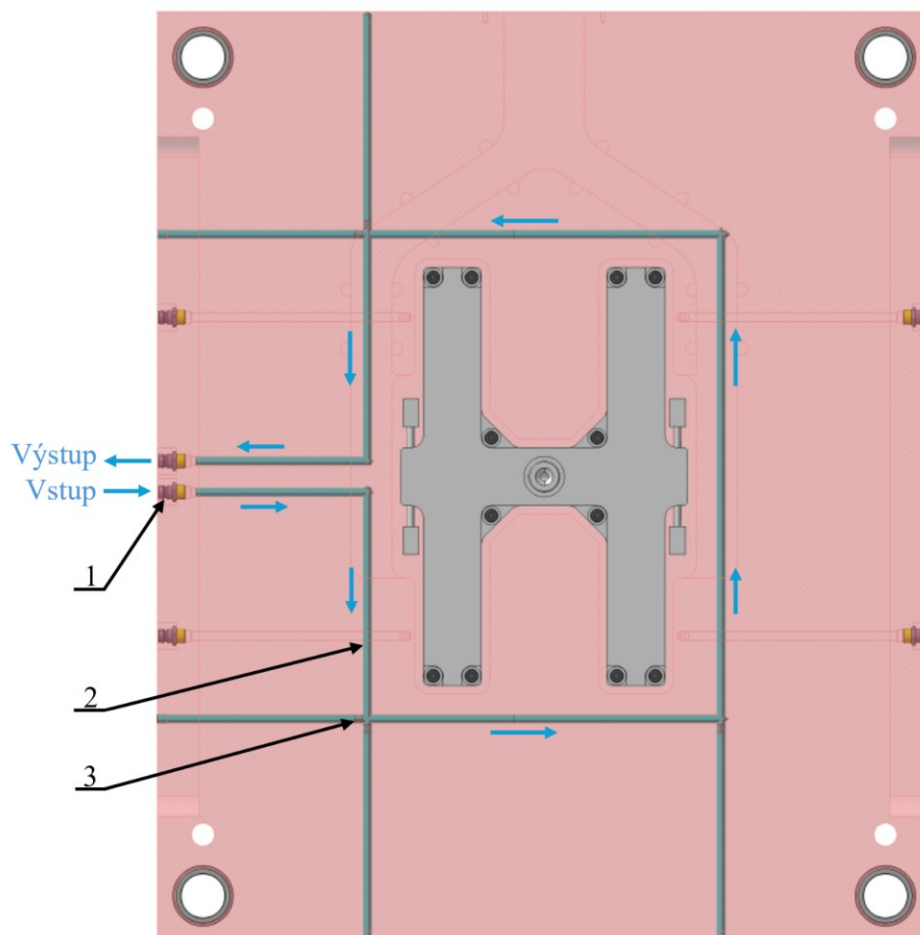
9.8 Temperační systém

Systém temperace byl navržen s důrazem na zajištění stabilního teplotního pole formy, což velmi přispívá k dosažení požadované kvality výrobku. Temperována je pravá i levá část formy, včetně tvarových vložek posuvných čelistí. Jednotlivé trysky horkého vtokového systému jsou také temperovány pomocí speciálních vložek.

9.8.1 Temperace pevné strany formy

Temperace pevné strany formy je rozdělena na dva okruhy. První okruh se nachází v desce horkého bloku a je tvořen vyvrtanými kanály o průměru 8 mm, vzniklá slepá ramena těchto

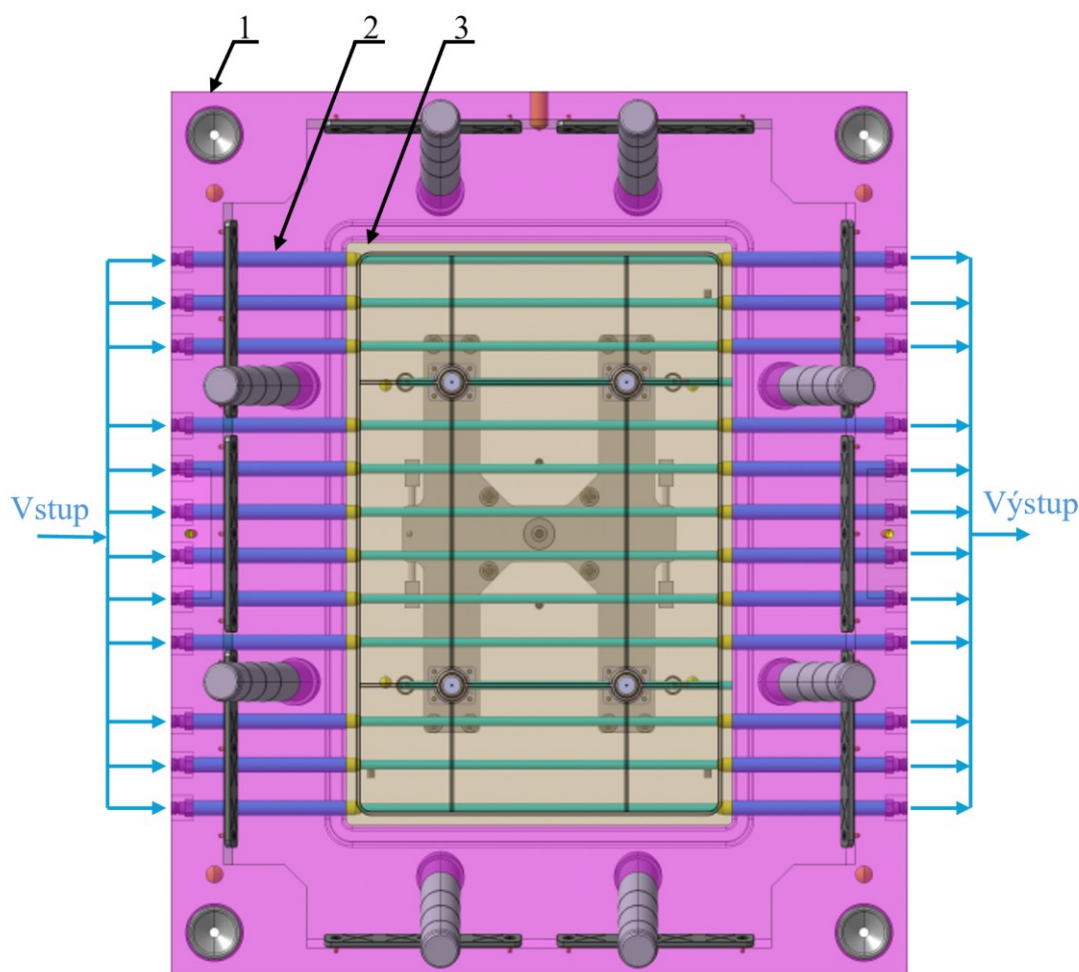
kanálů jsou utěsněna pomocí kuličkových záslepek od společnosti Meusburger. Na vstupu a výstupu se nachází přípojky se závitem a těsnícím O-kroužkem.



Obrázek 44 Temperace desky horkého bloku

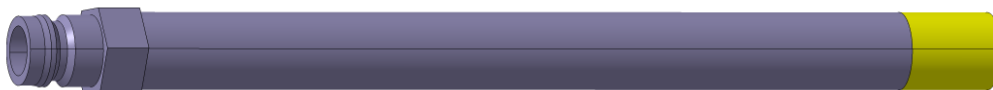
1 – přípojka temperace, 2 – temperační kanál, 3 – kuličková záslepka

Druhý okruh se nachází ve tvarové desce, kde zároveň prochází tvárnici. Za účelem usnadnění montáže a dosažení spolehlivého utěsnění byly do tvarové desky zakomponovány přípojky s prodloužením a závitem, které jsou prostrčeny tvarovou deskou a zašroubovány do tvárnice. Při použití klasických O-kroužků by na přechodu mezi tvárnici a tvarovou deskou mohlo docházet k poškození O-kroužku vlivem obtížné montáže. Průměr temperačních kanálů v tvárnici je 9 mm.



Obrázek 45 Temperace tvárnice

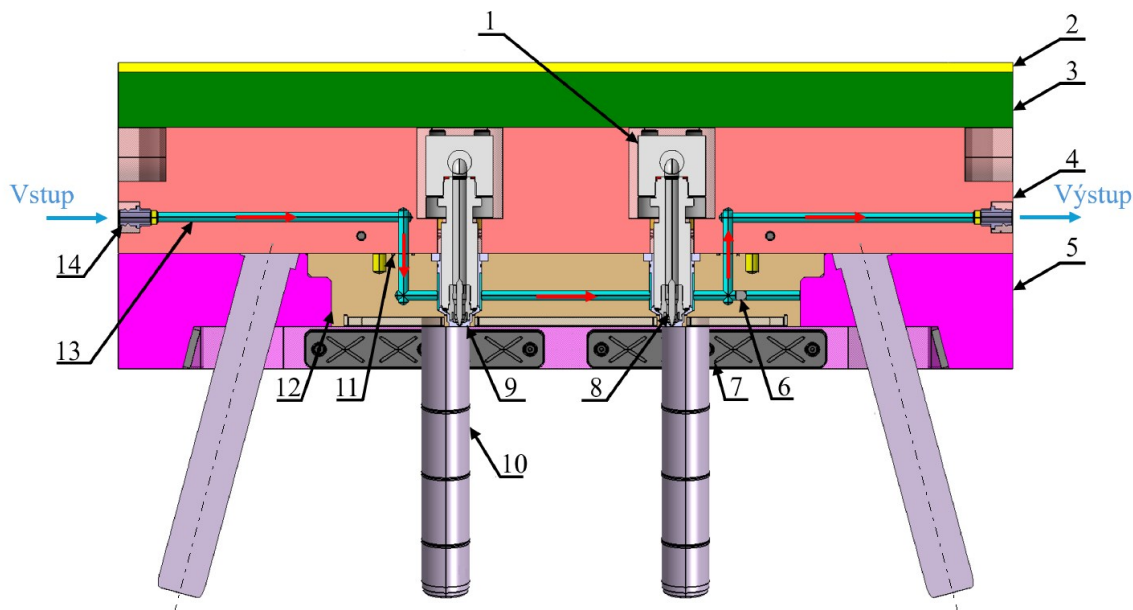
1 – pravá tvarová deska, 2 – přípojka temperace s prodloužením a závitem, 3 – tvárnice



Obrázek 46 Model přípojky s prodloužením a závitem od společnosti Meusburger

9.8.2 Temperace trysek horkého vtoku

Trysky horkého vtoku jsou temperovány pomocí speciálních vložek, které jsou zapuštěny do tvárnice a připevněny pomocí šroubů se zápustnou hlavou. Při uložení těchto vložek do vyfrézovaných otvorů tvárnice vzniká mezi vložkou a tvárnicí mezera, kterou proudí temperační médium a zabráňuje tak přehřátí trysky. Vložky jsou opatřeny O-kroužky, které zajišťují těsnost systému. Temperace je opět rozdělena na dva okruhy, kdy na jeden okruh připadají dvě vložky.



Obrázek 47 Schématický řez temperací trysek

1 – horký blok, 2 – izolační deska, 3 – upínací deska, 4 – deska horkého bloku, 5 – tvarová deska, 6 – kuličková záslepka, 7 – kluzná deska, 8 – tryska, 9 – temperovaná vložka trysky, 10 – vodící čep, 11 – O-kroužek, 12 – tvárnice, 13 – temperační kanál, 14 – přípojka temperace

Na obrázku č. 47 je znázorněn přívod temperačního média k vložkám, kde je přechod mezi deskou horkého bloku a tvárnicí utěsněn pomocí O-kroužku. Průměr temperačních kanálů v desce horkého bloku i v tvárnici je 8 mm.

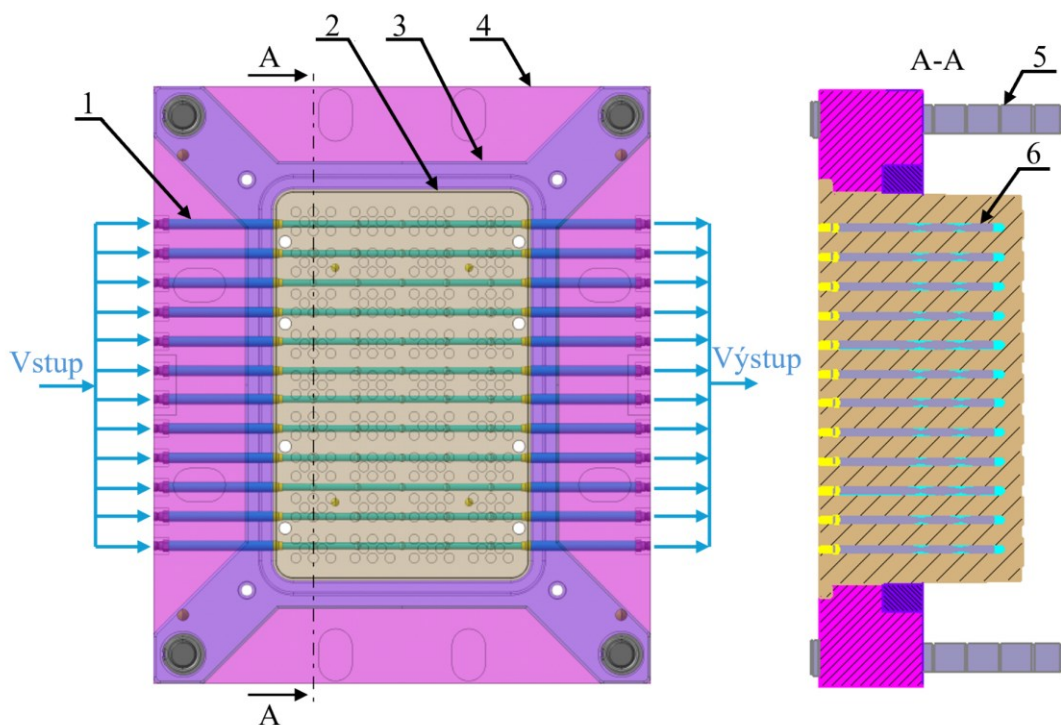
9.8.3 Temperace pohyblivé strany formy

Temperace pohyblivé strany formy je tvořena jedním okruhem, který prochází tvarovou deskou a také tvárníkem. Do vyvrtaných kanálů o průměru 9 mm byly zakomponovány spirálové přepážky od společnosti Meusburger, které způsobují turbulentní proudění temperačního média, a tím zvyšují efektivitu chlazení.



Obrázek 48 Model spirálové přepážky od společnosti Meusburger

Stejně jako na pevné straně formy, byly i zde použity přípojky s prodloužením a závitem, které usnadňují montáž a zajišťují spolehlivé utěsnění. Přípojky jsou prostrčeny tvarovou deskou a zašroubovány do tvárníku.

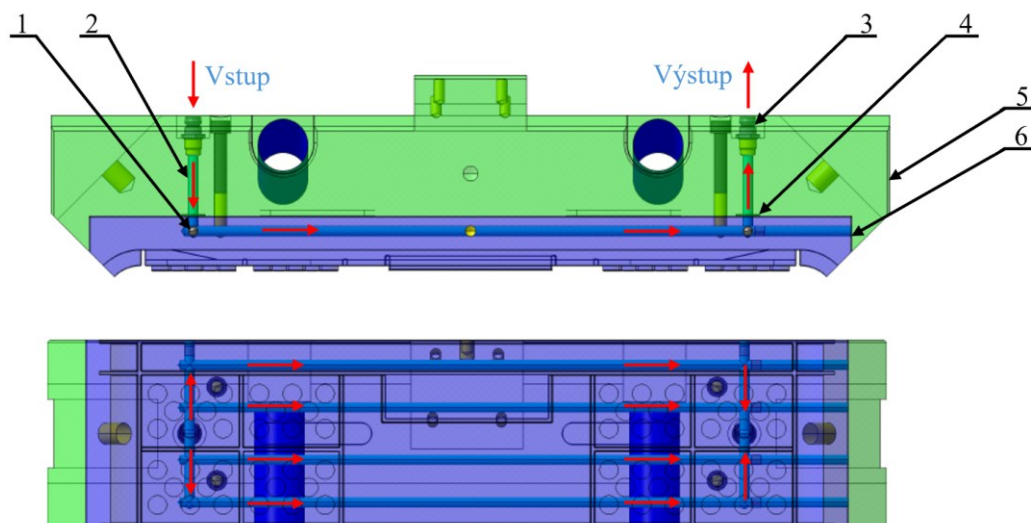


Obrázek 49 Temperace tvárníku

- 1 – přípojka temperace s prodloužením a závitem, 2 – tvárník, 3 – stírací deska,
4 – levá tvarová deska, 5 – hlavní vodící čep, 6 – spirálová přepážka

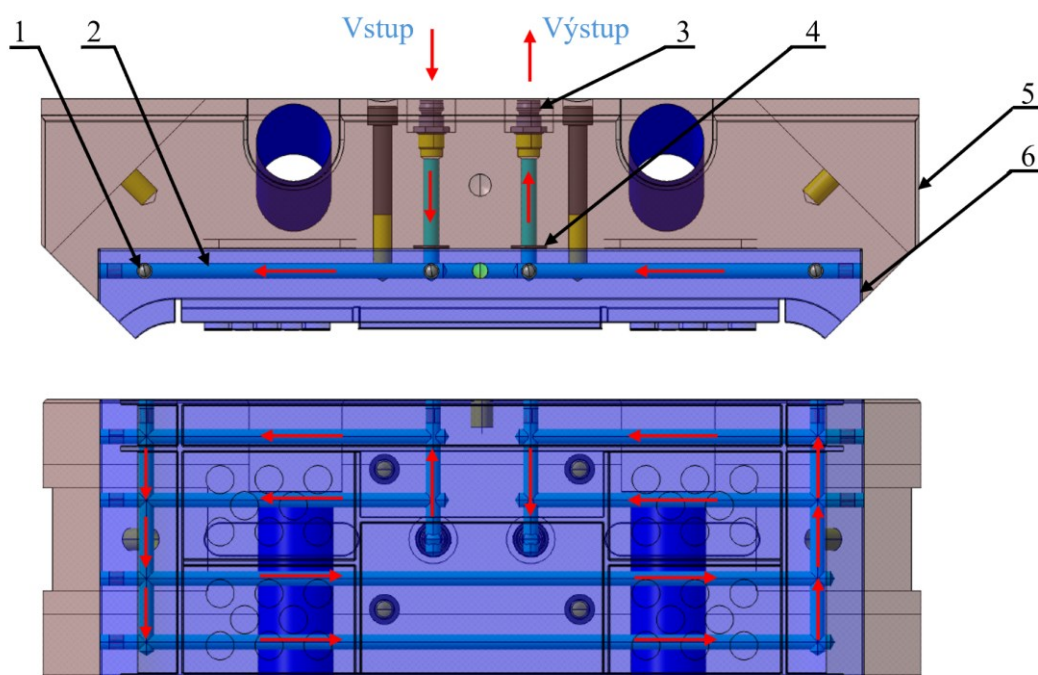
9.8.4 Temperace tvarových vložek posuvných čelistí

Tvarové vložky jsou temperovány pomocí vyvrtaných kanálů o průměru 8 mm, kterými proudí temperační médium v samostatném paralelním okruhu. Slepá ramena kanálů jsou utěsněna kuličkovými záslepkami a na vstupech a výstupech kanálů se nachází přípojky se závitem a těsnícím O-kroužkem. Utěsnění je na přechodu mezi tvarovou vložkou a posuvnou čelistí zajištěno rovněž O-kroužky. Každá vložka je temperována samostatně za účelem dosažení co nejefektivnějšího chlazení.



Obrázek 50 Temperace delší tvarové vložky

1 – kuličková záslepka, 2 – temperační kanál, 3 – přípojka temperace, 4 – O-kroužek,
5 – dlouhá posuvná čelist, 6 – dlouhá tvarová vložka posuvné čelisti

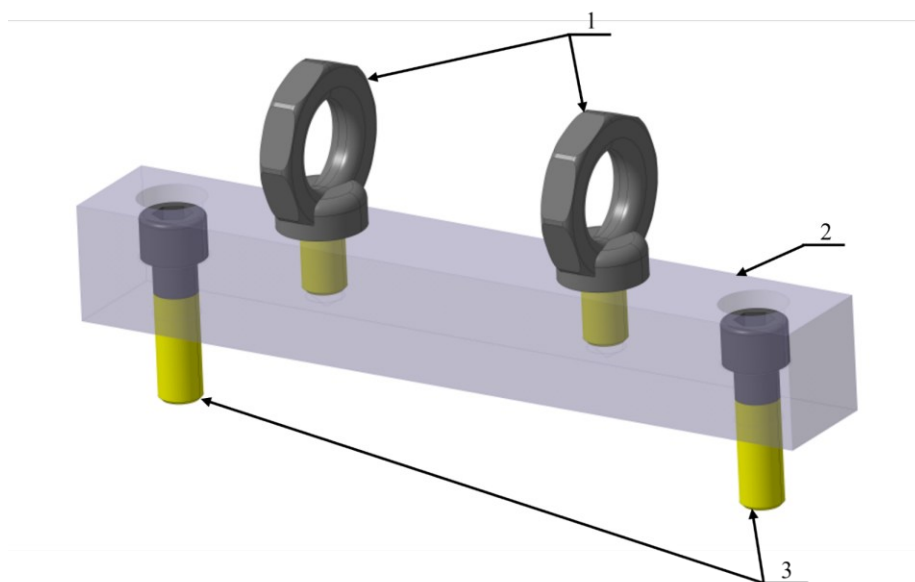


Obrázek 51 Temperace kratší tvarové vložky

1 – kuličková záslepka, 2 – temperační kanál, 3 – přípojka temperace, 4 – O-kroužek,
5 – krátká posuvná čelist, 6 – krátká tvarová vložka posuvné čelisti

9.9 Manipulační systém

Vzhledem k velké hmotnosti formy (3600 kg) byl zvolen jednoduchý a robustní systém manipulace, který je složen z nosné čtyřhranné tyče o průřezu 65x65 mm a délce 440 mm. Tyč je vybavena dvěma závěsnými oky, která jsou do ní zašroubována a při zvoleném zatížení umožňují zavěšení břemene o hmotnosti až 4 500 kg. Samotná tyč je s formou spojena pomocí dvou šroubů M24. Použití tohoto systému spolehlivě zaručí bezpečnou manipulaci a zamezí otevření formy během ní, což zároveň eliminuje nutnost použití manipulačních zámků formy. Po upnutí formy ve vstřikovacím stroji se manipulační mechanismus odmontuje, aby dále nepřekážel v procesu.



Obrázek 52 Manipulační systém

1 – závěsná oka, 2 – nosná tyč, 3 – montážní šrouby

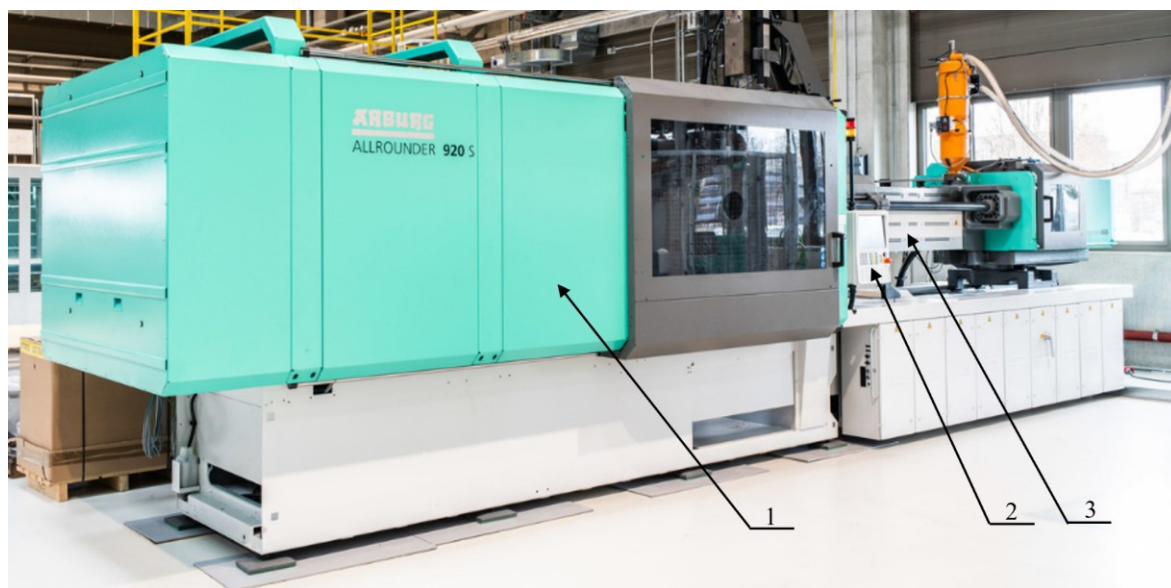
l1	l2	l4	d2	d3	d4	s4	d1				
								max. kg	max. kg	max. kg	max. kg
15	35	11	25	25	47	9	M10	1,000	400	800	560
18	42	13	30	30	56	10	M12	2,000	750	1,500	1,000
24	49	15	35	36	65	13	M16	4,000	1,500	3,000	2,120
30	58	17	40	41	76	16	M20	6,000	2,300	4,600	3,220
36	70	20	49	51	92	19	M24	8,000	3,200	6,400	4,500

Obrázek 53 Parametry závěsného oka z katalogu Meusburger. [29]

Na základě údajů uvedených na obrázku č. 53 bylo ověřeno, že způsob zavěšení formy pomocí dvou závěsných ok, při úhlu lan nepřesahujícím 90°, vyhovuje.

10 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Při volbě vstřikovacího stroje se bylo nutné řídit parametry, jako je vzdálenost vodících sloupků stroje, maximální přípustná hmotnost pohyblivé části formy, maximální objem vstřikované dávky, maximální zdvih vyhazovačů a vzdálenost upínacích desek stroje při maximálním otevření. Po zohlednění všech těchto parametrů byl vybrán vstřikovací stroj ALLROUNDER 920 S od společnosti ARBURG, vybavený hydraulickým pohonem.



Obrázek 54 Vstřikovací stroj ALLROUNDER 920 S

1 - uzavírací jednotka, 2 - kontrolní jednotka, 3 - vstřikovací jednotka

Tabulka 2 Parametry vstřikovacího stroje

ALLROUNDER 920 S			
Parametr	Stroj	Forma	Jednotka
Vzdálenost mezi vodícími sloupky stroje	920x920	746x896	mm
Povolená hmotnost pohyblivé strany formy	8000	2200	kg
Rozměr upínací desky	1280x1280	746x896	mm
Maximální zdvih vyhazovačů	250	99	mm
Maximální otevření	1950	1300	mm
Maximální objem vstřikované dávky	2036	1720	cm ³
Průměr otvoru pro středící kroužek	200	200	mm
Povolená výška formy	400-1050	812	mm

Z tabulky č.2 vyplývá, že zvolený vstřikovací stroj vyhovuje a lze použít pro sériovou výrobu daného dílu. Technický list stroje je přiložen v příloze (P II) této práce.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala konstrukcí a vývojem vstřikovací formy pro technický díl, s cílem navrhnout ekonomicky nenáročné a prakticky využitelné konstrukční řešení. Zvolený díl je bednička, která slouží k přepravě a uskladnění potravin nebo jiného zboží. V teoretické části bylo podrobně popsáno základní rozdělení polymerních materiálů, princip technologie vstřikování a konstrukční pravidla při navrhování forem i výrobků. Poznatky získané z teoretické části práce tvořily důležitý základ pro následující praktickou část.

Samotná praktická část už se zabývala návrhem a konstrukcí vstřikovací formy pro zvolený díl. Nejprve byla zvolena násobnost formy a poté zaformování výrobku. Vzhledem k velikosti vstřikované součásti byla forma navrhována jako jednonásobná a k zaformování výrobku bylo nutné zvolit 5 dělicích rovin - 1 hlavní a 4 vedlejší. Boční strany výrobku jsou odformovány čtyřmi posuvnými čelistmi s hydraulickým pohonem, které bezpečně odformují vstřikovanou součást. Za účelem zvýšení flexibility procesu, byly všechny tvarové vložky navrženy tak, aby je bylo možné vyměnit a změnit tak částečně design vstřikovaného výrobku. Následoval návrh vtokového systému, který byl s ohledem na ekonomickou a technologickou stránku výroby zvolen jako varianta horkého vtokového systému. Systém se skládá z horkého bloku a čtyř trysek, které jsou uspořádány do tvaru písmene H, což zajistí rovnoměrné plnění dutiny formy. Dále byl navrhnout vyhazovací mechanismus, který tvoří stírací deska působící po obvodu součásti a 8 vyhazovačů působících na výrobek z vnitřní strany. Jako další byl navrhnout systém temperace, který je za účelem dosažení co nejefektivnějšího chlazení výrobku rozdělen do několika okruhů. Systém zahrnuje samostatné okruhy pro pevnou a pohyblivou část formy, dále okruhy pro chlazení trysek a desky horkého vtoku. Tvarové vložky posuvných čelistí také disponují samostatnými temperačními okruhy. Posledním úkolem bylo zvolení vstřikovacího stroje (ALLROUNDER 920 S), který vyhovuje všem požadavkům a lze jej použít pro výrobu daného dílu. Při konstrukci byly využity standardizované komponenty z katalogů Meusburger a Hasco, což přispělo k urychlení procesu. Celý návrh konstrukce formy probíhal v softwaru CATIA V5-6R2020, a to včetně zhotovení výkresové dokumentace.

Výsledkem této práce je návrh formy, který může sloužit jako základ pro výrobu daného dílu anebo také jako podklad pro další konstrukční návrhy či vylepšení v budoucnu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BĚHÁLEK, PH.D., Ing. Luboš. *Polymery*. Online. Publi, 2016. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/04.html>. [cit. 2024-09-27].
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [3] *Polymery amorfni a semikrystalické z hlediska vstřikování*. Online. Průmyslové spektrum. 2012. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani>. [cit. 2024-12-14].
- [4] DELDA, Ray Noel Medina; BASUEL, Rex Balisalisa; HACLA, Rodel Peralta; MARTINEZ, Dan William Carpiano; CABIBIHAN, John-John et al. 3D Printing Polymeric Materials for Robots with Embedded Systems. Online. *Technologies*. 2021, roč. 9, č. 4, s. 1. ISSN 2227-7080. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/technologies9040082>. [cit. 2024-12-15].
- [5] LENFELD, prof. Dr. Ing. Petr. *Technologie vstřikování*. Online. Publi, 2016. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/04.html>. [cit. 2024-10-02].
- [6] CATOEN, Bruce a REES, Herbert. *Injection mold design handbook*. Munich: Hanser, 2021. ISBN 978-1-56990-815-0.
- [7] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů 2: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-1294-4.
- [8] KULKARNI, Suhas. *Robust process development and scientific molding: theory and practice*. 2nd edition. Munich: Hanser Publishers, 2017. ISBN 978-1-56990-586-9.
- [9] WANG, Maw-Ling; CHANG, Rong-Yeu a HSU, Chia-Hsiang. *Molding simulation: theory and practice*. 2nd Edition. Munich: Hanser publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-884-6.
- [10] STANĚK, PH.D., Ing. Michal. *Vliv technologických parametrů na zatékavost polymerů*. Online, Habilitační práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41577/stan%20k_2017_hp.pdf?s. [cit. 2024-10-11].
- [11] SEIDL, Ing. Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. Online. Publi, 2016. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/01.html>. [cit. 2024-10-14].
- [12] MICHAELI, Walter; GREIF, Helmut; KRETZSCHMAR, Gernot a EHRIG, Frank. *Training in Injection Molding - A Text- and Workbook*. (2nd Edition). Hanser Publishers, 2001. ISBN 978-1-56990-302-5.
- [13] JAROSCHEK, Christoph. *Injection Molding for Practitioners*. Hanser Publishers, 2024. ISBN 978-1-56990-178-6.
- [14] RAO, Natti S. *Basic Polymer Engineering Data*. Online. Hanser Publishers, 2017. ISBN 9781569906507. Dostupné z: <https://app.knovel.com/s.v?G8WxnIe0>. [cit. 2024-10-14].
- [15] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. 3rd edition. Munich: Hanser publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-891-4.

- [16] PRUNER, Harry a NESCH, Wolfgang. *Understanding Injection Molds*. Online. (2nd Edition). Hanser Publishers, 2020. ISBN 978-1-5231-3613-1. Dostupné z: <https://app.knovel.com/s.v?FoinM1pu>. [cit. 2024-11-12].
- [17] DANGEL, Rainer. *Injection molds for beginners*. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, 2023. ISBN 978-1-56990-911-9.
- [18] BOBEK, PH.D., Ing. Jiří. *Vstříkovací formy pro zpracování termoplastů*. Online. Publi, 2016. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/11.html>. [cit. 2024-12-08].
- [19] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, 2019. ISBN 978-1-56990-590-6.
- [20] MENNING, Günter a STOECKHERT, Klaus. *Mold-Making Handbook*. Online. (3rd Edition). Hanser Publishers, 2013. ISBN 978-1-68015-483-2. Dostupné z: <https://app.knovel.com/s.v?FoinM1pu>. [cit. 2024-11-23].
- [21] CALHOUN, Allison a GOLMANAVICH, Jerry. *Plastics Technician's Toolbox, Volumes 1-6*. Online. Society of Plastics Engineers (SPE), 2002. ISBN 978-1-59124-995-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/s.v?bEkL7AJm>. [cit. 2024-11-27].
- [22] HYNEK, PH.D., doc. Ing. Martin; MÜLLER, Ing. Eduard a HELLER, Ing. Štěpán. K05 Plastové díly. Online. *Studené a živé vtokové systémy*. 2013, roč. 1, č. 1, s. 3-6. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18161288-Studene-a-zive-vtokove-systemy.html>. [cit. 2024-12-09].
- [23] HASCO KATALOG. Online. 2024. Dostupné z: https://www.hasco.com/cs/H/Hork%C3%A9-trysky/Vario-Shot/Trysky/p/H6110_d1x11. [cit. 2024-12-15].
- [24] CAMPO, E. Alfredo. *Complete Part Design Handbook - For Injection Molding of Thermoplastics*. Online. Hanser Publishers, 2006. ISBN 978-1-60119-152-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/s.v?pAAUQTCT>. [cit. 2024-12-11].
- [25] KERKSTRA, Randy a BRAMMER, Steve. *Injection molding advanced troubleshooting guide*. 2nd edition. Munich: Hanser publishers, 2021. ISBN 978-1-56990-834-1.
- [26] GIM, Jinsu a TURNG, Lih-Sheng. A review of current advancements in high surface quality injection molding: Measurement, influencing factors, prediction, and control. Online. *Polymer Testing*. 2022, roč. 115, s. 2-16. ISSN 01429418. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107718>. [cit. 2025-05-06].
- [27] TSOU, Hao-Hsuan; HUANG, Chung-Ching; ZHAO, Ting-Wei a WANG, Zhi-Hao. Design and validation of sensor installation for online injection molding sidewall deformation monitoring. Online. *Measurement*. 2022, roč. 205. ISSN 02632241. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112200>. [cit. 2025-05-06].
- [28] PÁRIZS, Richárd Dominik; TÖRÖK, Dániel; AGEYEVA, Tatyana a KOVÁCS, József Gábor. Multiple In-Mold Sensors for Quality and Process Control in Injection Molding. Online. *Sensors*. 2023, roč. 23, č. 3. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s23031735>. [cit. 2025-05-06].
- [29] MEUSBURGER Georg GmbH & Co KG. [E 1271-Závěsné oko otočné] [online]. Wolfurt: Meusbürger, ©2025. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/cs-cz/1000647605>. [cit. 2025-05-06].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rozdělení polymerů [4].....	13
Obrázek 2 Příklady aplikací termoplastů (a), reaktoplastů (b), pryží (c), termoplastických elastomerů (d) [1].....	15
Obrázek 3 Schéma vstřikovacího cyklu.....	17
Obrázek 4 p-v-T diagram [5]	18
Obrázek 5 Rozsah objemu dávky u vstřikovacích strojů [5]	20
Obrázek 6 Průběh rychlosti tečení u neplněných plastů [5]	21
Obrázek 7 Vstřikovací stroj [6]	23
Obrázek 8 Vstřikovací jednotka [11].....	24
Obrázek 9 Hydraulická uzavírací jednotka [11]	25
Obrázek 10 Vícekloubové mechanismy a) 4-kloubový b) 5-kloubový [11]	26
Obrázek 11 Kontrolní jednotka společnosti Arburg [11]	26
Obrázek 12 Popis dvoudeskové formy [16]	27
Obrázek 13 Příklad dělicí roviny [18]	28
Obrázek 14 Příklad rozložení dutin při vyšší násobnosti formy [22]	28
Obrázek 15 Temperační okruh pevné části formy [18]	30
Obrázek 16 a) nevhodné řešení rozvodných kanálů, dutina 1 se plní rychleji než dutina 2 b) vhodné řešení rozvodných kanálů [22]	31
Obrázek 17 Příklady průřezu rozvodného kanálu [18]	31
Obrázek 18 Schéma studeného vtoku s dvoudeskovou konstrukcí [22]	32
Obrázek 19 Schéma studeného vtoku s třideskovou konstrukcí [16]	33
Obrázek 20 Příklad konstrukce rozvodných bloků [7]	34
Obrázek 21 Vyhřívané trysky Vario Shot z katalogu HASCO [23].....	34
Obrázek 22 Příklad konstrukce vyhazovacích elementů 1) výrobek 2) poloha vyhazovačů [11].....	35
Obrázek 23 Příklad konstrukce od vzdušňovacího kanálu [18]	36
Obrázek 24 Doporučené řešení tloušťky stěny výrobku [9]	37
Obrázek 25 Doporučení pro návrh úkosů [18]	38
Obrázek 26 Doporučení pro návrh žeber [9]	39
Obrázek 27 Příklad řešení komínku [18].....	39
Obrázek 28 3D model bedničky	43
Obrázek 29 Model kompletní vstřikovací formy.....	44
Obrázek 30 Model systému horkého vtoku od společnosti Meusburger.....	45
Obrázek 31 Kompletní vtokový systém.....	46
Obrázek 32 Hlavní dělicí rovina	47

Obrázek 33 Vedlejší dělicí roviny	47
Obrázek 34 Hlavní tvarové části	48
Obrázek 35 Tvarové vložky posuvných čelistí	49
Obrázek 36 Systém posuvných čelistí	50
Obrázek 37 Posuvné čelisti ve vysunuté poloze	50
Obrázek 38 Model nepohyblivé (pravé) strany formy	51
Obrázek 39 Schématický řez pravé (nepohyblivé) strany formy	52
Obrázek 40 Model levé (pohyblivé) strany formy	53
Obrázek 41 Schématický řez levé (pohyblivé) strany formy	54
Obrázek 42 Vyhazovací mechanismus	55
Obrázek 43 Vyhazovací mechanismus ve vysunuté poloze	56
Obrázek 44 Temperace desky horkého bloku	57
Obrázek 45 Temperace tvárnice	58
Obrázek 46 Model přípojky s prodloužením a závitem od společnosti Meusburger	58
Obrázek 47 Schématický řez temperací trysek	59
Obrázek 48 Model spirálové přepážky od společnosti Meusburger	59
Obrázek 49 Temperace tvárníku	60
Obrázek 50 Temperace delší tvarové vložky	61
Obrázek 51 Temperace kratší tvarové vložky	61
Obrázek 52 Manipulační systém	62
Obrázek 53 Parametry závěsného oka z katalogu Meusburger. [29]	62
Obrázek 54 Vstřikovací stroj ALLROUNDER 920 S	63

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Parametry systému horkého vtoku.....	46
Tabulka 2 Parametry vstřikovacího stroje	63

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	trojrozměrný prostor
2D	dvojrzměrný prostor
PS	polystyren
PC	polykarbonát
SAN	styren-akrylonitril
PE	polyethylen
PP	polypropylen
PA	polyamid
POM	polyoxymethylen
PBT	polybutylentereftalát
°C	stupeň Celsia
%	procento
T	teplota
M	metrický závit
mm	milimetr
cm	centimetr
cm ³	centimetr krychlový
g	gram
kg	kilogram
bar	barometrický tlak
Pa	pascal
MPa	megapascal
v	měrný objem
kN	kilonewton
CAD	computer aided design

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list.

Příloha P II: Technický list stroje.

Příloha P III: Model vstřikovací formy.

Příloha P IV: Model vstřikovaného výrobku.

Příloha P V: Výkresová dokumentace včetně kusovníku.

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST



Technical Data Sheet		Product Name SCGC™ PP
Product Type Polypropylene Resin		Product Grade P403J

Product Description

SCG™ PP P403J is a homopolymer polypropylene resin suitable for general purpose product which required good impact resistance produced from injection molding process.

Typical Application

- Fruit Basket
- Household product
- Office accessory
- Food container
- Infant article
- Furniture

Product Characteristics

- Good impact resistance
- Odorless
- Food contact applicable

International Compliance

- U.S. FDA 21 CFR 177.1520
- Regulation (EU) No. 10/2011
- Directive 94/62/EC
- RoHS Directive 2011/65/EU (RoHS 2)
- EN 71 part 3
- REACH Regulation (EC) No. 1907/2006

Physical Properties

Properties	Test Method	Typical Value	Unit
Melt Flow Rate	ASTM D 1238 @ 230 °C, 2.16 kg	3.5	g/10 min
Density	ASTM D 1505	0.91	g/cm ³
Melting Point	ASTM D 2117	163	°C
Vicat Softening Point	ASTM D 1525	155	°C
Heat Deflection Temperature (HDT)	ASTM D 648 @ 4.6 kg/cm ²	110	°C
Tensile Strength at Yield	ASTM D 638	350	kg/cm ²
Tensile Strength at Break	ASTM D 638	230	kg/cm ²
Elongation at Break	ASTM D 638	650	%
Flexural Modulus	ASTM D 790	15500	kg/cm ²
Notched Izod Impact	ASTM D 256 @ 23 °C	40	J/m
Haze	ASTM D 1003	50	%

Note:

- Conversion factor for changing unit from kg/cm² to MPa is divided by 10.20.
- There results above are under SCG's condition and method from specific sample, should be not used for representative to lot product qualities.

Thai Polyethylene Co., Ltd.

1 Siam Cement Road, Bangsue, Bangkok, 10800 Thailand

E-mail: general_plastics@scg.com

Page | 1

Published: March 2023

www.scgchemicals.com



Technical Data Sheet		Product Name
Product Type		SCGC™ PP
Polypropylene Resin		Product Grade
		P403J

Processing Guidelines

The actual processing conditions depend on each machine type, product size, mold design and environment.

Recommended processing conditions:

Melt temperature: 210-230°C	Mold temperature: 25-70°C	Injection speed: Fast	Screw speed 40-70 rpm
Pressure: Injection 40-80%	Packing and Holding 30-60%	Back 10% of Max Pressure	

Product Technical Assistance

For technical assistance or further information on this product or any other SCG Chemicals' products, contact your SCG Chemicals technical services at the address as specified below.

Product Available Form

- Pellet

Product Packaging

- 25 kg loose bag
- 25 kg stretch wrap palletized
- 750 kg big bag
- Sea bulk container

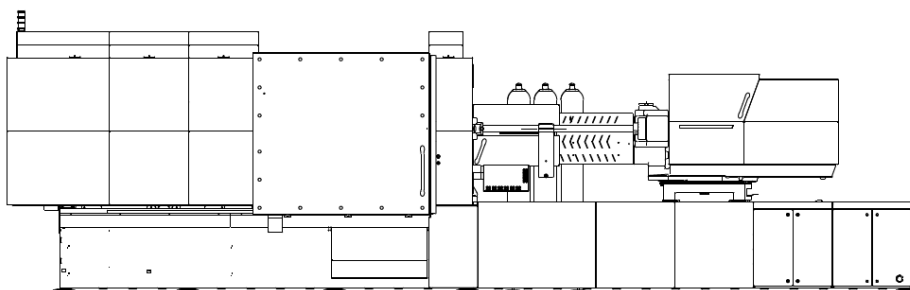
Storage

- Store in original container in tidy according to the manual of Handling and Storage from Thai Polyethylene Company Limited.
- Product(s) should be stored in dry and dust free location at temperature below 50 °C and protected from direct sunlight and/or heat, well-ventilated area, away from incompatible materials and food and drink, as this may lead to quality deterioration, which results in odour generation and colour changes and can have negative effects on the physical properties of this product.
- Keep container tightly closed and sealed until ready for use. Containers that have been opened must be carefully resealed and kept upright to prevent leakage. Do not store in unlabelled containers. Use appropriate containment to avoid environmental contamination.
- The storage area should be stable and not be slopped.

Safety

- The product is not classified as a hazardous material.
- Please see our Material Safety Data Sheet for details on various aspects of safety, recovery, and disposal of the products; for more information, contact your SCG Chemicals technical services.

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST STROJE



ALLROUNDER 920 S

Clamp-Design

Distance between tie bars: 920 x 920 mm

Clamping force: 5000 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 2100, 3200, 4600

ARBURG

TECHNICAL DATA | 920 S

Clamping unit			920 S	
with clamping force	max. kN		5000	
Opening force stroke	max. kN mm		1000 900	
Mould height, fixed variable	min. mm		1050 [400-1050]	
Platen daylight fixed variable	max. mm		1950 [1300-1950]	
Distance between tie bars (w x h)	mm		920 x 920	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm		1280 x 1280	
Weight of movable mould half	max. kg		8000	
Ejector force stroke	max. kN mm		100 250	
Dry cycle time EUROMAP ²	1 pump	min. s - mm	6,0 - 644	
	2 pumps	min. s - mm	4,5 - 644	
	Accum.	min. s - mm	3,2 - 644	

Injection unit		2100			3200			4600		
with screw diameter	mm	60	70	80	70	80	90	80	90	100
Effective screw length	L/D	23	20	17,5	23	20	18	22,5	20	18
Screw stroke	max. mm	280			320			360		
Calculated stroke volume	max. cm ³	792	1078	1407	1232	1608	2036	1810	2290	2827
Shot weight	max. g PS	723	984	1286	1125	1469	1860	1653	2092	2583
Material throughput	max. kg/h PS	125	145	175	185	215	250	255	295	330
	max. kg/h PA6.6	62	74	88	93	110	125	120	150	170
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1530	2500	2000	1580	2500	2000	1620
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1530	2500	2000	1580	2500	2000	1620
Injection flow ²	1 pump	max. cm ³ /s	290	394	514	290	380	482	---	
	2 pumps	max. cm ³ /s	290	394	514	290	380	482	310	392
	Accum.	max. cm ³ /s	1132	1540	2012	1188	1552	1964	1264	1600
Screw circumferential speed ²	1 pump	max. m/min	51	60	68	47	54	61	---	
	2 pumps	max. m/min	51	60	68	47	54	61	38	43
	Accum.	max. m/min	21	25	28	23	26	29	40	46
Screw torque	max. Nm	2140	2500	2550	3140	3510	3510	4400	4950	5000
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	110 600			110 600			110 600		
Heating capacity zones	kW	31,1 8			38,4 8			51,2 9		

Drive and connection		1 pump (servo)		2 pumps		Accum.	
with injection unit		2100	3200	2100	3200	4600	4600
Net weight of machine	kg	24900	26400	24900	26400	28500	29000
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)	< 65		73 3		< 70	
Oil filling	l	410	530	410	530	570	670
Drive power ²	max. kW	55	55	75	75	75	37
Electrical connection ³	kW	89	96	110	116	129	72
	A	---		---		---	
	A	125	125	160	160	160	100
Cooling water connection	max. °C	30		30		30	
	min. Δp bar	1,5 DN 25		1,5 DN 25		1,5 DN 32	

Machine type	
with EUROMAP size designation ¹	Drive
920 S 5000-2100	1 2 -
920 S 5000-3200	1 2 -
920 S 5000-4600	- 2 Accum.

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)
 - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
 - 4) Emission sound pressure level at the workplace. Detailed information in the operating instructions.
- [] Specifications apply to alternative equipment.