

# **Konstrukční návrh vstřikovací formy pro plastový díl části motoru včetně simulace funkčnosti formy**

Bc. Jiří Vaněk

---

Diplomová práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Vaněk**  
Osobní číslo: **T17277**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukční návrh vstřikovací formy pro plastový díl části motoru včetně simulace funkčnosti formy**

Zásady pro vypracování:

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

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. ZEMAN, Lubomír. **Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. 1. vydání – Praha: BEN – technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.**
2. REES, Herbert. **Mold engineering. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6.**
3. OSSWALD, T. A. **Injection molding handbook. 2nd ed. Munich, Germany: Carl Hanser Publishers, 2008. 764 s. ISBN 978-3-446-40781-7.**

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

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2019**

Ve Zlíně dne 1. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, 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.

Ve Zlíně 17. 5. 2019

---

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

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

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

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cílem diplomové práce je provést konstrukční návrh formy pro výrobu plastového dílu části automobilového motoru technologií vstřikováním, včetně provedení tokových analýz ověřujících funkčnost navržené formy.

Teoretická část práce obsahuje literární studii zabývající se polymerními materiály využívanými pro vstřikování, samotnou technologii vstřikování, konstrukcí vstřikovacích forem a tvorbou tokových analýz.

Součástí praktické části práce je provedení konstrukce 3D modelu vstřikovaného dílu a návrh konstrukce vstřikovací formy pro jeho výrobu. Dále byla provedena analýza procesu vstřikování ověřující funkčnost navržené formy. Návrh vstřikovací formy je doplněn o výkres sestavy spolu s kusovníkem a příslušnými pohledy.

Klíčová slova: vstřikování, konstrukce vstřikovací formy, analýza vstřikování

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is a design of injection mold for producing a plastic part of an automotive engine manifold. Flow analysis of injection molding process is included for verification of mold functionality.

The theoretical part of the thesis contains a literary study dealing with polymer materials used for injection molding, describes injection molding technology itself, injection mold design and flow analysis.

The practical part of thesis contains 3D design of injected part and design of injection mold for its production. Furthermore, an analysis of the injection molding process was performed to verify the functionality of designed mold. The design is complemented by a drawing of the assembly including the bill of materials and related views.

Keywords: injection molding, design of injection mold, injection analysis

Chtěl bych poděkovat zejména mému vedoucímu Ing. Martinovi Ovsíkovi Ph.D. za odborné vedení, podněty a cenné rady při tvorbě této diplomové práce.

Mé díky patří také dalším zaměstnancům Fakulty technologické UTB ve Zlíně, za jejich vstřícnost a ochotu v průběhu studia. Vděčím taktéž své rodině za trpělivost trvalou podporu.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>12</b>
1.1 HISTORIE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	12
1.2 ROZDĚLENÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	14
1.3 SYNTÉZA POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ A VÝROBA GRANULÁTU .....	16
1.4 REOLOGIE POLYMERNÍCH TAVENIN .....	17
1.5 VYUŽITÍ POLYMERŮ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU .....	18
<b>2 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ</b> .....	<b>20</b>
2.1 PRINCIP TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ, VSTŘIKOVACÍ CYKLUS, FÁZE VSTŘIKOVÁNÍ .....	20
2.1.1 Plastikační fáze.....	22
2.1.2 Vstřikovací fáze .....	23
2.1.3 Dotlaková fáze .....	24
2.1.4 Ochlazovací fáze .....	27
2.1.5 Průběh tlaku při vstřikování .....	27
2.1.6 Procesní okno .....	29
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	29
2.2.1 Vstřikovací jednotka .....	30
2.2.2 Uzavírací jednotka .....	31
2.2.3 Periferní zařízení vstřikovacích strojů .....	32
2.3 SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE TERMOPLASTŮ.....	32
2.4 VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ Z TERMOPLASTŮ.....	34
<b>3 VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>38</b>
3.1 VTOKOVÉ SYSTÉMY .....	40
3.1.1 Studený vtokový systém .....	40
3.1.2 Horký vtokový systém .....	43
3.2 TEMPERAČNÍ SYSTÉMY.....	45
3.3 ODVZDUŠŇOVACÍ SYSTÉM.....	47
3.4 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	48
3.5 BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ.....	51
3.6 POSTUP KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	53
3.7 VOLBA MATERIÁLU FOREM .....	55
<b>4 TOKOVÁ ANALÝZA</b> .....	<b>56</b>
4.1 EKONOMICKÉ HLEDISKO SIMULAČNÍCH SOFTWARE.....	56
4.2 ANALÝZA V SOFTWARE AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016 .....	57
4.2.1 Příprava analýzy .....	57
4.2.2 Jednotlivé typy simulací.....	58





10.6 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ TOKOVÝCH ANALÝZ .....	100
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>101</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>102</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>105</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>107</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>110</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>111</b>

## ÚVOD

Technologie vstřikování polymerů tvoří nedílnou součást většiny průmyslových odvětví, v současné době jde o jeden z nejrozšířenějších způsobů produkce výrobků z polymerních materiálů. Příčinou může být nahrazování výrobků z oceli, dřeva, skla nebo jiných konvenčních materiálů polymerními výrobky. Vstřikování umožňuje výrobu celé řady produktů rozličných tvarů, rozměrů a aplikací. Výroba takových dílů je ekonomicky příznivá a lze u nich dosáhnout požadovaných mechanických, fyzikálních, i chemických vlastností. Vzhledem k relativně vysokým pořizovacím a provozním nákladům se technologie vstřikování uplatňuje zejména ve velkosériové a hromadné výrobě.

Vstřikování polymerů se vyznačuje relativně komplikovaným fyzikálním procesem, kde figuruje polymerní materiál, vstřikovací forma a vstřikovací stroj. Princip této metody je založen na plastikaci pevného polymerního materiálu do podoby taveniny, její vstříknutí do tvarové dutiny formy, následné ochlazení, odformování a vyhození výrobku z formy.

Vzhledem k neustále se zvyšujícím požadavkům na parametry vstřikovaných dílů, je kladen důraz na kvalitu a přesnost vstřikovacích forem, což se projevuje na jejich konstrukční a ekonomické náročnosti. Snadnější, rychlejší a efektivnější konstrukci vstřikovacích forem umožňuje řada 3D softwarů, simulačních programů a možnost využití normalizovaných součástí dodávaných specializovanými výrobci. Konstrukce vstřikovacích forem s využitím těchto nástrojů se pak stává efektivnější a kvalitnější.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Jedná se o syntetické nebo přírodní materiály, které jsou z velké části tvořeny dlouhými řetězci vzájemně spojených základních jednotek tzv. merů převážně uhlovodíkových sloučenin. Pro jejich výrobu se využívá jak ropa a uhlí, tak například škroby.

Značnou výhodou polymerních materiálů je variabilita jejich vlastností a tím i možností jejich použití, kdy kromě vlastních aplikací mohou nahrazovat jiné materiály. V současnosti je k dispozici široká škála typů polymerů vhodných pro jednotlivé aplikace. Vlastnosti zvoleného typu polymerního materiálu jsou tedy zásadní pro výsledné parametry vyráběného dílu.

### 1.1 Historie polymerních materiálů

Syntetické polymery se začaly rozvíjet ve dvacátém století, nicméně některé polymery přírodního charakteru byly objeveny mnohem dříve. Kaučuk je v Evropě znám již od patnáctého století, prvně byl však uplatněn až za dalších téměř tři sta let. Přírodní kaučuk získávaný z tropického stromu kaučukovníku brazilského tvoří výchozí látku pro výrobu pryže. Po vysrážení, vyprání a vysušení je smíchán s dalšími aditivami a vulkanizačním činidlem, kterým je nejčastěji síra. Tato směs je pak podrobena vulkanizaci s cílem získat materiál o velké pružnosti, který je schopen značných vratných deformací. [1]

Jako první objevené syntetické polymery lze označit Celuloid a Bakelit. Celuloid byl vytvořen roku 1846 z roztoku nitrátu celulózy a kafru při snaze nahradit slonovinu dostupnějším materiálem. Využíval se k výrobě různých okrasných předmětů, později umožnil rozvoj kinematografie. Celuloid nebyl však zcela syntetický polymer, protože se skládal z přírodní celulózy. Prvním čistě syntetickým polymerem se stala v roce 1907 fenol-formaldehydová pryskyřice, materiál zvaný jako Bakelit. Široké využití nacházel v elektrotechnice nebo v interiérech automobilů, kde v porovnání s dřevěnými díly představoval úsporu práce při opracování dřeva a ztvárňoval symbol pokroku. [1]

Na konci dvacátého století byla objevena řada dodnes používaných syntetických polymerů, jako jsou polyvinylchlorid (PVC), polymethylmethakrylát (PMMA), polystyren (PS). Ve třicátých letech pak byly průmyslově připravovány materiály, jako jsou polyester, polyamidy (PA66, PA6), nízkohustotní polyetylen (LDPE) nebo polytetrafluoretylen (PTFE). Na počátku padesátých let se vývoj polymerů ještě více urychlil a na trhu se objevují epoxidové

pryskyřice (EP), konstrukční materiál akrylonitril-butadien-styren (ABS), polyolefiny (PP, HDPE) a polykarbonát (PC). V průběhu šedesátých a sedmdesátých let byl vývoj polymerů zaměřen na teplotní odolnost, vznikají tak materiály jako jsou polysulfony (PSU) a polyimidy (PI). Od počátku osmdesátých let je pak trendem syntéza polymerních směsí, díky kterým bylo možné získat nové materiály kombinací vhodných složek, např. (PC+ABS). Díky objevu látek umožňujících mísitelnost polymerů je možné připravit materiál požadovaných vlastností téměř z libovolné kombinace výchozích polymerů. [1] [3]

V současnosti se vývoj polymerů soustřeďuje na přípravu polymerních kompozitů a na tvorbu struktury polymerního řetězce s cílem získat hypervětvené polymery a dendrimery (např. PAMAM). Takové materiály nachází uplatnění v medicínských oblastech. Současný vývoj klade také důraz na vývoj polymerních nanomateriálů a biopolymerů. [3]

*Tab. 1 Události v historii polymerů [3]*

Rok	Událost
1496	přírodní kaučuk (K. Kolumbus)
1791	impregnace tkanin kaučukem
1844	objev vulkanizovaného kaučuku
1868	objev Celuloidu
1888	objev pneumatiky
1907	objev Bakelitu
1927	objev PVC
1928	objev PMMA
1929	objev UF
1930	objev PS
1935	objev PA66
1938	příprava PA6, příprava LDPE
1939	objev PTFE
1941	objev PET
1952	objev HDPE
1953	objev PP, PC
1963	objev EPDM
1965	objev TPE
1965	objev PSU
1982	první syntéza PAMAM

## 1.2 Rozdělení polymerních materiálů

Vlastnosti neplněných polymerních materiálů závisí na jejich molekulové struktuře, tedy tvaru a délce makromolekul i velikosti sil, působících mezi nimi a na nadmolekulární struktuře, související s uspořádáním makromolekul vůči sobě vzájemně. [1]

Makromolekula se skládá z více malých, jednodušších monomerních jednotek. Hlavní makromolekulární řetězec je většinou sestaven z atomů uhlíku, může však obsahovat i jiné prvky jako je kyslík, dusík nebo křemík. Na atomy tvořící hlavní řetězec jsou vázány další atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, chloru, dusíku nebo jiných prvků. [1]

Tab. 2 Základní rozdělení polymerních materiálů [2]

POLYMERNÍ MATERIÁLY			
TERMOPLASTY	REAKTOPLASTY	TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	ELASTOMERY
Fenolické	Semikrystalické	S vysokou tvrdostí	NR
Melaminové			SBR
Epoxidové	Amorfní	S nízkou tvrdostí	NBS
Polyesterové			EPDM

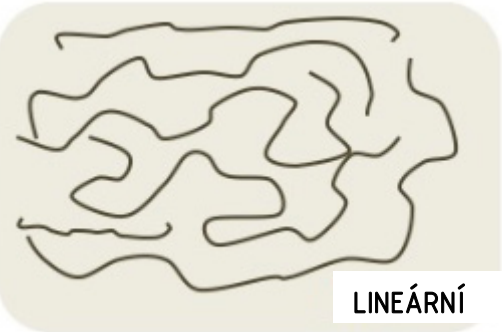
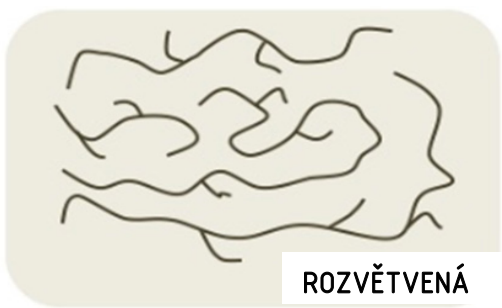

V průběhu určité fáze zpracování se polymerní materiály vyskytují ve viskoelastickém stavu, což umožňuje jejich tvarování do podoby požadovaného výrobku. Ten se pak ve finální podobě nachází v prakticky tuhém stavu. Vzhledem k tomu, zda je tato změna vratná či nevratná, lze polymerní materiály rozdělit na termoplasty a reaktoplasty. Tyto polymery jsou při běžných podmínkách relativně tvrdé, vnější namáhání u nich způsobuje převážně trvalé deformace. Další skupinu materiálů tvoří elastomery, což jsou elastické polymery, které je možné při běžných podmínkách relativně malou silou značně deformovat aniž by došlo k porušení, deformace je tedy převážně vratná. Termoplastické elastomery tvoří další skupinu materiálů, ve kterých jsou elastické řetězce integrovány v polymerní matici. Tato integrace je pouze fyzikálního charakteru, nikoliv chemického, jedná se tedy o směs. [2]

Zejména lineární a málo větvené polymerní látky jsou schopny částečné krystalizace jak z velmi zředěných roztoků, tak z taveniny. Části makromolekul se tak vytvářejí pravidelnou prostorovou strukturu. Vznikají destičkové útvary o tloušťce cca 10 nm s plošnými rozměry v řádu mikrometrů – tzv. lamely, které na sobě vyrůstají dendritickým způsobem. Vytvářejí

tak útvar téměř kulovitého charakteru zvaný sférolit. Částečná krystalizace znamená, že kromě uspořádané struktury je v polymeru přítomna i neuspořádaná amorfnní struktura.

Amorfnní polymery jsou ty, jejichž makromolekulární řetězce nemají při přechodu z taveniny do tuhého stavu schopnost tvořit pravidelnou strukturu. Čistě amorfnní látky vykazují transparentnost, protože na rozhraní těchto polymerů nedochází k odrazu světla. Významnými amorfnními materiály jsou např. polykarbonát, polymethylmetakrylát nebo kopolymer akrylonitril-butadien-styren. Ve stavu taveniny mohou být všechny polymery amorfnní. Pokud je cílem získat transparentní výrobek ze semikrystalického materiálu, je toho možné dosáhnout nastavením procesních parametru tak, že se materiál prudce ochladí. Polymer pak nemá dostatečný prostor pro tvorbu krystalické struktury a zachová si amorfnní charakter. Obdobného postupu je využíváno při výrobě transparentních PET láhví.

Tab. 3 Vlastnosti polymerů v závislosti na molekulární struktuře [6]

Molekulární struktura	Vlastnosti
 <p style="text-align: right;"><b>LINEÁRNÍ</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vyšší hustota materiálu</li> <li>• vyšší pevnost</li> <li>• vyšší modul pružnosti</li> <li>• nižší tažnost</li> <li>• vyšší teplotní odolnost</li> <li>• dobrá tekutost taveniny</li> <li>• snadná krystalizace</li> </ul>
 <p style="text-align: right;"><b>ROZVĚTVENÁ</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nižší hustota materiálu</li> <li>• nižší pevnost</li> <li>• nižší modul pružnosti</li> <li>• vyšší tažnost</li> <li>• nižší teplotní odolnost</li> <li>• nižší tekutost taveniny</li> <li>• nižší schopnost krystalizace</li> </ul>
 <p style="text-align: right;"><b>SÍŤOVANÁ</b></p>	<p>Vlastnosti závisí na hustotě sítě, s vyšší hustotou se materiál vyznačuje zpravidla:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vysokou pevností</li> <li>• vysokým modulem pružnosti</li> <li>• vysokou teplotní odolností</li> <li>• velmi nízkou tažností</li> </ul>



### 1.3 Syntéza polymerních materiálů a výroba granulátu

Syntetické polymerní materiály se připravují řetězením z nízkomolekulárních látek, tzv. monomerů různými chemickými procesy. Jedná se o polymeraci, polykondenzaci a polyadici. Tyto chemické reakce se mnohokrát opakují a v důsledku toho původně nízkomolekulární sloučenina, tzv. monomer tvoří vysokomolekulární látku polymer. Polymerace je možná tehdy, pokud monomer v molekule obsahuje nejméně dvě funkční skupiny schopné reakce.

- Polymerace – při této reakci spolu přímo reagují malé molekuly monomeru a propojují se tak do velké řetězovité polymerní molekuly. Takto vytvořené polymery se často nazývají podle základního monomeru s předponou „poly“, např. polyetylen, polypropylen, polystyren, polymethylmetakrylát atd. Polymerace se vyznačuje tím, že se tvorby makromolekulárního řetězce účastní celá molekula monomeru bez vzniku vedlejších produktů. [1]
- Polykondenzace – jedná se o stupňovitou reakci, kdy se opět molekuly monomerů spojují do dlouhých řetězců, jenže při každém odštěpení monomeru se odštěpí i vedlejší produkt, kterým může být molekula vody, čpavek nebo chlorovodík. Polykondenzace je oproti polymeraci podstatně pomalejší proces. Reakci je však možné v libovolné fázi přerušit a pokračovat v ní např. až při zpracování materiálu na finální produkt. Takto připravené polymery se nazývají podle chemických skupin, např. polyamidy, polyformaldehydy, polyimidy a další. [1]
- Polyadice – Tento proces spočívá ve stupňovité reakci, kdy spolu reagují dva odlišné druhy monomerů obsahující reaktivní atomové skupiny v molekule. Nevzniká zde štěpený produkt, ale vodíkový atom se přesouvá z jedné reaktivní skupiny do druhé, což způsobuje slučování, tzv. adici. Pomocí polyadice se připravují např. polyuretany nebo epoxidové pryskyřice. [1]

Polymery vstupují do technologických procesů v různém tvaru, který je potřebný pro danou zpracovatelskou technologii. Zejména jsou to granule, prášky, pasty, tablety a další. U technologie vstřikování se nejčastěji používá granulát, který je získáván procesem zvaným granulace. Takové granule mají vhodnou sypkou hmotnost, dobře se směšují s přídatnými materiály a snadno se dávkuje. Tvar granulí může být v podobě válečků, kuliček, čoček nebo krychliček. Do podoby granulátu se často formuje i recyklát získaný drcením či mletím, potom se jedná o tzv. regenerát. Proces, který se používá pro výrobu granulí, se nazývá technologie granulace. Rozlišují se dvě základní metody a to granulace z pásu a granulace ze

strun za studena či tepla. Volba technologie granulace se odvíjí od vlastností zpracovávané taveniny jako je tekutost a tvrdost, dále na požadovaném výkonu nebo ekonomičnosti celého procesu. [4]

Granulace z pásu je založena na rozřezání vstupního materiálu, kterým je polotovár ve tvaru desky na proužky, které jsou poté sekány do tvaru granulí. Pomocí této technologie se často vyrábějí granule polyamidu. [4]

Granulace ze strun spočívá ve vytlačování polymerní taveniny skrze granulační hlavu, ve které se nachází řada kruhových otvorů. Vytlačením získá tavenina tvar strun, které jsou nožem sekány do podoby granulí za studena nebo za tepla. Při granulaci za studena jsou vytlačené struny před sekáním chlazeny v kapalině. Takové granule přichází do styku s chladicí kapalinou a vzniklé granule je nutné kvůli nasákavosti sušit. Při granulaci za tepla jsou struny řezány nožem přímo z čela granulační hlavy. Pro tento proces nejsou vhodné polymery s nízkou viskozitou taveniny. Podle vlivu chladicí kapaliny na nožích se rozlišuje granulace suchá a granulace pod vodou. Při suché metodě je polymerní tavenina řezána nožovým ústrojím, které se otáčí velkou rychlostí a granule odhazuje od čela hlavy, které se následně chladí ve vodní lázni. Pro polymery, které mají tendenci se roztírat, se využívá granulace pod vodou, kdy jsou odříznuté granule i nože intenzivně chlazeny. [4]

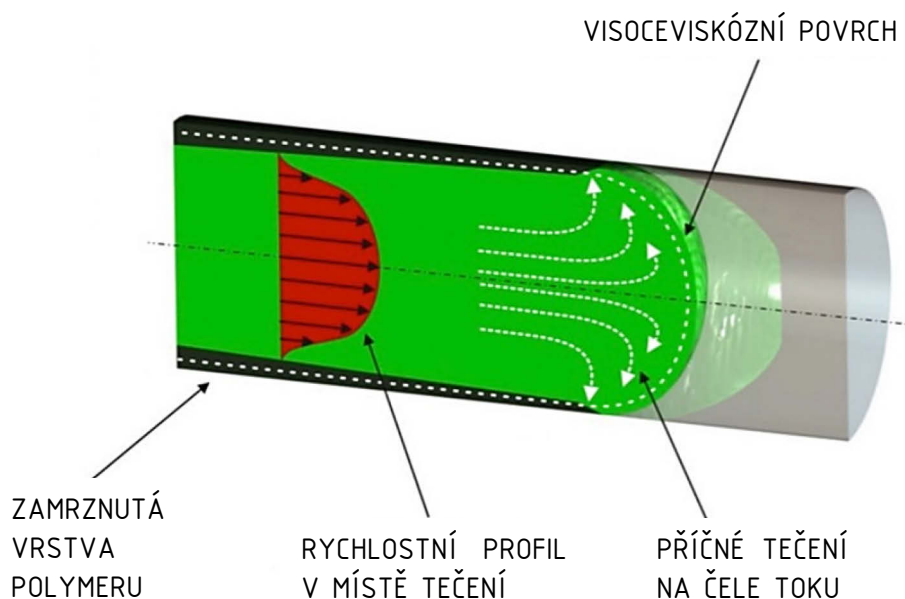
#### 1.4 Reologie polymerních tavenin

Tok polymerních tavenin se značně liší od toku nízkomolekulárních kapalin, které vykazují tzv. newtonské chování. Polymerní taveniny se při toku chovají neneutonsky, pseudoplasticky. Takový tok se popisuje nejčastěji empirickým vztahem, tzv. mocninovým zákonem. Experimentálně lze vyjádřit tokové vlastnosti daného polymeru ve zpracovatelském rozsahu smykových napětí s využitím tokových křivek, konstruovaných na základě závislosti experimentálně zjištěných smykových napětí na rychlosti smykové deformace ve specifikovaném místě. [2]

Pokud se hmota nevratně deformuje, dochází účinkem vnější síly k přemístění částic této hmoty do nových poloh. Práce způsobená tímto přeskokem se obecně mění v teplo. Jde o disipaci, tedy přeměnu mechanické energie na tepelnou. Tento jev nastává spontánně při toku taveniny a záleží pouze na kvantitativních poměrech, kdy se projeví jako dodatečné zvýšení teploty taveniny. Velikost disipace je v daném místě úměrná součinu smykového

napětí a smykové rychlosti. Ohřev polymerní taveniny při toku bude probíhat v místech nejrychlejšího proudění, tzn. v oblasti největšího zúžení tokové dráhy. Takový ohřev by mohl způsobit překročení teploty, kdy by již došlo k degradaci materiálu. Proto je třeba s tímto jevem počítat při volbě technologických podmínek zpracování polymeru. [2]

Během toku polymerní taveniny vzniká časově neustálý tok, kdy na chladné stěně tokového kanálu tavenina tuhne v rostoucí vrstvě. Směrem ke středu tokového kanálu pod touto vrstvou tavenina dále teče takovým způsobem, že na povrchu této vrstvy není nulová rychlost tečení taveniny. Při plnění tvarových dutin formy je tento typ toku, tzv. fontánový nejvhodnější. [2]

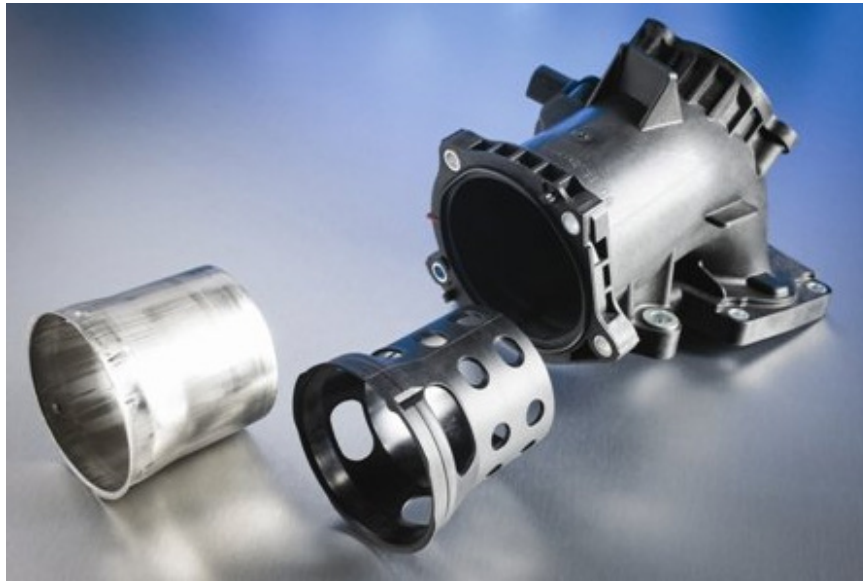


Obr. 1 Schéma fontánového toku polymerní taveniny [4]

## 1.5 Využití polymerů v automobilovém průmyslu

Aplikace polymerních materiálů je čím dál častější v místech, kde by to bylo dříve nemyslitelné. Jedním z důležitých odvětví je automobilový průmysl, ve kterém je vyžadováno stále lehčích a ekonomičtějších výrobků při zachování nebo i zlepšení jejich užitných vlastností. Ve spojitosti s použitím polymerů při konstrukci automobilů lze uvažovat dva typy důsledků. Jedním je úspora energie spojená s nahrazováním kovových dílů polymerními v aplikacích, kde polymerní materiál může plnohodnotně kov nahradit. Při zpracování kovových materiálů je zapotřebí značně vyšších teplot ve srovnání se zpracováním polymerů, což způsobuje vyšší energetickou zátěž výrobního procesu. Dalším důsledkem je snížení hmotnosti automobilu, která má za následek snížení spotřeby paliva a tím i snížení vyprodukovaných

emisí. Při nahrazování kovových dílů polymerními, je v automobilovém průmyslu třeba splnit náročné požadavky na technické vlastnosti. Polymerní komponent musí být reálně použitelný a bezpečný, vykazovat tepelnou odolnost, odolnost vůči hořlavým kapalinám atd. Kryty a uchycení elektronických komponentů musí kromě mechanických vlastností odolávat hořlavým kapalinám, vlhkosti a měly by obsahovat látky bránící hoření. [5]



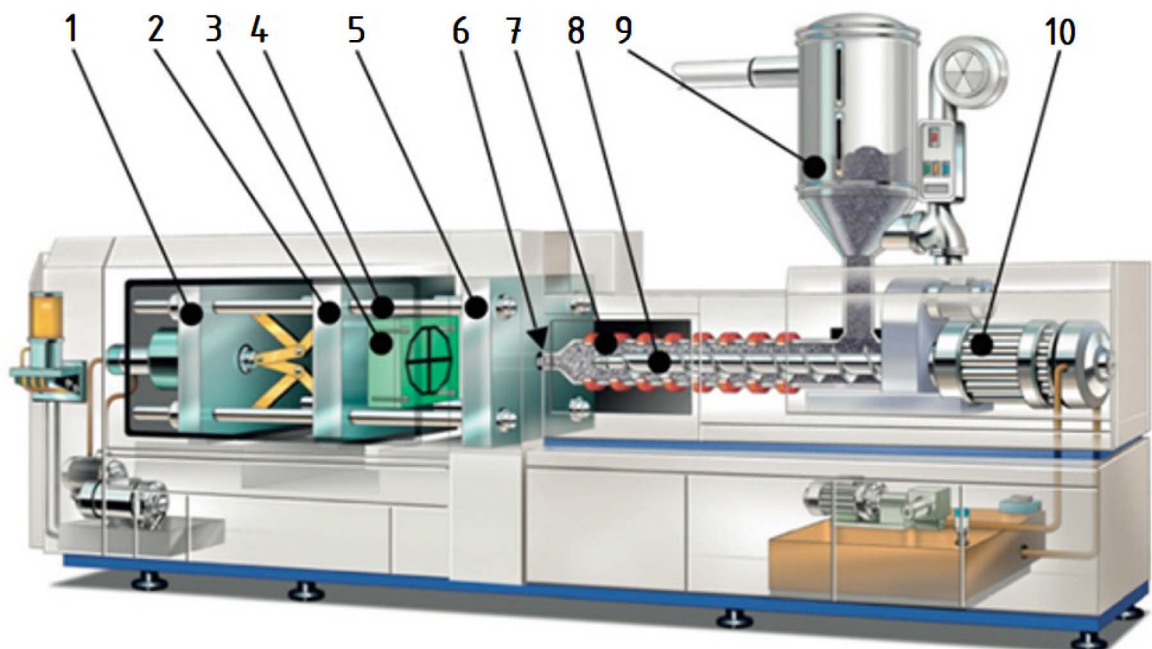
*Obr. 2 Kryt sání vzduchu vyrobený z polyamidu [5]*

## 2 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ

Zásadní význam mezi zpracovatelskými plastikářskými technologiemi má technologie vstřikování termoplastů. Více než třetina veškerých plastů je zpracovávána vstřikováním. Touto technologií lze vyrábět konečné díly rozličných tvarů a rozměru nebo polotovary pro následující zpracování. Takto vyráběné díly jsou charakteristické rozměrovou i tvarovou přesností, vysokou povrchovou kvalitou či odolností vůči chemikáliím. Metoda vstřikování je vhodná zvláště pro velkosériovou a hromadnou výrobu dílů. [6]

### 2.1 Princip technologie vstřikování, vstřikovací cyklus, fáze vstřikování

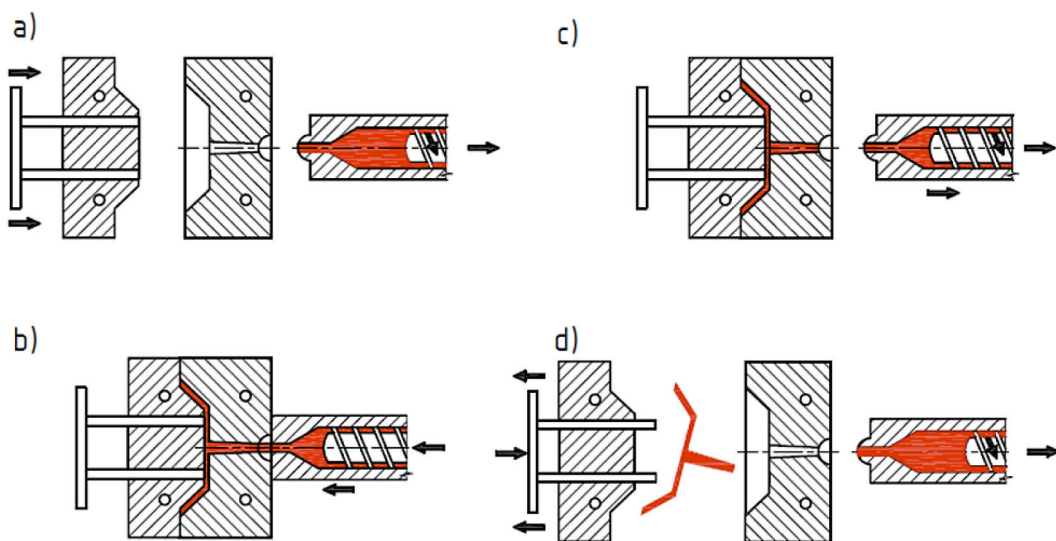
Vstřikování je cyklický proces tváření polymerních materiálů, kde figuruje polymer, vstřikovací forma a vstřikovací stroj. Zpracováváný materiál vstupuje do procesu vstřikování v tuhém stavu většinou jako granulát, poté je plastikován do podoby taveniny, která je následně vysokou rychlostí vstříknuta do tvarové dutiny formy. Ochlazením dojde k zatuhnutí polymeru do požadovaného tvaru výrobku, který je dále z formy vyhozen. Proces vstřikování lze rozdělit na jednotlivé operace opakující se ve vstřikovacím cyklu. [6], [7]



- 1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska stroje, 3 – pohyblivá část formy, 4 – vodící sloupky, 5 – pevná upínací deska, 6 – ústí plastikační jednotky, 7 – tavicí komora, 8 – šnek, 9 – násypka, 10 – pohonná jednotka šneku

Obr. 3 Schéma vstřikovacího stroje [6]

Na začátku vstřikovacího procesu vstupuje polymerní materiál v pevném stavu většinou ve formě granulátu do násypky, ze které je odebrán pracovní částí vstřikovacího stroje, nejčastěji šnekem. Ten dopravuje granulát do tavicí komory, kde vlivem teploty a vzájemného tření dochází k plastikaci. Vzniklá polymerní tavenina je skrze vtokovou vložku vstřikována do tvarové dutiny formy, dokud nedojde ke kompletnímu zaplnění. S cílem zmenšit objemové smrštění a dodržet rozměry se do cyklu zařazuje tzv. dotlak. Jakmile tavenina předá dostatečné teplo povrchu dutiny formy, dojde k ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu a následnému vyhození výrobku z formy. [7] [28]



Obr. 4 Znárodnění vstřikovacího cyklu [6]

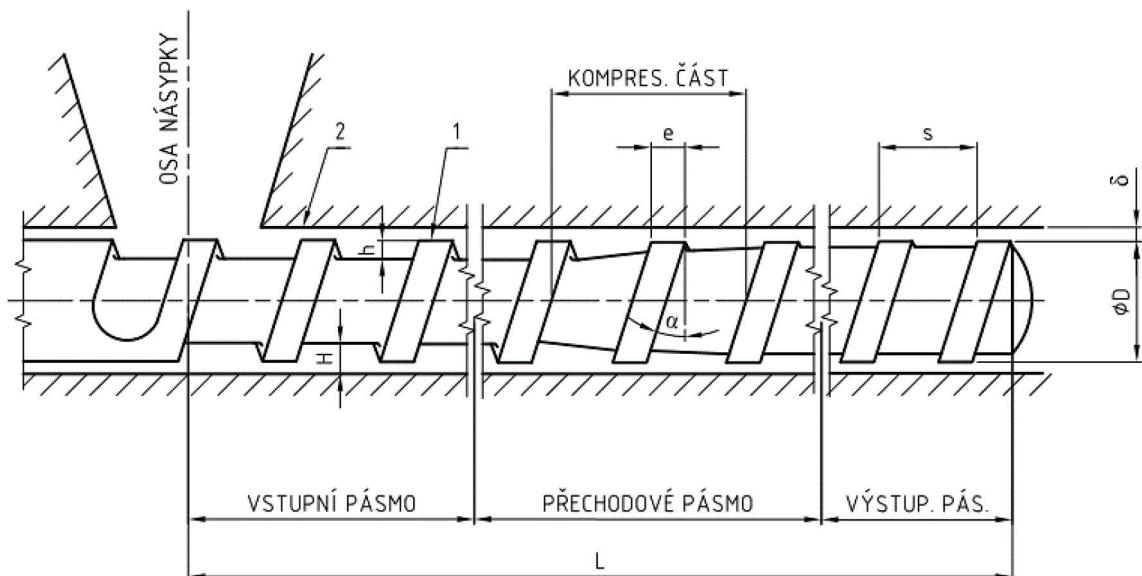
- a) Plastikace – šnek se otáčí kolem své osy a koná vratný pohyb, polymerní tavenina se tak dopravuje před čelo šneku k trysce, vstřikovací forma se uzavírá.
- b) Vstřikování a dotlak - plastikační jednotka se přisune a dolehne ke vtokové vložce vstřikovací formy, šnek se přestává otáčet a koná axiální pohyb, plní tedy funkci pístu, který přesune polymerní taveninu z tavicí komory skrze vtokový systém do tvarové dutiny formy. Následuje fáze dotlaku, který může být do cyklu zařazen s cílem vyrovnat objemové a tvarové změny na výrobku vzniklé při tuhnutí taveniny.
- c) Chladnutí taveniny ve formě – po dokončení vstřikování, dotlaku a zatumnutí vtoku se plastikační jednotka odsune a šnek rotačním pohybem odebírá další granulát z násypky. Ten je dopravován do vytápěných částí plastikační jednotky, kde postupně dochází k jeho plastikaci a připravuje se tak dávka polymeru pro další vstříknutí.

d) Otevření formy – jakmile je celý výstřik ochlazen na vyhazovací teplotu, forma se v dělicí rovině otevře a následuje odformování, tzn. vyhození výrobku z dutiny formy.

### 2.1.1 Plastikační fáze

Pro optimální plnění tvarové dutiny formy je základním předpokladem zajištění teplotní a viskozitní homogenity v dávce taveniny nahromaděné před čelem šneku. Toho lze docílit správným nastavením teploty jednotlivých topných pásů plastikační komory, zpětným odporem na šneku a otáčkami šneku. Pokud dojde k výskytu teplotní a tím pádem i viskozitní nehomogenity, vzniká riziko výroby dílu s nekvalitním povrchem. Jde zejména o tokové čáry, lesk, studené spoje, rozložení orientace plniva a makromolekul, vnitřní pnutí a další. Čím je teplota taveniny vyšší, tím klesá stupeň orientace makromolekul a výrobek se z hlediska vlastností stává více izotropním. Současně ve směru toku taveniny mohou klesat určité mechanické vlastnosti, jako je pevnost v tahu a houževnatost. Naopak pevnost studených spojů se zvyšuje a vnitřní pnutí se snižuje. [7]

Pro vstřikování termoplastů se nejčastěji používají plastikační jednotky s otáčejícím se šnekem, který se v obou směrech axiálně posouvá. U standartních šneků nemá závit šroubovice po celé délce stejnou hloubku a stoupání. Pro plastikaci termoplastů se využívá šneků se třemi funkčními pásmy. [8]



1 - šnek, 2 - pracovní válec, D - průměr šneku, L - délka šneku, s - stoupání závitu, e - vodící plocha závitu, h - hloubka šnekového profilu, H - hloubka šnekového kanálu,  $\delta$  - poloviční vůle,  $\alpha$  - úhel stoup.

Obr. 5 Znárodnění jednotlivých zón šneku [8]

Pod násypkou se nachází vstupní pásmo, jehož primární funkcí je odebrat granulát z násypky a přesunovat jej dále do přechodového pásma. Při tomto přesunu dochází ke zhutňování materiálu a vytlačování vzduchu. V přechodové sekci se hloubka i stoupání šroubovice směrem k trysce zmenšuje, materiál je zde plastikován a intenzivně stlačován. Výstupní pásmo slouží k řádné homogenizaci a promíchání polymerní taveniny. Součástí šneku mohou být také odvzdušňovací zóny či míchací elementy různých konstrukcí. Charakteristiky šneku jako je délka jednotlivých pásem či způsob zakončení šneku se odvíjí od typu zpracovávaného materiálu. Hydraulický systém plastikační jednotky umožňuje její posuv a trysku tak lze přitisknout ke vtokové vložce formy a následně vyvinout a udržet požadovanou přítlačnou sílu. Spolehlivá kontrola polohy a rychlosti šneku i míra působících tlaků by měla být umožněna ovládacími prvky plastikační jednotky. [7], [8]

### 2.1.2 Vstřikovací fáze

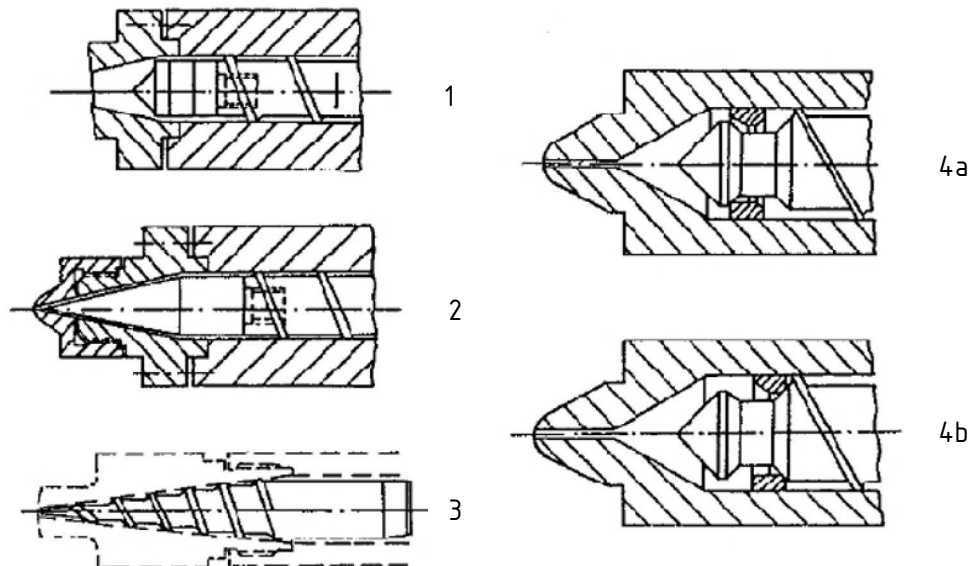
Doba vstřikování udává čas, potřebný k naplnění tvarové dutiny taveninou a odvíjí se od rychlosti vstřikování, tj. rychlosti posuvu šneku směrem vpřed k trysce. Vstřikovací čas se odvíjí od velikosti a tvaru výrobku, druhu vstřikovaného polymeru, typu vtokového systému a procesních parametrů vstřikování. Vstřikovací čas může nabývat hodnot od zlomku sekundy pro menší výstřiky až řádově k jednotkám sekund u objemnějších výrobků. [7]

Pro technické výrobky je obecně vhodnější volit větší vstřikovací rychlost než u pohledových součástí. Vyšší rychlost vstřikování podporuje lepší tekutost taveniny a příznivě ovlivňuje orientaci makromolekul. Příliš vysoká rychlost vstřikování však může způsobit degradaci taveniny tím, že dojde k překročení maximální dovolené hodnoty rychlosti smykové deformace. Hodnota rychlosti vstřikování nemusí být po celou dobu procesu konstantní, lze ji profilovat např. z důvodu lepšího odvzdušnění dutiny formy. Vstřikovací stroj neumožňuje při každém cyklu dodržet naprosto totožnou nastavenou hodnotu vstřikovací rychlosti. Cílem je proto nalezení takové vstřikovací rychlosti, při které v určité toleranci nedojde k velkým změnám viskozity. [6], [7]

Aby byla možná regulace vstřikovacího procesu, je třeba opakovatelně zajistit dopravu stejného objemu dávky taveniny do vstřikovací formy, jinak by nebylo možné vyrábět díly s definovanou kvalitou. Tento požadavek lze splnit pomocí zpětného uzávěru šneku. Nejčastěji se využívá uzávěr typu posuvný kroužek – sedlo. Sedlo uzávěru je tvořeno špičkou šneku, přišroubovanou obvykle levým závitem na čelo šneku. Posuvný kroužek je umístěn mezi sedlem a špičkou šneku. Tento kroužek odděluje prostor polymerní taveniny ve šneku od



prostoru s taveninou nahromaděnou před špičkou šneku. Při toku taveniny do formy působí odpor, díky kterým dojde k posunu uzavíracího kroužku dozadu, ten dosedne na sedlo a uzavře prostor šneku od prostoru před špičkou. Zastavením rotace a zpětného pohybu šneku je dávkování ukončeno. [7]



1 - tupá špička, 2 - prodloužená hladká špička, 3 - spirálová špička,  
4 - špička se zpětnou uzávěrou, 4a - otevřená poloha při plastikaci,  
4b - uzavřená poloha při vstřikování

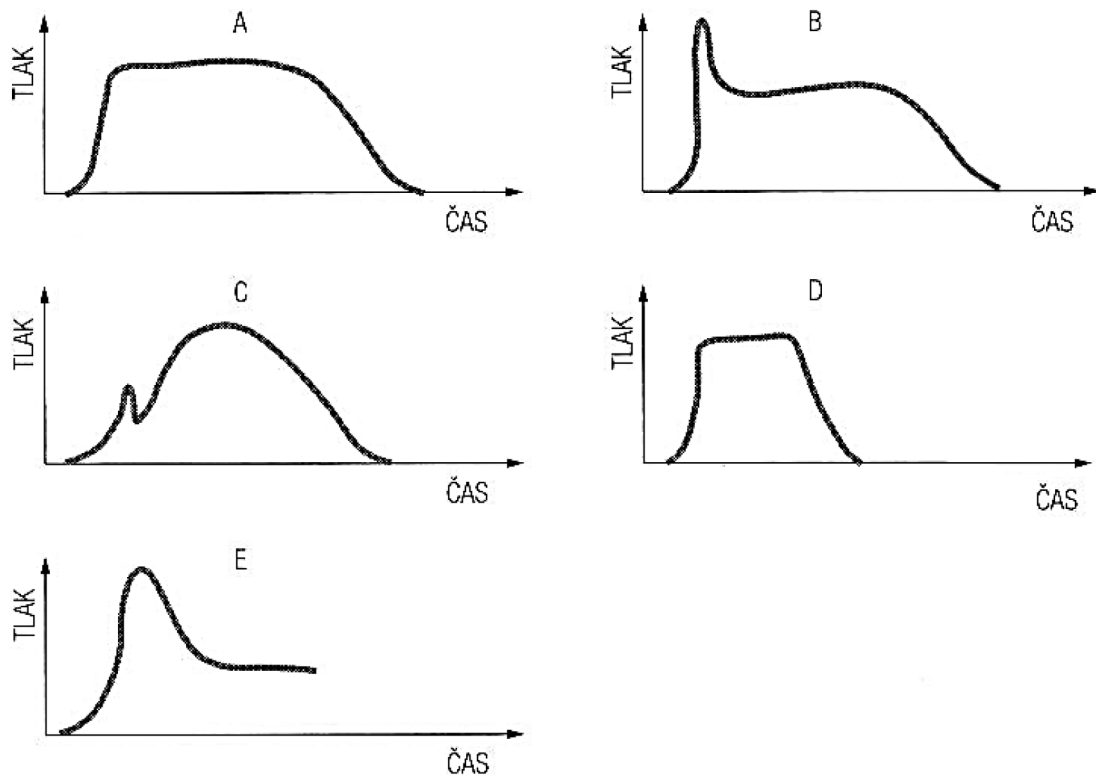
Obr. 6 Způsoby zakončení šneků [6]

Mezi vstřikovací a dotlakovou fází probíhá přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak. Tato změna by měla být realizována tak, aby nedošlo k ovlivnění plynulosti tlakové odezvy v průběhu fáze plnění ve tvarové dutině. Po přepnutí nesmí být na tlakové křivce zřetelný propad ani výrazné zvýšení. Tlak by měl plynule stoupat na maximum a po jeho dosažení plynule přejít na průběh dotlaku. Bude tak docíleno co největší izotropie vlastností a vnitřní pnutí bude minimalizováno. [7]

### 2.1.3 Dotlaková fáze

Dotlaková fáze se do vstřikovacího cyklu zařazuje ke korekci smrštění a deformací, k odstranění bublin, propadlin, trhlin či lunek a k zajištění dokonalejšího vykopírování tvarové dutiny formy. Průběh dotlaku se charakterizuje hodnotou tlakové odezvy ve tvarové dutině formy a čas jeho působení je třeba volit tak, aby bylo dosaženo požadovaných tvarů, rozměrů a hmotnosti výrobku. Vliv fáze dotlaku závisí na době dotlaku, tlakové úrovni dotlaku a jeho

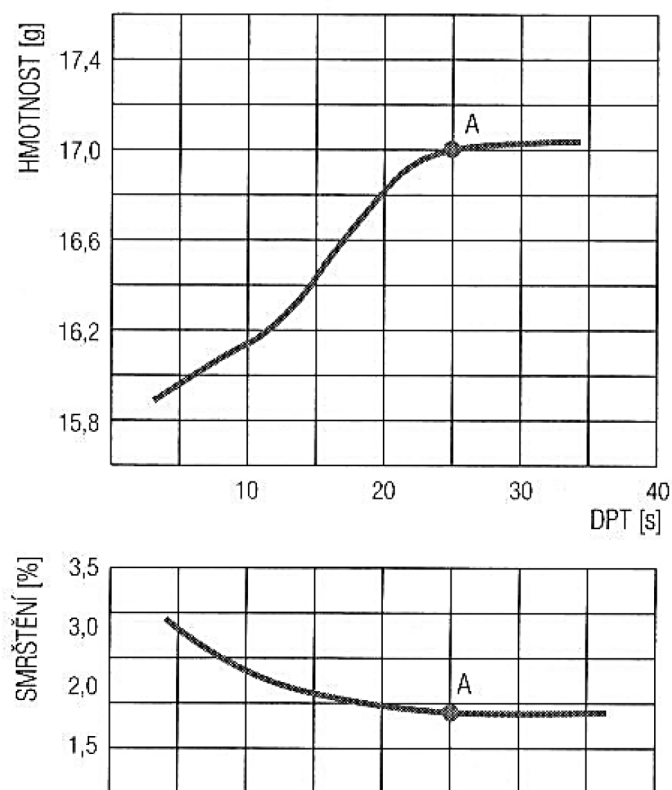
profilu, tedy rozdělení na jednotlivé časové úseky, ve kterých je nastavena odlišná hodnota tlaku. Příliš dlouhá doba dotlaku má nepříznivý vliv na zvýšení obsahu vnitřního pnutí ve výrobku a na ekonomičnost výroby vzhledem ke zbytečné činnosti hydraulického čerpadla. [7]



Obr. 7 Přeprnutí ze vstřikovací fáze na dotlakovou fázi [7]

Na obrázku 7 jsou znázorněny průběhy tlaku ve vybraném místě výrobku a přeprnutí ze vstřikovací fáze na dotlak. A – plynulý přechod z plnicí na dotlakovou fázi, je předpokladem pro výrobu kvalitních díků. B – pozdní přeprnutí na dotlak, na tlakové křivce je zřetelný pík, který může vnést do výrobku větší obsah vnitřního pnutí z přeplnění tvarové dutiny, při menší tuhosti se může vyskytovat tvorba přetoku v dělicích rovinách, může vyvolat deformaci dílu a může zapříčinit zpětný tok taveniny k ústí v toku. C – předčasné přeprnutí na dotlak, tedy pokles tlaku v kompresní fázi, zapříčiňuje neregulovatelné plnění dutiny, plnění probíhá i během dotlakové fáze. D – během trvání dotlakové fáze dojde ke zrušení jejího tlakového působení, doba dotlaku nastavena příliš krátká, možný zpětný tok taveniny, možný vznik propadlin zejména ve vtokovém ústí. E – v dotlakové fázi zůstane v dutině formy zbytkový tlak, forma vykazuje malou tuhost, dochází k deformaci desek i tvarových dílů formy, k přeprnutí došlo velmi pozdě, tavenina zůstává pod tlakem a průběh relaxačních pochodů je tak znemožněn. [7]

Doba dotlaku se odvíjí od zpracovávaného materiálu a tloušťky stěny výrobku. U amorfních polymerů dostačuje kratší doba dotlaku, naopak u semikrystalických materiálů fáze dotlaku tvoří významnou část vstřikovacího cyklu. Vliv plnicí a dotlakové fáze na výrobek je možné kontrolovat pomocí tzv. polštáře, což je množství polymerní taveniny, která zůstane před čelem šneku po zatuhnutí ústí vtoku na výrobku, tedy po skončení dotlaku. Pokud je hodnota polštáře během jednotlivých cyklů v rámci tolerančních mezí stejná, znamená to, že je vstřikovací proces reprodukovatelný. [6], [7]



Obr. 8 Doba působení dotlaku [7]

Doba působení dotlaku je i funkcí průřezu vtokového ústí nebo tloušťky stěny výrobku, do které je ústí zavedeno. Vtokové ústí nebo určitá tloušťka stěny nesmí tokově zamrznout dříve, než je dosaženo optimálního účinku dotlakové fáze. Stanovení potřebné doby dotlaku je možné vážením výrobku při zvyšující se době působení dotlaku. Pokud se hmotnost výrobku zvyšuje, nedošlo k zamrznutí vtokového ústí nebo stěny výrobku a je tak možné kvalitativní vlastnosti pomocí dotlaku ovlivňovat. [7]

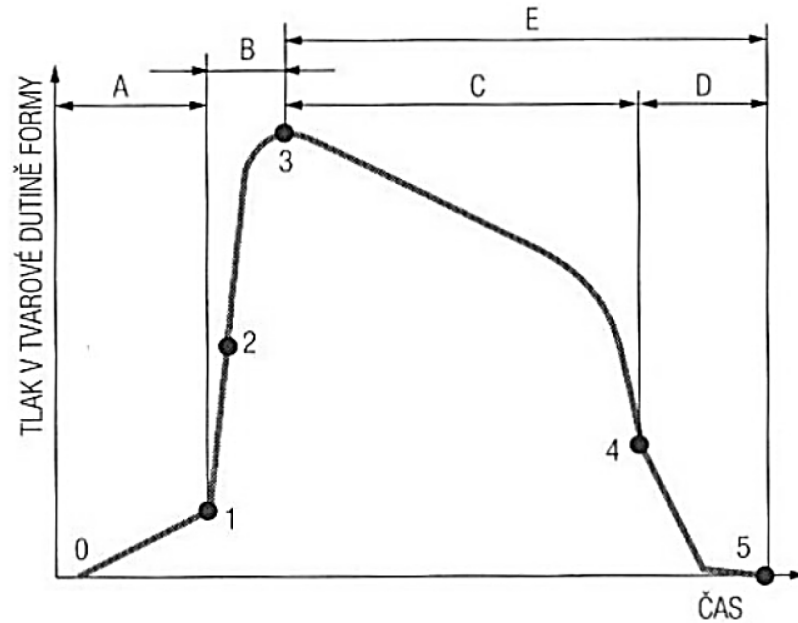
#### 2.1.4 Ochlazovací fáze

Chlazení výrobku ve tvarové dutině formy začíná již na začátku plnění dutiny taveninou, respektive po objemovém naplnění dutiny a trvá až do vyhození výrobku z formy. Teplota formy a doba ochlazování tvoří dominantní parametry ochlazování. Minimální doba chlazení musí zaručit dostatečnou tuhost výrobku, aby došlo k jeho vyhození z dutiny formy bez deformací nebo vad způsobených vyhazovacím systémem. Rychlost ochlazování je zásadní pro relaxační jevy ovlivňující výsledný stupeň orientace, orientační a tepelné pnutí a u semikrystalických materiálů i krystalickou strukturu. Čím je ochlazování pomalejší, tedy teplota formy vyšší, tím větší je podíl krystalického podílu. Vyšší teplota formy také pozitivně ovlivňuje povrchový lesk a celkovou povrchovou kvalitu dílu. [7] [6]

Optimalizace ochlazovací fáze má značný vliv na ekonomičnost výroby z pohledu celkové doby vstřikovacího cyklu, kde většinou tvoří nejdelší úsek. Z pohledu kvalitativních požadavků jako je rovnoměrná vnitřní struktura, minimalizace vnitřního pnutí či maximalizace izotropie by měla být doba chlazení co nejdelší, z ekonomického hlediska pak co nejkratší. Je tedy nutné volit kompromis vyplývající z požadavků na výsledné vlastnosti výrobků a cenových požadavků odběratele. [7]

#### 2.1.5 Průběh tlaku při vstřikování

Technologie vstřikování termoplastů se řadí mezi diskontinuální, cyklický technologický proces, který lze rozčlenit na několik navazujících úseků. Samozřejmostí je co největší reprodukovatelnost, tedy opakovatelnost všech parametrů procesu s co nejmenším tolerančním rozpětím. [7]

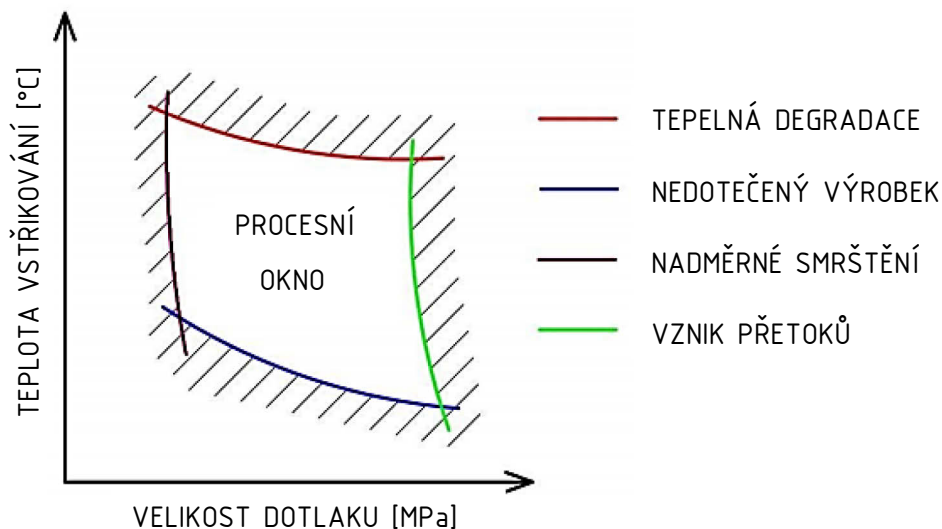


Obr. 9 Průběh tlaku ve tvarové dutině formy [7]

Popis průběhu tlakové křivky ve vztahu k jednotlivým fázím vstřikování: 0-1: plnění vtokového systému polymerní taveninou; 1-2: plnění tvarové dutiny formy polymerní taveninou; bod 2: přepnutí z regulace plnicí fáze na regulaci dotlakové fáze; 2-3: stlačování polymerní taveniny v tvarové dutině formy a plynulý přechod na fázi dotlaku; 3-4: průběh dotlaku; bod 4: zamrznutí vtokového ústí; 4-5: chlazení výrobku v tvarové dutině formy; bod 5: vyhození výrobku z tvarové dutiny formy; A + B: fáze plnění a komprese, v této fázi dochází k orientaci makromolekul, k tvorbě pohledových vlastností, k určení jakosti povrchu, při překročení hybnosti polymerní taveniny, může ve vztahu k tuhosti formy dojít k přetokům v dělicích rovinách; vliv na plnicí fázi mají reologické vlastnosti taveniny, odpory při toku taveniny ve vtokovém systému a tvarové dutině, technologické parametry, zejména teplota formy, vstřikovací rychlost a vstřikovací tlak; C: fáze dotlaku, zde se určuje hmotnost výrobku, jeho tvary a rozměry, výskyt vnitřního pnutí, při nízkých hodnotách dotlaku vzniká riziko tvorby propadlin a lunkrů; z technologických parametrů má na dotlak zásadní vliv teplota formy, teplota taveniny, doba působení dotlaku, tlaková úroveň a profil tlaku; D: fáze chlazení, zde jsou ovlivňovány hlavně tvary a rozměry výrobku, u semikrystalických polymerů jejich krystalinita a z ní vyplývající vlastnosti výrobku; E: fáze ochlazování, součet fáze dotlaku a chlazení. [7]

### 2.1.6 Procesní okno

Mezi nejvýznamnější parametry vstřikovacího procesu patří teplota a tlak, které je třeba vhodně regulovat. Pro specifický výrobní proces, výrobek a vstřikovaný materiál lze definovat tzv. procesní okno. Jedná se o vymezenou oblast nastavení tlaku a teploty tak, aby byla zajištěna produkce kvalitních výrobků. Při překročení definovaných hranic by mohlo dojít k výrobě nekvalitních dílů. [9]



Obr. 10 Procesní okno vstřikovacího procesu [9]

## 2.2 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroj představuje zařízení, které realizuje proces vstřikování polymerních materiálů. Hlavní ústrojí vstřikovacího stroje tvoří vstřikovací jednotka a uzavírací jednotka, další části jsou např. temperační zařízení a ovládací panely stroje. Vstřikování lze realizovat na celé řadě vzájemně se lišících vstřikovacích strojů, nejčastěji dělených podle:

- Typu pohonu zajišťující pohyby v hlavních osách: hydraulické, elektrické, hybridní,
- velikosti uzavírací síly stroje: 25 – 5000 tun,
- směru posuvu pohyblivé desky: vertikální, horizontální,
- typu pracovního členu v plastikační komoře: šnekové, pístové,
- počtu šneků: jednošnekové, vícešnekové.

Při výběru optimálního vstřikovacího stroje pro vstřikování konkrétních dílů je třeba vycházet z požadavků, které musí daný stroj splnit. Mezi základní parametry patří např. maximální objem vstřikované dávky taveniny v jednom cyklu, výkon plastikační jednotky pro kon-

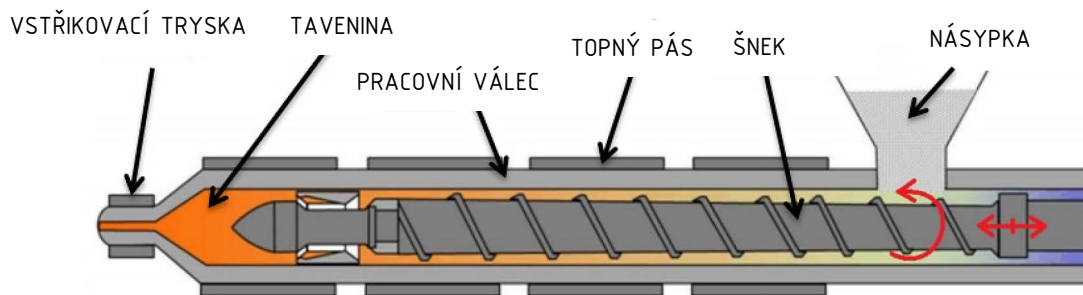
krétní polymerní materiály, vstřikovací tlak nebo maximální uzavírací síla. Důležitým faktorem jsou také rozměry upínacích desek a vzdálenost mezi vodícími sloupky pro upnutí vstřikovací formy. Vstřikovací stroje jsou tvořeny dvěma na sobě nezávislými jednotkami a to vstřikovací a uzavírací. [10] [27]

### 2.2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka tvoří část vstřikovacího stroje, jejíž hlavní funkcí je převedení tuhého polymeru do stavu viskoelastické taveniny a její následné přesunutí do tvarové dutiny formy. Pro zpracování termoplastů jsou nejrozšířenější šnekové vstřikovací jednotky, kde šnek rotuje kolem své osy a axiálně se posouvá v obou směrech. Vstřikovací jednotka je připevněna k posuvnému mechanismu, skrze který je realizován přísun trysky vstřikovací jednotky ke vtokové vložce formy, vyvinutí a udržení potřebné přitlačné síly a odsun trysky. Konstrukce vstřikovací jednotky se odvíjí především od typu zpracovávaného materiálu. Dle způsobu plastikace lze vstřikovací jednotky rozdělit na dva typy:

- vstřikovací jednotky bez předplastikace – zpracovávaný materiál je plastikován v samotném pracovním válci, odkud je šnekem vstříknut do tvarové dutiny formy,
- vstřikovací jednotky s před plastikací – zpracovávaný materiál je nejprve plastikován v předplastikační komoře, odkud je dopraven do pracovního válce a pomocí pístu vstříknut do tvarové dutiny formy. [10]

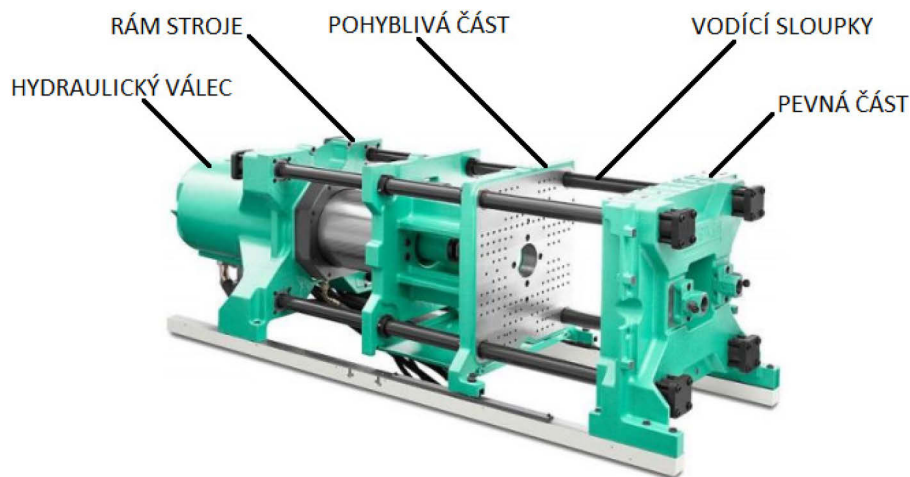
Vstřikovací jednotka se skládá z násypky, šneku, pracovního válce opatřeného topnými pásy a vstřikovací trysky. Zpracovávaný materiál vstupující násypkou je rotujícím šnekem přepravován směrem k trysce. Polymerní granulát je plastikován pomocí tepla sdíleného od topných pásů a disipací, tedy přeměnou mechanické energie na tepelnou. Otáčející šnek se současně posouvá dozadu, čímž vytváří před čelem prostor pro hromadění polymerní taveniny, která je zde držena pomocí zpětného uzávěru. Proces vstřikování je pak realizován axiálním pohybem šneku směrem k trysce. [10]



Obr. 11 Schématické znázornění vstřikovací jednotky [12]

### 2.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka tvoří část vstřikovacího stroje a zajišťuje plynulé uzavření formy, vyvinutí požadované uzavírací síly během vstřikování a otevření formy s následným vyvozením pohybu pro vyhození výstřiku. Hydraulické mechanismy jsou charakteristické svou jednoduchostí, snadnou regulací rychlosti a velikosti požadované uzavírací síly. Nevýhodou hydraulických systémů je nutnost použití velkého průměru válce k vyvinutí a udržení dané uzavírací síly. Tento problém lze řešit použitím mechanického závorování, díky kterému dojde mezi základovým rámem stroje a pohyblivou částí uzavíracího systému tuhé spojení. [10]

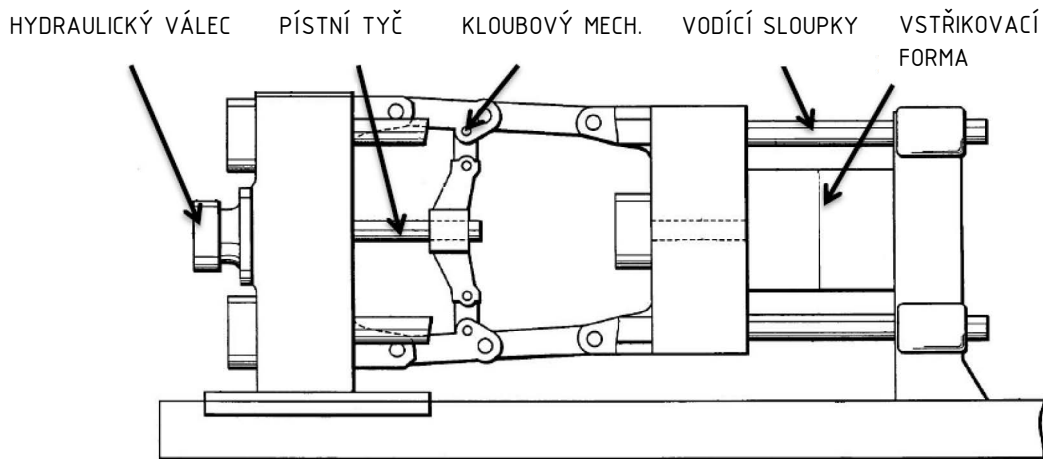


Obr. 12 Hydraulická uzavírací jednotka společnosti Arburg [13]

Hydraulicko-mechanické systémy se využívají pro dosažení lepších silových účinků a rychlostních poměrů. K vyvinutí hydraulické síly postačuje menší válec, který ovládá kinematický mechanismus. Uspořádání takového stroje může být s hydraulickým válcem v ose stroje nebo mimo tuto osu. Hydraulicko-mechanické systémy umožňují dosáhnout vysoké uzavírací rychlosti při současně minimální došedací rychlosti pohyblivé části formy na pevnou. Vstřikovací stroje mohou být také opatřeny elektromechanickou uzavírací jednotkou, která



pracuje s elektromotorem a klikovým mechanismem. U takových jednotek dochází ke snížení spotřeby energie, jednodušeji se ovládají a snadněji udržují. Pořizovací náklady jsou ovšem vyšší v porovnání s ostatními uzavíracími systémy. [10]



Obr. 13 Schéma hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky [14]

### 2.2.3 Periferní zařízení vstříkovacích strojů

Periferní zařízení kromě svých individuálních funkcí napomáhají vytvářet ze vstříkovacího stroje méně či více automatizovaný ostrůvek a umožňují tak automatizaci vstříkovacího procesu. Do systému periferních zařízení se řadí: sušárny granulátů, chladičí systémy vstříkovacích forem či strojů, temperační zařízení vstříkovacích forem, průtokoměry a regulační prvky pro odběr temperačního média, dopravníky granulátů, dávkovače a míchače aditiv, zařízení pro upínání a výměnu forem nebo různé typy manipulátorů a robotů. [7]

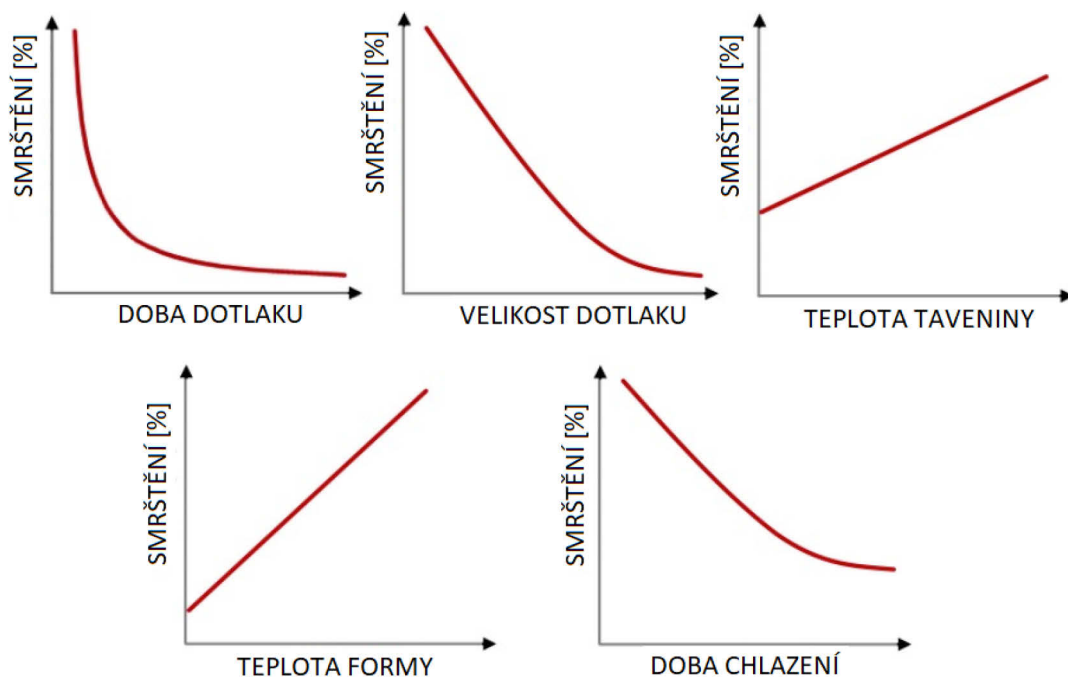
Výroba konkrétního dílu je individuální záležitost a z toho důvodu nelze uvést konečný výčet periferních zařízení. Jejich aplikace je vždy dána konkrétním výrobkem a jeho výrobními potřebami. Ve svých funkčních vlastnostech je konstrukce periferních zařízení od různých výrobců podobná, ale v konstrukčních přístupech a detailech se může lišit. Jejich volba proto závisí na příslušném uživateli. [7]

## 2.3 Smrštění a deformace termoplastů

Rozměrová a tvarová stálost patří mezi nejčastější kvalitativní ukazatele vstříkovaných výrobků z termoplastů. Při definování přesnosti a jakosti povrchu výrobku je třeba brát v potaz kromě vyrobitelnosti nebo vztahu ceny výrobku k nákladům na výrobu a provoz formy i

materiálové vlastnosti jako je teplotní roztažnost polymerů, jejich navlhavost a další. Rozměrovou a tvarovou přesnost termoplastických výrobků ovlivňují zejména tyto faktory: materiál výrobku, konstrukce výrobku, konstrukce formy – zejména temperační systém, technologické podmínky vstřikování a podmínky aplikace výrobku. Při vstřikování termoplastů platí, že rozměry výrobku bezprostředně po vyhození z formy se liší od rozměrů měřených po uplynutí určitého času. Takové rozměrové změny mohou být přičítány smrštění nebo deformaci. Je však nutné rozlišovat o jaký jev se jedná, neboť mezi oběma pojmy je značný rozdíl. Navíc samotná deformace je velmi často důsledkem smrštění. [7]

Smrštění lze definovat jako objemovou změnu při tuhnutí polymerní taveniny, jejíž hlavní příčinou je stlačitelnost, tepelná roztažnost a tepelná kontrakce polymerů. U semikrystalických materiálů probíhají ještě krystalizační změny. Deformací se rozumí změna tvaru při zachování konstantního objemu výrobku. Na tuto změnu má vliv tepelná roztažnost i navlhavost a nasákavost polymerů, což jsou vratné jevy, protože dochází i k vysychání polymerů. [7]

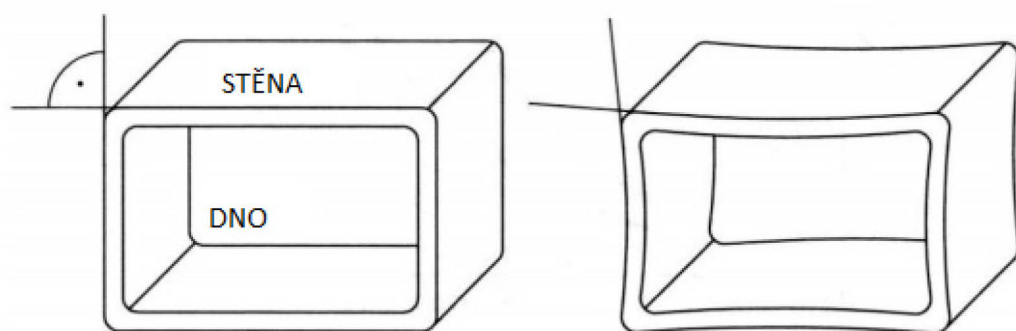


Obr. 14 Vliv vybraných faktorů na velikost smrštění [6]

Hodnota smrštění konkrétního termoplastu je výrobcem uvedena v materiálovém listu. Pokud je materiál plněn skleněným vláknem, udává se zvlášť hodnota smrštění v podélném a příčném směru vlákna. Velikost smrštění je třeba při návrhu tvarové dutiny formy zohlednit, což se v praxi realizuje tak, že se model výrobku zvětší o hodnotu smrštění a až následně se modelují tvarové části formy. [2]

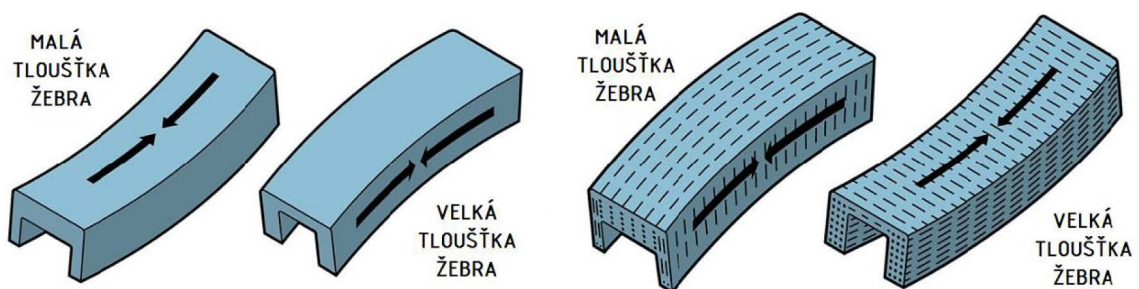
Při konstrukci tvarové dutiny nelze zcela zohlednit všechny faktory ovlivňující velikost smrštění a stanovit tak přesné rozměry. Z toho důvodu se využívají CAE softwary, které jsou schopny simulovat tok polymerní taveniny. [2]

Typická deformace může být popsána na výrobku tvaru krabice. Kvůli rozdílné velikosti kontaktních ploch elementů výrobku s povrchem formy, vzniká nerovnoměrné odvádění tepla z rohů krabice. Z vnitřních zaoblení v rozích krabice je teplo odváděno pomaleji než z vnějších, což má za následek rozdílnou velikost smrštění, které vyvolá napětí, jehož vlivem může dojít ke zborcení stěn výrobku. [2]



Obr. 15 Deformace výrobku vlivem nerovnoměrného odvodu tepla [2]

Při vstřikování materiálů plněných skleněným vláknem, které vykazují větší smrštění v kolmém směru na tok taveniny, může dojít k opačným deformacím, než u neplněných. Jedná se o rozdílné způsoby deformací pro totožné geometrie. U materiálu plněného vláknem je výraznější vliv orientace, než vliv smrštění v důsledku různých tloušťek stěn. [2]



Obr. 16 Vliv tloušťky žeber na deformaci neplněných a plněných polymerů [6]

## 2.4 Vady vstřikovaných výrobků z termoplastů

I přes snahu všech pracovníků zainteresovaných na výrobě vstřiků, kteří mají určité množství znalostí o problematice vstřikování, se v praxi vyskytuje jistý podíl vadných výrobků. Jako jednu společnou příčinu vzniku vad lze považovat samotný vstřikovací proces, který je

cyklický a z objektivních důvodů pak není možné zaručit ve všech fázích procesu zcela totožný průběh. Zdrojem vad však může být i nevhodně zvolený zpracovávaný materiál, konstrukce dílu nevyhovující zásadám konstrukce výstřiků z termoplastů, nedostatky při konstrukci formy nebo nevhodně zvolený vstřikovací stroj. Některé typy vad mohou být způsobeny také během manipulace nebo nevhodným skladováním výrobků. [7]

*Nedostříknutý výrobek* lze považovat za jednu z nejvíce viditelných a nejzávažnějších vad. Tvarová dutina formy nebyla během vstřikování zcela vyplněna polymerní taveninou. Taková vada může mít řadu příčin, z hlediska konstrukce výrobku jde např. o příliš malou tloušťku stěny, kde dojde k předčasnému zamrznutí taveniny. Z hlediska procesních parametrů se jedná o faktory, které způsobují příliš vysokou viskozitu taveniny, která pak hůře teče. Nebezpečí výroby nedotečeného díku nastává také při nevhodném návrhu vtokového systému u vícenásobných forem s rozdílnou délkou toku taveniny – vzdálenější dutiny jsou méně plněny. Další možností je nedostatečné odvětrání dutiny formy, kdy při vstřikování působí uzavřený a nahromaděný vzduch proti tlaku polymerní taveniny a zabraňuje tak kompletnímu zaplnění dutiny. Oblasti, které se plní jako poslední jsou zmíněným faktorem nejvíce ohroženy, lze je však definovat pomocí simulace tečená. [7]

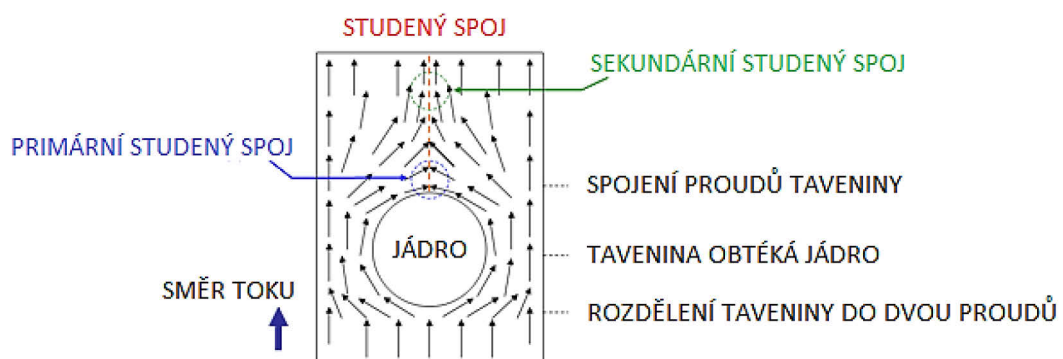
*Propadliny* se řadí mezi závažné pohledové vady, tvořící se v místech s příliš velkou koncentrací materiálu. Propadliny vznikají kvůli smrštění, vrchní vrstva se ochladí a zatuhne a v jádru se stále nachází materiál ve stavu taveniny. Rozlišná teplota polymeru má za následek rozdílné smrštění. Materiál, tuhnoucí v jádru, přitahuje okolní polymer k sobě a tak vzniká na povrchu výrobku propadlina. Takové vady se často nacházejí např. pod žebry. Propadliny lze částečně zmírnit nastavením procesních parametrů, např. zvýšit dotlak, posunout bod přepnutí k vyšším hodnotám, prodloužit dobu chlazení, snížit teplotu povrchu formy a další. [7] [28]

*Lunkry*, tedy vzduchové dutiny, tvoří skrytou vadu vyskytující se v řezu výrobku. Mohou vznikat, pokud zamrzající povrchové vrstvy materiálu již odolávají silám smrštění a vnitřní vrstvy se tak při ochlazení oddálí od zamrznutých vnějších vrstev v důsledku změny objemu. Lunkry však mohou být zapříčiněny i uzavřením vzduchu v dutině formy. V obou případech tato vada zásadně snižuje mechanické vlastnosti dílu. Tvorbu lunkrů lze omezit lepším odváděním tepla z náchylné oblasti nebo vhodnějším odvětráním formy. [7]

*Přetoky* jsou většinou pohledové vady, vznikající z několika možných důvodů. Jedním je volba vstřikovacího stroje, který nedokáže vyvinout potřebnou uzavírací sílu. Dalším důvod

tvorby přetoků je nedokonalé uzavírání formy vlivem nepřesností, které mohou být způsobeny nečistotami, poškozením či opotřebením lícovaných dílů doléhajících v dělicí rovině. Nevhodné nastavení procesních podmínek může také podporovat tvorbu přetoků, jde zejména o vysoký vstřikovací tlak nebo vysoké teploty taveniny i tvarové dutiny formy. [7]

*Studené spoje* jsou vady způsobující pokles mechanických vlastností výrobku a současně jsou zřetelné na povrchu výrobku. Vznikají v místech, kde dochází ke spojení dvou či více čel polymerní taveniny, např. obtékání jádra v dutině formy. Na pevnost studeného spoje má značný vliv teplota taveniny, při které dochází ke spojení čel – čím je nižší teplota, tím bude spoj nekvalitnější. Pokud ke spojení taveniny dochází čelně, jde o primární studený spoj, pokud tangenciálně, vzniká sekundární studený spoj. Při vstřikování amorfních polymerů dochází v místech studeného spoje k výraznému pevnostnímu zeslabení, které může přecházet až v podobu vrubu. Semikrystalické polymery jsou z hlediska pevnosti studených spojů výhodnější, protože sférolitická struktura prorůstá skrze studený spoj a zeslabení potom není tak výrazné. Studené spoje lze v konkrétním místě eliminovat vhodnou konstrukcí vtokového systému. V případě výrobku, jež je plněn z více vtokových ústí, lze využít kaskádovité vstřikování. Jde o systém uzavíratelných trysek, který umožňuje ovládat vstřikování z různých trysek nezávisle na sobě. [7], [15]



Obr. 17 Schéma tvorby studeného spoje [12]

*Dieseľefekt* – je vada, objevující se v nedostatečně odvědušněných místech dutiny formy. Během vstřikování se hromadí neuniklý vzduch a dochází k jeho další komprimaci. Vzduch se během stlačování ohřívá, což může způsobit lokální degradaci polymeru vlivem přehřátí. Na výrobku se vada projevuje jako tmavá stopa, v jejíž oblasti může docházet k lehkému drobení materiálu. Vytvořením optimálního odvědušňovacího systému se lze tomuto jevu vyvarovat. Je třeba také provádět pravidelnou a správnou údržbu vstřikovací formy, přede-

vším odvzdušňovacího systému. Komplikace při odvzdušnění často vznikají u nových form, kde jsou dobře slícované dělicí roviny a tvarové části. Během provozu formy se tyto části opotřebí, což však vede k lepšímu odvzdušňování. [7]



*Obr. 18 Dieselekt způsobený nedostatečným odvzdušněním formy [15]*

*Volný proud taveniny* – tato vada, zvaná také *jetting*, je důsledkem nevhodně navrženého vtokového ústí. Proud polymerní taveniny volně postupuje tvarovou dutinou, dokud se nezastaví o protilehlou stěnu dutiny, jádro nebo jinou překážku. Po ochlazení tento proud taveniny tvoří viditelnou vzhledovou i mechanickou vadu na výrobku. Řešením může být změna technologických parametrů, jako je vstřikovací rychlost nebo teplota formy. Pokud nastavení procesních parametrů není řešením této vady, je nutný zásah do formy a změna umístění vtokového ústí tak, aby proud taveniny přišel do kontaktu se stěnou ihned po vstupu do tvarové dutiny formy. Případně lze vložit do prostoru před vtokové ústí překážku, na kterou tavenina narazí a rozptýlí se. Takovou překážkou může být např. kolíček, který je buď pod pružinou, která je tlakem taveniny stlačována a kolík je zasouván do stěny formy, nebo je ovládán pneumaticky, což umožní řízení jeho zdvihu. V obou případech však na výrobku zůstane patrná stopa po obrysu kolíku. [7]

### 3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je komplexní nástroj, umožňující současně plnit řadu úkonů vyplývajících ze vstřikovacího procesu. Primární funkce vstřikovací formy spočívá v dopravení polymerní taveniny do tvarové dutiny, efektivního odvedení tepla z taveniny a co nejrychlejší a bezpečné vyhození vstříknutého výrobku. Pro opakovatelnou realizaci těchto úkonů je nezbytné, aby vstřikovací forma byla schopna plnit i vedlejší funkce, od kterých se mohou odvíjet další požadavky, zejména při modifikovaném vstřikování. [9]

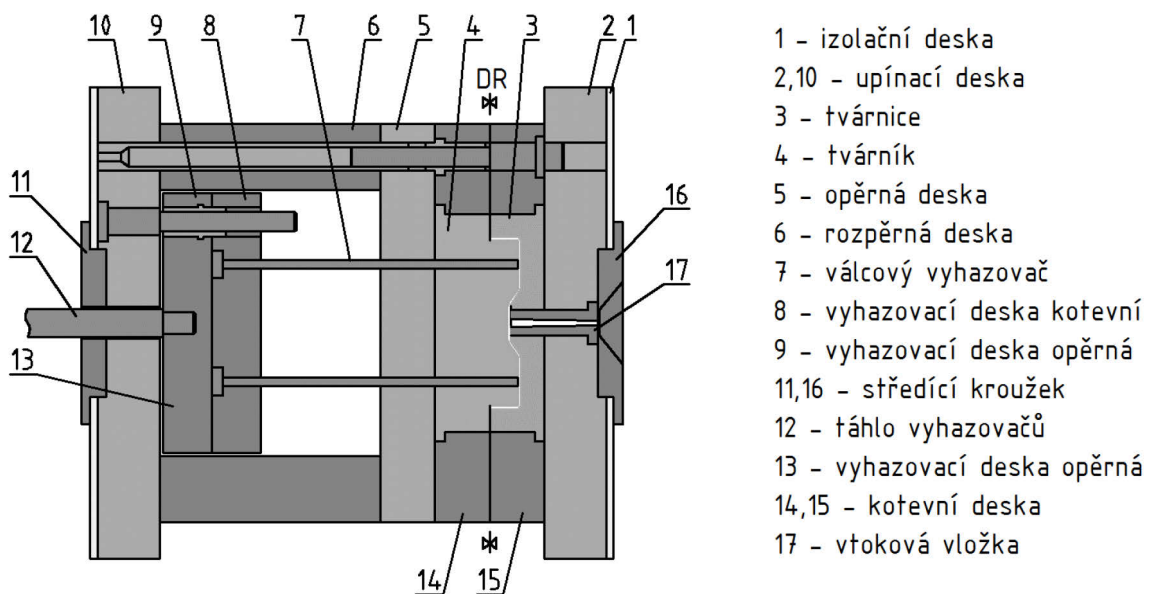
Tab. 4 Funkce vstřikovací formy [6]

VSTŘIKOVACÍ FORMA					
DOPRAVA TAVENINY		PŘENOS TEPLA		ODFORMOVÁNÍ	
ODOLNOST PROTI DEFORMACÍM	VEDENÍ TAVENINY	ODVOD TEPLA Z DÍLŮ	ODVOD TEPLA Z FORMY	OTEVŘENÍ FORMY	ODFORMOVÁNÍ DÍLŮ
PODPĚRNÉ VÁLCE	VTOKOVÝ SYSTÉM	POČET TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ	RYCHLOST TOKU TEMPERAČNÍ KAPALINY	DĚLÍČÍ ROVINA	VYHAZOVAČE
TLOUŠŤKA DESEK	ÚSTÍ VTOKU	ROZMĚRY CHLADÍCÍCH KANÁLŮ	PRŮŘEZ VEDENÍ TEMPERAČNÍ KAPALINY	VYTAŽENÍ JADER	ROBOTICKÉ VYJÍMÁNÍ
VÍCENÁSOBNÁ PROPOJENÍ		TEPELNĚ VODIVÉ VLOŽKY			TAHAČE JADER

Konstrukční návrh vstřikovací formy se odvíjí od požadavků, které musí daná forma splňovat. Směrodatný je tvar samotného výstřiku zohledňující všechny požadavky technologičnosti konstrukce výrobků z termoplastů, včetně adekvátních požadavků na tvarovou a rozměrovou přesnost. Další požadavky vyplývají z materiálu výrobku, definice jeho jakosti, násobnosti formy, garantované životnosti formy, způsobu vyhození výrobku atd. Jednotlivé části formy lze obecně rozdělit na tvarové díly, vtokový systém a vyhazovací systém. [6]

Nedílnou součástí vstřikovacích forem tvoří požadavky na připojení temperačního média, elektrického vytápění nebo vzduchu, způsob zapojení snímání teploty horkého systému, zapojení koncových snímačů nebo osazení formy počítačem zdvihů. Pro výrobu vstřikovací formy je třeba definovat dodavatele normalizovaných dílů včetně horkého systému, určit materiály na rám formy, desky formy, tvarové části a díly včetně tepelného zpracování. [7]

Vstřikovací forma se sestává z několika částí vzájemně propojených šrouby tak, aby tvořily funkční celky. Základní typ formy je tvořen deskami, vzájemně vystředěnými pomocí středících prvků. Forma se otevírá v dělicí rovině mezi tvárníkem a tvárnici, tvárnice je připevněna k pravé, tedy pevné části formy, tvárník k levé, pohyblivé části. Po stranách formy se nachází upínací desky, které slouží k bezpečnému upnutí formy ke vstřikovacímu stroji. Na povrchu upínacích desek jsou přišroubovány izolační desky, které brání přestupu tepla z formy na vstřikovací stroj a zamezují šíření koroze ze vstřikovacího stroje na formu. Tvarové části bývají umístěny mezi kotevními deskami. Všechny součásti, které přichází do styku s polymerní taveninou, musí vykazovat určitou míru mechanické a abrazivní odolnosti. Umístěním tvarových vložek mezi desky z méně odolných a levnějších materiálů se projeví jako úspora nákladů. [4], [6]



Obr. 19 Základní uspořádání vstřikovací formy

Důležitou funkci vstřikovací formy plní středící elementy. Středící kroužky po stranách zabezpečují polohu vstřikovací formy na vstřikovacím stroji, osa trysky vstřikovací jednotky je pak totožná s osou vtokové vložky, skrze kterou proudí tavenina do tvarové dutiny formy. Středící kroužek, skrze který je vedeno táhlo vyhazovačů, zajišťuje vystředění táhla vůči vyhazovacímu mechanismu stroje. Jednotlivé desky jsou vystředěny pomocí středících trubek, ve kterých jsou umístěny vodící čepy, umožňující otevření formy a pohyb vyhazovačů. Po ochlazení polymerní taveniny se forma v dělicí rovině otevře a následuje vyhození výrobku z tvárníku. Vysunutím táhla vyhazovačů dojde k pohybu vyhazovacích desek, v nichž jsou ukotveny vyhazovače, které působí silou na plochu výrobku, který je vyhozen. [4], [6]

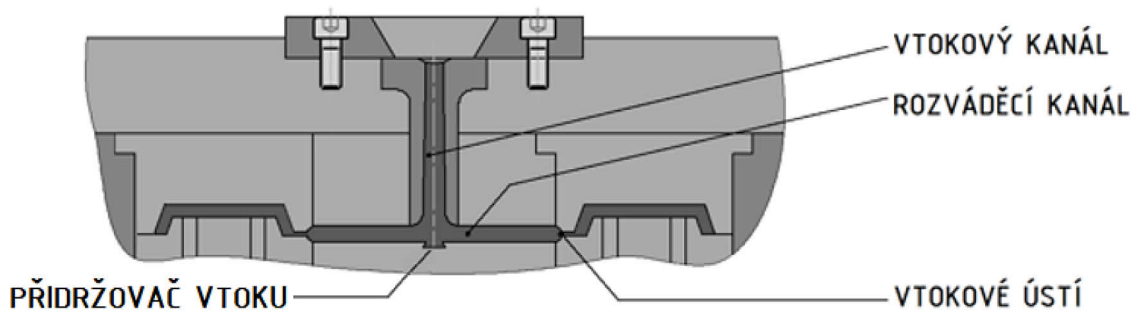


### 3.1 Vtokové systémy

Vtokový systém propojuje trysku vstřikovací jednotky s tvarovou dutinou formy. Vhodně navržený vtokový systém by měl zaručit rovnoměrné naplnění dutiny formy polymerní taveninou, snadné oddělení vtokových ústí od výrobku a umožnit bezproblémové vyhození vtokového zbytku z formy. Umístění a typ vtokového systému má při vstřikování termoplastů zásadní vliv na plnění, deformaci a tvar výrobku. Poloha vtokového ústí definuje orientaci makromolekul a plniva, místa případných studených spojů a celkovou míru naplnění tvarové dutiny. Ústí vtoku se často umísťuje do oblasti výrobku s nejvyšší tloušťkou stěny, kvůli efektivnímu využití dotlakové fáze. Vtokové systémy lze rozdělit na studené a horké, běžně se využívá také kombinace obou, kdy centrální horká tryska ústí do studeného rozvodného kanálu. [4]

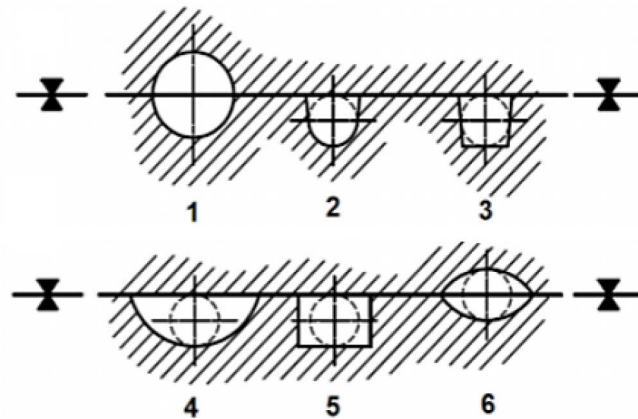
#### 3.1.1 Studený vtokový systém

Studený vtokový systém není opatřen horkou tryskou ani jiným typem vyhřívání. Polymerní tavenina opouštějící trysku vstřikovací jednotky bezprostředně přichází do styku se studenou vtokovou vložkou a rozváděcími kanálky, kde se ochlazuje a začíná tuhnout. V průběhu tečení taveniny studeným vtokovým systémem dochází k růstu její viskozity a tím se zhoršuje zpracovatelnost – je potřeba vyšší hodnoty vstřikovacího tlaku. Množství polymeru, které se spotřebuje na vyplnění vtokové soustavy, tvoří vtokový zbytek. Ten je třeba od výrobku oddělit a vyhodit z formy. Za určitých okolností lze tento zbytek regranulovat a v daném množství přidávat zpět do násypky k novému granulátu. Snahou je však velikost vtokového zbytku minimalizovat. Výhodou studených vtokových systémů jsou jejich relativně nízké pořizovací a provozní náklady. Obecně se studený vtokový systém skládá z vtokového kanálu, rozváděcího kanálu, vtokového ústí a přídržovače vtoku. [6]



Obr. 20 Schéma studeného vtokového systému

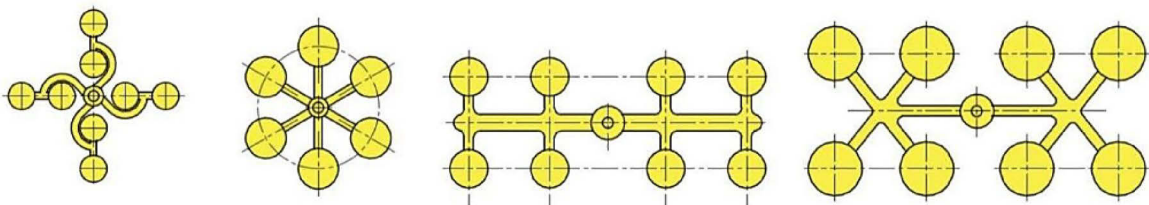
Vtokový kanál je u studeného vtokového systému kuželového tvaru a nachází se uvnitř vtokové vložky. Skrze tento kanál je polymerní tavenina přiváděna ze vstřikovací jednotky do rozvodných kanálků, v některých případech přímo do dutiny formy. Vtoková vložka je vysoce mechanicky i tepelně namáhána, z toho důvodu je vyráběna z tepelně zpracované nástrojové oceli.



1,6 - VÝROBNĚ NEVÝHODNÉ, 2,3,4,5 - VÝROBNĚ VÝHODNĚJŠÍ

Obr. 21 Průřezy rozváděcího kanálu [9]

Rozváděcí kanály bývají různých tvarů, s požadavkem dosáhnout co největšího průřezu při minimálním povrchu, cílem je tedy snížit tepelné ztráty ochlazením. Tuto podmínku nejlépe splňuje kruhový průřez kanálu rozdělený dělicí rovinou, výrobně výhodnější je však lichoběžníkový průřez vyfrézovaný v pevné části formy. U vícenásobných forem se využívá odstupňovaných průřezů rozvodného kanálu, kdy lze dosáhnout vyšší rychlosti proudění taveniny a rovnoměrnějšího plnění jednotlivých dutin. [4]



Obr. 22 Příklad rozmištění tvarových dutin ve formě [11]

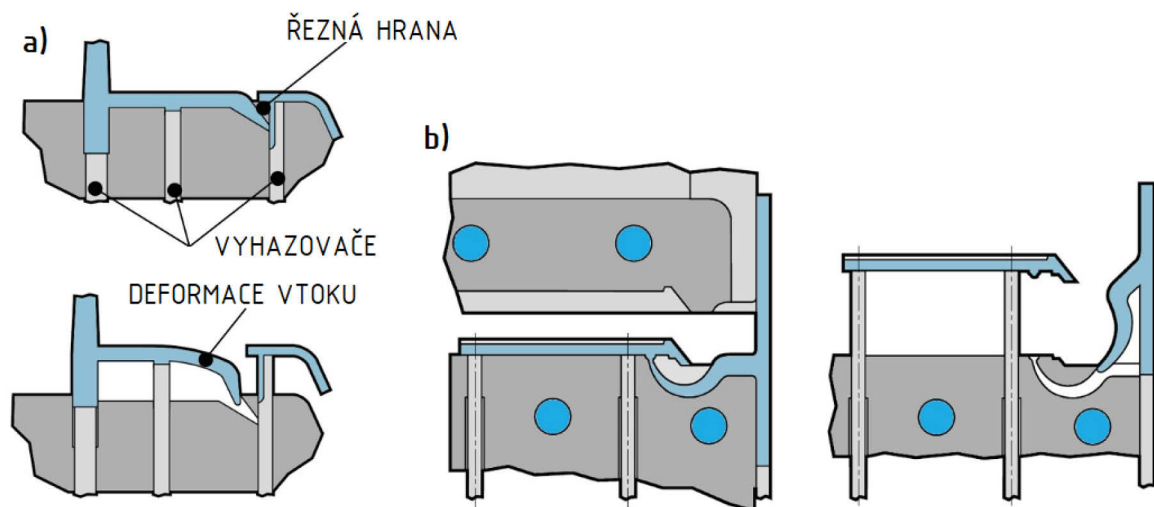
U studených vtokových soustav se pro přesun taveniny z rozváděcího kanálu do tvarové dutiny využívá vtokových ústí různých tvarů. Vtokové ústí se směrem k dutině zužuje, jeho délka a velikost výstupního průřezu je volena s ohledem na tvar vstřikovaného dílu a jeho materiál. Zúžený průřez musí být dostatečně velký pro vyplnění dutiny taveninou a případné působení dotlaku. Skrze zúžené vtokové ústí tavenina proudí do formy rychleji a plynuleji, vlivem disipace dochází také ke zvýšení její teploty. [9]

Pokud je to z konstrukčních důvodů možné, vtokové ústí se umísťuje do místa, kde je největší tloušťka stěny výrobku. Tavenina pak nejdříve tuhne v nejbližších místech od vtokového ústí a je umožněno lepší působení dotlaku. Vhodné umístění vtoku je také v geometrickém středu výrobku, z důvodu rovnoměrného plnění taveninou. Pokud se vstříkuje výrobek opatřený žebrováním, je výhodné umístit vtok ve směru orientace žeber. U pohledových dílů se vtokové ústí umísťuje mimo pohledové plochy. Obecně je při umísťování vtoku brát v potaz odvodu vzduchu dutiny formy, zamezení vzniku volného toku taveniny a omezení výskytu studených spojů v mechanicky namáhaných oblastech výrobku. [9]



Obr. 23 Základní typy vtokových ústí [16]

Tunelové ústí vtoku umožňuje plnění dutiny formy mimo dělicí rovinu. Tímto způsobem probíhá plnění kolmé na povrch tvarové dutiny. Tunelové vtokové ústí se při vyhazování výrobku automaticky oddělí od vstříkovaného výrobku. V takovém případě je nutné použití přídržovače vtoku nebo jiného konstrukčního prvku umožňující přidržení vtokového systému na vyhazovací straně formy. Po otevření se vtokový systém doformuje a skrze řeznou hranu je oddělen od výrobku a následně vyhozen z formy. Na obdobném principu funguje i srpkovitý vtok. Obě varianty nejsou vhodné pro vstříkování křehkých polymerů. [6]

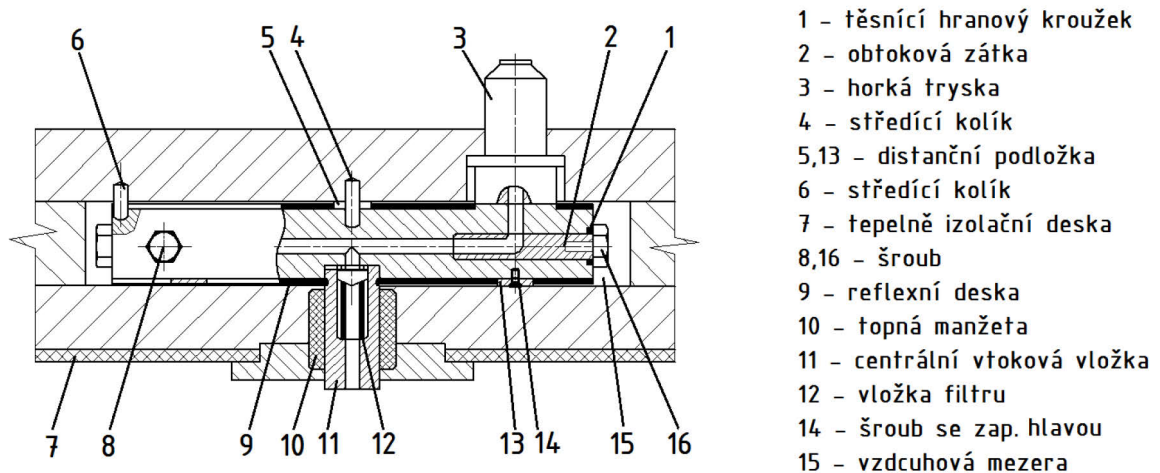


Obr. 24 Princip funkce a) tunelového a b) srpkovitěho vtoku [6]

### 3.1.2 Horký vtokový systém

Technologické i ekonomické aspekty vedly k vývoji vstřikovacích systémů, ve kterých nebude vznikat vtokový zbytek, čímž dojde k minimalizaci nároků na dodatečné operace. Výsledkem byl objev sofistikovaných horkých vtokových systémů. Tomu předcházely jednodušší typy vyhřívaných systémů, které byly založeny na udržení zásoby horké taveniny ve vtokovém systému. Tavenina byla izolována od chladnější stěny formy pomocí ztuhlé vrstvy polymeru. Tyto systémy byly omezeny pouze na krátké vstřikovací cykly a vznikalo riziko uvolnění části ztuhnutého polymeru, které by způsobil vadu na výrobku. [6]

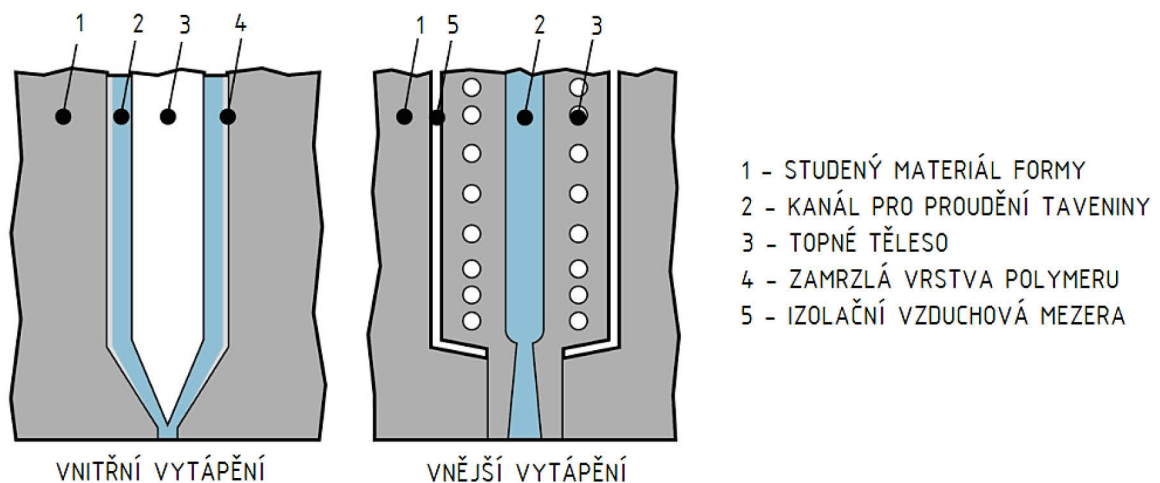
Současné horké vtoky tvoří významnou oblast konstrukce forem, kterou se zabývá řada specializovaných výrobců. Principem horkých vtokových systémů je udržení konstantní teploty polymerní taveniny od trysky vstřikovací jednotky až po tvarovou dutinu formy. Výsledkem je vstřikování s řadou výhod, jako je zkrácení výrobního cyklu, snížení spotřeby polymerní taveniny a minimalizace nákladu na odstranění a recyklaci vtokových zbytků. Horký vtokový systém lze relativně snadno namontovat, demontovat a provádět údržbu. Ovšem je třeba brát v potaz konstrukční složitost, pořizovací i provozní náklady a nutnost zajistit snímače a regulátory teploty. [6], [9]



Obr. 25 Schéma horkého rozvodného bloku

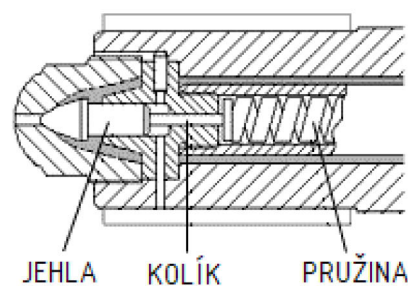
Horký rozvodný blok opatřený vyhřívanými tryskami se používá u vícenásobných vstřikovacích forem. Blok je uložen mezi upínací a tvarovou deskou vstřikovací formy. Vytápění je realizováno pomocí odporového topení skrze topné patrony a hady. Zamezení šíření tepla z rozvodného bloku do vstřikovací formy je zajištěno izolační vzduchovou mezerou. Rozvodné bloky mohou být podle rozmístění výrobků ve formě konstruovány do tvaru písmene I, X, Y, H nebo do hvězdy. [9]

Vyhřívání vtokové trysky přepravují taveninu ze vstřikovací jednotky do dutiny formy nebo do rozvodného kanálu. Mohou být vyhřívány vnějším nebo vnitřním topením. V případě vnějšího topení proudí tavenina otvorem trysky, která je vyrobena z tepelně vodivého materiálu, topné těleso se nachází na vnější straně trysky. U trysky s vnitřním topením proudí polymerní tavenina kolem vnitřní vyhřívané vložky. Existují různé konstrukční provedení trysek, např. tryska s hrotem pro polymery náchylné k tažení vlákna, uzavíratelné trysky, speciálně tvarované trysky nebo trysky s více výstupními otvory. [6]



Obr. 26 Schéma trysek s vnitřním a vnějším vytápěním [6]

Pro dosažení kvalitnějšího povrchu v místě vtoku se využívají uzavíratelné horké trysky. Stopa po vtoku je pak takové jakosti, že nenarušuje vzhled dílu. K uzavírání slouží jehly vyrobeny z kalené nástrojové oceli, s minimální vůlí ve vedení. Ovládání jehel je realizováno skrze pružinu nebo páku. U pružinového ovládání se tavenina při vstřikování dostane pod jehlu, působením vstřikovacího tlaku se posune do zadní polohy a tím se otevře ústí vtoku. Při poklesu tlaku se ústí vtoku uzavře. Jehly ovládané pákou jsou řízeny pneumaticky nebo hydraulicky. Kaskádové vstřikování spočívá v řízeném otevírání jednotlivých trysek pomocí jehel. Svě uplatnění nachází u rozměrných dílů s větším počtem vtokových ústí s cílem minimalizovat vznik studených spojů. [6]

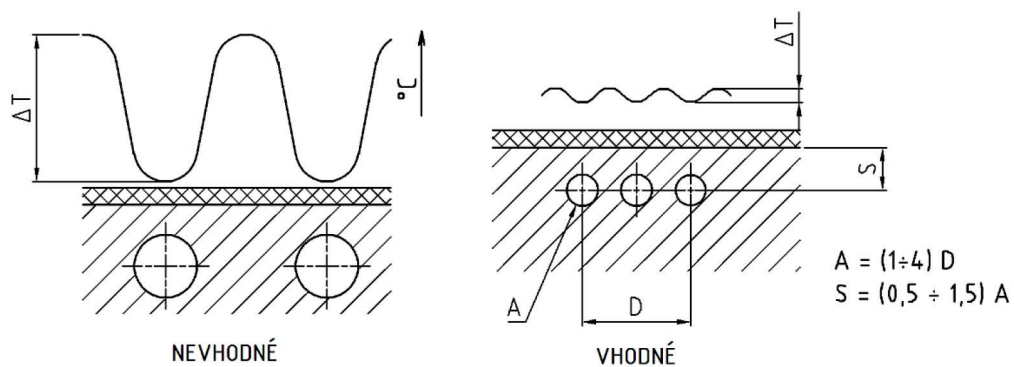


Obr. 27 Schéma uzavíratelné trysky [17]

### 3.2 Temperační systémy

Temperace forem má zásadní vliv na kvalitu vyráběného dílu, jeho smrštění a deformace. Cílem temperace je udržení konstantního teplotního pole v průběhu vstřikování, kdy je do formy přiváděna polymerní tavenina, která se ve tvarové dutině ochlazuje na vyhazovací teplotu. Vhodné temperování je předpokladem pro správné plnění dutiny formy a následné tunutí polymerní taveniny. V průběhu každého cyklu se části formy ohřívají a přebytečné teplo je třeba efektivně odvádět, aby vstřikování dalšího výrobku proběhlo při stejných podmínkách. [7]

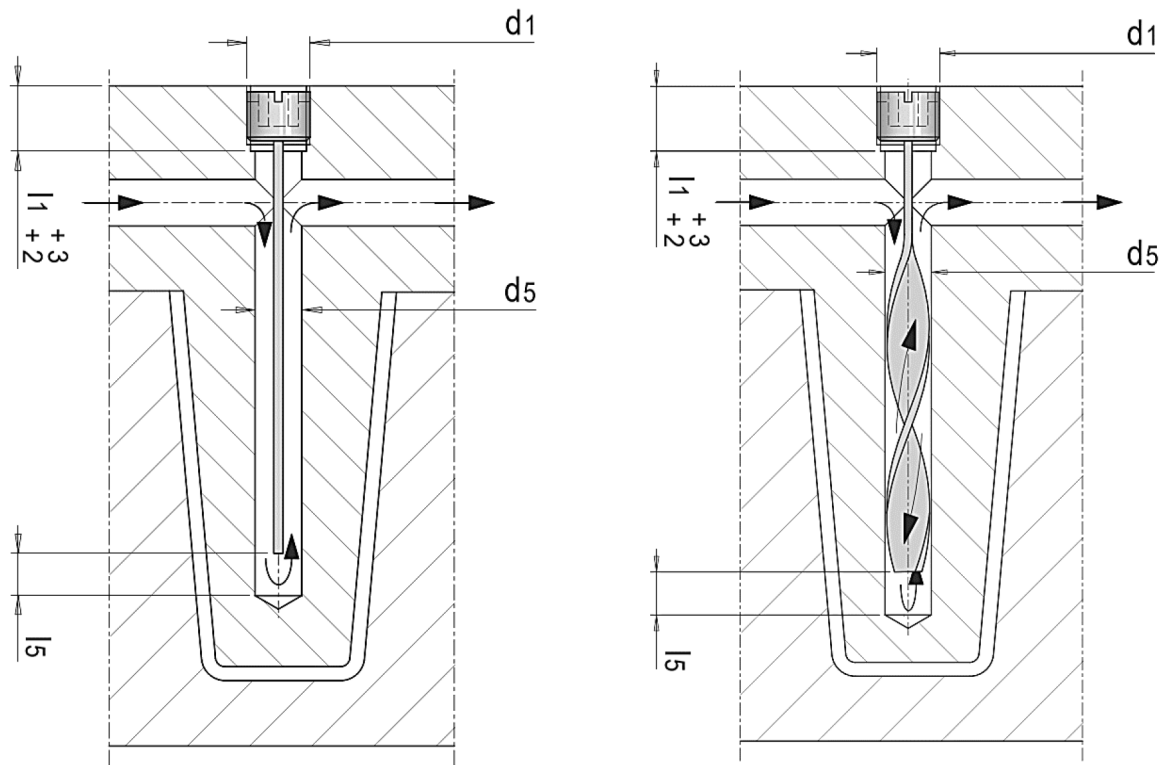
Chlazení tvarových částí formy se většinou provádí pomocí vrtaných kanálků, přepážek, spirál, fontánek a dalších prvků připojených do temperačního okruhu, ve kterém proudí vhodné temperační médium. Rozměry kanálků a jejich umístění je třeba navrhnout v souladu s celkovým konceptem formy a s ohledem na pevnost a tuhost tvarových částí. V okolí tvarové dutiny by měly být kanálky rozmístěny rovnoměrně s ohledem na tvar a tloušťku stěny výrobku. Velikost průřezu kanálků se definuje na základě zpracovávaného materiálu, velikosti dílu a způsobu jeho zaformování. S ohledem na rovnoměrnější intenzitu chlazení je vhodné volit větší počet kanálků o menším průměru. Zvětšování průměru kanálku je neefektivní, intenzita odvádění tepla se zvýší nepatrně, sníží se však tuhost formy. [6]



Obr. 28 Porovnání konstrukčních řešení temperačních kanálků [6]

Chlazení tvárníků lze realizovat pomocí přepážek, která půlí kanálek kolmo orientovaný na hlavní kanál. Chladicí médium pak obtéká přepážku a odvádí teplo z okolí vedlejšího kanálku. Nevýhoda přepážky spočívá v citlivosti na její přesné umístění tak, aby rozdělovala průřez vedlejšího kanálku přesně na polovinu tak, aby docházelo v obou polovinách ke stejnému chladicímu účinku. Přepážka je většinou normalizovaný díl, bývá závitově spojena s temperovaným dílem. Chladicí spirála funguje na obdobném principu jako přepážka s tím

rozdílem, že plochá přepážka je nahrazena spirálovou. Lze tak dosáhnout rovnoměrnějšího teplotního pole v temperovaném dílu. Temperační přepážky se s výhodou zařazují do temperačních okruhů pro chlazení hlubokých dílů. Přepážky se vyrábějí z vysoce tepelně vodivých kovů. [6], [9]



Obr. 29 Temperační přepážky dodávané společností Meusburger [18]

Temperační médium je kapalina proudící v temperačním okruhu, odvádějící teplo z tvarových dílů vstřikovací formy. Efektivita odvádění tepla je závislá na objemovém průtoku, zvolené kapalině, rozdílu teplot mezi kapalinou a povrchem formy a vzdáleností temperačních kanálků od povrchu dutiny. Při temperování vodou jsou příznivé nízké pořizovací náklady, vysoká intenzita přestupu tepla, nízká viskozita a ekologická nezávadnost. Voda ovšem přispívá ke tvorbě vodního kamene a korodování povrchu formy. Další omezení vyplývá z maximální teploty, kdy voda může být použita pouze do 90 °C. Oproti tomu temperování olejem je možné i nad 100 °C, účinnost odvádění tepla je však nižší a pořizovací náklady vyšší. Vhodné je použití směsi vody a etylenglykolu, kdy nedochází ke korozi. [7]

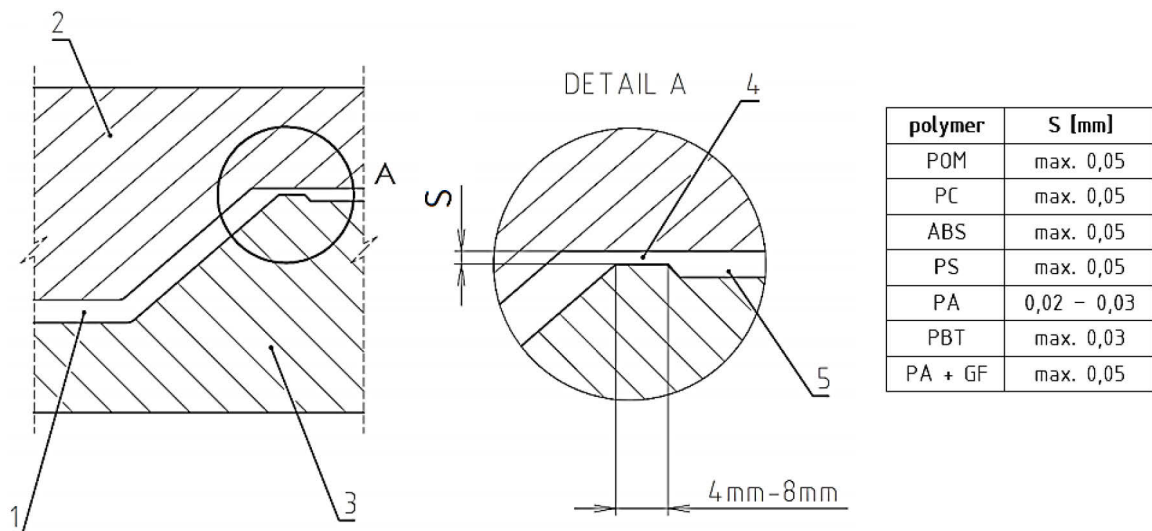
Alternativní metodou chlazení je výroba tvarových částí pomocí laserového sintrování. Díky této technologii lze vyrobit libovolný tvar temperačního systému oproti konvenčnímu vrtání, které je limitováno řadou faktorů.

Dalí nekonvenční metodu temperace tvoří chlazení pomocí vysoce tepelně vodivé beryliové mědi. V takových místech formy, kde není z určitého důvodu možné chladit metodou vrtačných kanálků je nástrojová ocel nahrazena touto slitinou. Z těchto míst je pak teplo odváděno mnohem intenzivněji než z ocelových částí. Nevýhoda této metody spočívá ve vysoké ceně této speciální slitiny a v její menší tvrdosti, nesrovnatelné s tepelně zpracovanou ocelí. [7]

### 3.3 Odvzdušňovací systém

Odvzdušňovací systém odvádí z uzavřené dutiny formy během procesu vstřikování přebytečný vzduch. Zejména nové formy, jejichž díly jsou přesně slícovány, mohou být nedostatečně odvzdušněny, což by se projevilo výrobou nekvalitních dílů. Typickými vadami v tomto případě jsou nedotečené výrobky, vznik vzduchových bublin a spálená místa na výrobku vlivem dieselektu.

Přebytečný vzduch je většinou z tvarové dutiny odváděn dělicí rovinou a vřelymi mezi tvarovými díly nebo vyhazovači. Pokud je takové odvzdušnění nedostatečné, je třeba tvarovou dutinu formy opatřit odvzdušňovacími kanálky. Ty jsou nejčastěji ploché, s tloušťkou zvolenou tak, aby mohl být odveden přebytečný stlačený vzduch bez úniku polymerní taveniny. Odvzdušňovací kanálky se obvykle umísťují do oblasti tvarové dutiny, kde polymerní tavenina zatéká naposled, nebo do dělicí roviny. [9]



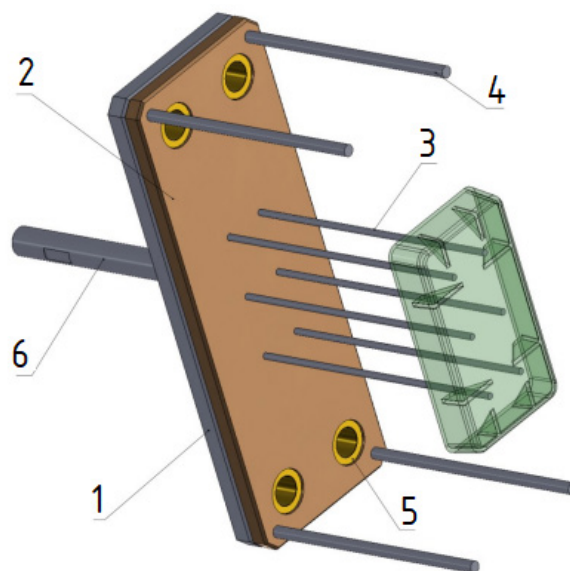
Obr. 30 Konstrukce odvzdušňovacího kanálku [19]



### 3.4 Vyhazovací systém

Po ochlazení polymerní taveniny na vyhazovací teplotu se forma otevře a úkolem vyhazovacího systému je provést bezpečné vyhození výrobku z tvarové dutiny formy. Vyhazovací systémy mohou být značně komplexní v závislosti na požadavcích výroby konkrétního dílu. Je třeba také zohlednit, že při vyhazování samotného výrobku se z formy odstraňuje i vtokový zbytek. Volba vyhazovacího systému se odvíjí od geometrie výrobku, jakosti jeho ploch a technologických parametrů procesu. K dispozici jsou různé způsoby vyhazování, často se využívá mechanický systém fungující na principu vyhazovacích kolíků, stíracích desek nebo pružných vyhazovačů. Zvolená metoda vyhazování by měla zajistit snadné vyhození výrobku bez poškození. [6]

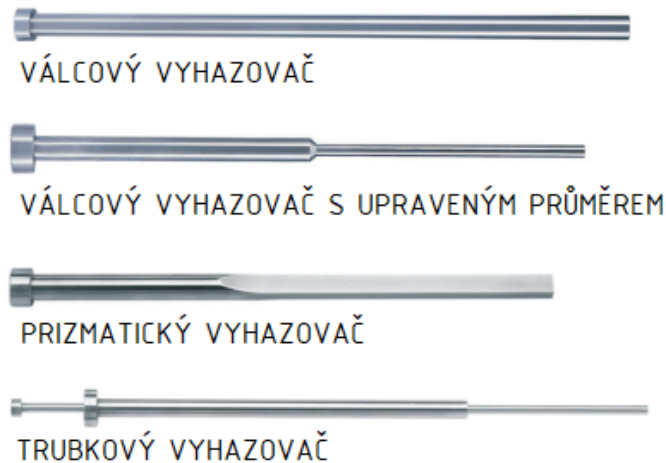
Vyhazovací paket se nachází na pohyblivé straně formy, proto je třeba zajistit, aby po otevření formy výrobek na této straně setrval. Vhodný způsob, jak tuto podmínku realizovat je využít smrštění materiálu. Vlivem smrštění se materiál vždy přitiskne na tvárník. Vtokový zbytek bývá na pohyblivé straně formy udržen pomocí přídržovačů vtoku. Běžný vyhazovací paket je složen z kotevní a přitlačné desky, ve kterých jsou ukotveny vyhazovací čepy a další prvky jako např. vracecí čepy. Desky jsou propojeny pomocí šroubů a v rozích opatřeny vodícími pouzdry umožňujícími posun vyhazovacího paketu po vodících čepech. Samotný pohyb vyhazovacího paketu je prováděn skrze táhlo desek vyhazovače. [7]



Obr. 31 Vyhazovací systém [19]

- 1 – přitlačná deska; 2 – kotevní deska; 3 – válcový vyhazovací čep; 4 – vracející čep;  
5 – vodící pouzdro; 6 – táhlo vyhazovačů

Vyhazovací čepy patří mezi často využívaný způsob mechanického vyhazování dílů. Jejich použití je možné ve všech případech, kdy lze vyhazovací čep umístit proti ploše vstříkovaného dílu. Jejich výroba a montáž je jednoduchá a funkce zaručená.



Obr. 32 Základní typy vyhazovacích kolíků [20]

Vyhazovač by měl přijít do kontaktu s výrobkem na nepohledové straně nebo na žebro výrobku, které se ovšem nesmí při vyhazování bortit. Rozmístění vyhazovačů a jejich počet na výrobek závisí na charakteristice daného dílu a na prostoru ve formě, který je omezený např. temperačními kanálky. Vyhazovací čepy se vyrábějí v různých konstrukcích vhodných pro konkrétní aplikaci. Válcový vyhazovač nachází univerzální použití, pokud se na povrchu dílu vyskytuje mezikružší lze použít trubkový vyhazovač. U žebrovaných výrobků se používají prizmatické vyhazovače s čelem obdélníkového průřezu, jejichž kontaktní plocha s výrobkem je větší, než u kruhových vyhazovačů. Pokud bylo čelo vyhazovače tvarově upraveno, je třeba jej polohově ukotvit, aby bylo zabráněno pootočení vyhazovače kolem své osy a následné kolizi. [7]

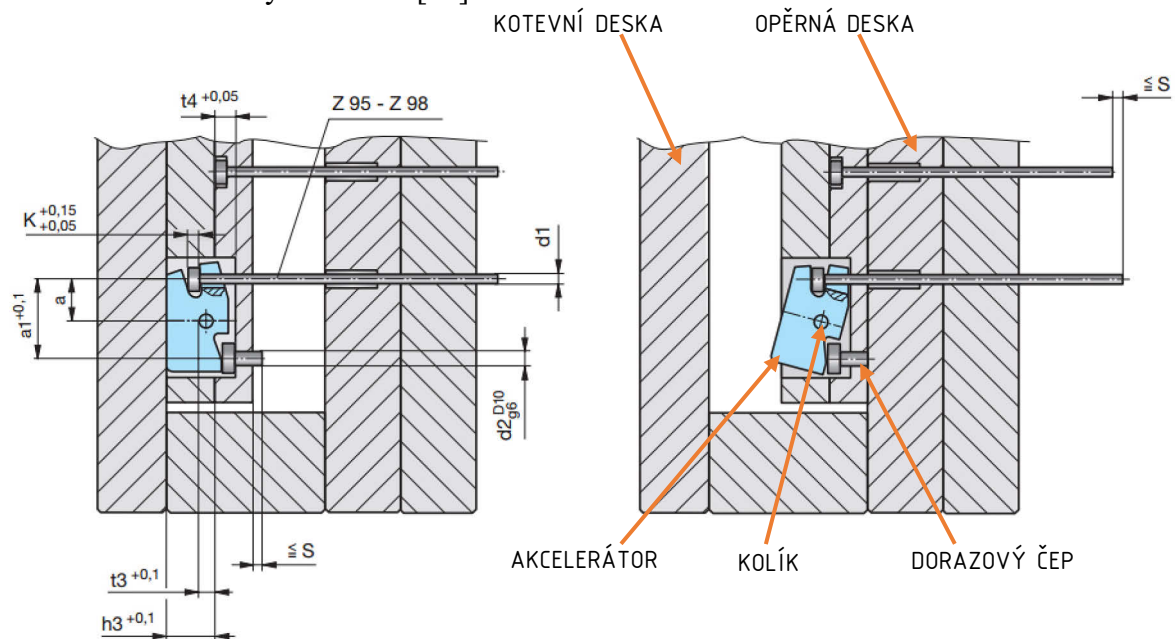
Dalším mechanickým způsobem je vyhazování pomocí stírací desky, která působí na plochu dílu po celém jeho obvodu. Díky velké styčné ploše nejsou znatelné stopy po vyhazování a deformace dílu jsou minimální. Stírací deska se používá u rozměrnějších a tenkostěnných výrobků, které vyžadují větší vyhazovací sílu. Posuv stírací desky je většinou vyvozen tlakem, skrze vyhazovací trn. [6]

Šikmé vyhazovače se řadí mezi speciální formu mechanického vyhazování. Vyhazovače jsou tvořeny šikmými čepy, které jsou pod různými úhly uloženy k hlavní dělicí rovině. Lze je využít pro odformování výrobků s malými nebo středně velkými zahloubeními. Odpadá tak nutnost používat komplikovanější čelistové mechanismy. [6]

Pneumatické vyhazování se používá pro vyhazování rozměrných, tenkostěnných výrobků jako jsou kbelíky nebo květináče. Při vyhazování takových dílů je třeba z důvodu rizika vzniku deformací výrobek zavzdušnit. Běžný mechanický způsob vyhazování by mohl dojít k deformaci výrobku a byl by potřebný příliš velký zdvih vyhazovacího paketu. Princip pneumatického vyhazování spočívá v rozvádění vzduchu mezi výrobek a povrch formy, čímž je zaručeno rovnoměrnější oddělení výrobku od tvárníku. V určitých případech se používá pneumatického vyhazování současně s mechanickým. [9]

Pro umožnění oddělení vtokového systému nebo vysunutí výrobku z tvárníku či jádra je třeba u některých forem zvětšit zdvih určitých vyhazovacích čepů. Toho může být docíleno využitím některého z normalizovaných akceleračních mechanismů. Volba takového mechanismu se řídí zejména požadovaným zdvihem vyhazovačů a dostupností prostoru umožňujícího jeho instalaci a bezproblémový chod.

Na obrázku 33 je vyobrazen a funkce akcelérátoru dodávaného společností Strack. Ve výchozí pozici vyhazovacích desek se vyhazovač ukotvený v akcelérátoru nachází ve stejné pozici jako ostatní vyhazovače. Jakmile vyhazovací paket dolehne ke kotevní desce, akcelérátor se působením dorazového čepu pootočí okolo osy kolíku, který jím prochází. Dojde tak ke zvětšení zdvihu požadovaného vyhazovače. Po vrácení vyhazovacího paketu do výchozí pozice se tělo akcelérátoru opře o kotevní desku, pootočí se okolo osy kolíku a dojde k zasunutí ukotveného vyhazovače. [26]

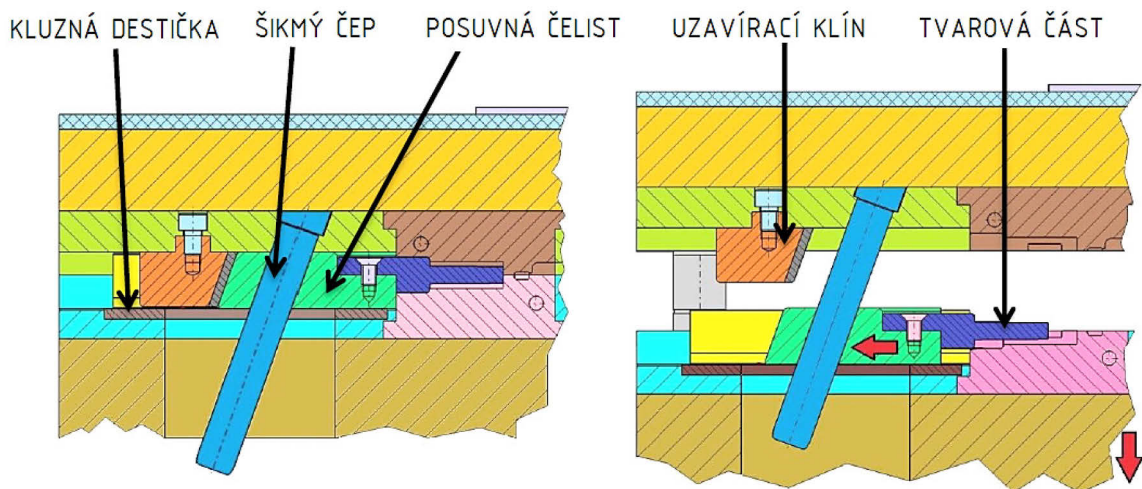


Obr. 33 Znárodnění funkce akcelérátoru vyhazovacího čepu [26]

### 3.5 Boční odformování

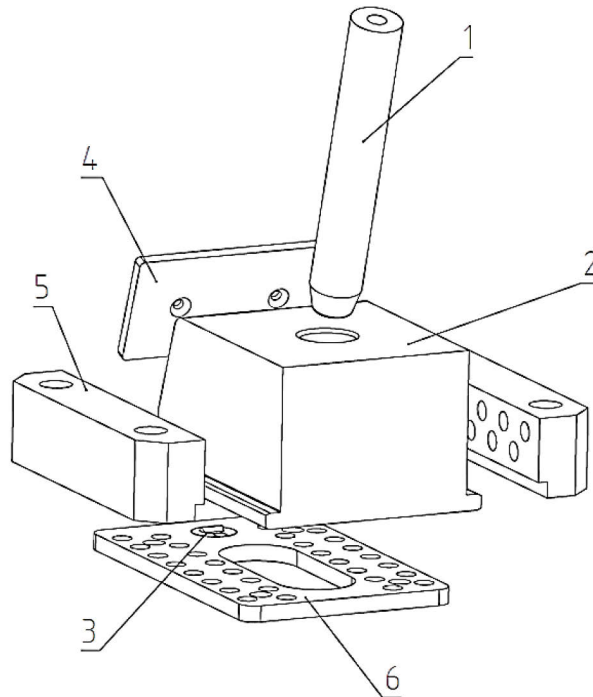
Při konstrukci vstřikovací formy je snaha odformovat co největší část výstřiku v hlavní dělicí rovině. Zbylé podkoso, tedy negativní úkoso je třeba odformovat ve vedlejších dělicích rovinách pomocí bočního odformování s využitím čelistového mechanismu, pružných vyhazovačů nebo šikmých vyhazovačů. Existují i další způsoby umožňující boční odformování, např. vytáčení mechanismy pro vnitřní závity.

Čelistové mechanismy lze podle ovládnutí rozdělit na čelisti ovládané šikmými nebo lomenými čepy, tedy mechanicky a na čelisti ovládané hydraulicky či pneumaticky. Během plnění dutiny formy jsou tvarové čelisti uzavřeny a vymezují dutinu formy. Při otevírání formy v hlavní dělicí rovině se čelist nuceně vysouvá podél šikmého válcového čepu, čímž dojde k odformování. Jakmile se čelist nachází v koncové poloze, je zajištěna zámky, aby nedošlo k jejímu samovolnému pohybu a následné kolizi. Zámky mohou být řešeny např. kuličkou s pružinou, které čelist uvolní, jakmile dojde k zavírání formy. Vůle mezi šikmým čepem a otvorem v posuvné čelisti bývá obvykle 0,2 mm. Sklon šikmých čepů pak od 15° do 25°.



Obr. 34 Princip funkce čelistového mechanismu [13]

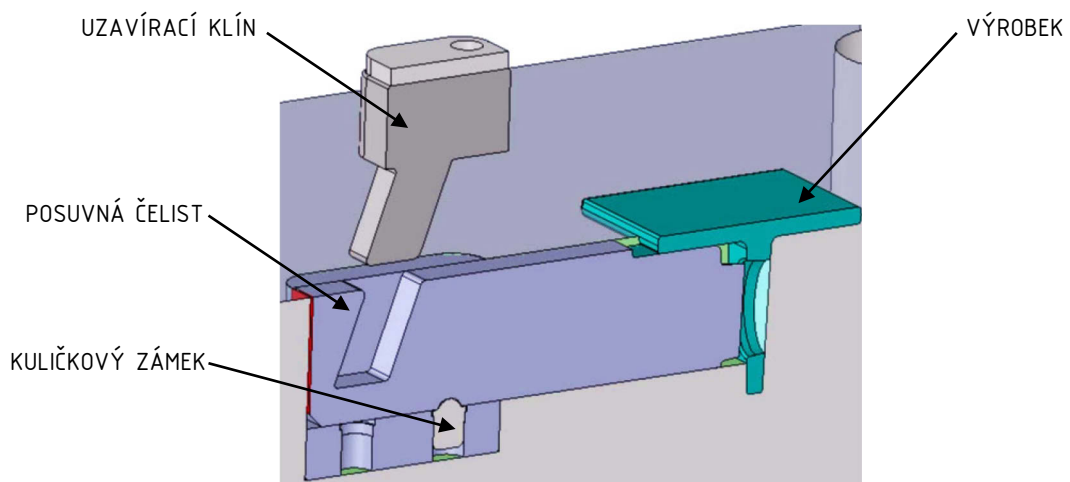
Kluzné destičky a jiné vodící elementy umožňují plynulý pohyb částí čelistového mechanismu a zajišťují přesnou dráhu pohybu posuvné čelisti. Většina výrobců normalizovaných částí již vyrábí samomazné vodící lišty a destičky vyrobeny z mosazi s válcovými grafitovými segmenty. [27]



Obr. 35 Jednotlivé díly čelistového mechanismu [21]

1 – šikmý čep; 2 – posuvná čelist; 3 – zámek; 4 – kluzná podložka;  
5,6; - samomazné vodící elementy

Pro vytažení delších a těžších jader nebo čelistí se využívá hydraulických tahačů. Posun čelistí je rovnoměrný a lze jej ovládat v jakékoliv fázi otevírání formy, případně po celkovém otevření. U pneumatických tahačů je třeba zohlednit stlačitelnost vzduchu, která zapříčiňuje nerovnoměrné pohyby čelisti nebo jádra. Naopak pokud u bočního odformování dostačuje menší zdvih malých jader a čelistí, lze využít kompaktních posuvných jednotek nebo pružných či šikmých vyhazovačů.

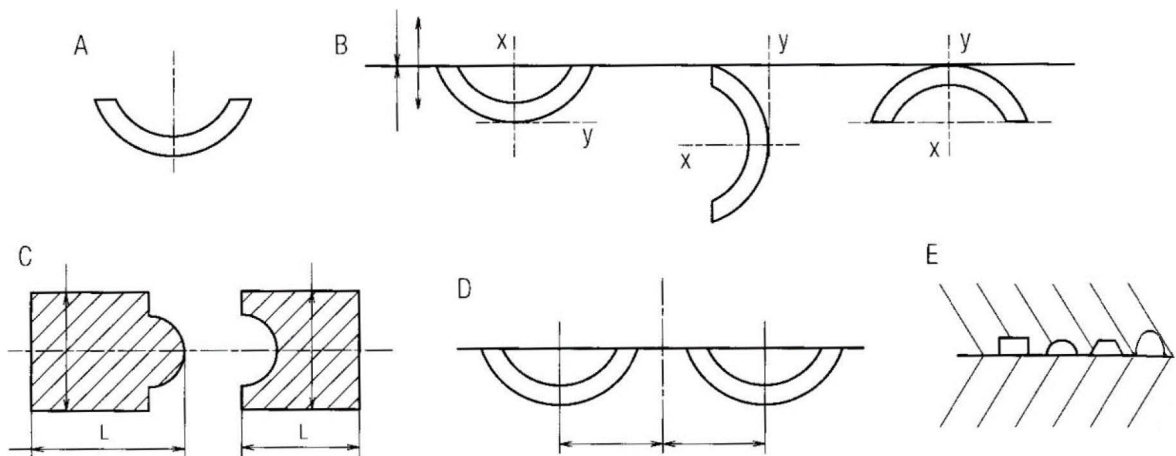


Obr. 36 Kompaktní posuvná jednotka společnosti Meusbrugger [22]

### 3.6 Postup konstrukce vstřikovací formy

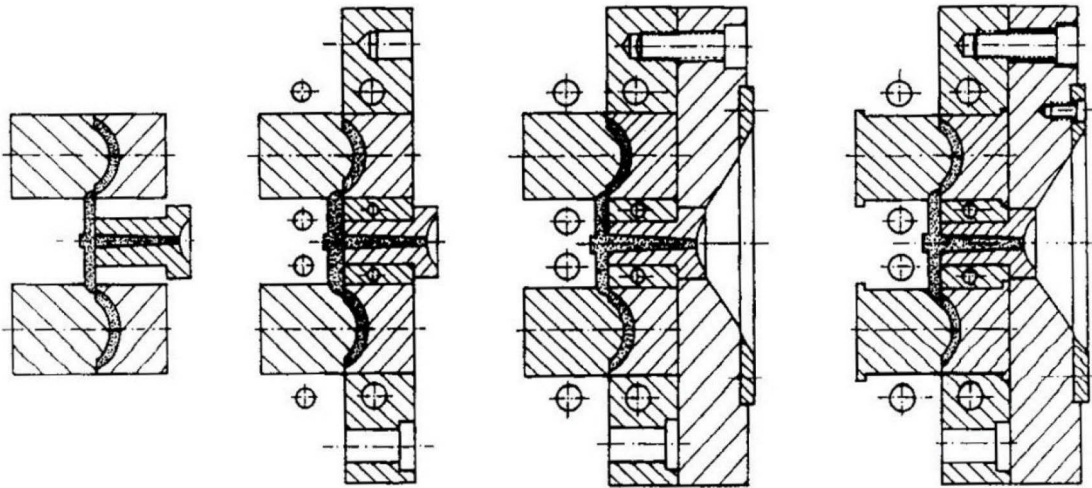
Po vymezení konstrukčních možností a zohlednění doposud získaných poznatků je třeba najít a zhodnotit optimální způsob zaformování výrobků. Od zvoleného způsobu zaformování se odvíjí průběh dělicích rovin, jejichž geometrie by měla být co nejjednodušší vzhledem k výrobě a slícování. Umístění dělicích rovin by mělo splňovat požadavky na produkci kvalitních výrobků, obzvláště z pohledu tvarů a rozměrů, směru a velikosti úkosů a sousosti výrobků při jejich zaformování do obou částí formy. Stopy viditelné po dělicích rovinách by neměly zapříčiňovat funkční nebo pohledové vady.

Jakmile jsou definovány dělicí roviny, pokračuje se určením vtokového systému, temperačního systému, vyhazovacího systému a rámu formy. Soustavy normalizovaných dílů vyráběných řadou specializovaných výrobců umožňují značné zrychlení a zkvalitnění celého konstrukčního procesu. Takové díly jsou rozměrově, materiálově a pevnostně optimalizované. Výběr normálí je prováděn z databáze nebo katalogu výrobce. Tyto díly lze obvykle použít bez nutnosti dalších výrobních operací. [7]



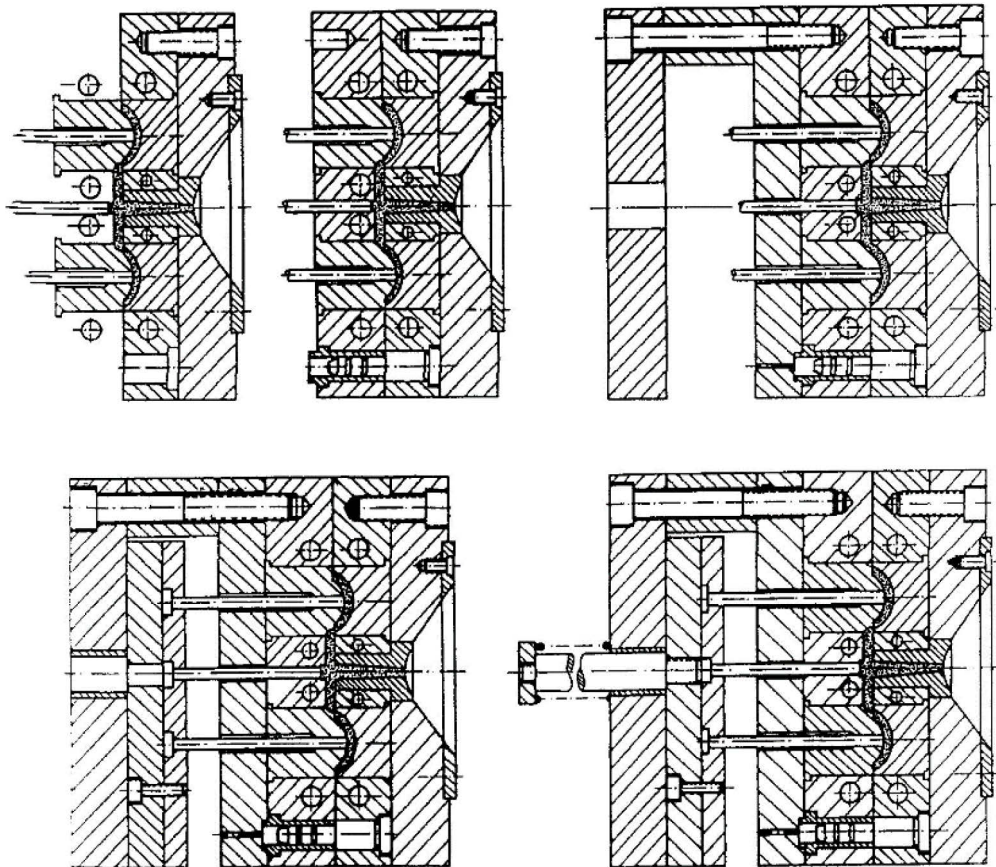
Obr. 37 Znáornění postupu konstrukce tvarových částí formy [7]

A – zadaný 3D model výrobku pro konstrukci vstřikovací formy včetně materiálu, jeho vlastností a dalších požadavků; B – určení dělicích rovin, rozložení vyhazovačů, umístění vtokového ústí; C – zvolení způsobu zaformování pomocí, tvárníku, tvárnice, posuvných čelistí, jader atd.; D – určení násobnosti formy a rozložení tvarových dutin; E – definice vtokového systému (studený, horký, kombinace), určení průřezů a délek rozvodných kanálků. [7]



Obr. 38 Návrh temperačního systému a pravé části rámu formy [7]

Zásadním konstrukčním krokem po zaformování výrobku do tvárníku a tvárnice je tvorba temperačního systému, protože v tomto stádiu nic nebrání volné konstrukci temperačních kanálků, přepážek a jiných temperačních prvků. Lze tak dosáhnout optimálních podmínek pro určení technologických parametrů vstřikování vzhledem k teplotě tvarových dílů a k tvarové a rozměrové přesnosti výrobků.



Obr. 39 Návrh vyhazovacího systému a levé části rámu formy [7]

### 3.7 Volba materiálu forem

Volba materiálu a způsobu tepelného zpracování jednotlivých částí vstřikovací formy má zásadní vliv na jejich funkci. Příslušná ocel se vybírá dle vlastností vstřikovaného materiálu, požadované životnosti formy, způsobu výroby tvarových částí a jejich velikostí. Vysoká životnost formy je podmíněna správnou a účelnou konstrukcí, vhodným vypořádáním exponovaných a tvarově přesných částí, tuhostí formy a pravidelnou údržbou. Životnost formy a volba adekvátního materiálu také souvisí s kvalitou povrchu tvarových dílů. Zde je třeba rozlišit, zda se jedná o pohledové výrobky nebo o výrobky bez požadavků na kvalitu povrch. Ve druhém případě musí jakost povrchu taková, aby umožňovala snadné vyhození výrobku z formy. Povrchové provedení pohledových dílů může být leštěné nebo dezénované. Podmínkou pro dosažení požadované kvality povrchu je homogenní struktura daného materiálu.

Tab. 5 Přehled použití nástrojových ocelí [23]

Příklad použití	ČSN	W. Nr.	Zpracování	Poznámka
základové desky, pouzdra, kolíky, sloupky	19 080	1.1730	dobrá obrobiteľnosť, houževnatost	odolnosť vůči tvorbě trhlin po kalení, malá prokalitelnost
tvarové desky, velikosériové formy	19 436	1.2080	dobrá odolnosť proti opotřebení	dobrá rozměrová stálost po tepelném zpracování
tvarové části	19 520	1.2312	dobrá obrobiteľnosť	nízká leštiteľnosť
tvarové desky, velikosériové formy	19 573	1.2379	dobrá odolnosť proti opotřebení	
menší tvarové díly, stříhadla, měřidla	19 313	1.2842		dobrá rozměrová stálost

Tvarové a funkční části formy bývají vyrobeny z ocelí nástrojových, legovaných a prokalitelných (tvrdost až 62 HRC; 1.2311; 1.2343; 1.2379). Pro chemicky agresivní polymery je možné využít nerezové konstrukční oceli. Pro zvýšení ošetrivost, kluznosti nebo samomaznosti se využívá technologie povlakování. Odvod tepla z tvarových částí je možné zvýšit použitím materiálů na bázi beryliových bronzů. Rámy a méně namáhané desky forem se vyrábějí z uhlíkových ocelí. [23]

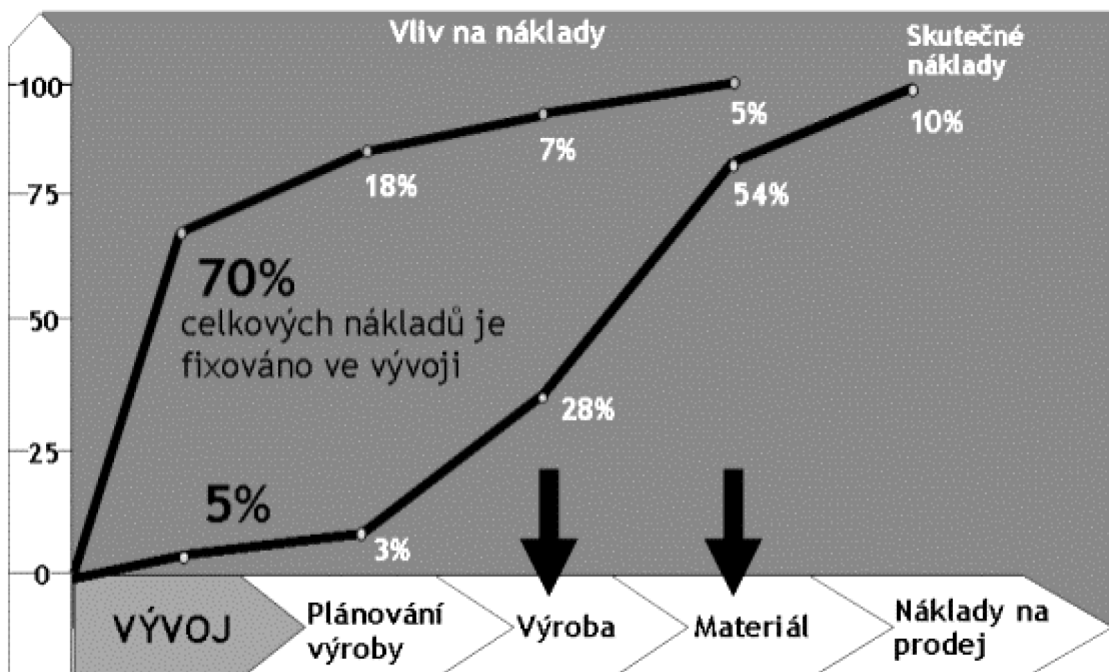


## 4 TOKOVÁ ANALÝZA

### 4.1 Ekonomické hledisko simulačních softwarů

S rostoucím využíváním polymerních výrobků téměř ve všech odvětvích a s neustále zvyšujícími se požadavky na jejich kvalitu a úsporu nákladů je třeba daný produkt co nejrychleji uvést na trh. Hodnota výrobku je určena několika hledisky, zejména se jedná o cenu vstřikovací formy, cenu vstřikovaného polymeru, dobu vstřikovacího procesu a hmotnost výrobku včetně vtokového systému. Výška těchto cen je dána za přispění nákladů na návrh výrobku, konstrukci vstřikovací formy a přípravu výroby. Ke značné úspoře lze dosáhnout ve vývoji, kde může být fixováno až 70 % celkových nákladů, což představuje přibližně 5% výrobních nákladů. Z tohoto důvodu je výhodné věnovat vývojové fázi značnou pozornost a využívat analýzy vstřikovacího procesu k jeho optimalizaci. Pomocí těchto analýz lze stanovit co nejvhodnější procesní podmínky již při konstrukci formy a vyhodnotit řadu údajů nutných k výrobě kvalitního dílu. [24]

Simulační softwary mají značný vliv zejména na zvyšování kvality vstřikovacího procesu, kdy je výsledkem minimalizace výrobních nákladů. Při konstrukci samotného výrobku lze optimalizovat jeho tvar a uspořít tak materiál, zkrátit čas vstřikování, zvýšit kvalitu či omezit vznik deformací.



Obr. 40 Vliv jednotlivých etap na růst nákladů na uvedení výrobku na trh [24]

## 4.2 Analýza v softwaru Autodesk Moldflow Synergy 2016

Simulační software Moldflow Synergy 2016 od společnosti Autodesk umožňuje provádět celou řadu užitečných analýz, např. vhodnost umístění vtoku, analýza plnění a dotlaku, temperační analýzy nebo analýzy smrštění a deformace. S výsledky těchto výpočtů je možné provádět návrh samotného výrobku nebo omezovat vznik případných vad. Výrobek podpořený takovou analýzou se stává spolehlivějším a konkurenceschopnějším. Nad výsledky z analýzy lze společně se zákazníkem diskutovat a hledat ideální řešení. Součástí tohoto softwaru je i rozsáhlá databáze materiálů a vstřikovacích strojů, umožňující co nejrealističtější simulaci vstřikovacího procesu s požadovanými parametry. [25]

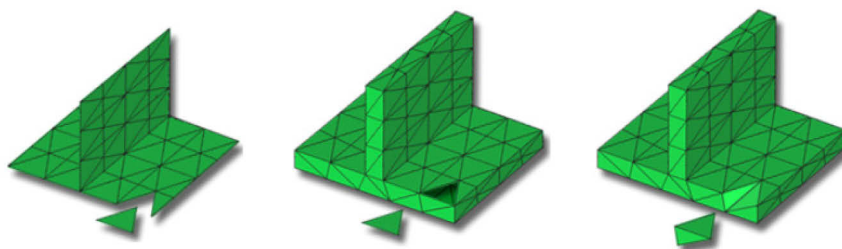
### 4.2.1 Příprava analýzy

Prvním krokem pro tvorbu analýzy je importování CAD modelu vstřikovaného výrobku do prostředí softwaru Moldflow. Následně je třeba vytvořit na daném modelu síť, pomocí které jsou prováděny jednotlivé výpočty v rámci analýzy. Nastavení vlastností sítě se odvíjí především od tloušťky stěny, tvaru a rozměru výrobku. Moldflow podporuje tři typy sítí.

Midplane mesh – 2D síť. Tento typ sítě je tvořen trojúhelníkovými elementy se třemi uzlovými body. Tloušťky stěn výpočetního modelu jsou zredukovány na tzv. střednicovou plochu reprezentující samotný tvar modelu výrobku. Aplikuje se zejména pro jednodušší tenkostěnné výrobky. [25]

Dual domain mesh – 2,5D síť. Síť se sestává z trojúhelníkových elementů se třemi uzly a tloušťka stěn výrobku je generována automaticky. Tato povrchová síť umožňuje simulaci toku taveniny na obou stranách dutiny formy. Využívá se pro tenkostěnné výrobky s pravidelnější tloušťkou stěn. [25]

Tetrahedral mesh (3D síť). Tloušťky stěn výpočetního modelu jsou vyplněny prostorovými elementy čtyř stěnového charakteru. Objem tohoto výrobku je tak kompletně vyplněn. Aplikuje se převážně u výrobků s nepravidelnou tloušťkou stěny a tlustostěnných dílů. [25]



Obr. 41 Provedené sítě: 2D síť, 2,5D Síť, 3D síť [25]

Pro dosažení kvalitního výpočtu je třeba vytvořenou síť zkontrolovat a patřičně upravit. Platí, že čím je hustota sítě vyšší, tím je výpočet přesnější ale také časově náročnější. Proto se s výhodou používá lokálního zhuštění sítě v místech, kde je nutno získat přesné výsledky. Dalším krokem v přípravě analýzy je určení násobnosti formy a zhotovení nebo importování trajektorií vtokového a temperačního systému. Těmto trajektoriím se přidělí požadované vlastnosti a rozliší se jednotlivé prvky. Následně se definují vstupy polymerní taveniny a temperačního média. V dalším kroku se zkonstruuje blok formy, kde se určí její materiál. Posledním krokem před spuštěním analýzy je určení zpracovávaného materiálu a nastavení procesních parametrů vstřikování, dotlaku a teploty. [25]

#### 4.2.2 Jednotlivé typy simulací

Na základě toho, kterou část vstřikovacího procesu je třeba zkoumat, se volí jednotlivé typy simulací, případně jejich kombinace.

- Analýza umístění vtoku (Gate location). Výsledky této analýzy tvoří grafický indikátor odporu proti tečení taveniny a vhodnosti umístění vtokového ústí na povrchu výrobku. Tato informace je užitečná pro konstruktéry vstřikovacích forem. [25]
- Analýza teploty (Cool). Tento soubor obsahuje informace o průběhu teploty a tlaku v temperačním okruhu, efektivitě odvodu tepla, době potřebné pro dosažení vyhazovací teploty a další. V praxi jsou tyto poznatky využívány hlavně pro návrh a optimalizaci temperačního systému. [25]
- Analýza plnění a dotlaku (Fill + Pack). Jedná se o obsáhlou analýzu poskytující informace o času plnění, rychlosti plnění, vzniku studených spojů, vzduchových kapes a řadě dalších. Získané údaje bývají využívány při konstrukci forem, volbě vtokového systému a určování procesních podmínek. [25]
- Analýza smrštění a deformace (Warp). Do souborů výsledků této analýzy se zahrnuje např. deformace výrobku způsobená všemi vlivy, deformace vlivem smrštění polymeru, deformace vlivem chlazení atd. Na základě těchto výsledků lze zajistit požadovanou tvarovou a rozměrovou přesnost výrobku. [25]

Pro získání komplexních výsledků je ideální zvolit kombinaci výše zmíněných typů analýz. Simulace se pak bude více blížit reálným podmínkám ve vstřikovací formě.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

- Vypracovat literární studii pro dané téma.
- Provést konstrukci 3D modelu vstřikované součásti.
- Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro danou součást.
- Nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s příslušnými pohledy a kusovníkem.
- Provést analýzu procesu vstřikování.

Literární studie obsažena v teoretické části práce zahrnuje základní informace o polymerních materiálech, rozebírá problematiku technologie vstřikování, řeší konstrukci vstřikovacích forem a nastiňuje průběh analýzy vstřikovacího procesu.

V praktické části práce je úkolem vytvořit 3D model vstřikovaného výrobku vycházející z reálného dílu, který tvoří součást chladicího rozvodu automobilového motoru. V souladu s poznatky získanými v teoretické části práce je cílem navrhnout konstrukci vstřikovací formy pro výrobu tohoto dílu. Součástí konstrukčního návrhu je sestava s kusovníkem a analýza vstřikovacího procesu ověřující funkčnost navržené formy.

## 6 POUŽITÝ SOFTWARE

### 6.1 Catia V5R19

Catia (Computer Graphics Aided Three Dimensional Interactive Application) je moderní 3D software dodávaný francouzskou společností Dassault Systemes. Je k dispozici v několika variantách určených pro různé úrovně využívání CAD, CAM a CAE technologií. Verze Catia V5 disponuje širokou škálou modulů umožňujících pokrýt celý životní cyklus výrobku od samotného návrhu, přes konstrukci, simulace a optimalizace až po tvorbu výkresové dokumentace či NC programů pro obrábění. Konstrukce modelu výrobku byla provedena v prostředí Part Design, tvorbu dělicích rovin pak usnadnil modul Core and Cavity. Samotný návrh konstrukce formy byl realizován v prostředí Mold Tooling Design.

### 6.2 Online databáze normálií Meusburger

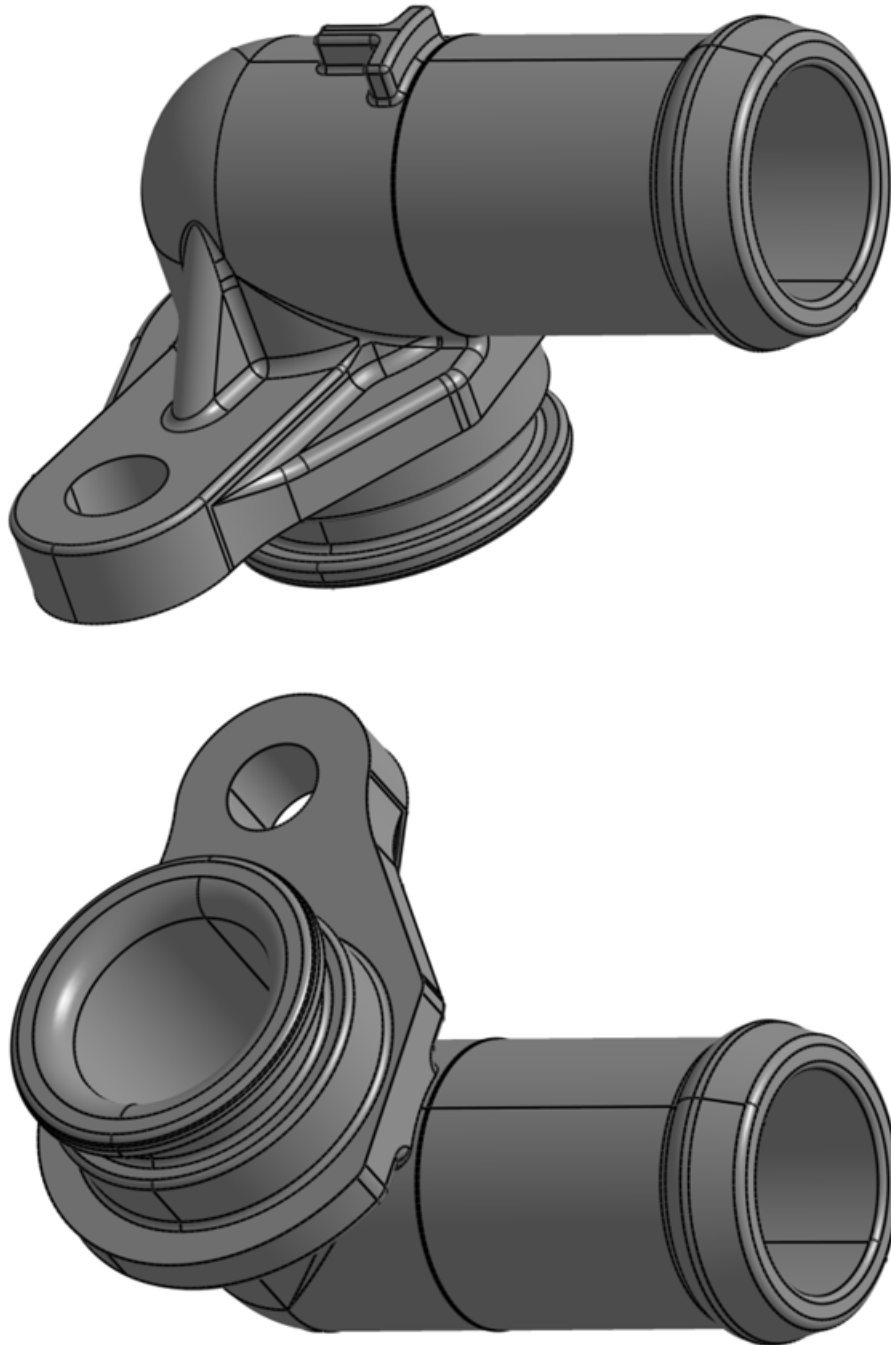
Jedná se o katalog normalizovaných 3D modelů dílů nezbytných pro kvalitní konstrukci formy. Jednotlivé díly jsou členěny do kategorií podle funkce a způsobu použití. U každé položky v databázi je k dispozici tabulka normalizovaných rozměrů a informační list, což usnadňuje výběr vhodné součásti. Ta může být následně převedena do požadovaného formátu a importována do pracovního prostředí softwaru Catia V5R19.

### 6.3 Moldflow Synergy 2016

Správnost navržení konstrukce formy je třeba ověřit pomocí tokové analýzy, pro jejíž realizaci byl zvolen software Moldflow Synergy 2016 vytvořený společností Autodesk. S využitím tohoto softwaru lze provádět požadované simulace vstřikovacího procesu nezbytné pro kvalitní návrh formy. Moldflow umožňuje tvorbu simulací plnění dutiny formy, působení dotlaku, teploty a vzniku deformací. Lze tak odhalit a následně omezit výskyt celé řady vad a zjistit, ve kterých fázích vstřikování je možné optimalizovat procesní podmínky. Součástí Moldflow je rozsáhlá databáze polymerů a vstřikovacích strojů, je tak možné se simulací přiblížit co nejvíce reálným podmínkám.

## 7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaný výrobek představuje součást chladícího rozvodu automobilového motoru. Jedná se o nepohledový technický díl, jeho funkce jsou tedy nadřazeny vzhledu. Výrobek se sestává ze dvou průchozích válcových částí a objímky sloužící pro upnutí. Základní rozměry výrobku jsou 55 x 47 x 37 mm (výška x šířka x délka). Hmotnost výrobku činí 16,8 g. Model výrobku byl vytvořen na základě reálné součástí pomocí softwaru Catia V5R19.



Obr. 42 3D model vstříkovaného výrobku

## 7.1 Materiál vstřikovaného výrobku

Výrobek bude zhotoven z černého materiálu polyamid 6 plněného z 30 % skleněnými vlákny, který je dodáván společností BASF Engineering Plastics pod obchodním názvem Ultramid B3WG6. Jedná se o semikrystalický konstrukční termoplast charakteristický svou pevností, tuhostí, rozměrovou stálostí a teplotní i chemickou odolností. Tyto vlastnosti jsou nezbytné ke správné funkčnosti součásti chladicího rozvodu automobilového rozvodu. Polyamidy obecně patří k polymerům přijímajícím vzdušnou vlhkost, z toho důvodu je třeba granulát před zpracováním vysoušet, jinak by mohlo dojít k výrobě vadných dílů. Materiálový list dodávaný výrobcem tohoto polymeru je umístěn v příloze.

Tab. 6 Vybrané materiálové parametry polymeru Ultramid B3WG6

Materiálový parametr	Hodnota	Jednotka
Doporučený rozsah teploty povrchu formy	80 - 90	°C
Doporučený rozsah teploty taveniny	270 - 290	°C
Doporučená teplota při vyhazování	184	°C
Maximální smykové napětí	0,5	MPa
Maximální rychlost smykové deformace	60000	s <sup>-1</sup>
Hustota pevné fáze	1,36	[g/cm <sup>3</sup> ]
Objemový index toku taveniny MVR	50	[cm <sup>3</sup> /10 min]
Modul pružnosti v tahu (při 23 °C)	9500	MPa
Modul pružnosti v ohybu (při 23 °C)	8600	MPa
Smrštění ve směru toku	0,3	%



## 8 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Na základě výsledků prvotní tokové analýzy a technických parametrů vstřikovací formy byl zvolen vhodný vstřikovací stroj. Hodnoty uzavírací síly, objemu výstřiku a vstřikovacího tlaku byly zvětšeny o bezpečnostní rezervu. Volba byla provedena tak, aby se daný vstřikovací stroj co nejvíce blížil požadovaným parametrům. Detailní informace o technických parametrech zvoleného vstřikovacího stroje jsou uvedeny v příloze.

Požadovaným parametrům nejvíce vyhovuje vstřikovací stroj dodávaný společností Arburg s označením **Allrounder 320 C – 500 – 170 (35)**.

Tab. 7 Parametry zvoleného vstřikovacího stroje [13]

Parametr:	Požadované hodnoty:	Hodnoty stroje:
Rozměr mezi vodícími sloupky:	296 x 376 mm	320 x 320 mm
Velikost uzavírací síly:	160,6 kN	500 kN
Celkový objem výstřiku:	27,9 cm <sup>3</sup>	54 cm <sup>3</sup>
Vstřikovací tlak:	374 bar	2500 bar
Hmotnost pohyblivé strany formy:	138 kg	max. 180 kg
Výška formy:	376 mm	200 – 550 mm
Průměr šneku:	-	25 mm
Průměr středícího kroužku:	-	125 mm

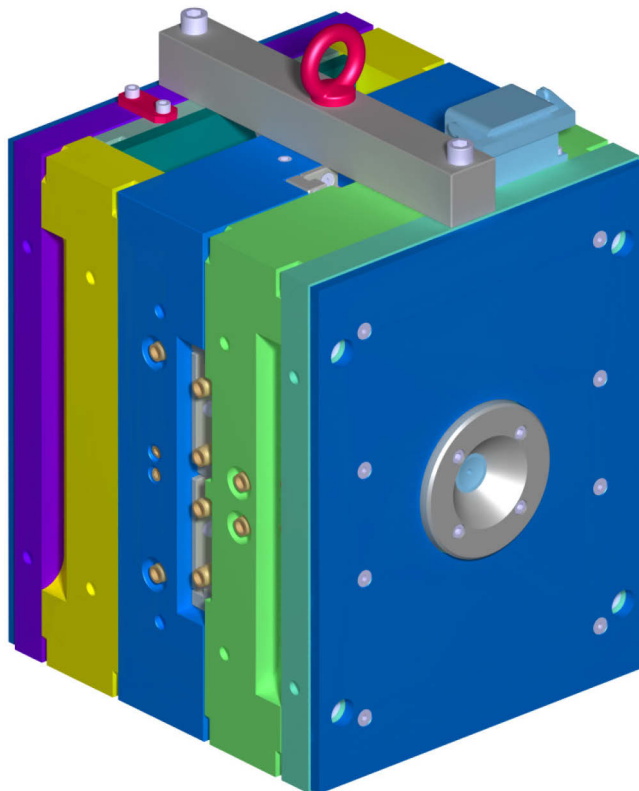


Obr. 43 Fotografie vstřikovacího stroje [13]

## 9 NÁVRH KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Při návrhu konstrukce vstřikovací formy byla zohledněna zejména tvarová složitost výrobku, od které se odvíjí počet dělicích rovin, způsob zaformování a částí tvarové dutiny. Forma je řešena jako dvojnásobná, během jednoho pracovního cyklu dojde k vyplnění dvou tvarových dutin zároveň. Vstřikovací forma byla navržena tak, aby bylo využito co nejvyšší množství normálií, což přispívá k urychlení a zefektivnění celého procesu konstrukce.

Zaformování je řešeno pomocí tvarových vložek, jader a posuvných čelistí vedených šikmými čepy. Vtokový systém je tvořen kombinací horké trysky ústící do studených rozvodných kanálků, které skrze tunelová vtoková ústí dopravují taveninu do tvarových dutin. Teplota je realizována systémem vrтанých kanálků, ucpávek a přepážek. Temperovány jsou veškeré tvarové části formy. Vyhazovací systém tvoří válcové vyhazovací čepy a přídržovače vtoku, které jsou společně s vracejícími kolíky ukotveny ve vyhazovacím paketu. Rám formy se sestává z jednotlivých funkčních celků spojených šrouby, které jsou vystředěny vodícími čepy a pouzdry. Jednotlivé desky formy jsou opatřeny otvory se závity umožňující jejich snadné přesouvání a ustavování při montáži a demontáži. Manipulace se vstřikovací formou je umožněna pomocí transportní lišty opatřené závěsným okem, vyhazovací paket je zajištěn zámkem.

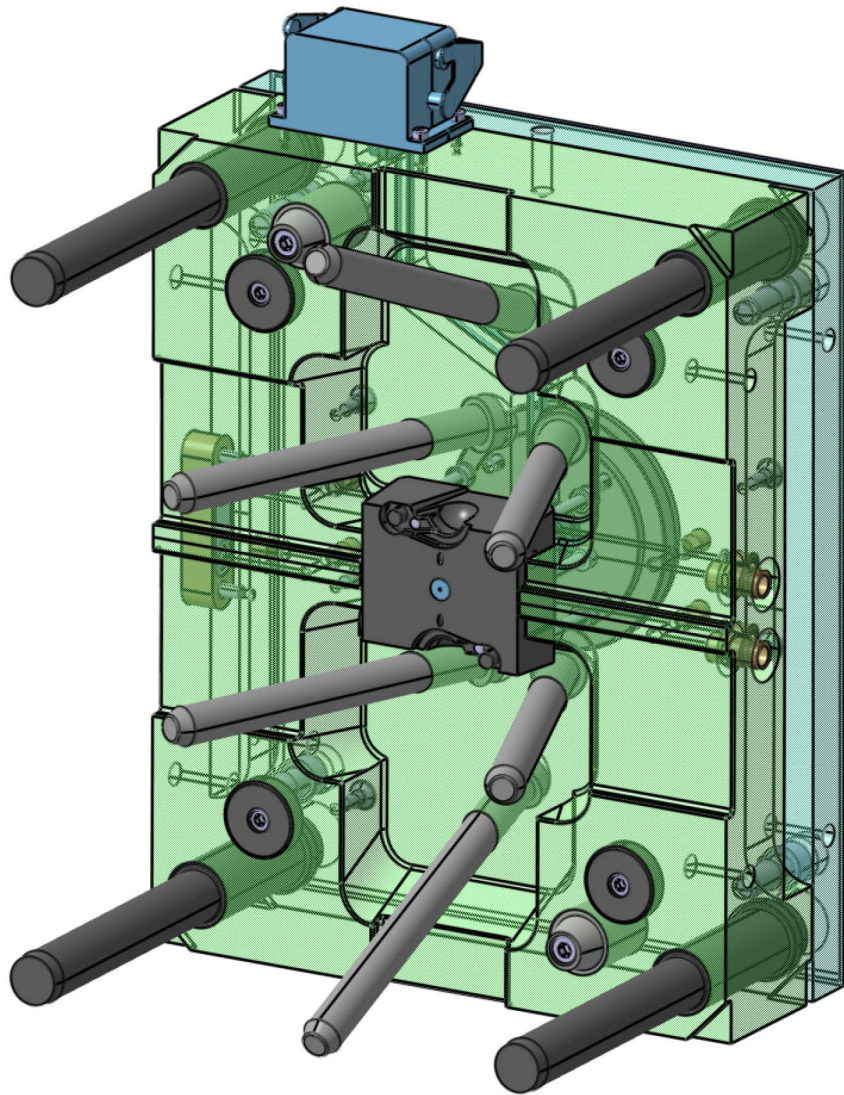


Obr. 44 Pohled na sestavu navržené vstřikovací formy

## 9.1 Základní podsestavy vstřikovací formy

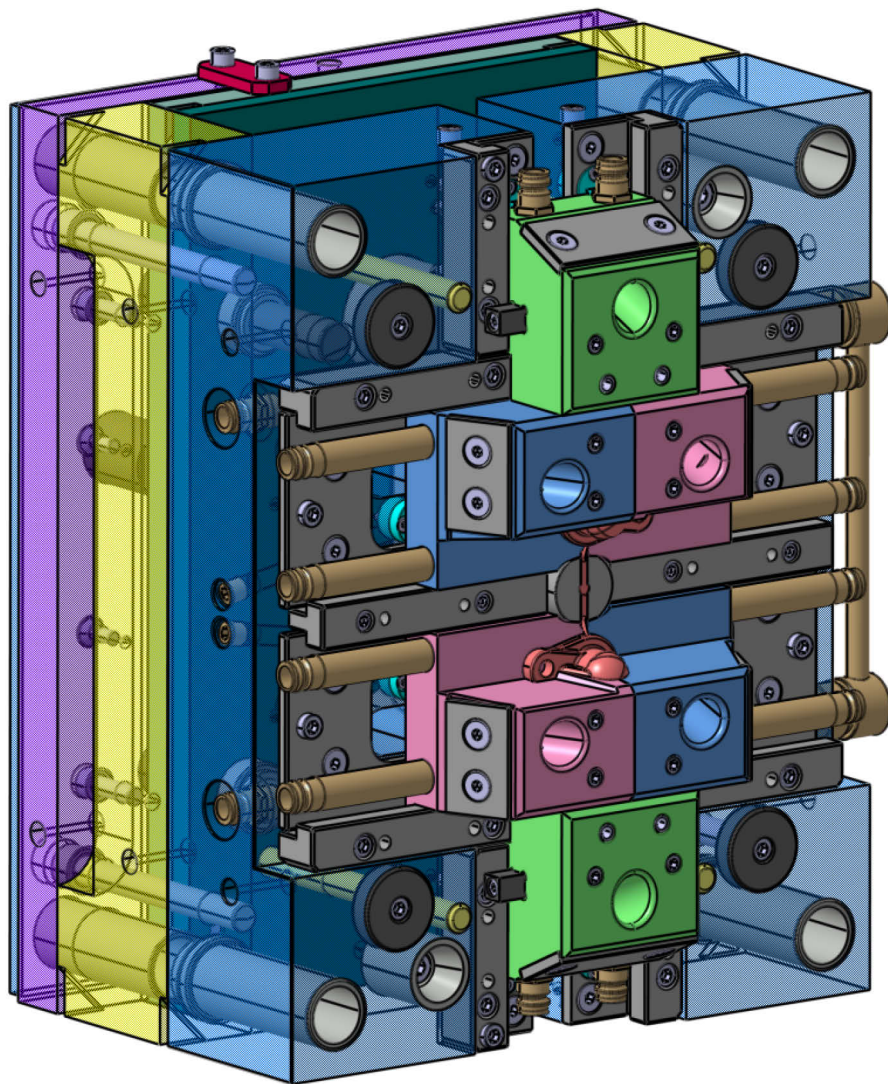
Vstřikovací formu lze rozdělit do tří funkčních podsestav. Jedná se o pevnou pravou stranu, pohyblivou levou stranu a vyhazovací systém.

Pravá neboli vstřikovací část formy je tvořena třemi vzájemně propojenými deskami a dalšími konstrukčními prvky. Izolační deska vyrobená z materiálu o nízké tepelné vodivosti odděluje formu od vstřikovací jednotky, čímž zabraňuje přestupu tepla. Upínací deska umožňuje upnutí formy k pevné části vstřikovacího stroje, vůči které je vystředěna pomocí středícího kroužku. V této desce je také uložena horká tryska včetně kabeláže. Následuje pravá kotevní deska, která slouží k uložení tvarové vložky, vodících čepů, šikmých čepů, středících jednotek a opěrek dělicí roviny. V této desce jsou také vytvořena vybrání tvořící závěrné klíny pro posuvné čelisti.



Obr. 45 Pohled na pravou stranu vstřikovací formy

Levou, pohyblivou stranu formy, označovanou také jako vyhazovací, tvoří podsestava spojených desek, tvarových částí a jiných funkčních elementů. Tvarová dutina pravé části formy je tvořena bočními posuvnými čelistmi a jádrem. Pohyb jednotlivých dílů je vymezen vodícími lištami a kluznými destičkami. Otevřená poloha posuvných čelistí je zajištěna pomocí aretačních pružinových jednotek. Tyto tvarové díly jsou uloženy v levé kotevní desce, stejně tak jako opěrky dělicí roviny, středící prvky a vodící pouzdra. Na tuto desku navazují rozpěrné desky vymezující prostor pro pohyb vyhazovacího paketu. Pro dosažení větší tuhosti formy je tento prostor vyztužen opěrnými válci. Ve vyhazovacích deskách jsou ukotveny válcové vyhazovací čepy, urychlovače vyhazovacích čepů, přidržovače vtoku a vraccí kolíky. Levá kotevní deska umožňuje upnutí formy na pohyblivou část vstřikovacího stroje. Slouží také pro uložení středících trubek, vodících jednotek vyhazovacího paketu a středícího kroužku, skrze který je vedeno táhlo vyhazovacího paketu.

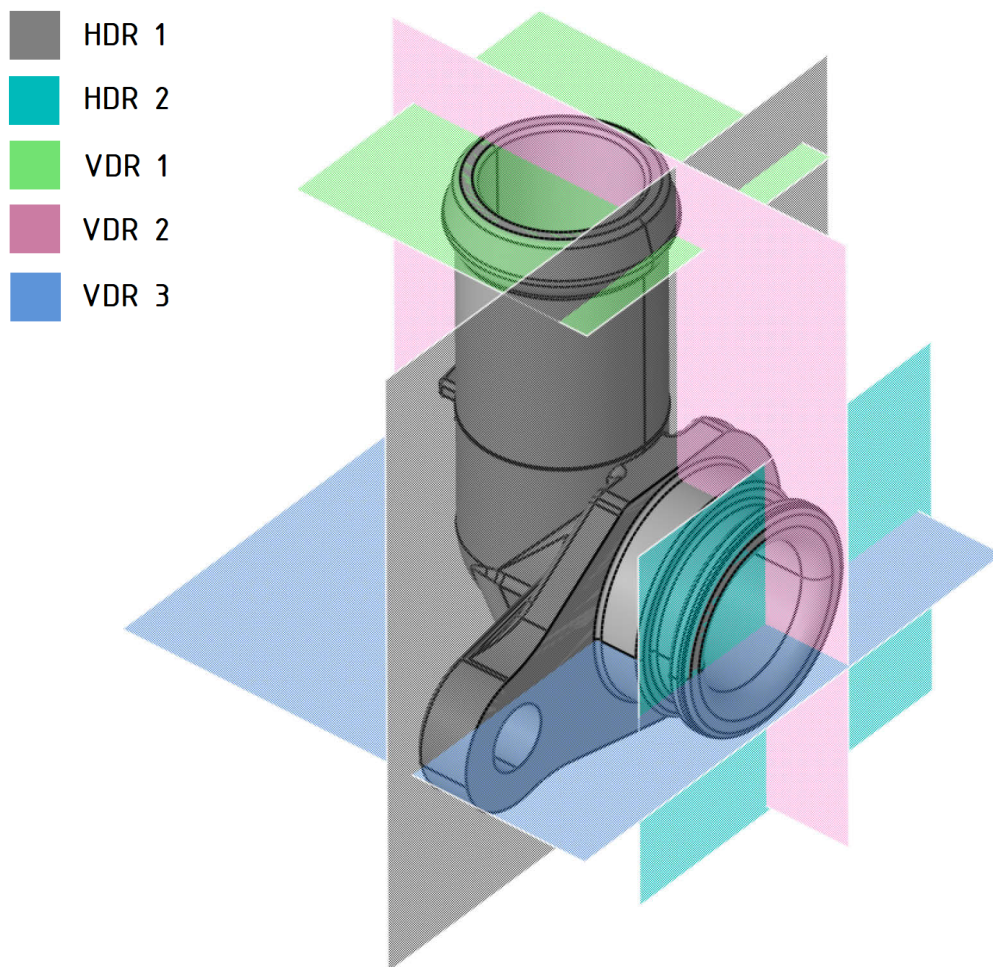


Obr. 46 Pohled na levou stranu vstřikovací formy

## 9.2 Návrh dělicích rovin

Při konstrukci vstřikovací formy je návrh dělicích rovin zásadním krokem pro nalezení optimálního způsobu zaformování výrobku. Geometrie dělicí roviny by měla být co nejjednodušší z pohledu výroby a slícování. Jejich umístění by mělo umožňovat splnění požadavků na výrobu kvalitních dílů obzvláště z pohledu tvarů a rozměrů.

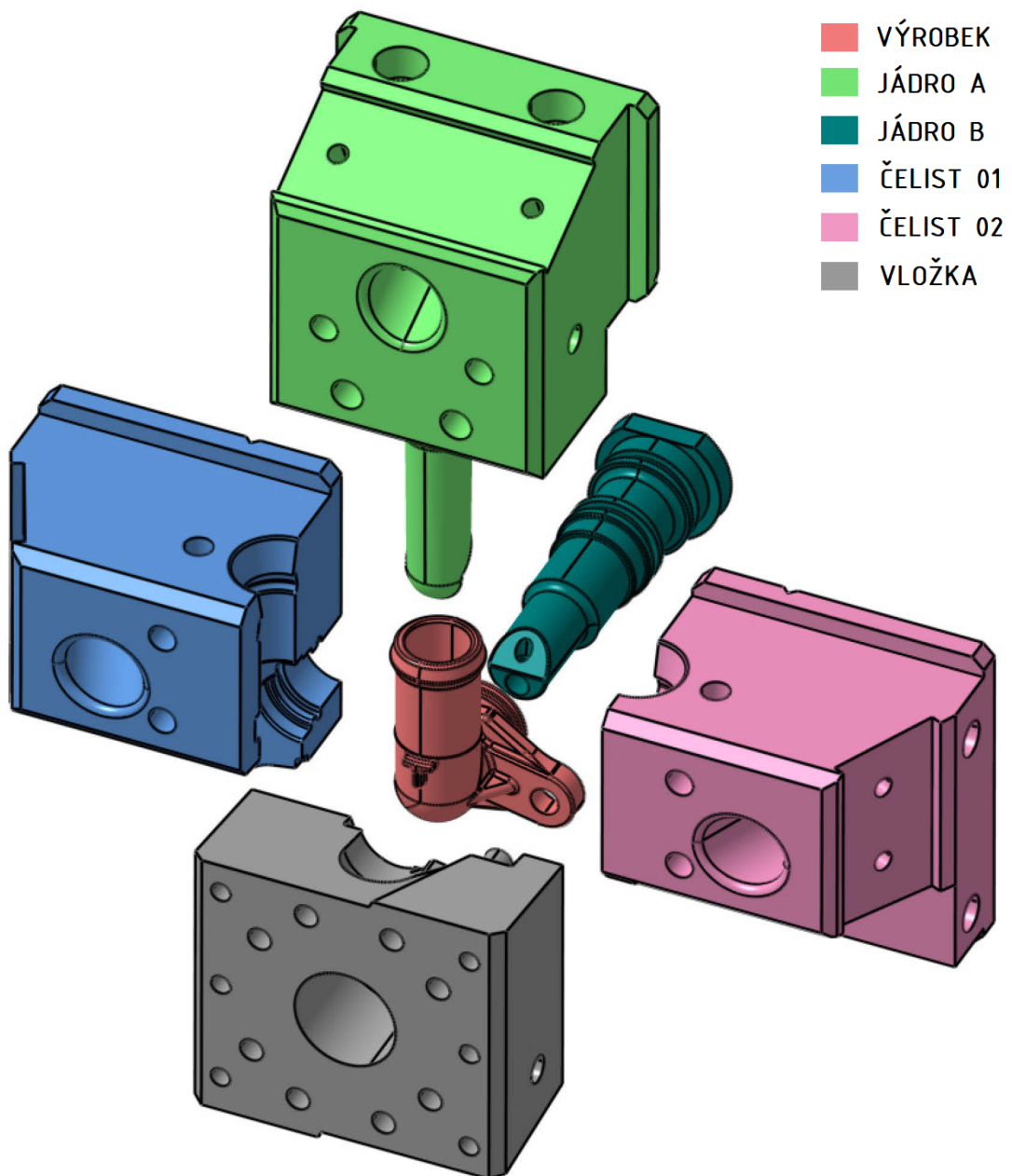
Vzhledem ke tvarové členitosti vstřikovaného výrobku bylo třeba definovat celkem pět dělicích rovin. První hlavní dělicí rovina je rovnoběžná s upínacími deskami formy a vzniká otevřením vstřikovací formy. Druhá hlavní dělicí rovina je definována v místě tvarového jádra „B“, na kterém výrobek i vtokový zbytek setrvá po otevření formy. První vedlejší dělicí rovina je dána vložením tvarového jádra „A“. Druhou vedlejší dělicí rovinu tvoří boční posuvné čelisti a třetí vedlejší dělicí rovina je určena tvarovou vložkou.



Obr. 47 Znáznornění průběhu dělicích rovin

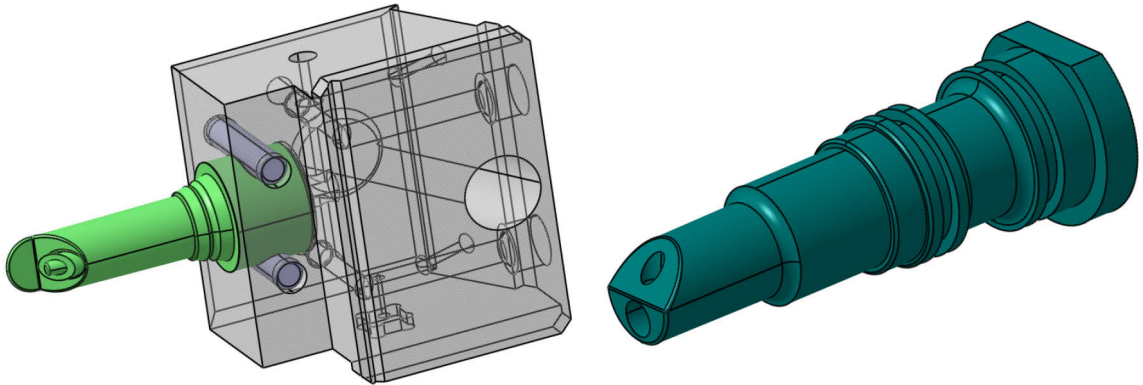
### 9.3 Konstrukce tvarových částí vstřikovací formy

Dle návrhu dělicích rovin byly zkonstruovány tvarové části vstřikovací formy, které tvoří negativ vstřikovaného výrobku. Velikost tvarové dutiny je zvětšena o průměrnou hodnotu smrštění zpracovávaného materiálu. Vnitřní plochy výrobku jsou vymezeny dvěma tvarovými jádry, které jsou v uzavřené pozici v kontaktu, což umožňuje odformování průchozí dutiny. Vnější plochy výrobku jsou tvarovány dvojicí posuvných čelistí a tvarovou vložkou ukotvenou k nepohyblivé straně formy. Veškeré části, které přichází do styku s polymerní taveninou, je třeba vyrobit z nástrojové oceli a adekvátně tepelně zpracovat.



Obr. 48 Zobrazení jednotlivých tvarových částí

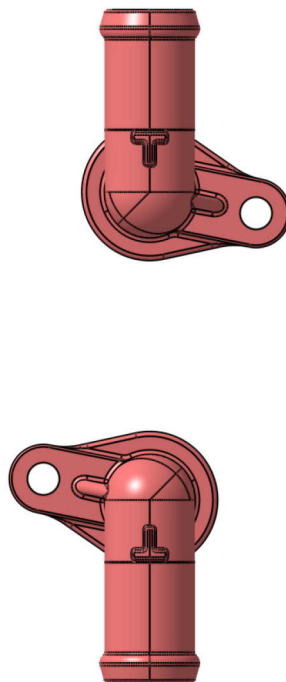
Tvarové jádro „A“ je pomocí čepů ukotveno k posuvné čelisti, požadovaného zdvihu je tak dosaženo s využitím šikmého čepu bez nutnosti tahače jader. Tento způsob ukotvení také umožňuje snadnou výměnu jádra. Tvarové jádro „B“ je připevněno mezi deskami pohyblivé části formy, je tedy ovládáno současně s otevíráním formy v hlavní dělicí rovině.



Obr. 49 Detail tvarového jádra „A“ a tvarového jádra „B“

#### 9.4 Volba násobnosti vstřikovací formy

Při volbě násobnosti vstřikovací formy je nutno brát v potaz rozměry a geometrickou složitost tvarové dutiny, požadavky na kvalitu výrobku, ekonomičnost výroby a kapacitu vstřikovacího stroje. Po zvážení těchto aspektů byla vstřikovací forma jako dvojnásobná. Je tak umožněn pohyb posuvných čelistí a vedení temperačních okruhů.

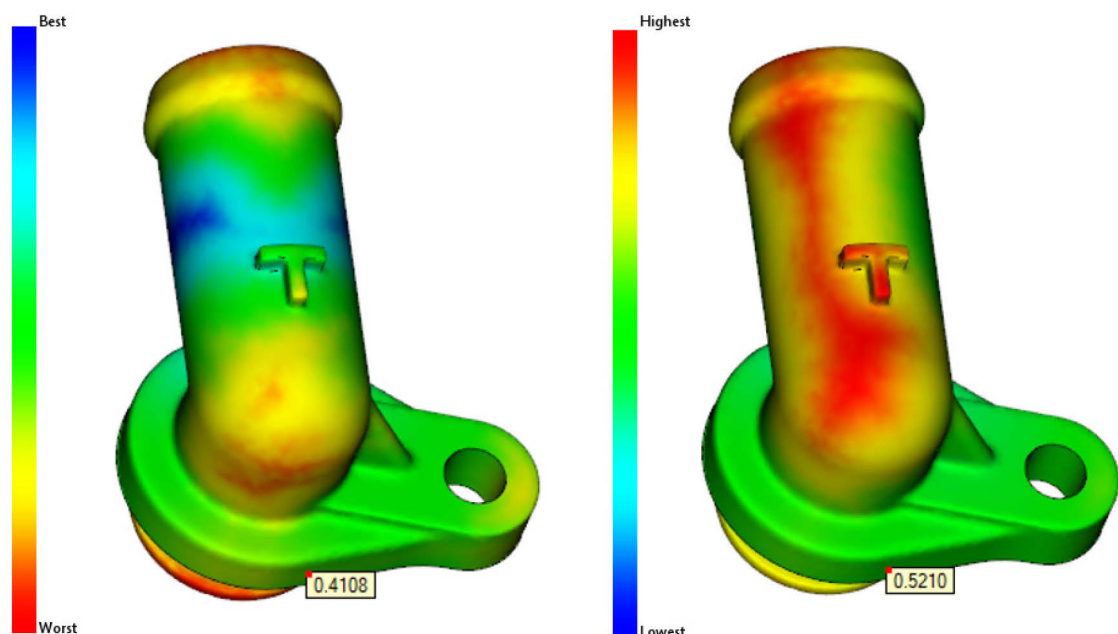


Obr. 50 Rozložení výrobků ve formě

## 9.5 Návrh vtokového systému

Vtokový systém dopravuje polymerní taveninu z trysky vstřikovací jednotky do tvarové dutiny formy. Pro navrženou vstřikovací formu byl zvolen kombinovaný vtokový systém tvořen horkou tryskou ústící do studených rozvodných kanálek. Výhodou takového uspořádání je udržení rovnoměrnějšího teplotního profilu taveniny mezi tryskou vstřikovací jednotky a tvarovou dutinou formy. Relativně krátký studený kanálek v tomto případě nebude mít zásadní vliv na teplotu taveniny. Horká tryska v porovnání s plným kuželovým vtokem šetří spotřebu polymerního materiálu, protože zmenšuje velikost vtokového zbytku. Také lze ušetřit pořizovací i provozní náklady, které by byly vyšší při použití horkého rozvodného bloku s tryskami ústícími přímo do tvarové dutiny.

Pro získání informace o vhodnosti umístění vtoku byla v softwaru Moldflow provedena analýza, jejímž výstupem je znázornění vhodnosti umístění vtoku a indikátoru odporu proti tečení pomocí barevné škály (modrá – nejlepší, červená – nejhorší). Přestože výsledky analýzy vyhodnocují vhodnost umístění vtoku hodnotou 0,41 na škále 0 – 1, jedná se o optimální umístění vzhledem ke složitosti zaformování výrobku. Indikátor odporu proti tečení v oblasti umístění vtoku nabývá hodnotu 0,52. Takové umístění vtoku dovoluje tvorbu rozvodných kanálek v hlavní dělicí rovině.



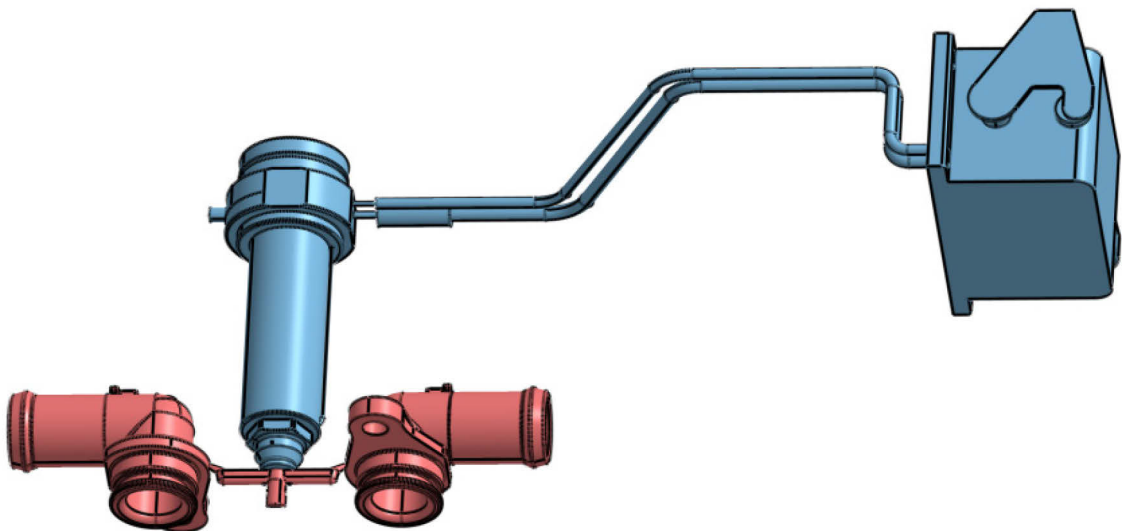
Obr. 51 Výsledek analýzy vhodnosti umístění vtoku a indikátoru odporu proti tečení

V rámci tokových analýz byla provedena i simulace horkého vtokového systému a studeného vtokového systému s plným kuželovým vtokem. Výsledky těchto simulací jsou diskutovány a porovnány v další kapitole.



Horká tryska s označením Techni Shot Z3400/32x100 byla vybrána z katalogu společnosti Hasco. Tato tryska je schopna dodat 80 g polymerní taveniny na jedno vstříknutí, což v dostatečném rozsahu umožňuje vyplnění rozvodných kanálků a tvarových dutin. Varianta trysky byla zvolena uzavíratelná s hrotem, neboť vstříkovaný polymer je náchylný k tažení vlákna.

Tryska je ukotvena v pevné části formy a zasahuje skrze všechny ustavovací desky, se kterými je v kontaktu pouze na dvou plochách. Vzniká tak dostatečný prostor pro izolaci vůči vedení tepla mezi povrchem trysky a vstříkovací formou. Kontaktní plocha se nachází v oblasti čela trysky, které je fixováno ve tvarové vložce pomocí přesně vrtaného otvoru. Další kontaktní plocha vzniká v opěrné desce pomocí osazení zamezujícímu pohyb v radiálním i axiálním směru. Kolík realizuje fixaci proti pootočení trysky. Tryska ústí do studených rozvodných kanálků, jejichž součástí je přidržovač vtoku. Napájení trysky elektrickou energií je uskutečněno kabeláží vedenou skrze upínací desku přímo do zásuvky umístěné na horní straně formy.

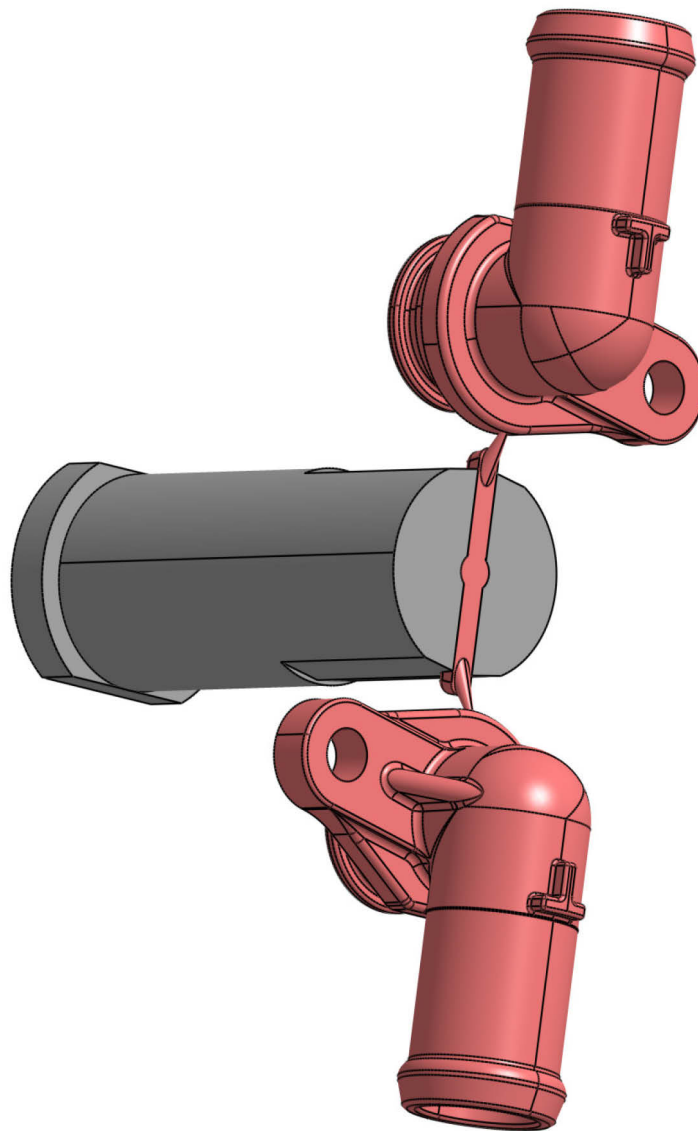


*Obr. 52 Znárodnění uspořádní vtokového systému*

Rozvodný kanálek se nachází na levé, pohyblivé straně formy a jeho geometrie je vytvořena ve vloženém jádru, skrze které je veden i přidržovač vtoku. Průřez kanálku byl navržen jako parabolický vzhledem ke snadné vyrobiteľnosti a nízké tlakové ztrátě. Délka rozvodného kanálku od trysky ke tvarové dutině činí 15 mm, jeho šířka a hloubka je 3,4 mm. Tyto rozměry byly určeny na základě doporučených hodnot s ohledem na zaformování výrobků.

Vtokové ústí bylo navrženo jako tunelové, což umožňuje oddělení vtokového zbytku od vstříkovaného výrobku během otevírání formy v hlavní dělicí rovině. Geometrie vtokového

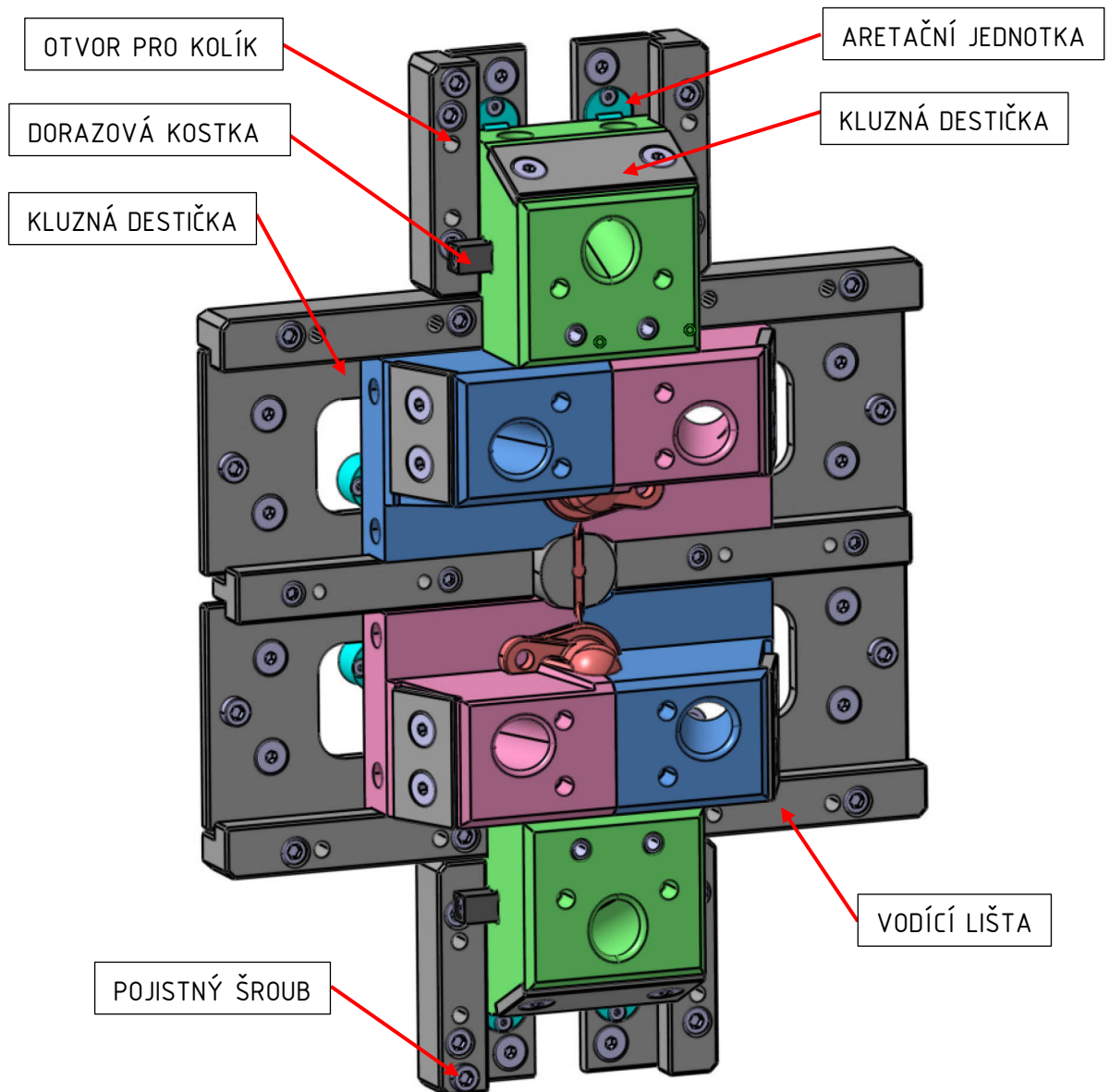
ústí byla volena dle způsobu zaformování a objemu výstřiku. Vtokové ústí je umístěno do spodní části objímky, kde stopa po vtoku nebude příčinou funkční vady. Toto umístění umožňuje jednoduché vedení rozvodných kanálků s co nejmenší vzdáleností od horké trysky. Výsledky analýzy znázorňující vhodnost tohoto umístění vtokového ústí jsou zobrazeny na obrázku 53.



*Obr. 53 Znázornění rozvodného kanálku a vtokového ústí*

## 9.6 Konstrukce tvarové dutiny vstřikovací formy

Jakmile je proveden návrh dělicích rovin, zaformování, tvarových dílů a vtokového systému je možné realizovat konstrukci tvarové dutiny formy jako funkčního celku. Je třeba zkonstruovat posuvný mechanismus bočních čelistí, jejich zajištění a vedení tak, aby plnily požadovanou funkci.

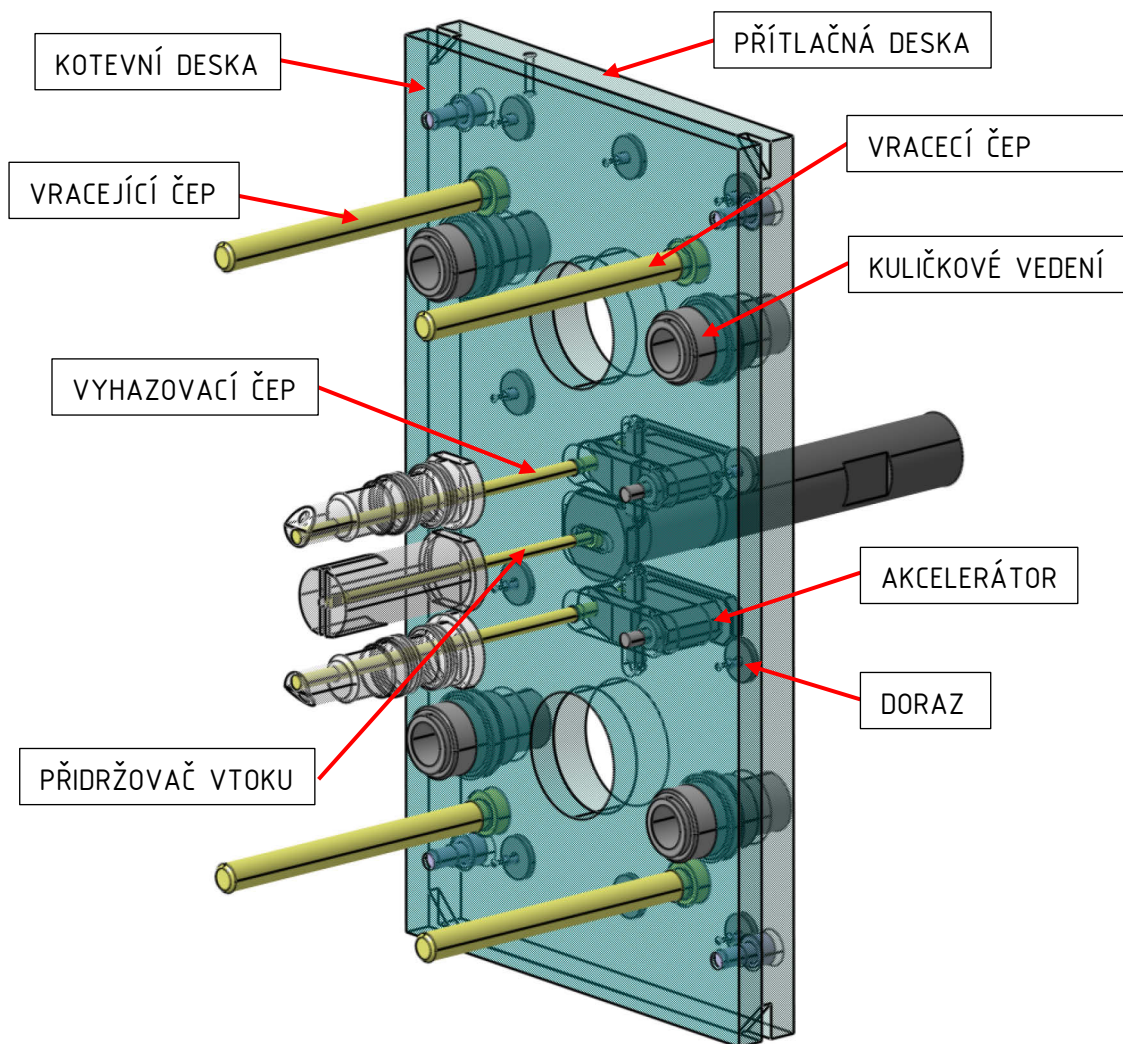


Obr. 54 Konstrukční řešení tvarové dutiny

Posuvné čelisti jsou vedeny pomocí vodících lišt, mezi kterými jsou usazeny kluzné destičky. Plocha čelistí, která dosedá na uzavírací klín v protější části formy je opatřena menší kluznou destičkou. Otevřená poloha posuvných čelistí je zajištěna aretačními jednotkami, jejichž pracovní pružná část zapadá do drážek na čelistech. Pokud by aretační jednotky seřhlaly, případně dislokaci čelistí by zabránili pojistné šrouby a dorazové kostky.

## 9.7 Návrh vyhadzovacího systému

Funkcí vyhadzovacího systému je bezpečné vyhození výrobku z tvarové dutiny vstřikovací formy. Po otevření hlavní dělicí roviny a odsunutí veškerých tvarových čelistí a jader, výrobek zůstane nasazen na tvarovém jádru „B“ ukotveném na pohyblivé části formy. Přidržovač vtoku zajistí, aby zde setrval i vtokový zbytek. K zaručenému vyhození výrobku z tvarového jádra je využito válcového vyhadzovacího čepu o průměru 6 mm, jehož zdvih byl zvětšen pomocí akcelérátoru (viz obr x). Vtokový zbytek je vyhozen tvarovým válcovým čepem o průměru 5 mm tvořícím přidržovač vtoku. Součástí vyhadzovacího systému jsou i vracející čepy opírající se o pravou stranu formy. Tyto čepy chrání tvarové části formy před havárií tím, že při zavírání formy posunou vyhadzovací paket do výchozí polohy. Veškeré čepy stejně tak akcelérátory jsou ukotveny ve vyhadzovacích deskách, které jsou vystředěny kuličkovým vedením a spojeny šrouby. Dorazové podložky tlumí nárazy vyhadzovacího paketu o upínací desku. Pohyb vyhadzovacího paketu je realizován táhlem.



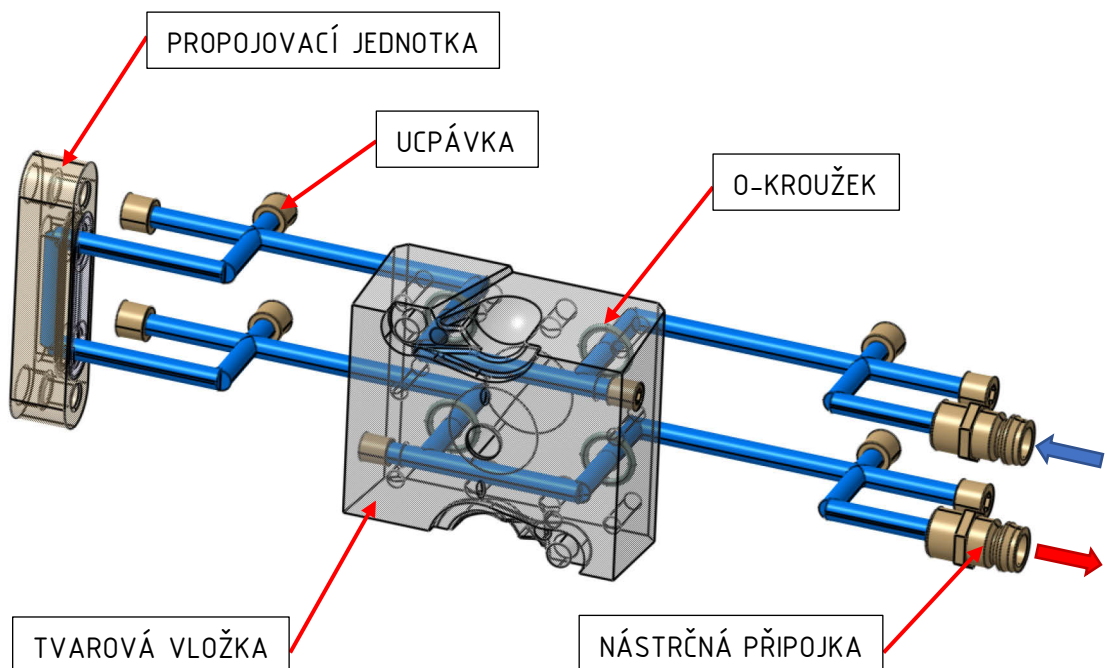
Obr. 55 Znárodnění uspořádnání vyhadzovacího systému

## 9.8 Konstrukce temperačního systému

Efektivní konstrukce temperačního systému je nezbytná pro dosažení co nejrovnoměrnějšího teplotního profilu na stěnách tvarové dutiny vstříkovací formy.

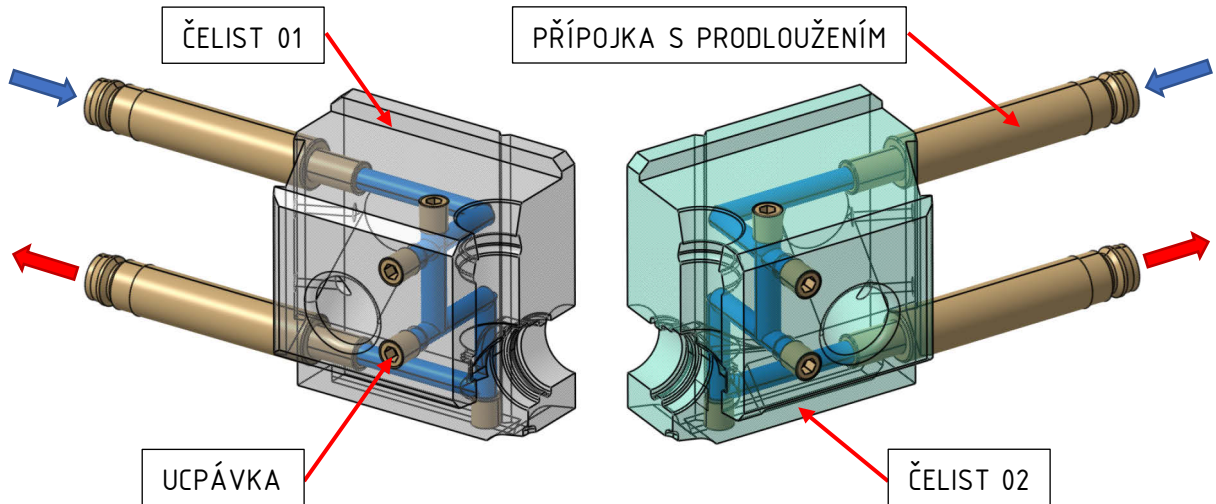
Kvůli nutnosti temperovat tvarové posuvné čelisti a jádra bylo třeba navrhnout celkem osm temperačních okruhů, temperovány jsou tak veškeré díly tvořící tvarovou dutinu. Temperace tvarové vložky a tvarových posuvných čelistí je realizována vrtanými kanálky o průměru 6 mm. Požadovaná dráha toku temperačního média je vytyčena ucpávkami. U tvarového jádra „A“ je temperační médium vedeno okolo přepážky, u tvarového jádra „B“ nebylo možné přepážku instalovat, protože je skrze něj veden vyhazovací čep. Temperační médium je tedy vedeno okolo povrchu jádra „B“ skrze kanálek obdélníkového průřezu vytyčený samotným jádrem a vybráním v levé kotevní desce. Těsnost tohoto kanálku i dalších přechodů mezi jednotlivými díly formy zaručují o-kroužky. Temperační médium je přiváděno a odváděno skrze nástrčné přípojky.

Tvarová vložka pravé části formy je temperována systémem vrtaných kanálků, kde je požadovaná dráha toku temperačního média řízena ucpávkami. Okruh je uzavřen normalizovanou propojovací jednotkou od výrobce Meusburger, neboť vrtání propojovacího kanálku by v tomto místě bylo obtížné. Přívod a odvod temperačního média je uskutečňován přes nástrčné přípojky.



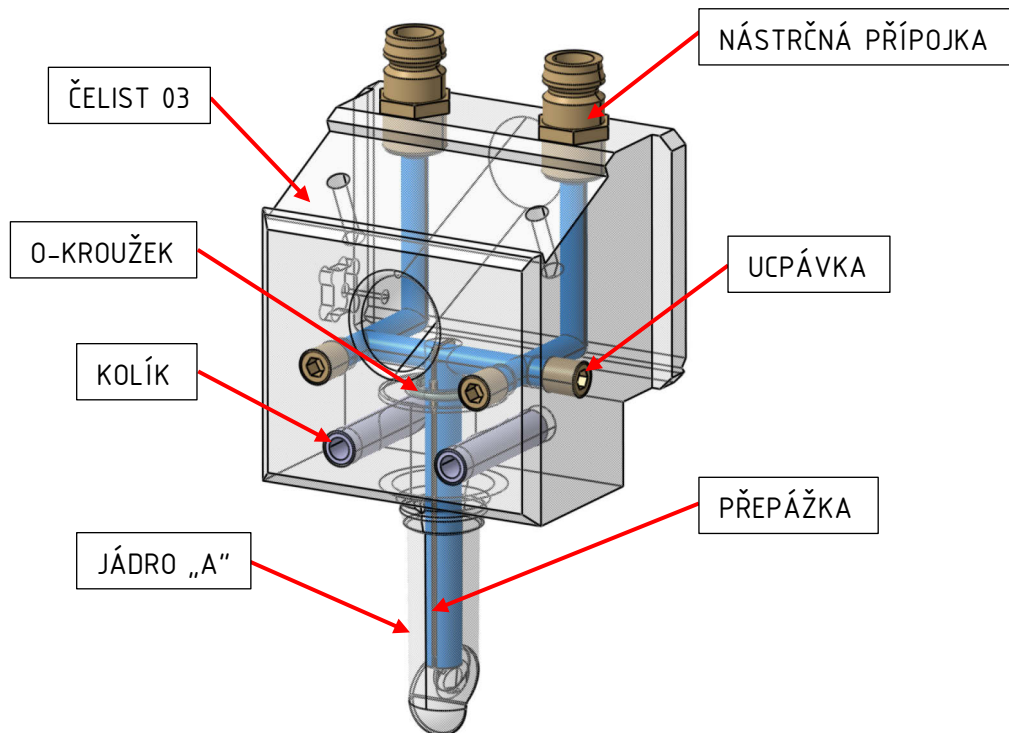
Obr. 56 Znáznornění temperačního okruhu tvarové vložky

Tvarové posuvné čelisti jsou temperovány obdobným způsobem jako tvarová vložka. Aby bylo možné připojení vstupů a výstupů temperačního média bylo využito přípojky s prodloužením a vnitřním šestihranem.



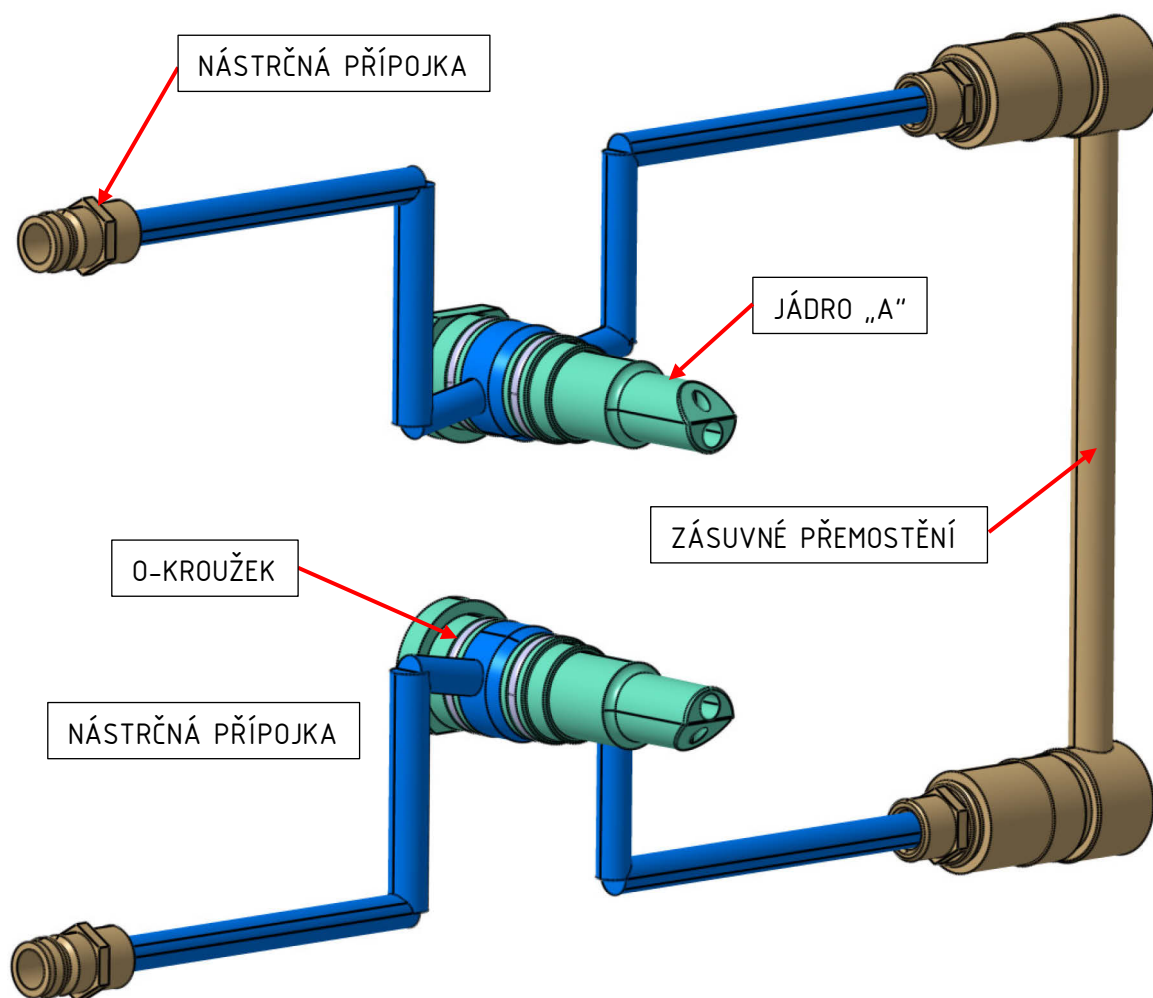
Obr. 57 Znáznornění temperačního okruhu tvarových posuvných čelistí

Tvarové jádro „A“ je ukotveno na posuvné čelisti umožňující jeho ovládání pomocí šikmého čepu. Temperaci tohoto jádra zajišťuje přepážka, kterou obtéká temperační médium, přivedeno vrtanými kanálky.



Obr. 58 Znáznornění temperačního okruhu tvarového jádra „A“

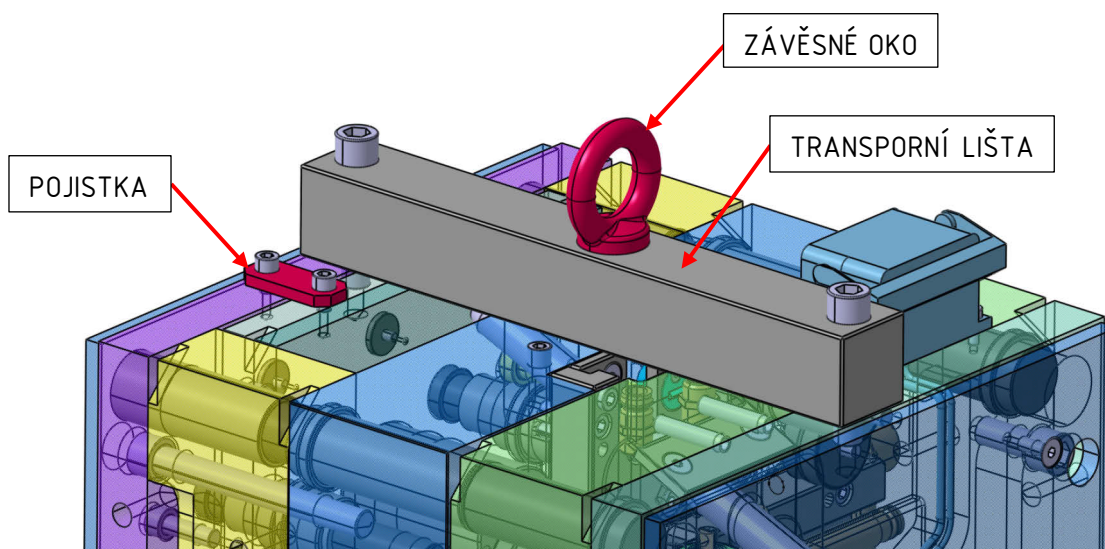
Tvarové jádro „B“ je uloženo v levé, pohyblivé části formy a jeho pohyb je realizován současně s otevíráním hlavní dělicí roviny. Temperační médium je u tvarového jádra „B“ vedeno okolo jeho povrchu skrze kanálek obdélníkového průřezu vytyčený samotným jádrem a vybráním v levé kotevní desce. Těsnost mezi jádrem a deskou zaručují o-kroužky. Přívod a odvod temperačního média je řešen obdobně jako u tvarové vložky. Okruh mezi oběma jádry je uzavřen díky normalizovanému zásuvnému přemostění od společnosti Meusburger. Takový způsob přemostění byl zvolen namísto obtížně vyrobitelného kanálku, pro jehož zhotovení by bylo třeba vytvořit příliš hluboký otvor.



Obr. 59 Upořádání temperačního okruhu tvarových jader „B“

## 9.9 Transportní prvky a parametry vstříkovací formy

Manipulace se sestavenou formou je umožněna pomocí jednoduché transportní lišty opatřené závěsným okem, která je přišroubována k upínacím deskám formy. Nežádoucímú pohybu vyhazovacího paketu při manipulaci s formou je zamezeno pojistkou přišroubovanou k levé upínací desce a přítlačné vyhazovací desce.



Obr. 60 Transportní prvky vstříkovací formy

Mezi zásadní parametry vstříkovací formy patří šířka formy a potřebná uzavírací síla. Na základě těchto hodnot se definuje velikost vstříkovacího stroje. Z ekonomického hlediska je snahou docílit co nejmenší šířky formy, což bylo realizováno vyfrézováním upínacích drážek do upínacích desek, které by jinak přesahovaly a přebytečně zvětšovaly rám formy.

Tab. 8 Základní parametry vstříkovací formy

Parametr	Hodnota
Šířka formy	296 mm
Výška formy	376 mm
Délka formy	311 mm
Hmotnost formy	230 kg
Požadovaná velikost uzavírací síly:	160,6 kN
Celkový objem výstřiku:	27,9 cm <sup>3</sup>
Průměr středících kroužků	125 mm
Provedení závitu vyhazovacího táhla	M16 x 1,5
Dosedací rádius horké trysky	R40

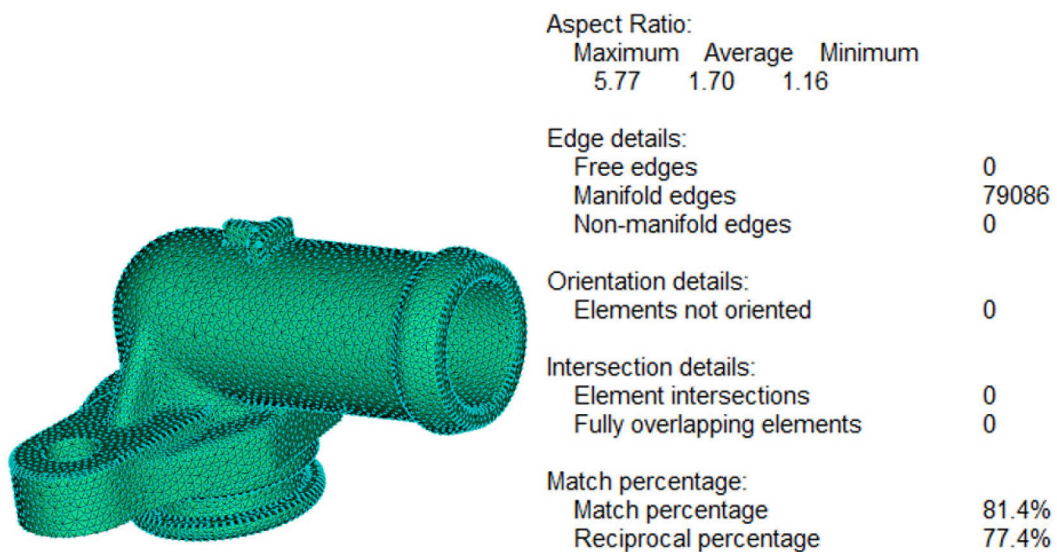


## 10 ANALÝZA VSTŘIKOVÁNÍ

Součástí návrhu vstřikovací formy je i ověření její funkčnosti pomocí tokových analýz realizovaných v prostředí softwaru Autodesk Moldflow Synergy 2016. Kromě analýzy simulující podmínky navržené vstřikovací formy byly provedeny i další varianty analýz s různým provedením vtokového systému.

### 10.1 Tvorba sítě

Pro tvorbu analýzy je třeba importovat CAD model vstřikovaného výrobku do prostředí softwaru Moldflow. Dále je nutné vytvořit na tomto modelu síť, pomocí které budou prováděny jednotlivé výpočty v rámci analýzy. Vlastností sítě se odvíjí zejména od tloušťky stěny, tvaru a rozměru výrobku. Na základě těchto charakteristik byla zvolena 2,5D síť (Dual Domain mesh) tvořena trojúhelníkovými elementy se třemi uzly. Tato povrchová síť umožňuje simulaci toku taveniny na obou stranách dutiny formy.



Obr. 61 Znárodnění sítě vytvořené na modelu výrobku a její statistiky

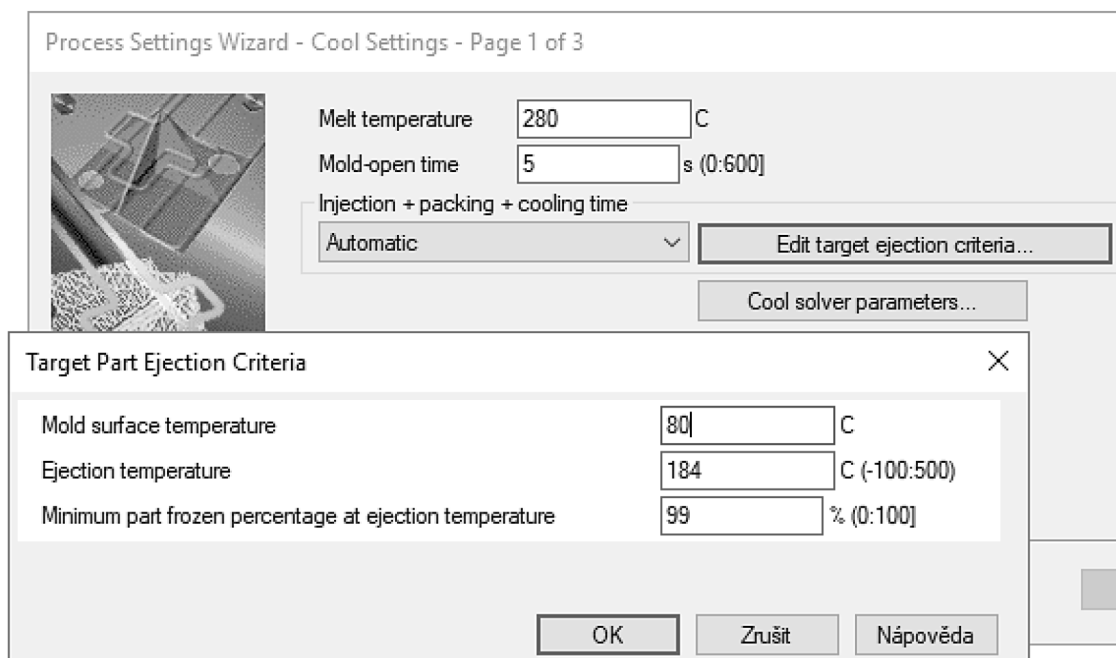
Pro dosažení kvalitního výsledku analýzy je třeba vytvořenou síť zkontrolovat a patřičně upravit. Platí, že čím je hustota sítě vyšší, tím je výpočet přesnější ale také časově náročnější. Pomocí nástroje umožňujícího zobrazit statistiky trojúhelníkových elementů sítě (Mesh statistics) byla vyhodnocena kvalita vytvořené sítě. Lze tak odhalit a odstranit případné nedostatky, které by mohly znemožňovat průběh analýzy nebo negativně ovlivňovat její přesnost. Poměr stran trojúhelníku (Aspect ratio) by neměl překročit hodnotu 15. Hodnoty u procenta shody (Match percentage) by měly být větší než 50%, pro přesnější výpočet přibližně 80%.

Počet volných hran (Free edges), nepropojených hran (Non-manifold edges), neorientovaných elementů (Elements not oriented), protínajících se elementů (Element intersections) a překrývajících se elementů (Fully overlapping elements) se musí rovnat nule, čehož bylo dosaženo. Vytvořená síť je poměrně kvalitní, mohou se tedy předpokládat přesné výsledky analýzy.

## 10.2 Příprava analýzy a nastavení procesních podmínek

Jakmile je vytvořena kvalitní síť, je třeba definovat rozvržení tvarových dutin a zhotovit trajektorie vtokového a temperačního systému na základě zkonstruované formy. Jednotlivé trajektorie byly zhotoveny v prostředí Moldflow, kde byly definovány jejich požadované rozměry a vlastnosti. V dalším kroku byla definována místa vstupů polymerní taveniny a temperačního média, následně proběhla tvorba bloku vstřikovací formy. Poslední krok zahrnuje nastavení procesních parametrů vstřikování.

Procesní parametry vstřikování se odvíjí zejména od vlastností zvoleného polymerního materiálu. Moldflow disponuje širokou databází materiálů včetně informací o doporučených procesních podmínkách, které lze aplikovat při tvorbě analýzy.

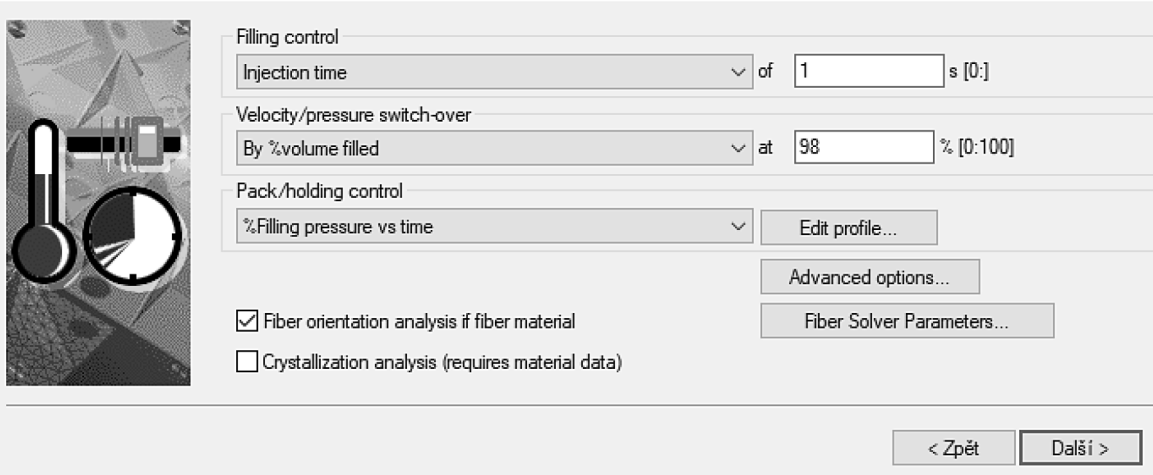


Obr. 62 Nastavení procesních parametrů (krok č. 1)

Veškeré hodnoty nastavení v tomto kroku jsou definovány na základě doporučených podmínek pro daný materiál. Teplota taveniny je nastavena na 280 °C, doba otevření formy na 5 s.

Povrch formy je temperován na teplotu 80°C, teplota pro bezpečné vyhození výrobku činí 184 °C. Minimální počet zatuhnutých vrstev v objemu výrobku při dosažení vyhazovací teploty je nastaven na 99%.

Process Settings Wizard - Fill+Pack Settings - Page 2 of 3



Filling control

Injection time of 1 s [0:]

Velocity/pressure switch-over

By %volume filled at 98 % [0:100]

Pack/holding control

%Filling pressure vs time Edit profile...

Advanced options...

Fiber Solver Parameters...

Fiber orientation analysis if fiber material

Crystallization analysis (requires material data)

< Zpět Další >

Obr. 63 Nastavení procesních parametrů (krok č. 2.1)

V rámci dalšího koku byla nastavena kontrola plnění dle vstřikovacího času 1 s. Bod přepnutí z plnění na dotlak je definován při 98% zaplnění tvarové dutiny polymerní taveninou. Vybrána je také volba pro analýzu orientace vláken, protože vstřikovaný polymer je plněný.

Pack/Holding Control Profile Settings

%Filling pressure vs time

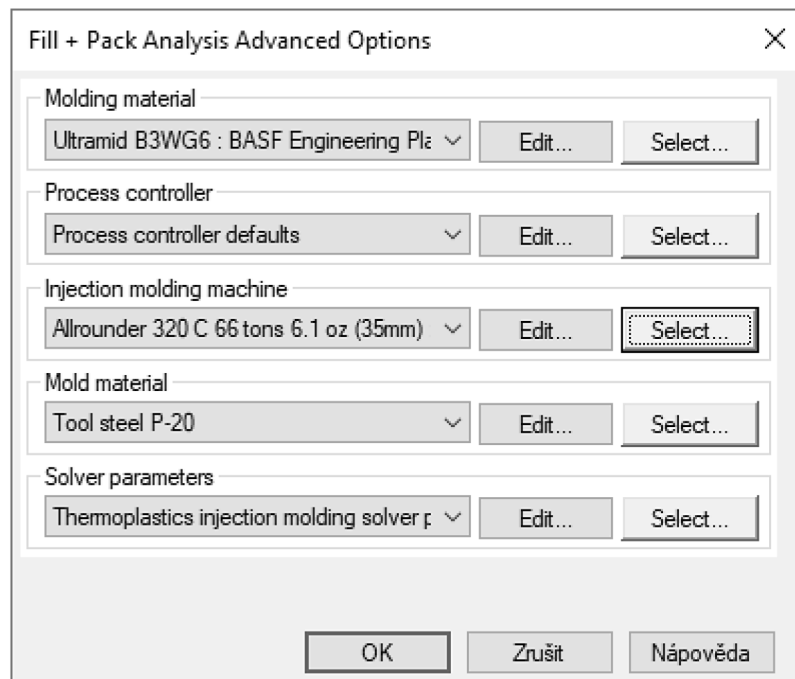
	Duration s [0:300]	%Filling pressure % [0:200]
1	0	90
2	8	90
3		
4		

Import Profile... Plot Profile...

OK Zrušit Nápověda

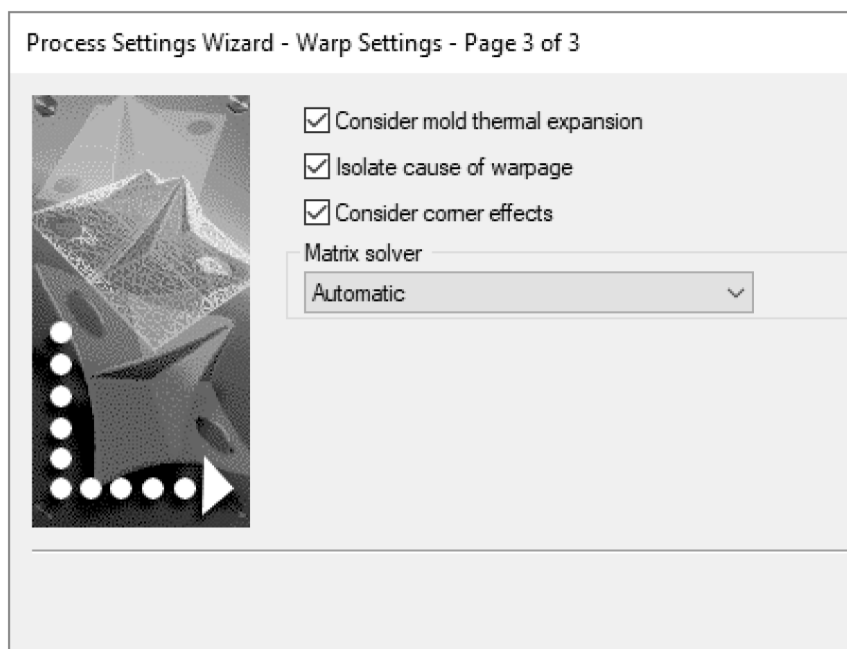
Obr. 64 Nastavení procesních parametrů (krok č. 2.2)

Průběh dotlaku je nastaven jako konstantní, jeho velikost odpovídá 90% vstřikovacího tlaku a doba jeho působení činí 8 s.



Obr. 65 Nastavení procesních parametrů (krok č. 2.3)

V tomto kroku je zvolen vstříkovaný materiál, vstříkovací stroj a materiál vstříkovací formy. Ostatní parametry zůstávají nastaveny jako defaultní.

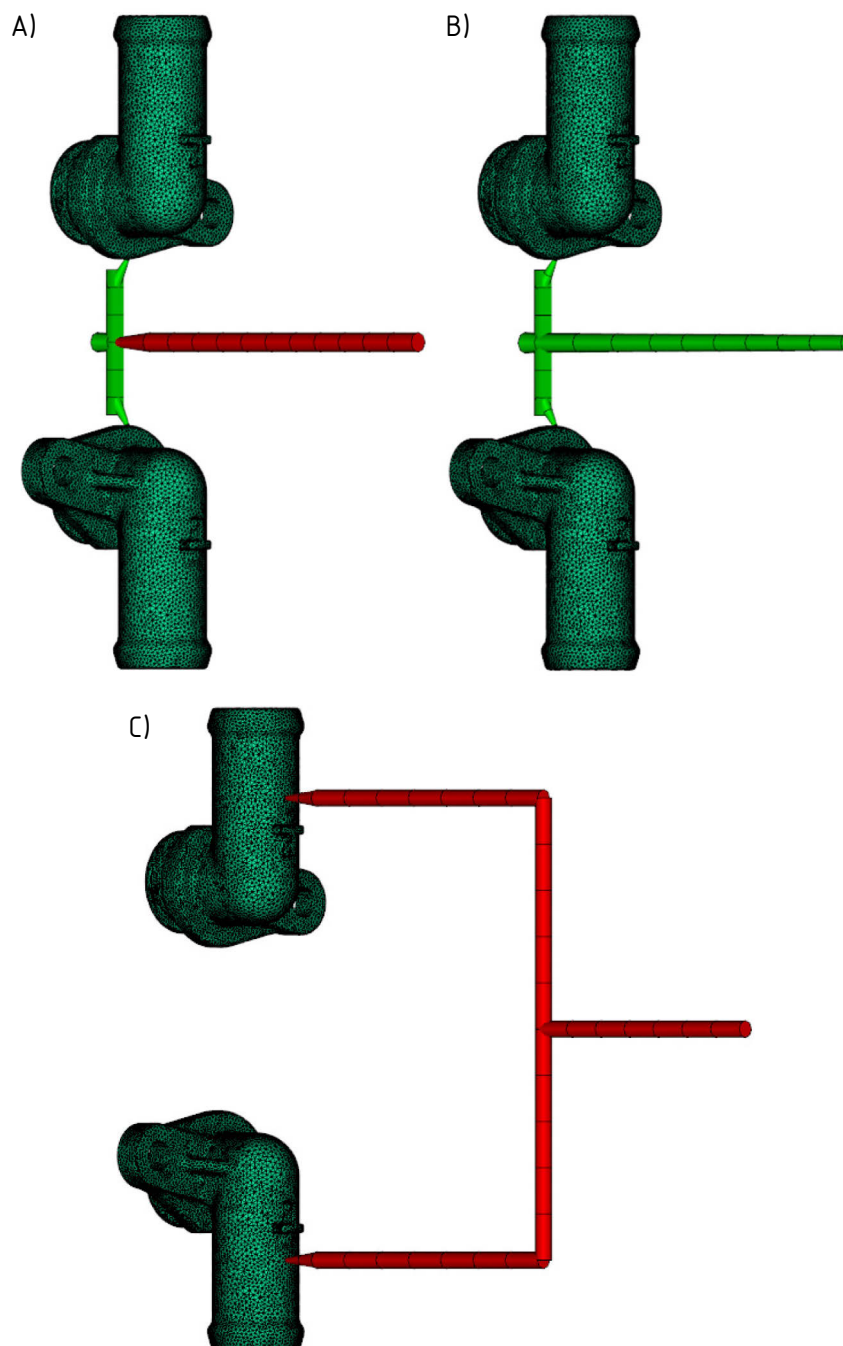


Obr. 66 Nastavení procesních parametrů (krok č. 3)

Poslední krok spočívá ve zvolení zohlednění teplotní roztažnosti formy při simulaci, možnosti oddělení vlivů deformace a zohlednění rohových vlivů. Tímto jsou veškeré procesní parametry nastaveny a analýza je připravena ke spuštění.

### 10.3 Výsledky analýzy plnění a dotlaku

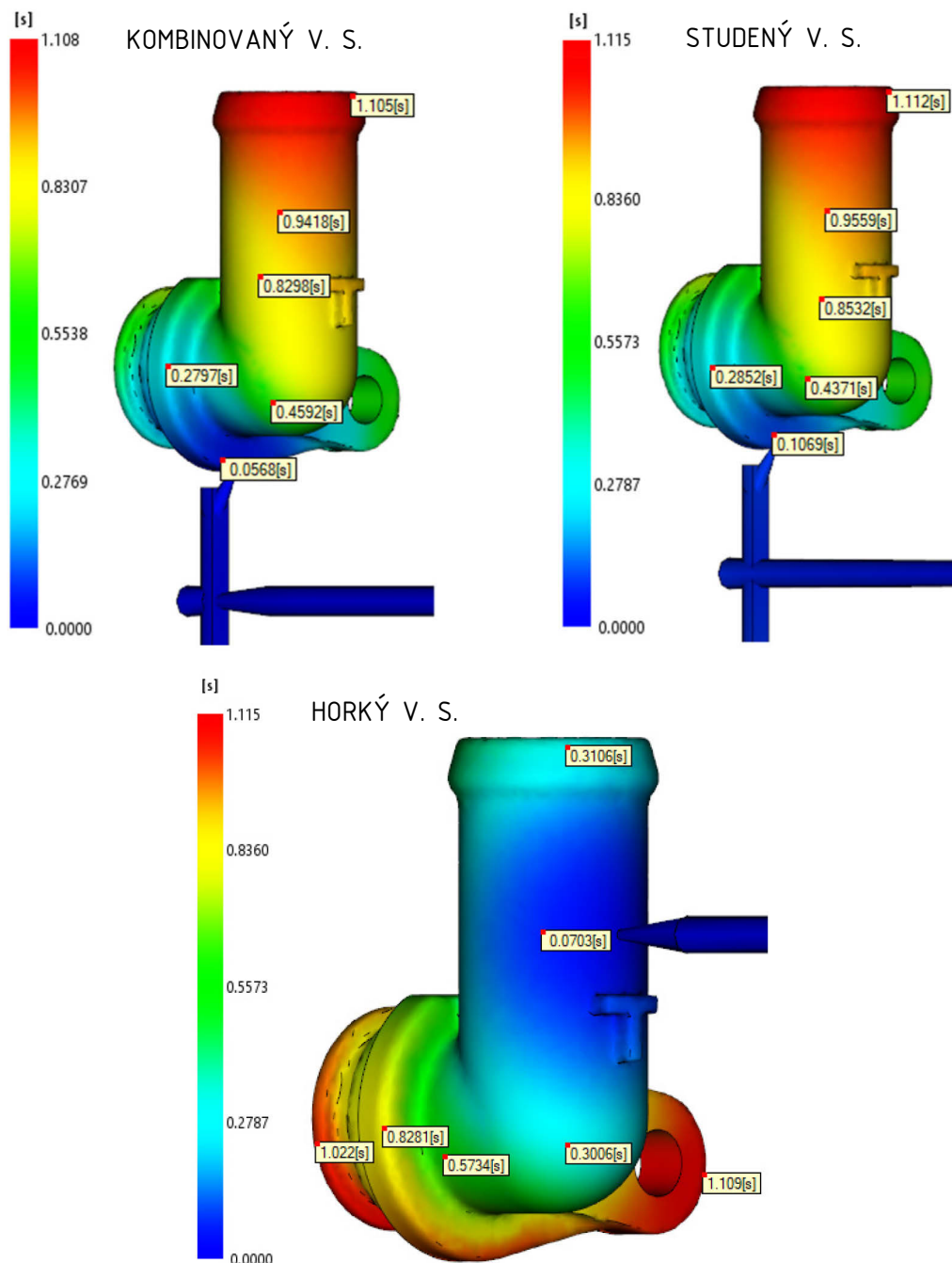
V této analýze jsou obsaženy výsledky znázorňující průběh plnění tvarové dutiny a proces působení dotlakové fáze. Na základě návrhu vstřikovací formy byla vytvořena toková analýza ověřující její funkčnost. Vtokový systém byl navržen kombinovaný, kde horká tryska ústí do studeného rozvodného kanálku, který distribuuje taveninu skrze tunelový vtok do tvarových dutin formy. Kromě simulace navržené formy byly vytvořeny i analýzy pro variantu s horkým rozvodným blokem a studeným vtokovým systémem.



Obr. 67 Varianty vtokového systému (A – kombinovaný, B – studený, C – horký)

### 10.3.1 Čas plnění (Fill time)

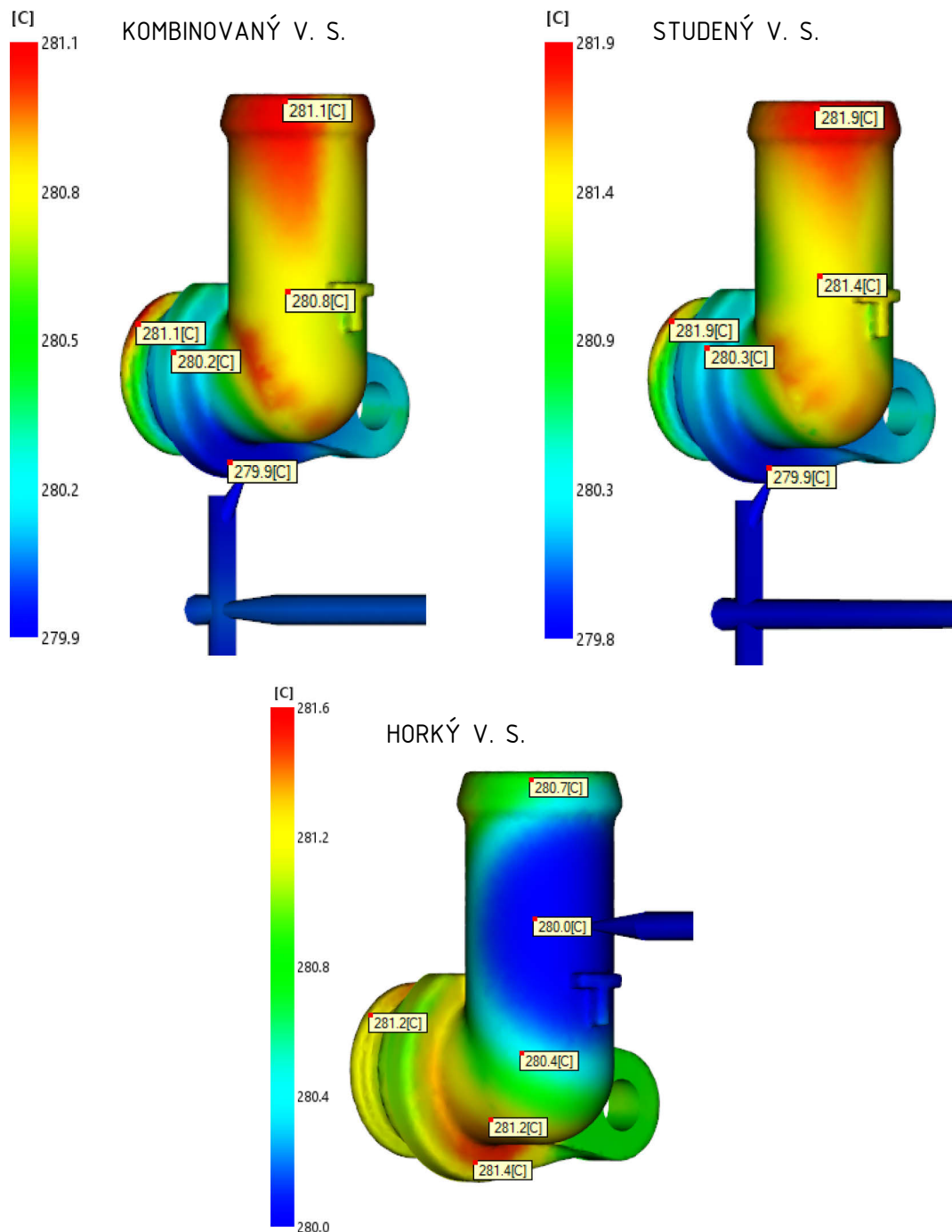
Výstupem této analýzy je grafické a numerické vyhodnocení času potřebného pro zaplnění tvarové dutiny formy a znázornění rovnoměrnosti plnění. Modrou barvou jsou označena místa zaplněná nejdříve, červenou oblastí zaplněná nejpozději. Z výsledků analýzy je patrné že u všech variant vtokového systému dojde ke kompletnímu zaplnění tvarové dutiny a to v čase 1,1 s. U kombinovaného a studeného vtokového systému bylo dosaženo obdobných průběhů plnění dutiny. U horkého vtokového systému je vtokové ústí umístěno v jiné části výrobku čemuž odpovídá i průběh plnění.



Obr. 68 Výsledky analýzy času plnění

### 10.3.2 Teplota na čele taveniny (Temperature at flow front)

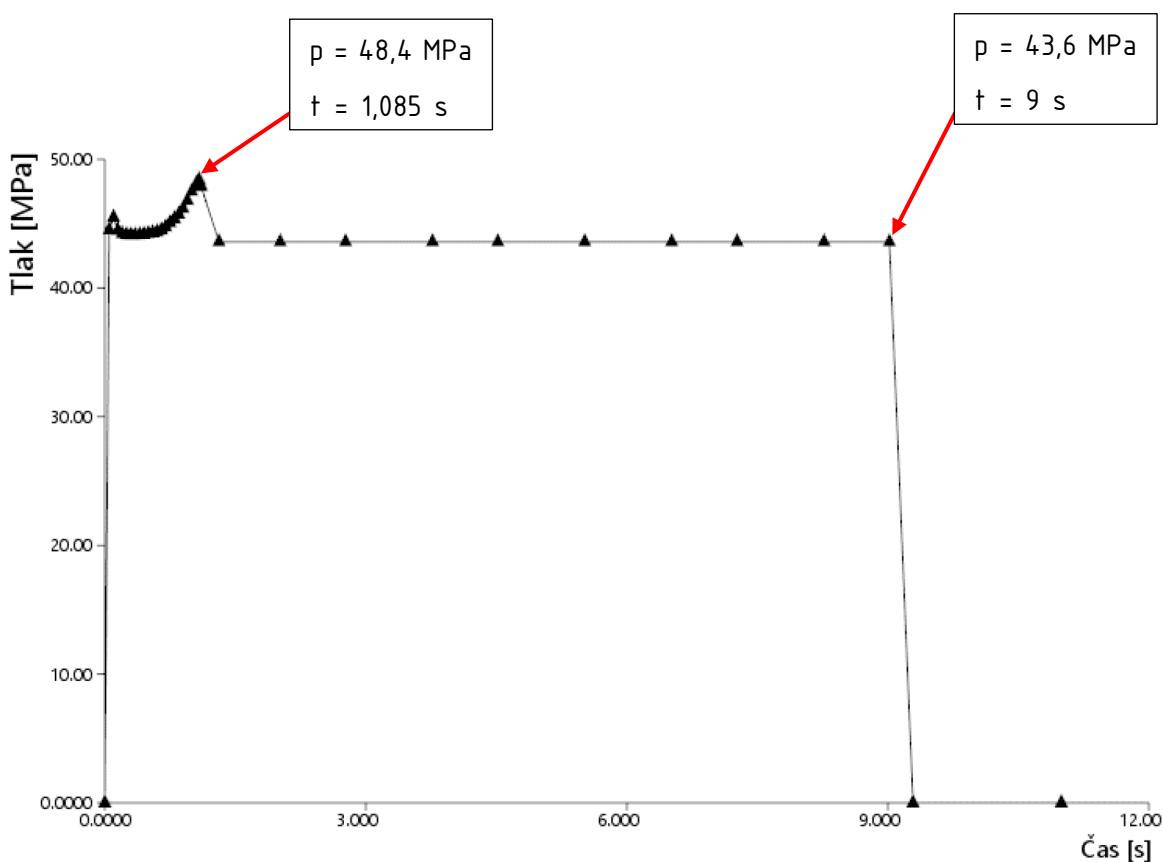
Výsledky této analýzy znázorňují teplotu polymerní taveniny v průběhu tečení daným místem tvarové dutiny formy. Teplota taveniny pro daný materiál byla dle doporučení nastavena na hodnotu 280 °C. Dosažené výsledky ukazují, že se rozsah teploty taveniny u všech variant vtokového systému pohybuje v doporučeném rozmezí 270 – 290 °C. Nehrozí tedy vznik vad způsobený přehřátím polymeru a jeho degradací. Nejrovnoměrnější teploty čela taveniny je dosaženo v případě kombinovaného vtokového systému, kde rozdíl teplot činí 1,2 °C.



Obr. 69 Výsledky analýzy teploty na čele taveniny

### 10.3.3 Tlak v místě vtokového ústí (Pressure at injection location)

Výsledek analýzy tvoří závislost vstřikovacího tlaku na čase v místě vtokového ústí. Na obrázku 69 je znázorněn výsledek této analýzy pro variantu s kombinovaným vtokovým systémem. V průběhu křivky se nachází tlaková špička v době přepnutí z plnicí fáze na fázi dotlakovou, kde vstřikovací tlak nabývá hodnotu 48,4 MPa. Bod přepnutí na dotlak byl v procesních podmínkách nastaven při zaplnění objemu tvarové dutiny z 98 % polymerní taveninou, k čemuž došlo v čase 1,085 s. Konec dotlakové fáze o tlaku 43,6 MPa nastal dle nastavení 9 s od zahájení plnění tvarové dutiny.



Obr. 70 Výsledek analýzy tlaku v místě vtokového ústí pro kombinovaný v. s.

V tabulce 9 jsou uvedeny hodnoty tlaků a časů získané z analýz pro variantu studeného a horkého vtokového systému.

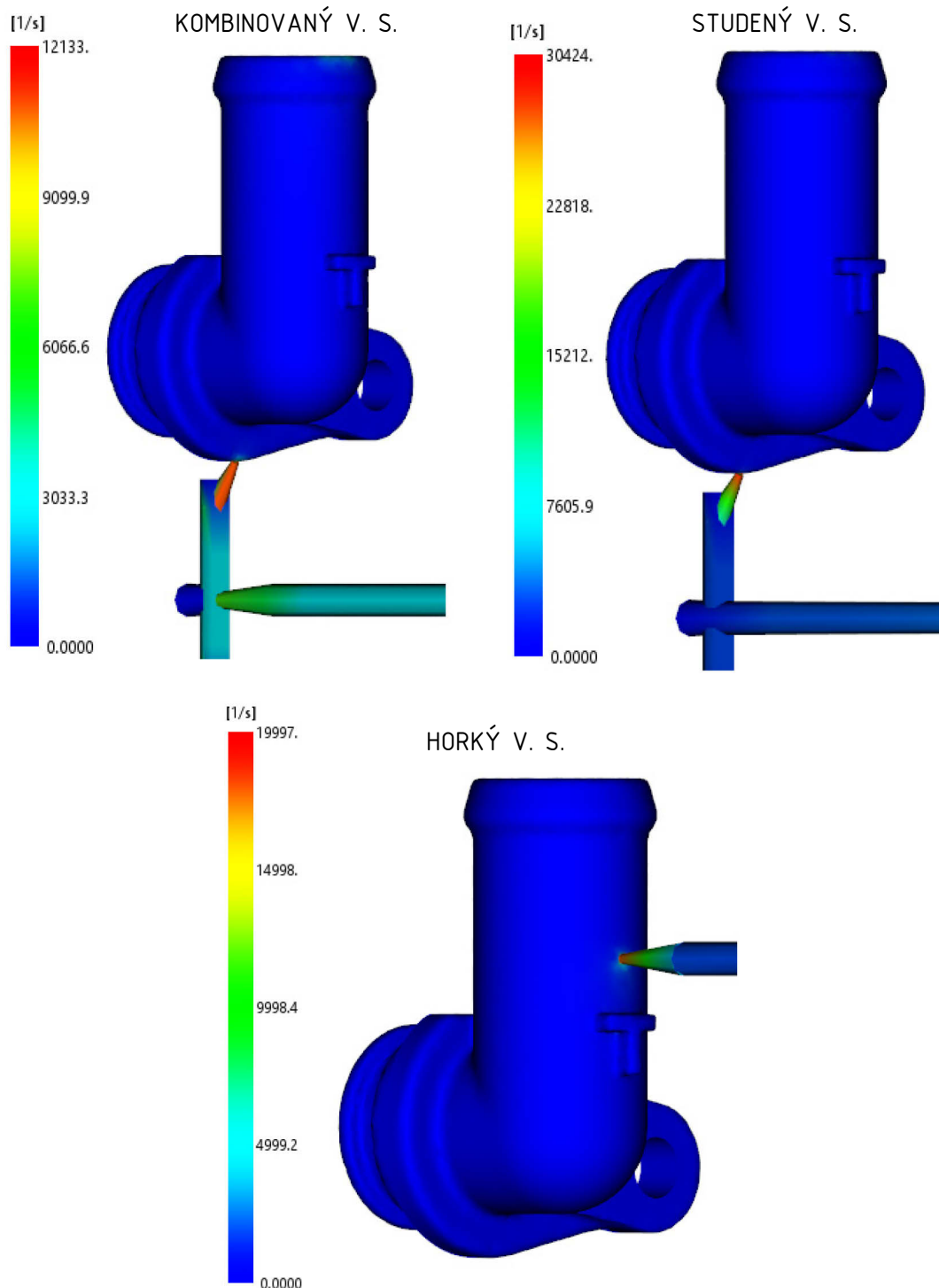
Tab. 9 Výsledky analýzy tlaku v místě vtokového ústí pro různé varianty v. s.

Varianta vtokového systému:	Kombinovaný	Studený	Horký
Maximální tlak [MPa]	48,4	56,9	56,3
Tlak při působení dotlaku [MPa]	43,6	51,2	50,7
Čas přepnutí na dotlak [s]	1,085	1,092	1,092



### 10.3.4 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

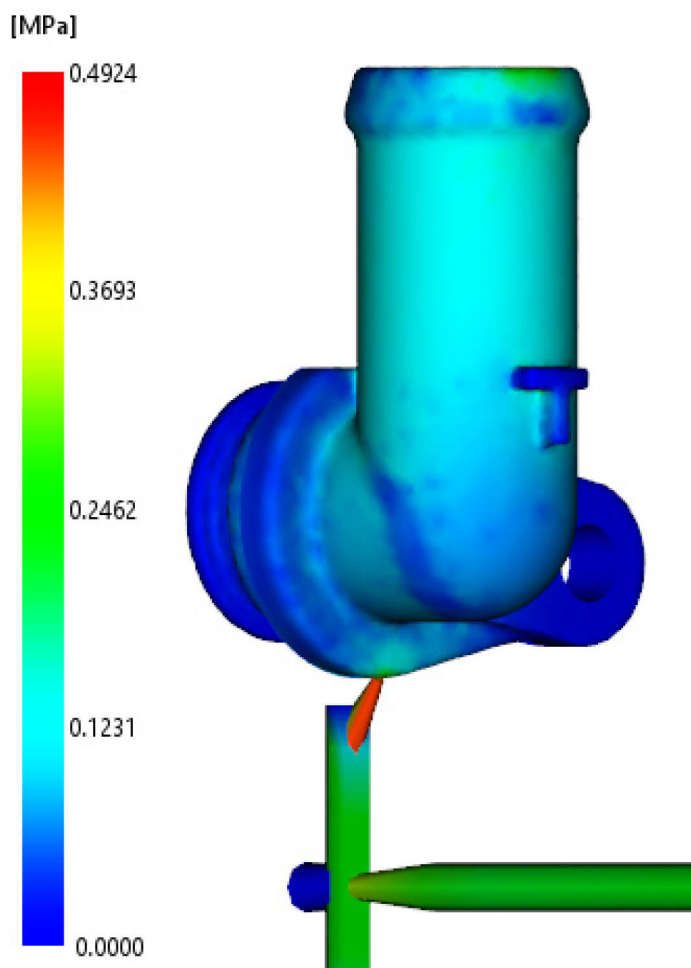
Z výsledků analýzy je patrné, že u žádné z variant vtokového systému nedošlo k překročení maximální dovolené hodnoty rychlosti smykové deformace uvedené v materiálovém listu zpracovávaného polymeru. Tato hodnota činí  $60\,000\text{ s}^{-1}$ . Ve všech případech provedení vtokového systému nabývá hodnota rychlosti smykové deformace nejvyšších hodnot v oblasti vtokového ústí.



Obr. 71 Výsledky analýzy rychlosti smykové deformace

### 10.3.5 Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall)

Tato analýza umožňuje získat informace o velikosti smykového napětí na rozhraní zamrznuté vrstvy polymeru a taveniny v daném čase. Maximální dovolená hodnota smykového napětí je uvedena v materiálovém listu a činí 0,5 MPa. Z výsledků je patrné, že nejvyšších hodnot bylo dosaženo v oblasti vtokového ústí. U zvolené varianty s kombinovaným vtokovým systémem tato hodnota nebyla překročena. U studeného a horkého vtokového systému došlo k překročení dovolené hodnoty, mohlo by tak dojít k degradaci materiálu a vzniku vad. Případným řešením by bylo zvětšení výstupního průměru ústí vtoku nebo změna procesních podmínek, zejména zvýšení teploty taveniny a teploty povrchu formy.



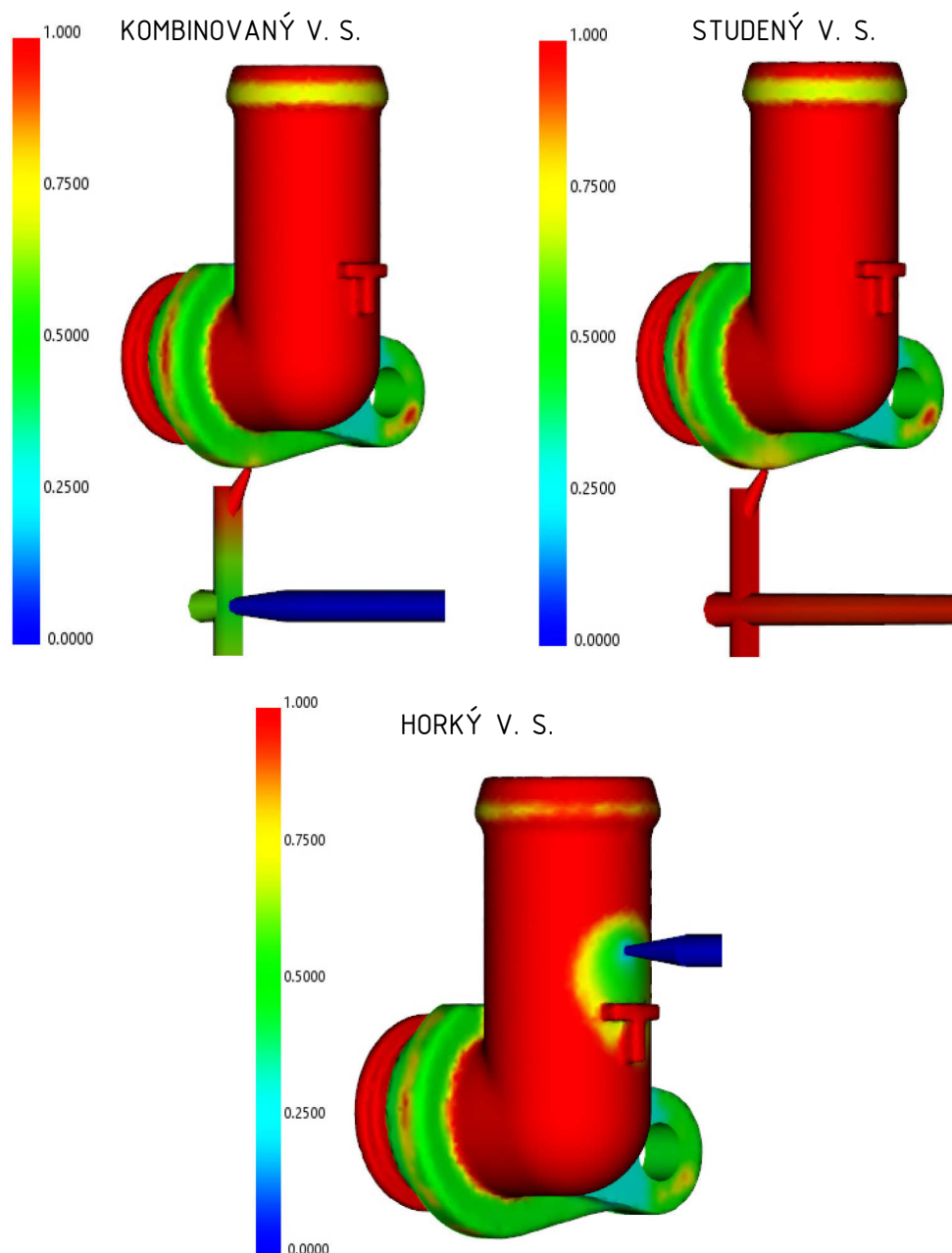
Obr. 72 Výsledek analýzy smykového napětí na stěně pro kombinovaný v. s.

Tab. 10 Výsledky analýzy smykového napětí na stěně pro různé varianty v. s.

Varianta vtokového systému:	Kombinovaný	Studený	Horký
Maximální smykové napětí na stěně [MPa]	0,49	0,61	0,54

### 10.3.6 Frakce zatuhnutých vrstev (Frozen layer fraction)

Výsledkem této analýzy je znázornění zatuhnutých vrstev polymerního materiálu jako zlomku tloušťky součásti v daném čase. Červená barva označuje oblasti s hodnotou 1 vykazující zcela zatuhnuté vrstvy, tavenina je znázorněna modře s hodnotou 0. Na obrázku 72 jsou uvedeny výsledky analýzy frakce zatuhnutých vrstev v čase 9 s, kdy končí fáze dotlaku. U kombinovaného a studeného vtokového systému je tavenina v oblasti vtokového ústí na konci dotlakové fáze zatuhnutá. Tavenina tak po skončení dotlakové fáze nebude při chlazení z tvarové dutiny unikat. U horkého vtokového systému je použito uzavíratelných trysek ústících přímo do tvarové dutiny, ty se po skončení fáze dotlaku uzavřou.

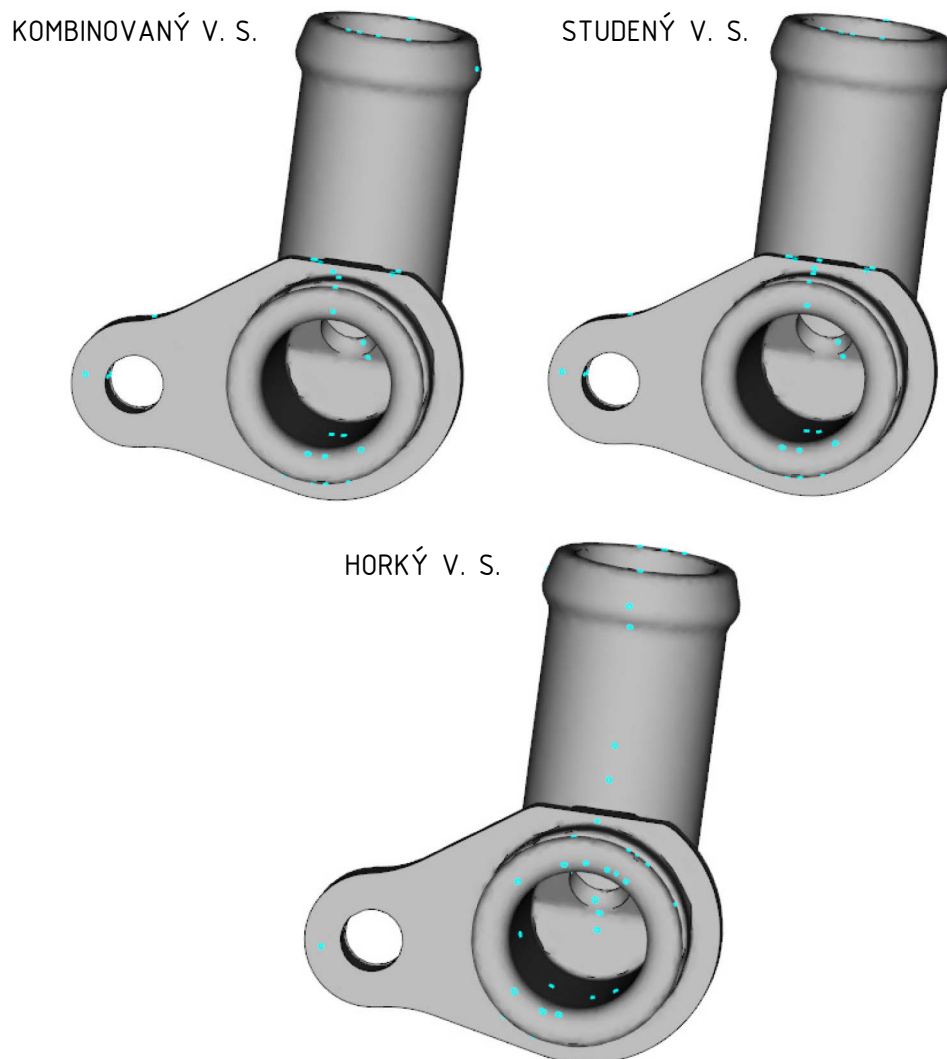


Obr. 73 Výsledky analýzy frakce zatuhnutých vrstev

### 10.3.7 Vzduchové kapsy (Air traps)

Na základě této analýzy lze odhalit, v jaké oblasti na vstříkovaném výrobku může dojít k výskytu vzduchových kapes. V těchto místech by pak docházelo k prudkému stlačování vzduchu a následnému zvýšení teploty, které by mohlo vést ke vzniku spálených míst vlivem Diesel efektu. V místech, kde se vyskytují vzduchové kapsy, nastává také riziko vzniku povrchových i skrytých bublin. Na obrázku 72 jsou tato místa barevně znázorněna. Výsledky této analýzy lze využít k efektivní konstrukci odvzdušňovacích kanálků. V tomto případě však odvzdušnění konstruováno nebylo a předpokládá se, že přebytečný vzduch unikne skrze vůle mezi dělicími rovinami mezi posuvnými čelistmi, jádry a vyhazovacími čepy.

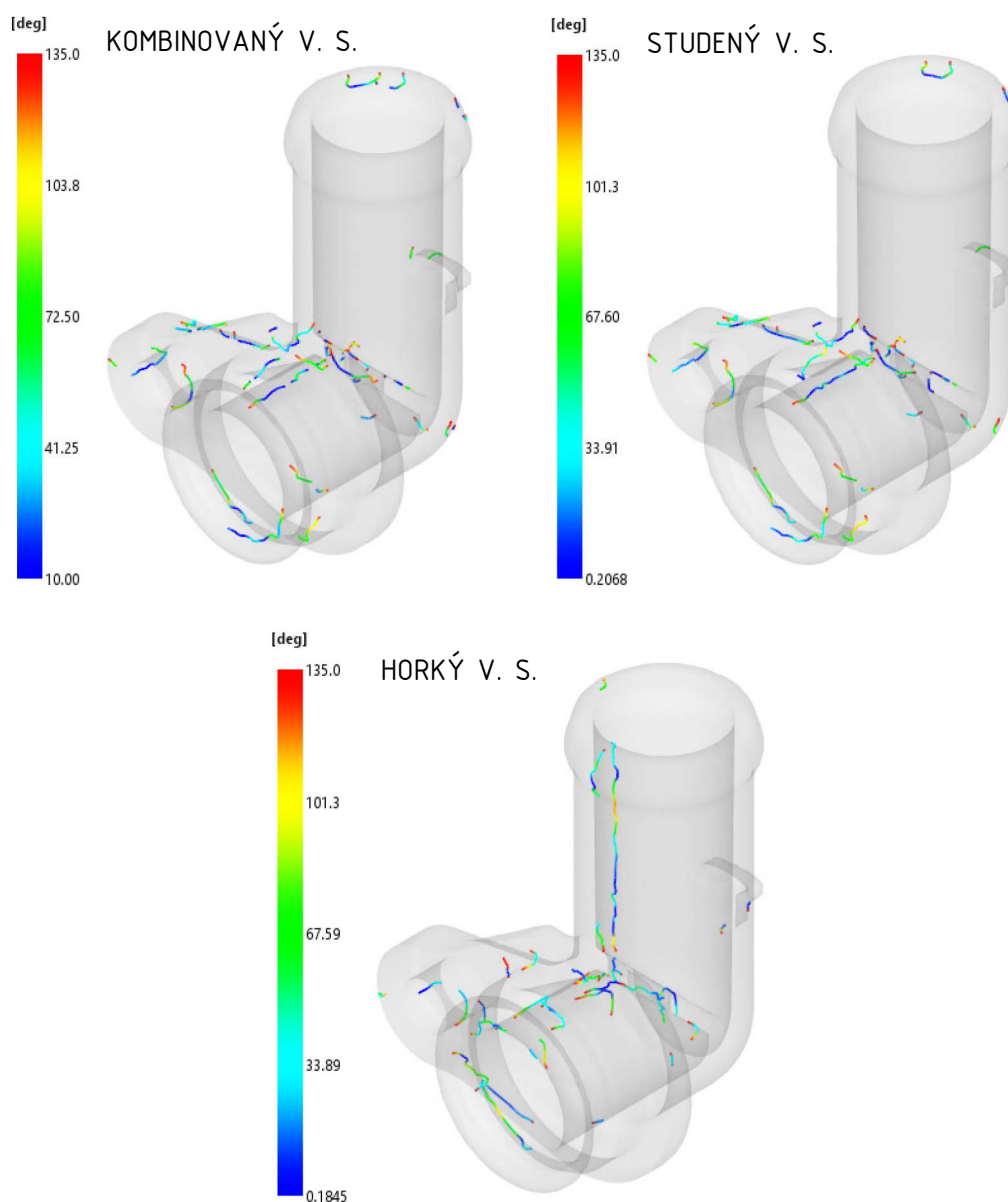
U variant s kombinovaným a studeným vtokovým systémem se vzduchové kapsy nacházejí přibližně ve stejných místech. U varianty s horkým rozvodným blokem se vlivem odlišného umístění vtokového ústí vyskytuje větší množství míst s uzavřeným vzduchem



Obr. 74 Výsledky analýzy vzniku vzduchových kapes

### 10.3.8 Studené spoje (Weld lines)

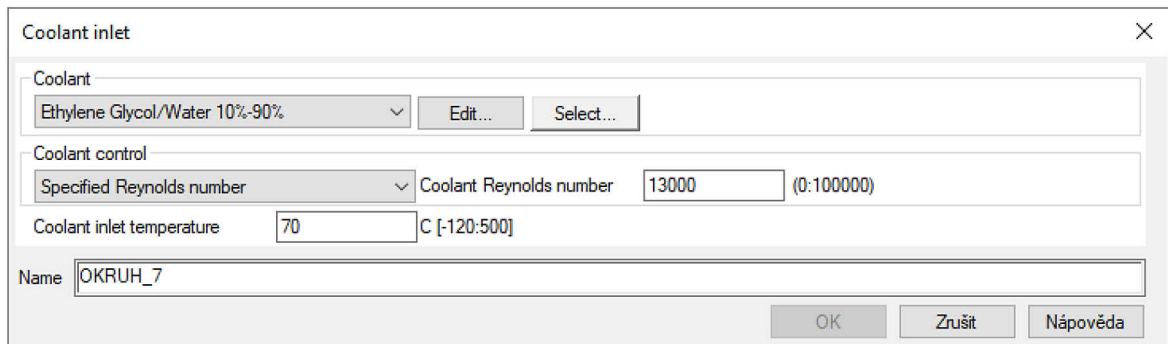
Dle výsledků získaných touto analýzou lze predikovat místa náchylná ke vzniku studených spojů. Je patrné, že tyto oblasti jsou na výrobku nepravidelně rozmístěny. Příčinou vzniku studeného spoje může být soubit dvou proudů taveniny, jejichž čela jsou chladnější a nevykazují tak dostatečnou teplotu pro kvalitní propojení makromolekulárních řetězců. V místech studených spojů dojde ke snížení mechanických vlastností výrobku a případnému vzniku pohledové vady v podobě soubitkové čáry. Výskyt studených spojů je dán geometrií daného výrobku a obtékáním tvarových jader, z toho důvodu je prakticky nelze eliminovat. Vhodným umístěním vtokového ústí, případnou konstrukcí odvzdušňovacích kanálků nebo nastavením vyšší teploty povrchu formy a taveniny je jejich vznik možné částečně omezit.



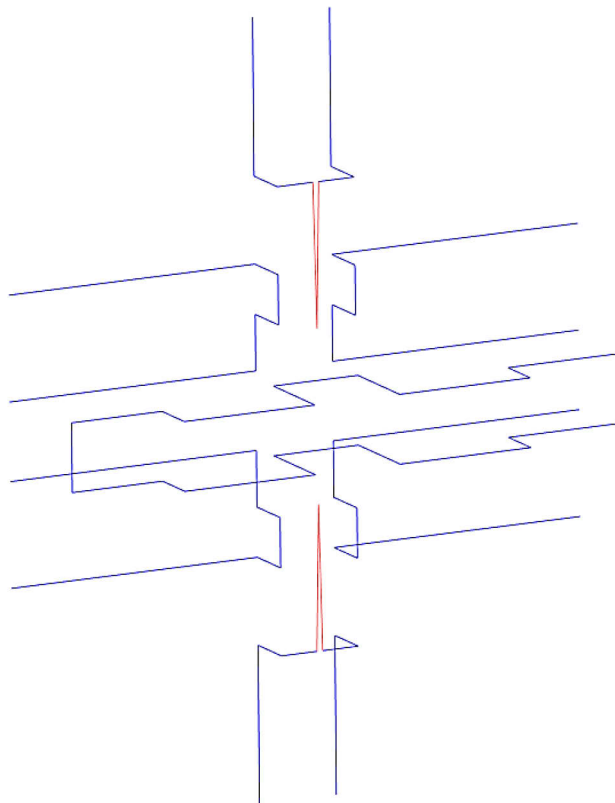
Obr. 75 Výsledky analýzy vzniku studených spojů

## 10.4 Výsledky analýzy teploty

Soubor výsledků této analýzy poskytuje informace o průběhu teplotních změn odehrávajících se v temperačním systému, vstříkovaném výrobku, vtokovém systému a vstříkovací formě. Analýza temperačního systému byla navržena pro zvolenou variantu kombinovaného vtokového systému. Veškeré trajektorie temperačních kanálků byly vytvořeny v prostředí Moldflow a jsou totožné s konstrukčním návrhem vstříkovací formy. Procesní parametry byly nastaveny jednotné pro celý temperační systém. Jako chladicí médium byla zvolena směs 10 % etylenglykolu a 90 % vody, řízení průtoku bylo definováno dle Reynoldsova čísla o hodnotě 13000 a teplota temperačního média nastavena na hodnotu 70 °C.



Obr. 76 Nastavení parametrů temperačního média

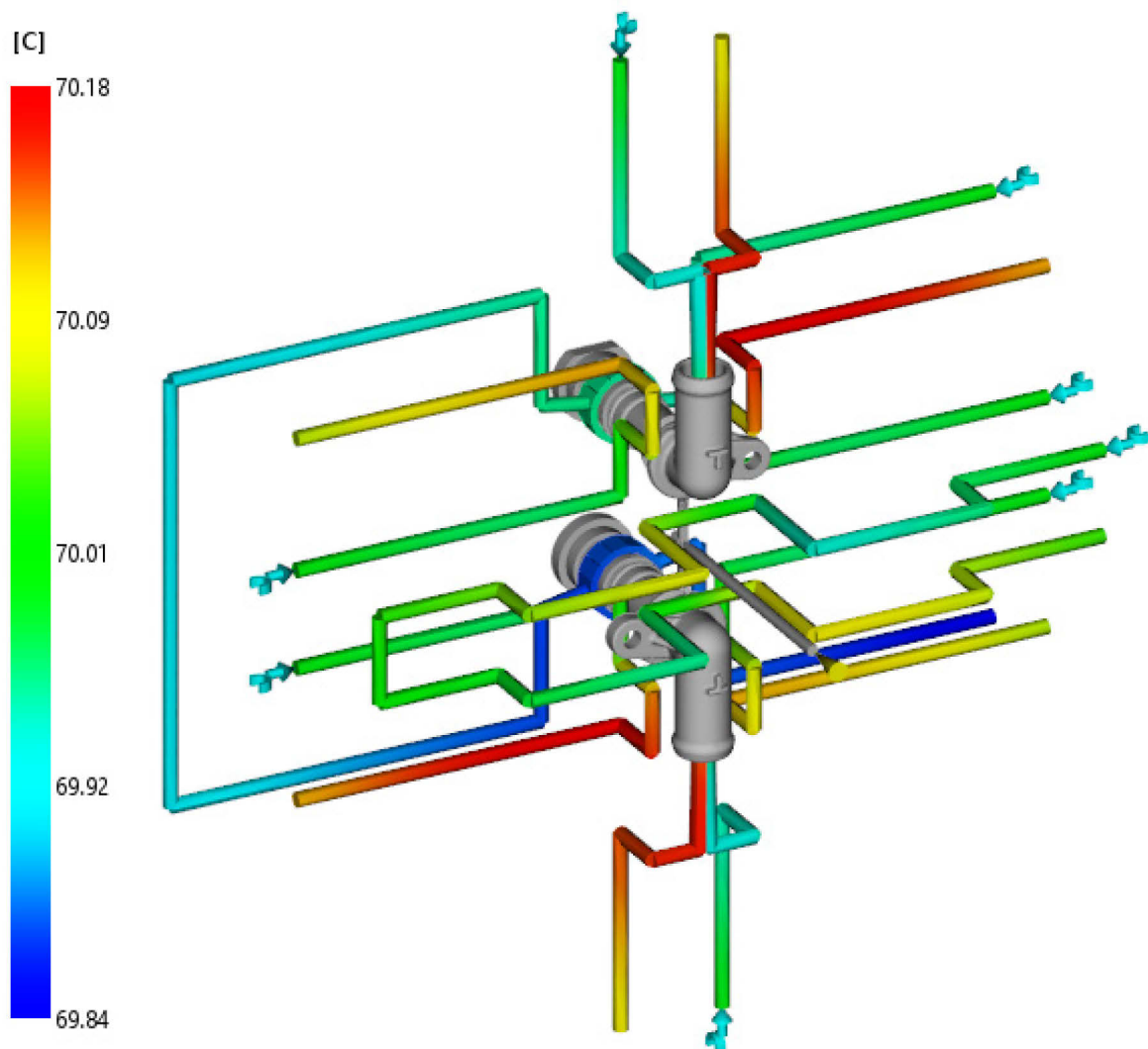


Obr. 77 Znáznornění trajektorií temperačního systému

#### 10.4.1 Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)

Výsledkem této analýzy je grafické znázornění teploty temperačního média cirkulujícího v jednotlivých temperačních okruzích. Rozdíl v teplotě temperačního média při vstupu a výstupu z daného okruhu by neměl přesáhnout hodnotu 3 °C, což je u navrženého temperačního systému splněno, jelikož největší rozdíl teplot činí 0,34 °C. Rovnoměrná teplota formy je předpokladem pro výrobu kvalitních, přesných a vzhledově odpovídajících dílů, větší teplotní rozdíly by zapříčiňovaly nerovnoměrné chlazení a mohlo by tak vznikat nežádoucí pnutí ve vstříkovaném dílu.

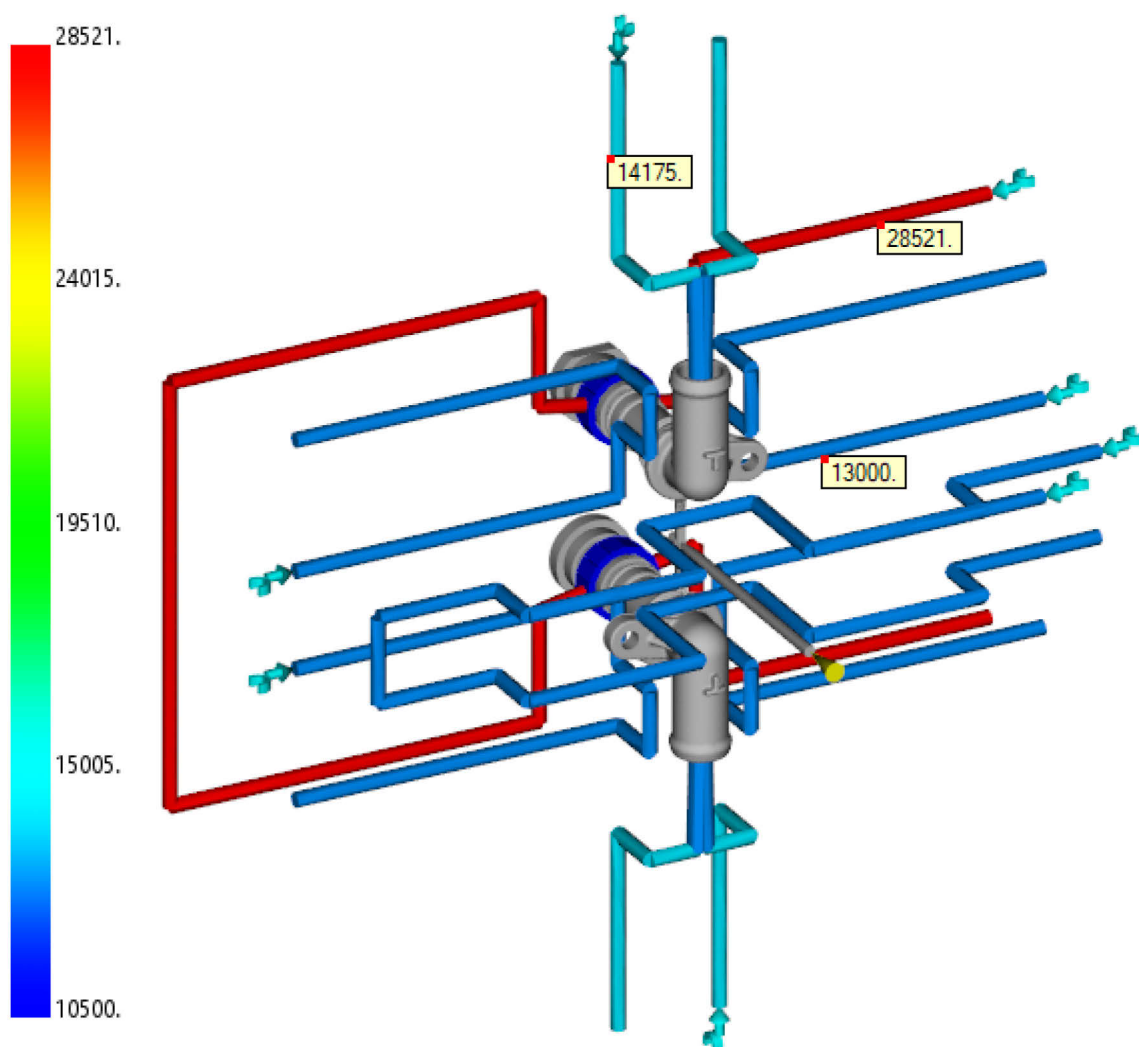
Pokud by rozdíl teplot na vstupu a výstupu překračoval dovolenou hodnotu, bylo by třeba provést změnu v nastavení procesních parametrů zvýšením průtoku nebo upravit samotnou geometrii temperačních okruhů.



Obr. 78 Výsledky analýzy teploty temperačního média.

### 10.4.2 Reynoldsovo číslo (Circuit Reynolds number)

Na základě Reynoldsova čísla kapaliny proudící v temperačních okruzích lze definovat, zda se jedná o žádoucí turbulentní typ proudění podporující účinné odvádění tepla z dutiny. Pokud je dosaženo turbulentního proudění, další zvyšování Reynoldsova čísla má již malý vliv na efektivitu odvodu tepla. Hodnoty menší než 2500 charakterizují laminární proudění, větší než 10 000 pak proudění turbulentní. V rozmezí těchto hodnot leží přechodová oblast. Snahou je tedy se co nejvíce přiblížit hodnotě Reynoldsova čísla pro turbulentní proudění bez neefektivního zvyšování průtoku nebo tlaku temperačního média. V navrženém temperačním systému je podmínka splněna, neboť ve všech temperačních okruzích je proudění turbulentní, vykazující hodnotu Reynoldsova čísla přibližně 13000.



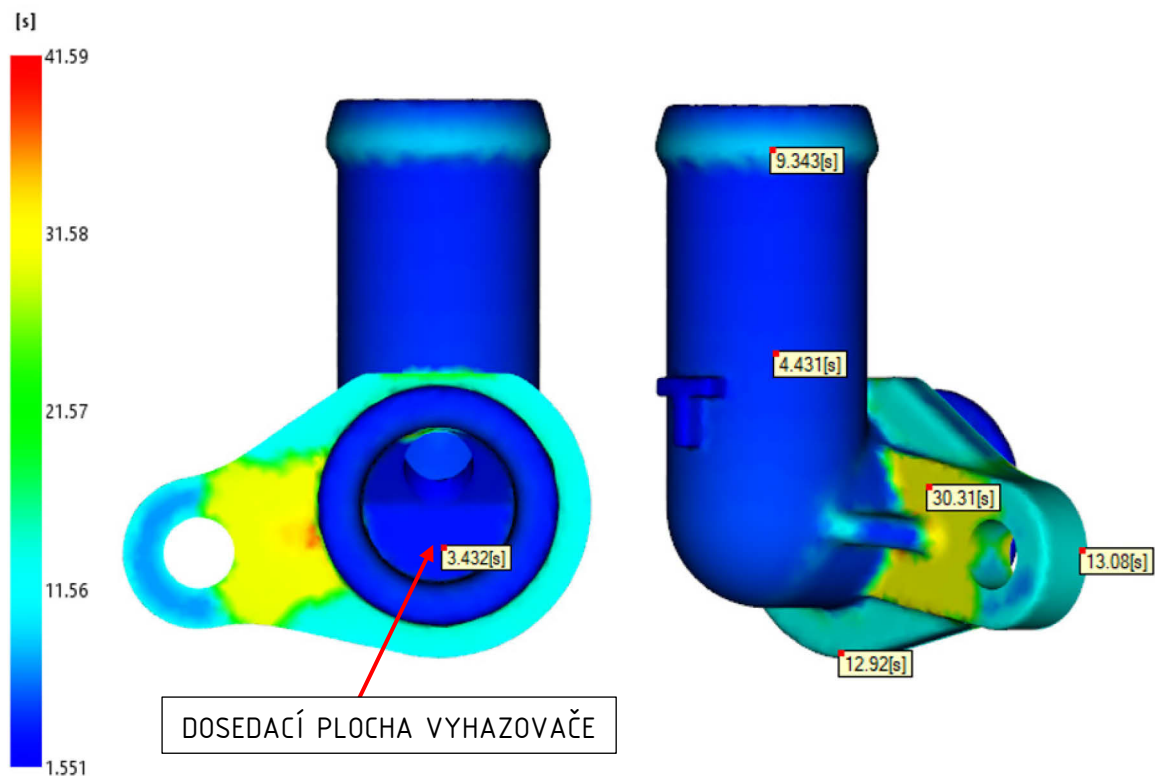
Obr. 79 Výsledky analýzy Reynoldsova čísla



### 10.4.3 Čas pro dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

Výstupem této analýzy je grafické znázornění času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty měřené od začátku vstřikovacího cyklu, kdy má tavenina teplotu 280 °C. Vyhazovací teplota je taková, při které nedojde během vyhazování výrobku k jeho deformaci. Dle doporučených procesních podmínek byla vyhazovací teplota nastavena na hodnotu 184 °C. Této teploty nelze dosáhnout ve stejnou dobu kvůli rozdílným tloušťkám stěny výrobku. Ve válcovitých průchozích částech dílu čas pro dosažení vyhazovací teploty činí přibližně 4,4 s. V oblasti objímky, která vykazuje větší tloušťku stěny, se hodnota tohoto času pohybuje v rozmezí 13 až 30 s, lokálně pak dosahuje až 41,6 °C.

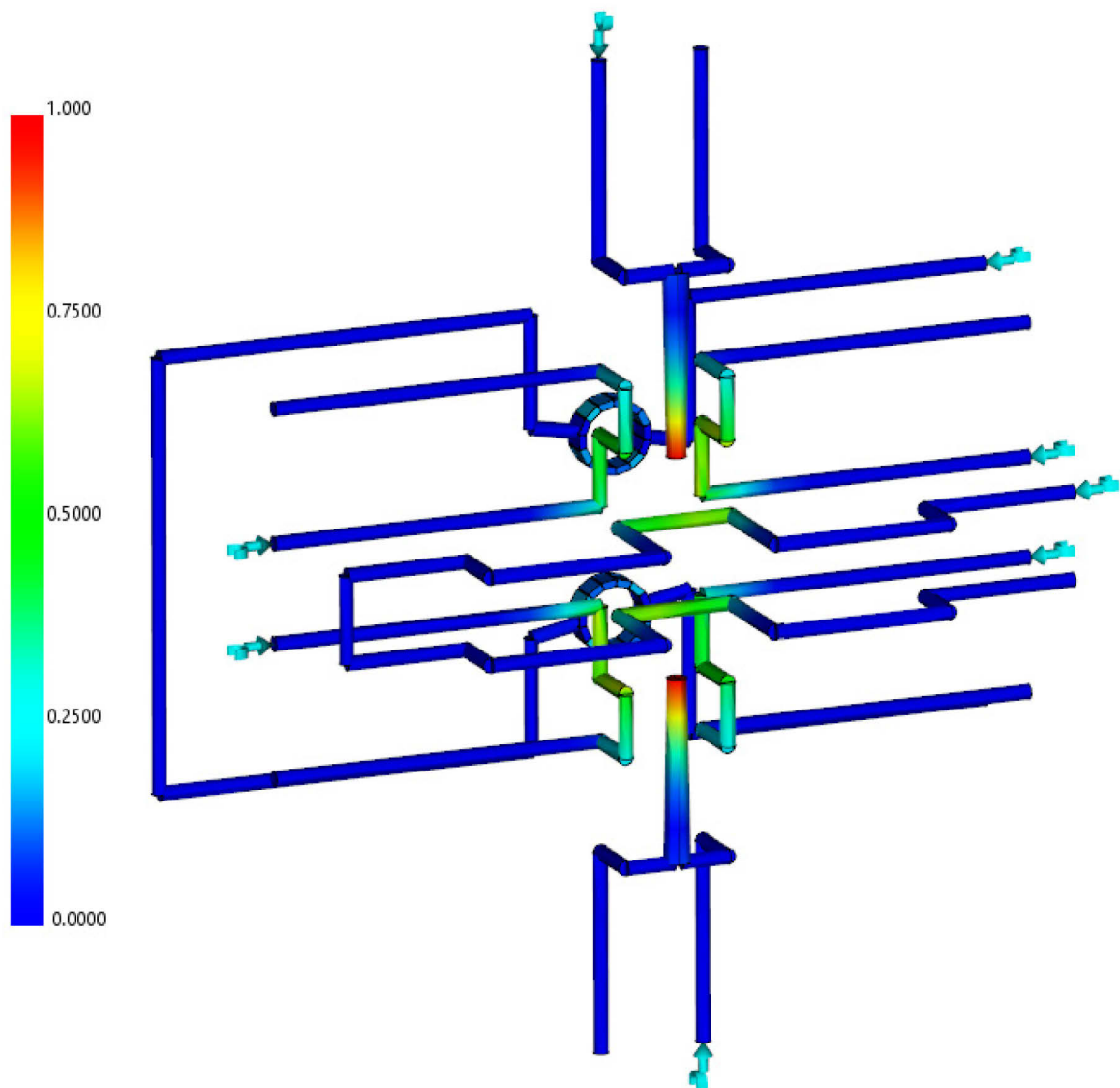
Z hlediska vyhození výrobku z formy, v tomto případě jeho vysunutí z tvarového jádra, je směrodatná teplota místa, kde působí vyhazovací čep. Pokud je v tomto místě dosaženo vyhazovací teploty, je možné plochou vyhazovacího čepu působit na stěnu výrobku bez vzniku deformací. Vzhledem k době působení dotlaku a času potřebnému pro ochlazení objímky, byla doba pro dosažení vyhazovací teploty vyhodnocena na 14 s od začátku vstřikování.



Obr. 80 Výsledky analýzy času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty

#### 10.4.4 Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)

Na základě výsledků této analýzy lze hodnotit míru efektivy odvodu tepla z formy v jednotlivých úsecích temperačního systému. Hodnota 1 znázorněna červeně označuje úseky s nejvyšší účinností odvodu tepla, které tvoří vrcholy přepážek instalovány ve tvarových jádrech „B“. Ostatní temperační kanálky vedoucí okolo tvarové dutiny vykazují hodnotu účinnosti 0,5 až 0,75. Tuto hodnotu by bylo možné zvýšit přiblížením os kanálků ke tvarové dutině, což by však mělo za následek snížení tuhosti tvarových částí a nerovnoměrné ochlazení výrobku. Navržený temperační systém je schopen efektivně a rovnoměrně odvádět teplo předané polymerní taveninou vstříkovací formě.

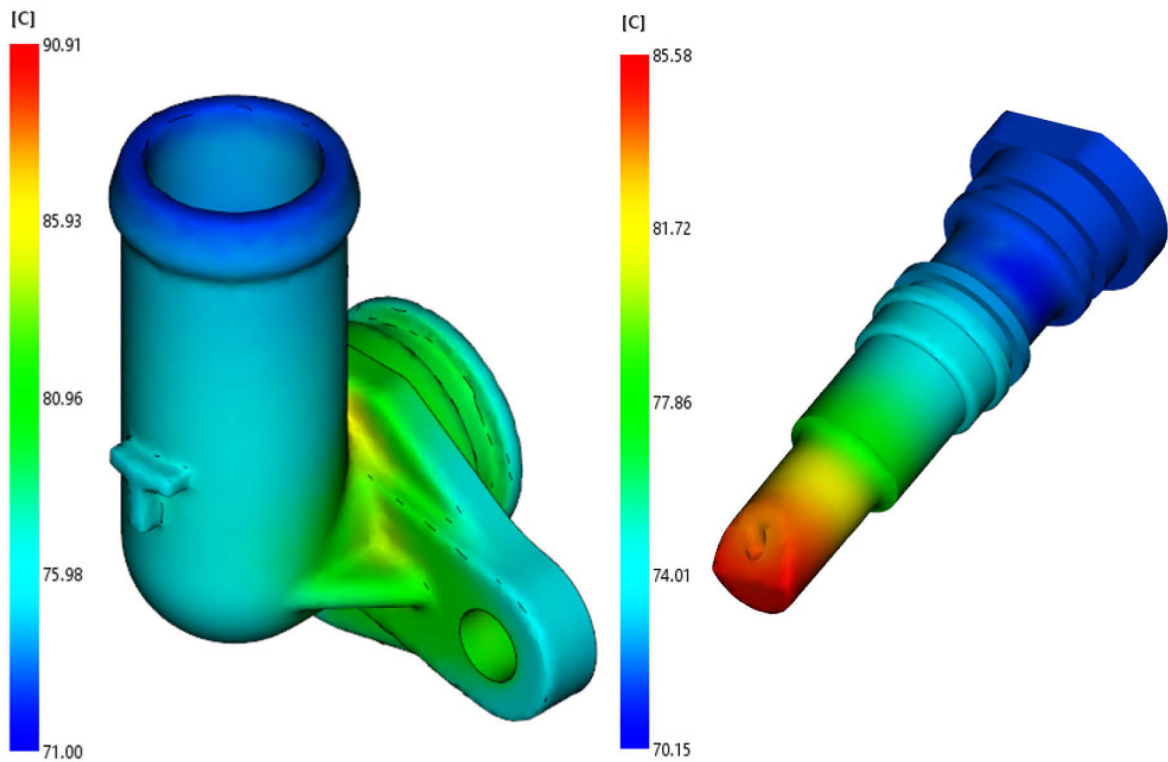


Obr. 81 Výsledky analýzy efektivy odvodu tepla

#### 10.4.5 Teplota formy (Temperature, mold)

Výsledek představuje průměrnou teplotu tvarové dutiny v průběhu vstřikovacího cyklu. Lze tak odhalit místa s výrazně odlišnou teplotou a určit, zda mohou ovlivnit dobu cyklu nebo způsobit deformaci součásti. Minimální a maximální teplota formy by se měla nacházet v rozsahu přibližně 10 °C od požadované teploty, která byla nastavena na 80 °C. Navržený temperační systém tedy tuto podmínku splňuje.

U tvarového jádra „A“ nebylo možné aplikovat přepážku, neboť skrze něj vede vyhazovací čep. Teplota tedy byla řešena pomocí obtékajícího kanálku, zajišťujícího odvod tepla z tohoto jádra tak, aby jeho teplota ležela v doporučeném rozsahu.



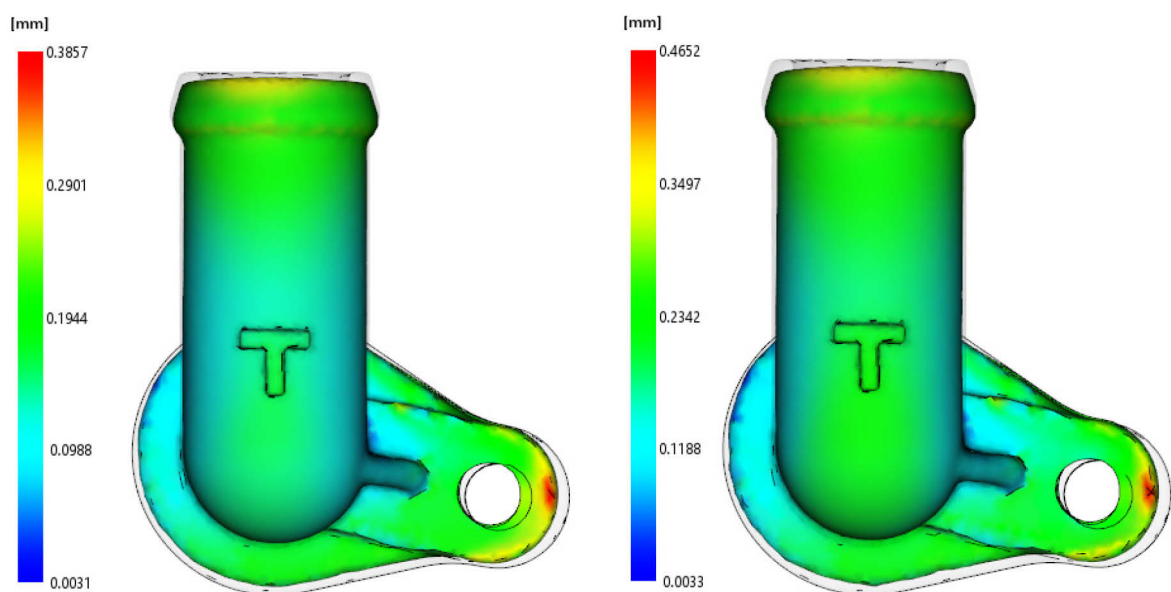
Obr. 82 Výsledky analýzy teploty formy

## 10.5 Výsledky analýzy smrštění a deformace

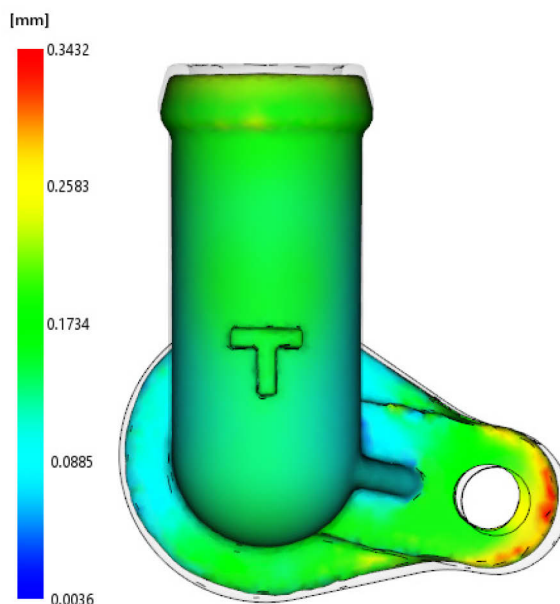
Soubor těchto výsledků zahrnuje údaje o smrštění a deformacích vznikajících na výrobku během vstřikovacího cyklu. Smrštění se projevuje jako změna objemu vstřikovaného materiálu při jeho tuhnutí, deformace jako změna tvaru výrobku při zachování stejného objemu. Velikost celkových odchylek od požadovaného tvaru tvoří důležitou informaci pro konstrukci tvarové dutiny vstřikovací formy a vhodnou volbu procesních parametrů. Tato analýza byla provedena pro tři varianty provedení vtokového systému.

### 10.5.1 Celková deformace (Deflection, all effects)

V rámci této analýzy byla vyhodnocena velikost celkových deformací ve všech směrech způsobených rozdílnou velikostí smrštění, orientací skleněných vláken a odlišnou intenzitou chlazení. Výsledky jsou zobrazeny pomocí barevné škály, kde jsou červeně označeny nejvíce zdeformované oblasti na výrobku, modře místa zdeformovaná nejméně. Velikost deformace lze také porovnat s obrysem nezdeformovaného výrobku. Největší podíl deformace způsobuje nerovnoměrné smrštění polymeru způsobené nepravidelnou tloušťkou stěny výrobku, menší vliv na deformaci má pak orientace skleněných vláken. Odlišná intenzita chlazení má na deformaci výrobku nepatrný vliv. Z výsledků analýzy je patrné, že největší velikosti deformací vznikají u studeného vtokového systému (0,47 mm), o něco menší u kombinovaného (0,39 mm) a nejmenší u horkého vtokového systému (0,34 mm). Zobrazené deformace jsou pro lepší názornost pětkrát zvětšeny.



Obr. 83 Celková deformace pro kombinovaný v. s a studený v. s.



Obr. 84 Celková deformace pro horký vtokový systém

## 10.6 Zhodnocení výsledků tokových analýz

S cílem získat informace o průběhu vstřikování užitečné pro konstrukci formy a volbu procesních parametrů byly v prostředí softwaru Moldflow provedeny tokové analýzy. Prvotní analýzy poskytují údaje o vhodnosti umístění vtokového ústí a kontrolují vyplnění tvarové dutiny polymerní taveninou. V rámci analýzy plnění, dotlaku, chlazení a deformací byly řešeny varianty s kombinovaným, studeným a horkým vtokovým systémem.

Tab. 11 Porovnání výsledků jednotlivých provedení vtokového systému

Varianta vtokového systému:	Kombinovaný	Studený	Horký
Maximální tlak [MPa]	<b>48,4</b>	56,9	56,3
Maximální rychlost smykové deformace [ $s^{-1}$ ]	<b>12 133</b>	30 424	19 997
Maximální smykové napětí na stěně [MPa]	<b>0,49</b>	0,61	0,54
Maximální celková deformace [mm]	<b>0,39</b>	0,47	0,34

Pro konstrukci formy byl zvolen kombinovaný vtokový systém s horkou tryskou a studenými rozvodnými kanálky. U této varianty bylo dosaženo příznivějších výsledků než u studeného vtokového systému, zejména v požadavcích na velikost vstřikovacího tlaku, rychlost smykové deformace a smykového napětí na stěně. Analýzy studených spojů a vzduchových kapes vyšly obdobně pro všechny varianty vtokových systémů. Analýza chlazení byla u všech variant téměř totožná. Z hlediska velikosti deformací vychází nejlépe horký vtokový systém. Náklady na jeho pořízení a provoz jsou však vyšší než u ostatních provedení vtokových systémů a samotná aplikace horkého rozvodného bloku by byla vzhledem k zaformování výrobku značně komplikovaná.

## ZÁVĚR

Účelem diplomové práce bylo vytvořit konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu plastového dílu části chladícího rozvodu automobilového motoru zhotoveného z černého polyamidu 6 plněného z 30 % skleněnými vlákny. Součástí návrhu tvoří tokové analýzy ověřující funkčnost navržené formy a výkresová dokumentace tvořena sestavou, kusovníkem a příslušnými pohledy. Teoretická část práce zahrnuje literární studii rozebírající polymerní materiály, samotnou technologii vstřikování, konstrukci vstřikovacích forem a tvorbu simulací vstřikování.

Praktická část práce zahrnuje tvorbu 3D modelu dílu a návrh konstrukce vstřikovací formy pro jeho výrobu. Zvolené konstrukční řešení je podpořeno tokovými analýzami vstřikování, jejichž výsledky znázorňují děje odehrávající se jak ve tvarové dutině formy, tak ve vstřikovaném dílu. Při návrhu vstřikovací formy byla využita řada normálíí, díky kterým došlo ke zvýšení efektivity a kvality celého konstrukčního procesu. Po vytvoření samotného modelu výrobku byly navrženy jednotlivé dělicí roviny umožňující vhodný způsob zaformování, od něhož se odvíjí konstrukce tvarové dutiny vstřikovací formy. Ta je vzhledem ke geometrii výrobku řešena jako dvojnásobná. Bylo třeba definovat celkem pět dělicích rovin, ve kterých se budou pohybovat tři boční posuvné čelisti, dvě tvarová jádra a tvarová vložka. Pohyb bočních posuvných čelistí je realizován pomocí šikmých čepů, jejich dráha řízena vodícími lištami a kluznými destičkami. Zajištění otevřené polohy čelistí je provedeno pružinovým aretačním mechanismem. Varianta vtokového systému byla zvolena kombinovaná, tvořena horkou centrální tryskou a studenými rozvodnými kanálky, rozvádějícími taveninu skrze tunelové vtokové ústí do tvarových dutin formy. Aby bylo dosaženo rovnoměrného teplotního pole, jsou veškeré tvarové části formy temperovány skrze osm temperačních okruhů. Temperace svislých jader je řešena přepážkami, další tvarové části temperují vrtané kanálky, kterými proudí temperační médium přiváděno a odváděno skrze nástrčné přípojky. Odformování výrobku nastane při otevření formy, kdy se odsunou veškeré tvarové části, a výrobek včetně vtokového systému setrvá na pohyblivé straně formy. Při otevírání formy se vtokový zbytek oddělí od výrobku a následně je vyhozen válcovým čepem tvořícím přídržovač vtoku. Výrobek je pak působením akcelerovaného vyhazovacího čepu vysunut z jádra pohyblivé strany formy a dojde k jeho vyhození z formy. Vyhazovací čepy jsou ukotveny mezi vyhazovacími deskami ovládanými táhlem. Pro takto navrženou formu byl zvolen vstřikovací stroj splňující veškeré požadavky umožňující produkci kvalitních výrobků.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Brno: Code Creator, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-88058-68-7.
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [3] DUCHÁČEK V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [4] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování*. Brno: Code Creator, s.r.o., 2016. ISBN 978-80-88058-74-8.
- [5] PORTÁL MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM: *Plasty v automobilovém průmyslu*. [online] 2013 [cit. 2018-2-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-v-automobilovem-prumyslu.html>
- [6] BOBEK, Jiří V.: *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. Brno: Code Creator, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-88058-65-6.
- [7] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů – teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [8] MAŇAS, Miroslav. *Výrobní stroje a zařízení I. Stroje gumárenské a plastikářské*. 1. vyd. – Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-596-1
- [9] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999.
- [10] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. Brno: Code Creator, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-88058-71-7.
- [11] HYNEK, Martin. *Ukázkové vývojové projekty z praxe pro posílení praktických znalostí budoucích strojních inženýrů: Plastové díly*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05/](https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05/)
- [12] TORAY [online]. [cit. 2018-2-16]. Dostupné z: [http://www.toray.jp/plastics/torelina/technical/tec\\_032.html](http://www.toray.jp/plastics/torelina/technical/tec_032.html)
- [13] ARBURG [online]. [cit. 2018-2-16]. Dostupné z: <https://www.aburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/vstrikovaci-stroje/>

- [14] IMAGECK [online]. [cit. 2018-2-17]. Dostupné z: <http://imageck.com/410911408-machine-injection-molding-clamping-unit.html>
- [15] PLASTICSPORTAL [online]. [cit. 2018-2-17]. Dostupné z: [https://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en\\_GB/portal/](https://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/portal/)
- [16] MOLDEX3D [online]. [cit. 2018-2-17]. Dostupné z: [http://support.moldex3d.com/r15/en/modelpreparation\\_moldex3dstudio\(pre-processing\)\\_buildrunnersystem\\_setgate.html](http://support.moldex3d.com/r15/en/modelpreparation_moldex3dstudio(pre-processing)_buildrunnersystem_setgate.html)
- [17] COOPER TECHNOLOGY [online]. [cit. 2018-2-18]. <http://www.cooper-tech.com/springshutoff.html>
- [18] MEUSBURGER [online]. [cit. 2018-2-18]. Dostupný z: <https://ecom.meusburger.com/files/pdf/e/e2100.pdf>
- [19] JARKULIŠ, Jonáš. *Konstrukce vstřikovací formy na výrobu pedálu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017, 107 s. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/40721>
- [20] MEUSBURGER [online]. [cit. 2018-2-23]. Dostupný z: <https://www.meusburger.com/EN/GB/products/mould-making/components/ejector-and-contour-core-pin>
- [21] MOULD TECHNOLOGY [online]. [cit. 2018-2-23]. Dostupný z: <http://mould-technology.blogspot.com/2007/11/when-need-slider-parts.html>
- [22] MEUSBURGER [online]. [cit. 2018-2-23]. Dostupný z: <https://ecom.meusburger.com/files/pdf/e/e3330.pdf>
- [23] TVÁŘENÍ PLASTŮ A VÝROBA FOREM II. [online]. [cit. 2019-4-10] Dostupné z WWW: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-ii/>
- [24] PORTÁL MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM: *Snižování výrobních nákladů pomocí simulační analýzy*. [online]. 2010 [cit. 2019-4-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-vyrobnich-nakladu-pomoci-simulacni-analyzy.html>
- [25] AUTODESK KNOWLEDGE NETWORK: *Learn and Explore*. [online]. 2019 [cit. 2019-4-10]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-Synergy/learn-explore?sort=score>



- 
- [26] STRACK NORMALIEN: *Demoulding elements*. [online]. 2019 [cit. 2019-4-10].  
Dostupné z: [https://www.strack.de/\\_files/data/PDF/sn080018w.pdf](https://www.strack.de/_files/data/PDF/sn080018w.pdf)
- [27] REES, Herbert. *Mold engineering. 2nd ed.* Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6.
- [28] OSSWALD, T. A. *Injection molding handbook. 2nd ed.* Munich, Germany: Carl Hanser Publishers, 2008. ISBN 978-3-446-40781-7.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PA	polyamid
PC	polykarbonát
PS	polystyren
PMMA	polymethylmetakrylát
PVC	polyvinylchlorid
PE	polyetylen
PP	polypropylen
T <sub>m</sub>	teplota tání
T <sub>f</sub>	teplota vizkozního toku
T <sub>g</sub>	teplota skelného přechodu
GIT	vstřikování plastů s podporou plynu
WIT	vstřikování plastů s podporou vody
R	poloměr
s	tloušťka stěny
mm	milimetr
nm	nanometr
cm <sup>3</sup>	centimetr krychlový
kN	kilo Newton
MPa	megapascal
kPa	kilopascal
t	tuna
s <sup>-1</sup>	reciproká sekunda
° C	stupeň Celsia
g	gram
v. s.	vtokový systém

---

%	procento
p	tlak
T	teplota
Tab.	tabulka
Obr.	obrázek
2D	dvourozměrný prostor
3D	trojrozměrný prostor
CAD	počítačem podporované konstruování
CAM	počítačem podporované obrábění
CAE	počítačem podporované analýzy

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Schéma fontánového toku polymerní taveniny [4]</i> .....	18
<i>Obr. 2 Kryt sání vzduchu vyrobený z polyamidu [5]</i> .....	19
<i>Obr. 3 Schéma vstřikovacího stoje [6]</i> .....	20
<i>Obr. 4 Znárodnění vstřikovacího cyklu [6]</i> .....	21
<i>Obr. 5 Znárodnění jednotlivých zón šneku [8]</i> .....	22
<i>Obr. 6 Způsoby zakončení šneků [6]</i> .....	24
<i>Obr. 7 Přepnutí ze vstřikovací fáze na dotlakovou fázi [7]</i> .....	25
<i>Obr. 8 Doba působení dotlaku [7]</i> .....	26
<i>Obr. 9 Průběh tlaku ve tvarové dutině formy [7]</i> .....	28
<i>Obr. 10 Procesní okno vstřikovacího procesu [9]</i> .....	29
<i>Obr. 11 Schématické znárodnění vstřikovací jednotky [12]</i> .....	31
<i>Obr. 12 Hydraulická uzavírací jednotka společnosti Arburg [13]</i> .....	31
<i>Obr. 13 Schéma hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky [14]</i> .....	32
<i>Obr. 14 Vliv vybraných faktorů na velikost smrštění [6]</i> .....	33
<i>Obr. 15 Deformace výrobku vlivem nerovnoměrného odvodu tepla [2]</i> .....	34
<i>Obr. 16 Vliv tloušťky žeber na deformaci neplněných a plněných polymerů [6]</i> .....	34
<i>Obr. 17 Schéma tvorby studeného spoje [12]</i> .....	36
<i>Obr. 18 Dieselefekt způsobený nedostatečným odvzdušněním formy [15]</i> .....	37
<i>Obr. 19 Základní uspořádání vstřikovací formy</i> .....	39
<i>Obr. 20 Schéma studeného vtokového systému</i> .....	40
<i>Obr. 21 Průřezy rozváděcího kanálu [9]</i> .....	41
<i>Obr. 22 Příklady rozmístění tvarových dutin ve formě [11]</i> .....	41
<i>Obr. 23 Základní typy vtokových ústí [16]</i> .....	42
<i>Obr. 24 Princip funkce a) tunelového a b) srpkovitého vtoku [6]</i> .....	42
<i>Obr. 25 Schéma horkého rozvodného bloku</i> .....	43
<i>Obr. 26 Schéma trysek s vnitřním a vnějším vytápěním [6]</i> .....	44
<i>Obr. 27 Schéma uzavíratelné trysky [17]</i> .....	44
<i>Obr. 28 Porovnání konstrukčních řešení temperačních kanálků [6]</i> .....	45
<i>Obr. 29 Temperační přepážky dodávané společností Meusburger [18]</i> .....	46
<i>Obr. 30 Konstrukce odvzdušňovacího kanálku [19]</i> .....	47
<i>Obr. 31 Vyhazovací systém [19]</i> .....	48
<i>Obr. 32 Základní typy vyhazovacích kolíků [20]</i> .....	49

<i>Obr. 33 Znárodnění funkce akcelerátoru vyhazovacího čepu [26] .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 34 Princip funkce čelistového mechanismu [13] .....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 35 Jednotlivé díly čelistového mechanismu [21] .....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 36 Kompaktní posuvná jednotka společnosti Meusbrugger [22] .....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 37 Znárodnění postupu konstrukce tvarových částí formy [7] .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 38 Návrh temperačního systému a pravé části rámu formy [7] .....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 39 Návrh vyhazovacího systému a levé části rámu formy [7] .....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 40 Vliv jednotlivých etap na růst nákladů na uvedení výrobku na trh [24] .....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 41 Provedené sítě: 2D síť, 2,5D Síť, 3D síť [25] .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 42 3D model vstřikovaného výrobku .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 43 Fotografie vstřikovacího stroje [13] .....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 44 Pohled na sestavu navržené vstřikovací formy .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 45 Pohled na pravou stranu vstřikovací formy .....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 46 Pohled na levou stranu vstřikovací formy .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 47 Znárodnění průběhu dělicích rovin .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 48 Zobrazení jednotlivých tvarových částí .....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 49 Detail tvarového jádra „A“ a tvarového jádra „B“ .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 50 Rozložení výrobků ve formě .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 51 Výsledek analýzy vhodnosti umístění vtoku a indikátoru odporu proti tečení .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 52 Znárodnění uspořádání vtokového systému .....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 53 Znárodnění rozvodného kanálku a vtokového ústí .....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 54 Konstrukční řešení tvarové dutiny .....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 55 Znárodnění uspořádání vyhazovacího systému .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 56 Znárodnění temperačního okruhu tvarové vložky .....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 57 Znárodnění temperačního okruhu tvarových posuvných čelistí .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 58 Znárodnění temperačního okruhu tvarového jádra „A“ .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 59 Uspořádání temperačního okruhu tvarových jader „B“ .....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 60 Transportní prvky vstřikovací formy .....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 61 Znárodnění sítě vytvořené na modelu výrobku a její statistiky .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 62 Nastavení procesních parametrů (krok č. 1) .....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 63 Nastavení procesních parametrů (krok č. 2.1) .....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 64 Nastavení procesních parametrů (krok č. 2.2) .....</i>	<i>82</i>

<i>Obr. 65 Nastavení procesních parametrů (krok č. 2.3)</i> .....	83
<i>Obr. 66 Nastavení procesních parametrů (krok č. 3)</i> .....	83
<i>Obr. 67 Varianty vtokového systému (A – kombinovaný, B – studený, C – horký) ...</i>	84
<i>Obr. 68 Výsledky analýzy času plnění</i> .....	85
<i>Obr. 69 Výsledky analýzy teploty na čele taveniny</i> .....	86
<i>Obr. 70 Výsledek analýzy tlaku v místě vtokového ústí pro kombinovaný v. s.</i> .....	87
<i>Obr. 71 Výsledky analýzy rychlosti smykové deformace</i> .....	88
<i>Obr. 72 Výsledek analýzy smykového napětí na stěně pro kombinovaný v. s.</i> .....	89
<i>Obr. 73 Výsledky analýzy frakce zatuhnutých vrstev</i> .....	90
<i>Obr. 74 Výsledky analýzy vzniku vzduchových kapes</i> .....	91
<i>Obr. 75 Výsledky analýzy vzniku studených spojů</i> .....	92
<i>Obr. 76 Nastavení parametrů temperačního média</i> .....	93
<i>Obr. 77 Znárodnění trajektorií temperačního systému</i> .....	93
<i>Obr. 78 Výsledky analýzy teploty temperačního média.</i> .....	94
<i>Obr. 79 Výsledky analýzy Reynoldsova čísla</i> .....	95
<i>Obr. 80 Výsledky analýzy času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty</i> .....	96
<i>Obr. 81 Výsledky analýzy efektivity odvodu tepla</i> .....	97
<i>Obr. 82 Výsledky analýzy teploty formy</i> .....	98
<i>Obr. 83 Celková deformace pro kombinovaný v. s a studený v. s.</i> .....	99
<i>Obr. 84 Celková deformace pro horký vtokový systém</i> .....	100

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Události v historii polymerů [3] .....</i>	<i>13</i>
<i>Tab. 2 Základní rozdělení polymerních materiálů [2] .....</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 3 Vlastnosti polymerů v závislosti na molekulární struktuře [6].....</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 4 Funkce vstřikovací formy [6] .....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 5 Přehled použití nástrojových ocelí [23] .....</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 6 Vybrané materiálové parametry polymeru Ultramid B3WG6 .....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 7 Parametry zvoleného vstřikovacího stroje [13] .....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 8 Základní parametry vstřikovací formy .....</i>	<i>79</i>
<i>Tab. 9 Výsledky analýzy tlaku v místě vtokového ústí pro různé varianty v. s. ....</i>	<i>87</i>
<i>Tab. 10 Výsledky analýzy smykového napětí na stěně pro různé varianty v. s. ....</i>	<i>89</i>
<i>Tab. 11 Porovnání výsledků jednotlivých provedení vtokového systému .....</i>	<i>100</i>

**SEZNAM PŘÍLOH**

- P I Materiálový list vstříkovaného materiálu Ultramid B3WG6
- P II Parametry zvoleného vstříkovacího stroje Allrounder 320 C
- P III Výkresová dokumentace:
- Vedení řezů A-A a B-B
  - Celková sestava formy
  - Kusovník sestavy formy
  - Výkres vstříkovaného dílu
- P IV CD obsahující:
- Textový soubor diplomové práce
  - 3D model vstříkovaného dílu
  - 3D model navržené vstříkovací formy
  - Soubory tokových analýz
  - Výkresovou dokumentaci



# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST VSTŘIKOVANÉHO MATERIÁLU ULTRAMID B3WG6

<b>Product Information</b> Apr 2019	<h2 style="margin: 0;">Ultramid® B3WG6</h2> <h3 style="margin: 0;">Polyamide 6</h3>	 We create chemistry
--	---	--

#### Product Description

Ultramid B3WG6 is a 30% glass fiber reinforced, heat stabilized injection molding PA6 grade.

#### Applications

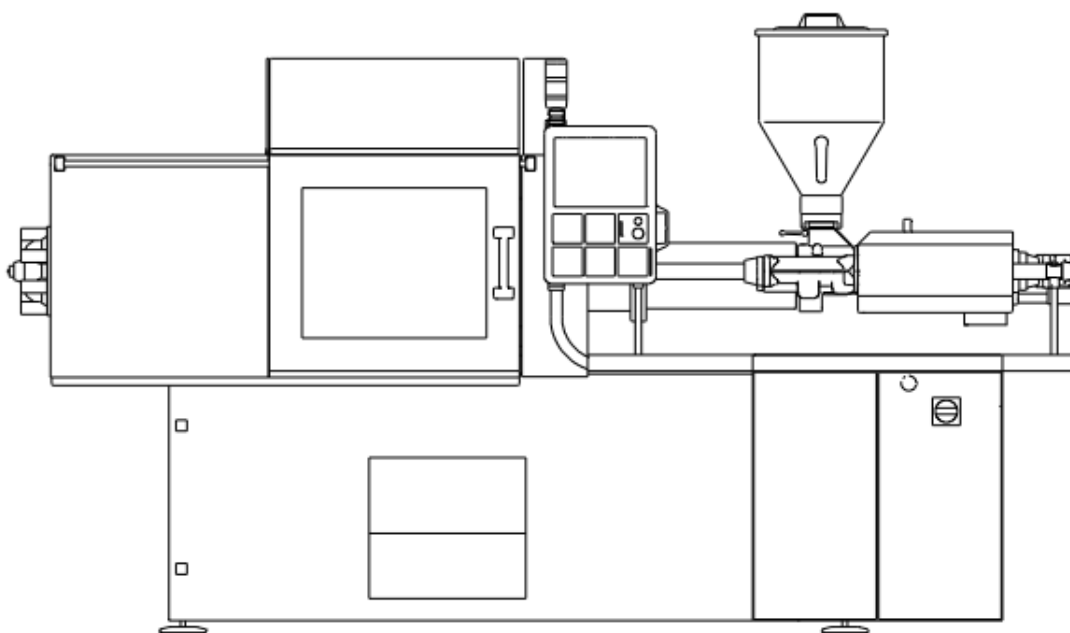
Typical applications include automotive manifolds and pedals.

PHYSICAL	ISO Test Method	Property Value	
Density, g/cm <sup>3</sup>	1183	1.36	
Moisture, %	62		
(50% RH)		2.1	
(Saturation)		6.6	
RHEOLOGICAL	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Melt Volume Rate (275 C/5 Kg), cc/10min.	1133	50	-
MECHANICAL	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Tensile Modulus, MPa	527		
23C		9,500	6,200
Tensile stress at break, MPa	527		
23C		185	115
Tensile strain at break, %	527		
-40C		4.0	-
23C		3.5	8.0
Flexural Strength, MPa	178		
23C		270	180
Flexural Modulus, MPa	178		
23C		8,600	5,000
IMPACT	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Izod Notched Impact, kJ/m <sup>2</sup>	180		
23C		15	20
Charpy Notched, kJ/m <sup>2</sup>	179		
-30C		11	-
23C		15	30
Charpy Unnotched, kJ/m <sup>2</sup>	179		
-30C		80	-
23C		95	110
THERMAL	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Melting Point, C	3146	220	-
HDT A, C	75	210	-
HDT B, C	75	220	-
Coef. of Linear Thermal Expansion, Parallel, mm/mm C		0.23 X10-4	-
Coef. of Linear Thermal Expansion, Normal, mm/mm C		0.65 X10-4	-
ELECTRICAL	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Volume Resistivity (Ohm-m)	IEC 60093	1E13	1E10
Dielectric Constant (1 MHz)	IEC 60250	3.8	6.8
Dissipation Factor (1 MHz), E-4	IEC 60250	230	2,200

BASF Corporation  
 Engineering Plastics  
 1609 Biddle Avenue  
 Wyandotte, MI 48192

General Information: 800-BC-RESIN  
 Technical Assistance: 800-527-TECH (734-324-5150)  
 Web address: <http://www.plasticsportal.com/usa>

**PŘÍLOHA P II: PARAMETRY ZVOLENÉHO VSTŘIKOVACÍHO  
STROJE ALLROUNDER 320 C**

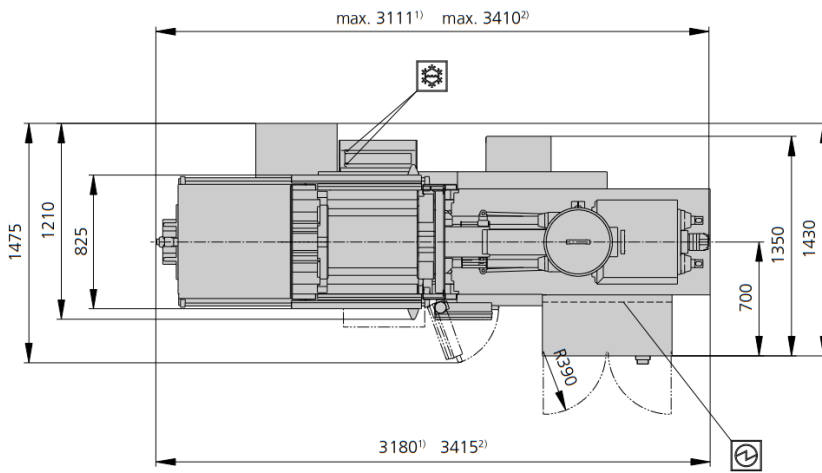
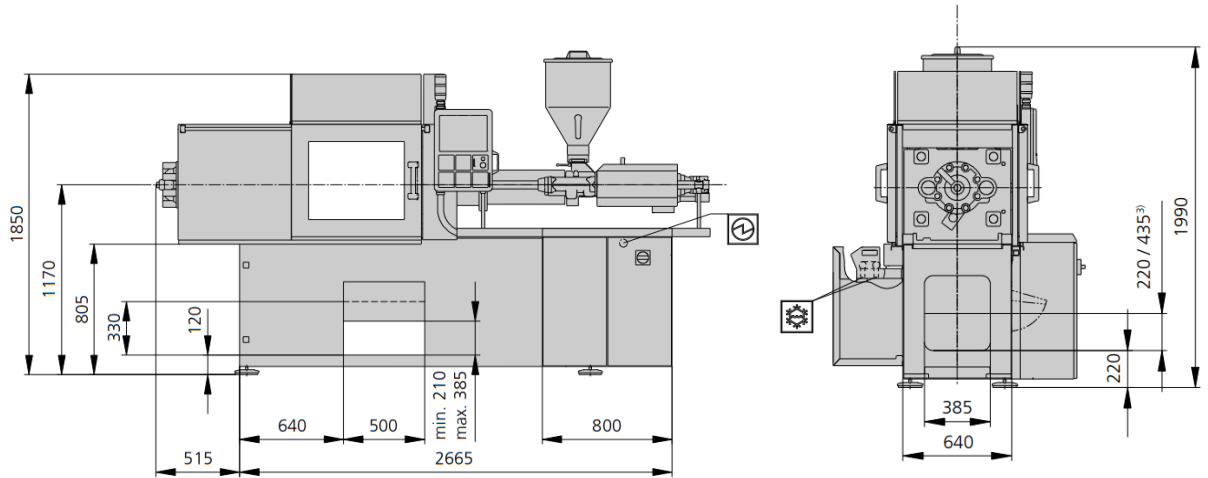


**ALLROUNDER 320 C**  
**GOLDEN EDITION**


Distance between tie bars: 320 x 320 mm  
Clamping force: 500 kN  
Injection unit (acc. to EUROMAP): 100, 170

**ARBURG**

# MACHINE DIMENSIONS | 320 C GOLDEN EDITION



 Electrical connection

 Cooling water connection

- 1) Injection unit 100
- 2) Injection unit 170
- 3) Conveyor belt

# TECHNICAL DATA | 320 C GOLDEN EDITION

		320 C GOLDEN EDITION					
<b>Clamping unit</b> with clamping force	max. kN	500					
	Opening force   stroke	130   350					
	Mould height, fixed   variable	200   ---					
	Platen daylight fixed   variable	550   ---					
	Distance between tie bars (w x h)	320 x 320 446 x 446					
Mould mounting platens (w x h)	180						
Weight of movable mould half	30   125						
Ejector force   stroke	1,3 - 224						
Dry cycle time EUROMAP 2							
<b>Injection unit</b> with screw diameter			<b>100</b>		<b>170</b>		
	Effective screw length	mm	20	25	30	35	
	Screw stroke	L/D	25	20	16,7	24	20
		max. mm	120				
	Calculated stroke volume	max. cm <sup>3</sup>	31	49	71	59	85
		max. g PS	29	45	65	54	77
	Material throughput	max. kg/h PS	5,5	8	9,5	10	13,5
		max. kg/h PA6.6	2,8	4	4,9	5	7
		max. bar	2500	2000	1390	2500	2000
	Holding pressure	max. bar	2500	2000	1390	2500	2000
		max. cm <sup>3</sup> /s	64	100	146	66	96
	Screw circumferential speed 2	max. m/min	28	35	42	35	42
		max. Nm	120	150	180	210	250
	Nozzle contact force   retraction stroke	max. kN   mm	50   180				
		max. kW	4,9   5				
Heating capacity   zones						50	
	Feed hopper						50

Drive and connection with injection unit			2 pumps
Net weight of machine	kg		100   170
Sound press. level   Insecurity <sup>4</sup>	dB(A)		2250   2300
Oil filling	l		68   3 165
Drive power <sup>2</sup>	max. kW		11   11
Electrical connection <sup>3</sup>	kW		19   22
Total	A		63   63
Machine	A		---   ---
Heating	A		---   ---
Cooling water connection	max. °C min. Δp bar		30 1,5   DN 25

### Machine type

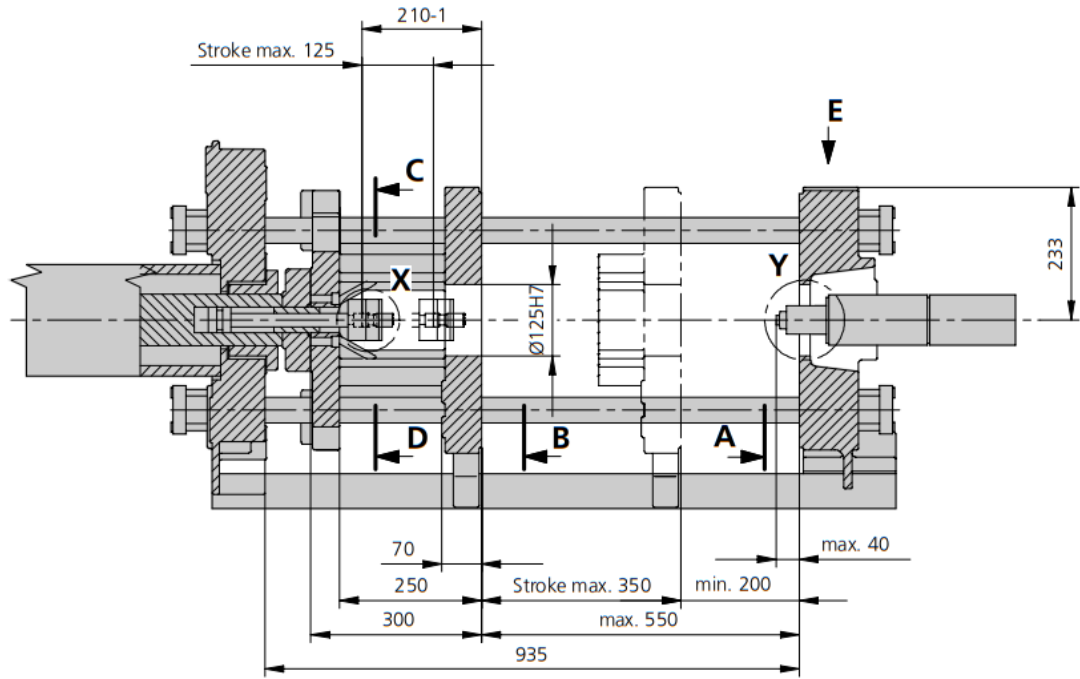
with EUROMAP size designation <sup>1</sup>

320 C GOLDEN EDITION 500-100 |170

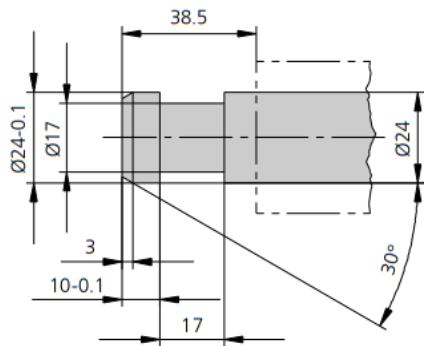
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)
  - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
  - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
  - 4) Detailed info in the operating instr.
- [ ] Specifications apply to alternative equipment.

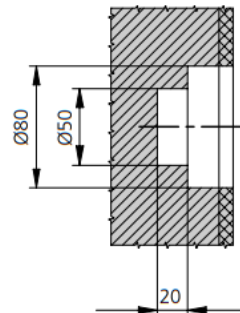
# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 320 C GOLDEN EDITION



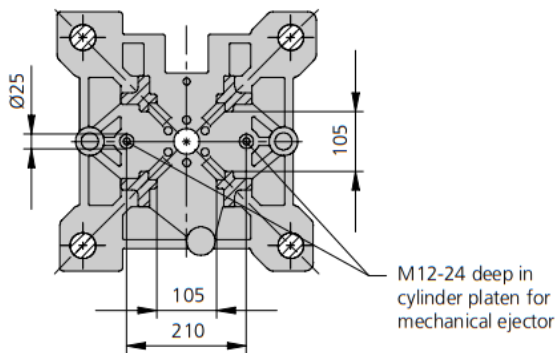
**Ejector bolt | X**



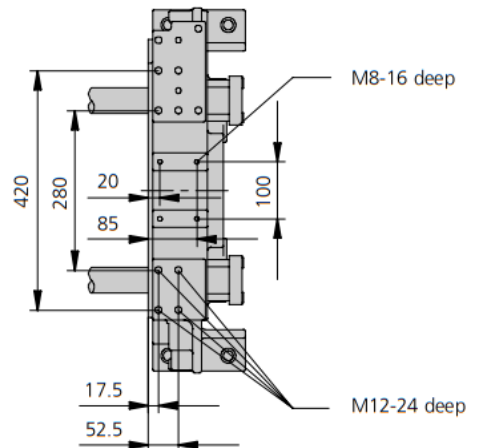
**Bore in mould (if required) | Y**



**C-D view**

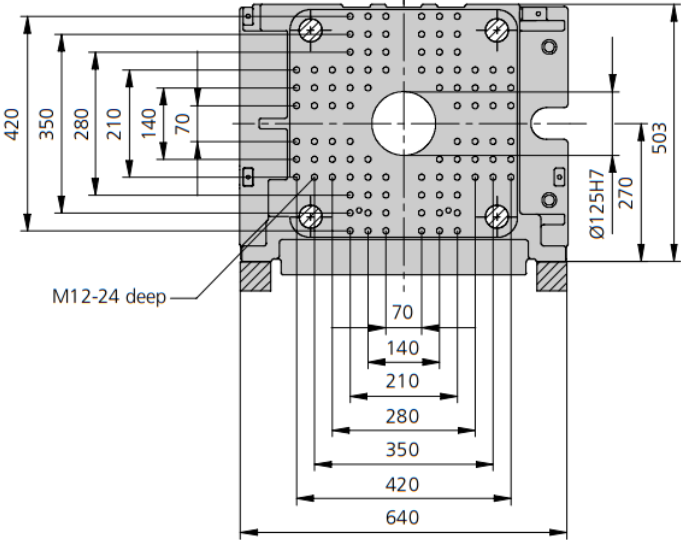


**Robotic system mounting | E**

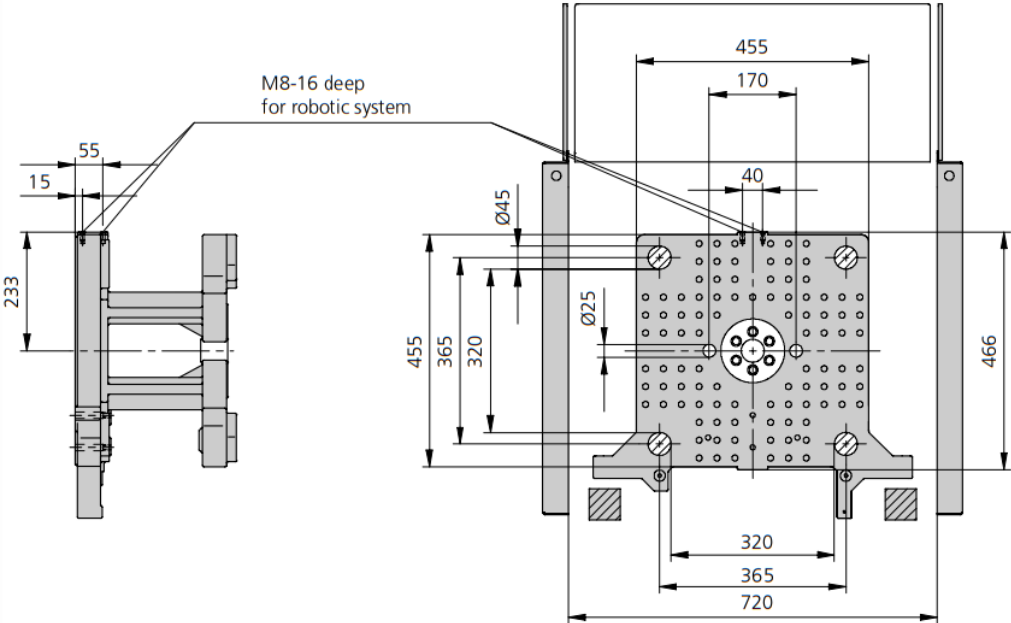


# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 320 C GOLDEN EDITION

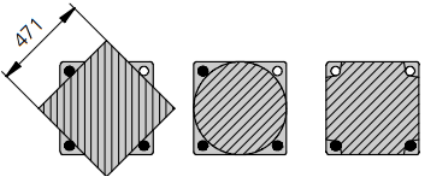
**Fixed mould mounting platen | A**



**Moving mould mounting platen | B**



**Useful clamping surface when pulling the tie rods**



# SHOT WEIGHTS | 320 C GOLDEN EDITION

## Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP	100			170		
	Screw diameter	20	25	30	25	30
Polystyrene max. g PS	29	45	65	54	77	105
Styrene heteropolymerizates max. g SB	28	44	63	53	76	103
max. g SAN, ABS <sup>1)</sup>	27	43	62	52	74	101
Cellulose acetate max. g CA <sup>1)</sup>	32	50	73	61	87	119
Celluloseacetobutyrate max. g CAB <sup>1)</sup>	30	47	68	56	81	110
Polymethyl methacrylate max. g PMMA	30	46	67	56	80	109
Polyphenylene ether, mod. max. g PPE	27	42	60	50	72	98
Polycarbonate max. g PC	30	47	68	57	81	111
Polysulphone max. g PSU	31	49	70	58	84	115
Polyamides max. g PA 6.6   PA 6 <sup>1)</sup>	28	44	64	53	77	104
max. g PA 6.10   PA 11 <sup>1)</sup>	26	41	60	50	72	98
Polyoximethylene (Polyacetal) max. g POM	35	55	80	66	96	130
Polyethylene terephthalate max. g PET	34	53	77	64	92	126
Polyethylene max. g PE-LD	22	34	49	41	59	80
max. g PE-HD	22	35	50	42	60	82
Polypropylene max. g PP	23	36	51	43	62	84
Fluoropolymerides max. g FEP, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	46	72	103	86	124	169
max. g ETFE	40	63	91	76	109	148
Polyvinyl chloride max. g PVC-U	35	54	78	65	94	127
max. g PVC-P <sup>1)</sup>	32	50	72	60	87	118

1) average value