

Využití DMLS při návrhu vstřikovací formy

Bc. Jan Navrátil

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan NAVRÁTIL**

Osobní číslo: **T09696**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Využití DMLS při návrhu vstřikovací formy**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Navrhněte varianty konstrukčních řešení s ohledem na využití DMLS.
3. Zkonstruujte vstřikovací formu dle zvolených návrhů.
4. Provedte zhodnocení konstrukčních návrhů a vyhodnoťte zjištěné výsledky.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Štěpán Šanda

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

14. února 2011


Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2011

Ve Zlíně dne 7. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Navrátil Jan

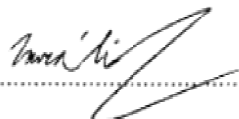
Obor: Konstrukce Technologických Zařízení

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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, 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 5.5.2011


.....

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

(1) Vysoká škola nevydělčně 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.*

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

(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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).*

³⁾ *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 přihlídá k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je navrhnout dva odlišné temperační systémy pro jednu vstřikovací formu. Oba systémy (dutiny) jsou navrženy tak, aby mohly být použity na stejné vstřikovací formě pro výrobu stejného výrobku. Rozdíl je v jejich samotné výrobě, protože jedna varianta je vyrobena konvenčními metodami a druhá pomocí nekonvenčních metod (technologie Rapid Prototyping – DMLS). V teoretické části je popsáno vstřikování samotné, typy používaných polymerů, vstřikované výrobky, vstřikovací stroj, jednotlivé části vstřikovací formy a technologie Rapid Prototyping. Praktická část se zabývá návrhem vstřikovací formy s oběma variantami temperačních systémů pro již existující výrobek, kterým je dětská sedačka. Navržené varianty jsou zkontrolovány tokovými analýzami a na závěr srovnány.

Klíčová slova: Vstřikování, Polymery, Vstřikovací forma, DMLS

ABSTRACT

The aim of this master thesis is to design two different cooling systems for one injection mold. Both systems (cavities) are designed in the way that they could be used on the same injection mold for producing the same product. Difference is in their manufacture itself, because one variant is made by conventional methods and second one by nonconventional methods (Rapid Prototyping technology – DMLS). In theoretical part is described injection molding itself, types of used polymers, injected products, injection molding machine, individual parts of injection mold and Rapid Prototyping technology. Practical part deals with design of injection mold with both variants of cooling systems for already existing product, which is child seat. Designed variants are checked by flow analyses and compared at the end.

Keywords: Injection molding, Polymers, Injection mold, DMLS

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Štěpánu Šandovi za cenné rady, ochotný přístup a spoustu času, který mi věnoval při tvorbě této diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval Ing. Tomáši Růžičkovi ze společnosti IKEA Hanim, spol. s.r.o. se sídlem v Praze za poskytnutá data a ochotu.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Ing. Zdeňkovi Smejkalovi ze společnosti Spojené Kartáčovny a.s. se sídlem v Pelhřimově a Ing. Luboši Rozkošnému ze společnosti Innomia a.s. se sídlem v Jaroměři za vstřícnou spolupráci při oceňování jednotlivých segmentů tvarových dutin.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 VSTŘIKOVÁNÍ	12
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	13
2 POLYMERY	14
2.1 TERMOPLASTY	14
2.1.1 Amorfnní termoplasty	14
2.1.2 Semikrystalické termoplasty	15
2.2 REAKTOPLASTY.....	15
2.3 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	16
2.4 ELASTOMERY	16
2.5 ZÁKLADNÍ TYPY TERMOPLASTŮ	16
3 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY	18
3.1 ZÁSADY KONSTRUKCE VÝROBKŮ	18
3.2 SPOJOVÁNÍ VÝROBKŮ	19
3.3 DODATEČNÉ ÚPRAVY VÝROBKŮ	19
3.4 VADY VÝROBKŮ.....	19
4 VSTŘIKOVACÍ STROJ	20
4.1 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	20
4.2 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	21
4.3 OVLÁDACÍ PANEL.....	21
5 VSTŘIKOVACÍ FORMA	23
5.1 VTKOVÝ SYSTÉM	24
5.1.1 Studený vtokový systém	24
5.1.2 Horký vtokový systém – izolované vtokové soustavy	26
5.1.3 Horký vtokový systém – vyhříváné vtokové soustavy	26
5.2 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	28
5.2.1 Charakteristika temperačního systému	29
5.2.2 Obecné zásady volby temperačního systému.....	30
5.2.3 Aktivní temperační prostředky.....	32
5.2.4 Pasivní temperační prostředky	33
5.3 VYHAZOVARÍ SYSTÉM.....	34
5.3.1 Mechanické vyhazování.....	34
5.3.2 Pneumatické vyhazování.....	35
5.3.3 Hydraulické vyhazování.....	35
5.4 ODVZDUŠŇOVÁNÍ FOREM	35
5.5 MATERIÁLY FOREM.....	36
5.5.1 Tepelné zpracování	37
6 RAPID PROTOTYPING	38

6.1	DMLS	39
6.2	KONFORMNÍ CHLAZENÍ	40
7	ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI.....	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST	42
8	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	43
9	POUŽITÉ PROGRAMY	44
9.1	CATIA V5R18	44
9.2	AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT 2011	44
10	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	45
10.1	MATERIÁL VÝROBKU	45
11	VSTŘIKOVACÍ STROJ	47
12	PŘEDBĚŽNÉ NÁVRHY	48
13	VSTŘIKOVACÍ FORMA	50
13.1	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	50
13.2	TVAROVÁ DUTINA VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	52
13.3	VTKOVÝ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY	54
13.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	56
13.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	58
14	MECHANICKÉ ANALÝZY	59
15	TOKOVÉ ANALÝZY.....	60
16	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	68
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	70
	ZÁVĚR	72
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	73
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	76
	SEZNAM OBRÁZKŮ	78
	SEZNAM TABULEK.....	80
	SEZNAM PŘÍLOH.....	81

ÚVOD

Technologie vstřikování zejména termoplastů, včetně strojů a zařízení pro její realizaci, urazila od prvopočátků, přes masový a bouřlivý rozvoj zejména v druhé polovině minulého století až po dnešní globalizaci, velmi dlouhou a úspěšnou cestu. Díky širokým možnostem využití termoplastů, zejména v automobilovém, elektronickém a v dalších oblastech průmyslu, je tato technologie i nadále velmi perspektivní. [23]

Kromě vývoje vstřikovacích materiálů, zejména směsí, se jedná o různé modifikace vstřikovacího procesu, včetně zařízení a forem umožňujících tyto modifikace aplikovat pro výrobní praxi. [23]

Nejpoužívanější modifikace vstřikovacího procesu [23]:

- Vícekomponentní vstřikování
- Vstřikování pomocí plynu (GIT), nebo vody (WIT)
- Vstřikování strukturně lehčených plastů
- Kaskádové vstřikování
- Vstřikování s regulací plnění dutiny v reálném čase
- Dekorativní vstřikování

Prakticky všechny modifikace technologie vstřikování plastů vycházejí z poznatků klasického vstřikování. Vždy je nutné připravit z příslušného, případně předem upraveného granulátu teplotně co nejhomogennější taveninu, kterou působením vstřikovacího tlaku a vstřikovací rychlosti dopravíme co nejšetrněji do temperované tvarové dutiny. [23]

Mimo pokroku v technologii vstřikování došlo k výraznému pokroku také ve výrobě samotné formy a jednotlivých částí. Mezi nové metody výroby zejména tvarových vložek patří technologie DMLS. S její pomocí už neplatí výrobní postupy a zákonitosti běžné u konvenčních metod obrábění, ale konstrukce se řídí především zefektivněním a optimalizací těchto částí z pohledu vstřikovacího cyklu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je nejběžnější proces zpracování termoplastů, v omezené míře reaktoplastů a kaučuků. Tento proces je diskontinuální a podílí se na něm vstřikovaný materiál, vstřikovací stroj a vstřikovací forma. [3, 39]

Při vstřikování je horký roztavený polymer vstříknut do dutiny studené vstřikovací formy působením vysokého tlaku, kde je formován do požadovaného tvaru. Vstřikováním můžeme vyrábět výrobky téměř jakékoliv složitosti, podmínkou je, že je musí být možné odformovat. [7, 17]

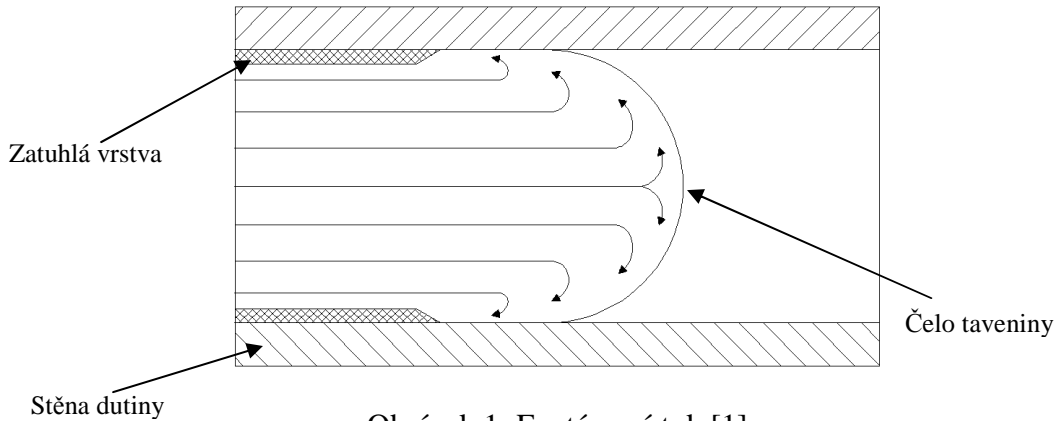
Výhody vstřikování [17, 39]:

- Krátký čas cyklu
- Možnost vyrábět tvarově složité výrobky
- Většinou není nutné dokončování
- Vysoká reprodukovatelnost výroby
- Přímá změna surového materiálu na hotový výrobek

Nevýhody vstřikování [17, 39]:

- Tloušťka stěn výrobku jen pár milimetrů
- Vysoké investiční náklady
- Výrobek musí být odformovatelný
- Dlouhé doby nutné pro výrobu forem

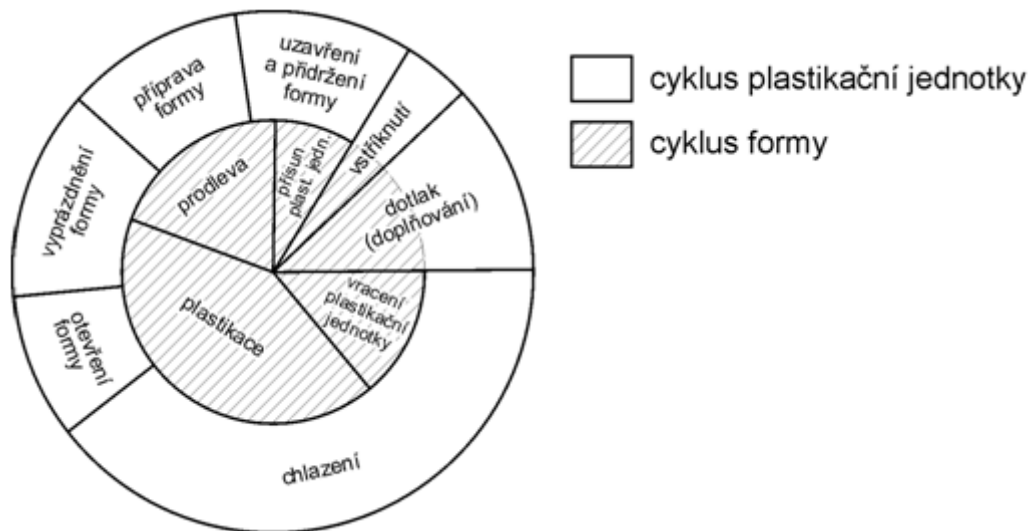
Díky relativně vysoké viskozitě proudí roztavený polymer laminárně. Reynoldsovo kritérium většiny polymerů je menší než 1, dokonce i v místech s vysokou rychlostí smykové deformace jako je vtokové ústí. Při tomto laminárním proudění dochází k tzv. fontánovému toku. Při něm je polymer v dutině jakoby odvalován. To je způsobeno zpomalením vrstev polymeru u stěny dutiny a jejich postupným ztuhnutím a tím pádem rychlejším tečením vrstev ve středu. Z toho vyplývá parabolický průběh rychlosti polymerní taveniny během vstřikování, kdy u stěny je rychlost nulová a ve středu je maximální. [1]



Obrázek 1: Fontánový tok [1]

1.1 Vstřikovací cyklus

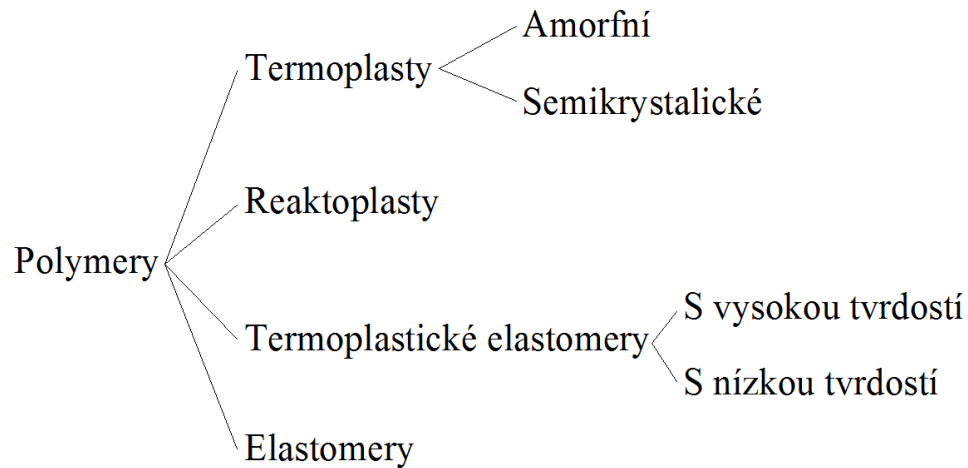
Vstřikovací cyklus je definován, jako čas od uzavření formy pro jedno vstříknutí, nebo dávku, dokud není forma znova uzavřena pro další dávku. Obvykle je počet dávek za minutu (nebo za hodinu) udáván jako ukazatel produktivity formy. Cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází teplotním cyklem. Při jeho popisu je nutno jednoznačně definovat počátek. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy. Vstřikovací cyklus je složen ze dvou částí, cyklu plastikační jednotky a cyklu vstřikovací formy. [20, 22, 39]



Obrázek 2: Vstřikovací cyklus [22]

2 POLYMERY

Polymery jsou makromolekulární látky a jejich struktura i chování jsou jiné než u kovů. Jsou tvořeny makromolekulárními řetězci (oproti kovům, jejichž struktura je tvořena krystalickými mřížkami), které vznikají opakovaným spojováním základní jednotky – meru, odvozené od výchozí molekuly – monomeru. Tyto řetězce mohou nebo nemusí být mezi sebou spojeny chemickými vazbami. [14, 23]



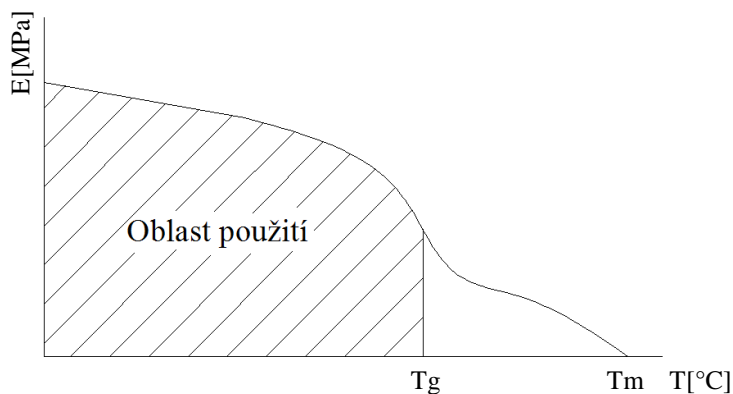
Obrázek 3: Základní rozdělení polymerů [23]

2.1 Termoplasty

Termoplasty jsou materiály tvořené lineárními nebo rozvětvenými polymerními jednotkami obsahujícími opakující se monomery. Při tváření se roztaví a ochlazením převedou opět do tuhého stavu. Termoplasty tvoří okolo 94 % objemu materiálu používaného v plastikářském průmyslu, z toho asi 40 % se zpracovává vstřikováním. Z hlediska nadmolekulární stavby rozlišujeme termoplasty amorfní a semikrystalické. [1, 19]

2.1.1 Amorfní termoplasty

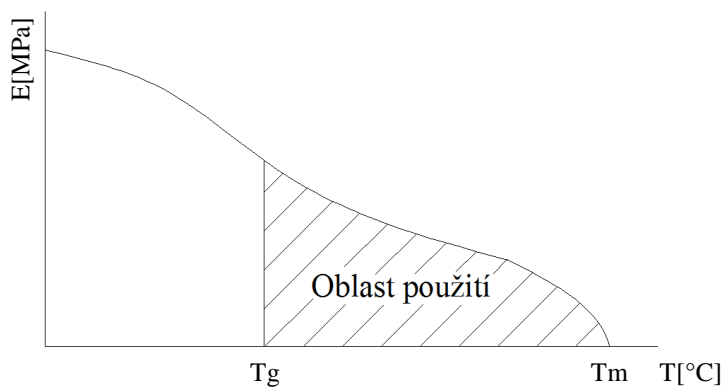
Jejich řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány. Obvykle jsou transparentní v jejich přirozené formě. Jsou méně chemicky odolné než semikrystalické termoplasty, hustota materiálu není ovlivněna rychlostí chlazení a jsou více náchylné na popraskání za neustálého působení napětí nebo zatížení. Využitelnost výrobků z amorfních termoplastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu T_g , polymer je v tomto stavu pevný. Zvyšováním teploty nad T_g postupně slábnou kohezní síly mezi makromolekulami a plast přechází z plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy se zpracovává. Se zvyšující se teplotou současně narůstá i objem polymeru. [1, 3]



Obrázek 4: Oblast použití [3]

2.1.2 Semikrystalické termoplasty

Mají vysoce organizovanou krystalickou strukturu uvnitř amorfních oblastí. Jsou mléčně zakalené. Hustota je ovlivňována rychlostí chlazení (rychlé chlazení potlačuje růst krystalů a dochází ke zmenšení hustoty) a mají vysoké smrštění během chlazení způsobené kompaktním charakterem krystalické struktury. Části makromolekul jsou pevněji vázány v lamelách a ve sférolitech krystalické fáze. Zvyšováním teploty se nejprve uvolní část makromolekul z amorfni oblasti, potom i ostatní. To je doprovázeno značným objemovým nárůstem. Použití plastu tohoto typu je v oblasti nad teplotou T_g , protože mají výhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti nad touto teplotou. [1, 3]



Obrázek 5: Oblast použití [3]

2.2 Reaktoplasty

Procházejí při zpracovatelském procesu chemickou reakcí. Účinkem tepla, záření nebo síťovacích činidel vytvářejí husté, prostorově sesíťované struktury, v nichž jsou původní molekuly vzájemně pospojovány kovalentními vazbami. Tento proces se nazývá vytvrzování. Reaktoplast je ve vytvrzeném stavu netavitelný a nerozpustný. To často dává reaktoplastům výhodu v chování za zvýšené teploty. [1, 30]

2.3 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery stojí mezi termoplasty a elastomery, přičemž kombinují pozitivní vlastnosti obou. Termoplastické elastomery se zpracovávají jako běžné termoplasty, během ohřevu na teplotu vstřikování se stávají plastickými a výsledná elasticita nastává opět po zchlazení. Výhodou termoplastických elastomerů, oproti chemicky zesíťným elastomerům, které je nutno vulkanizovat, je především vlastní fyzikální zesíťení. Díky tomu je možné tyto materiály znovu tepelně zpracovávat. [33]

2.4 Elastomery

Elastomer neboli také kaučuk je vysoce elastický polymer, který lze za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení. Tato deformace je převážně vratná. Ve svém molekulárním řetězci mají reaktivní místa umožňující chemickou síťovací reakci, nazývanou vulkanizace. Vulkanizace probíhá za přítomnosti vulkanizačního činidla, kterým je nejčastěji síra. Při vulkanizaci se plasticky tvárný kaučuk mění na pryž. [30]

2.5 Základní typy termoplastů

Polyolefiny:

Jsou to semikrystalické termoplasty s nižší pevností, tuhostí a velkou houževnatostí. Mají velký kríp. Elektroizolační a dielektrické vlastnosti jsou velmi dobré. Jsou hořlavé a mají nízkou odolnost proti ultrafialovému záření a vlivům povětrnosti. Nenavlhají a mají velmi dobrou chemickou odolnost proti kyselinám, zásadám, solným roztokům, alkoholům a rozpouštědlům. Neodolávají oxidačním činidlům, chlorovaným uhlovodíkům, odolnost vůči benzínu je částečná. Mezi polyolefiny patří například Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) a Polybuten (PB). [15, 18]

Vinylové polymery:

Jsou to amorfní termoplasty. Mají vyšší pevnost a tuhost, ale nižší tažnost, rázovou a vrubovou houževnatost. Jsou samozhášivé, mají velmi dobré elektroizolační vlastnosti. Nejsou navlhavé a mají velmi dobrou odolnost vůči povětrnosti a korozi za napětí. Chemická odolnost je velmi dobrá proti kyselinám, zásadám, alkoholům a tukům, horší proti rozpouštědlům. Mezi vinylové polymery patří Polyvinylchlorid (PVC). [15]

Styrenové polymery:

Polymer a kopolymery styrenu jsou amorfní termoplasty. Jsou tuhé, pevné, s dobrými elektroizolačními vlastnostmi, hořlavé. Chemicky odolávají kyselinám, zásadám, tukům, olejům, alkoholům, nikoliv však rozpouštědlům a chlorovaným uhlovodíkům. Dají se dobře lepit. Zpracovatelnost je vesměs velmi dobrá a rychlá. Barevnost je v široké stupnici odstínů. Mezi styrenové polymery patří například Polystyren (PS), Kopolymer styren-akrylonitril (SAN), Kopolymer akrylonitril-butadien-styren (ABS). [5, 15]

Akrylové polymery:

Jsou to amorfní termoplasty. Mají skvělou přilnavost, jsou pružné a dají se dobře táhnout. Odolávají ultrafialovému záření, povětrnostním vlivům a jsou nezávadné k životnímu prostředí. Mezi nejznámější akrylové polymery patří například Polymethylmetakrylát (PMMA). [5, 11, 15]

Polyestery:

Mohou být semikrystalické nebo amorfní. Mají vynikající odolnost proti abrazi (odbrušování), dobrou chemickou odolnost, odolnost proti korozi a vysokým teplotám. Mají vysokou rázovou pevnost. Mezi základní druhy polyesterů patří například polyetylentereftalát (PET, PETP) a Polykarbonát (PC). [11, 15]

Polyamidy:

Jsou to semikrystalické termoplasty s krystalickým podílem 20 až 40 %. Jsou tvrdé, tuhé, pevné, tažné, s výraznou mezí kluzu a vysokou rázovou a vrubovou houževnatostí. Mají velký sklon ke krípu a relaxaci napětí, vysokou odolnost proti oděru. Jsou neprůhledné, mají dobré elektroizolační vlastnosti, hořlavost je nižší, odolnost proti korozi za napětí je dobrá. Odolávají slabým zásadám, rozpouštědlům, tukům a olejům. Neodolávají kyselinám, silným zásadám, horké vodě. Zpracovatelnost je velmi dobrá. Mezi polyamidy patří Polyamid 6 (PA6) a Polyamid 66 (PA66). [15, 18]

3 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY

Při navrhování součástí z polymeru musí konstruktér volbou tvaru a materiálu součástí splnit určité požadavky, které jsou na součást kladeny. Tyto požadavky mají hledisko funkční (pevnost, tuhost, rozměrová přesnost), technologické (snadná vyrobiteľnosť a zpracovatelnost) a ekonomické (výrobní náklady, prodejnost). [14]

Pro realizaci polymerních součástí jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a jejich vlastností, které by se neměly překročit, jinak vzniknou při výrobě problémy. Všeobecně platí, že čím jednodušší je součást, tím výhodnější jsou její pevnostní podmínky, snadnější dodržení rozměrů, levnější výroba a jednodušší výroba. [3]

Součásti z polymerů nelze vyrobit ve stejné jakosti jako kovové. To proto, že na ně působí množství různých činitelů, které je ovlivňují. Jsou to materiál, výrobní technologie, forma a její kvalita. [3]

Hlavní činitele ovlivňující smrštění [3]:

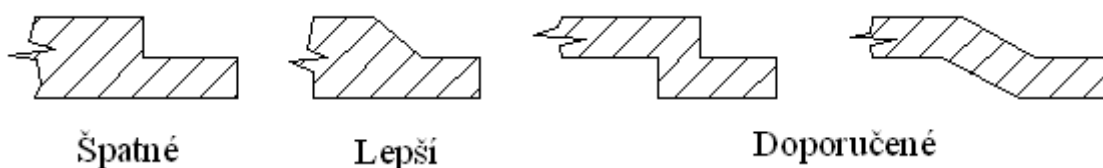
- Výrobní smrštění
- Dodatečné smrštění
- Tečení (kríp)
- Teplotní roztažnost
- Navlhavost a nasákavost

3.1 Zásady konstrukce výrobků

Celková konstrukce součásti musí především splňovat vhodnou polohu dělicí roviny (dělicích rovin), čímž je určen i způsob jejího zaformování. [3]

Tloušťka stěny:

Hlavním úkolem konstruktéra by mělo být dodržení konstantní tloušťky stěny výstřiku, protože každá oblast s odlišnou tloušťkou stěny bude mít sklon k různému smrštění. [1]



Obrázek 6: Tloušťka stěny [1]

Žebra:

Hlavním účelem žeber je zvýšení tuhosti výstřiku v požadované oblasti. Rozlišujeme žebra technická (zvýšení tuhosti a pevnosti) a technologická (optimálnější plnění dutiny formy).

[1, 3]

Zaoblení hran:

Zaoblením se usnadní tok polymerní taveniny, zabrání se koncentraci napětí v těchto místech a sníží se i opotřebení formy. Minimální velikost poměru radiusu k tloušťce stěny (R/T) by měla být 0.5. [1, 3]

Úkosity:

Stěny kolmé k dělicí rovině by měly být pro snazší vyhazování výstřiků opatřeny úkosy. Jejich velikost je ovlivňována především smrštěním a elasticitou polymeru, povrchem stěny formy a automatizací výroby. Obecně platí, že čím větší úkosity, tím menší šance potenciálních problémů při vyhazování. [1, 3]

Při konstrukci výrobků je nutné se vyvarovat nejednotné tloušťky stěn, náhlých přechodů v tloušťkách, ostrých hran, velkých rovinných ploch a příliš velkých tloušťek stěn. [3]

3.2 Spojování výrobků

Ke spojování výstřiků se používá různých řešení. Mezi nejpoužívanější patří vytvoření vnějšího nebo vnitřního závitů na součásti, použití závitorezech šroubů, nebo zastříknutí kovových částí. [3]

3.3 Dodatečné úpravy výrobků

Ne všechny požadované rozměry, jakost povrchu a vlastnosti výrobků jsou dodrženy během vstřikování. Proto je nutné pro jejich dosažení použít dodatečných úprav. Mezi nejběžnější patří temperování, kondicionování, obrábění a natírání. [3]

3.4 Vady výrobků

Výroba součástí vstřikováním je složitý proces, na kterém se podílí řada činitelů, ale ne vždy v optimální míře. Proto na nich někdy dochází k závadám, které se projevují nejruznějším způsobem. [3]

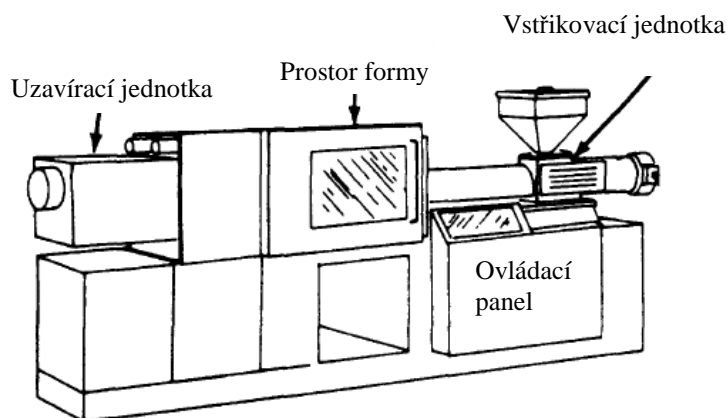
V příloze PI jsou uvedeny nejběžnější vady výstřiků spolu s možnou příčinou a řešením.

4 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Funkcí vstřikovacího stroje je převést surový polymerní materiál nejčastěji ve formě granulí na homogenní taveninu dopravovanou do dutiny vstřikovací formy. Tavení neboli plastikace se děje ve válci působením topných pásů a třením materiálu. Pístem nebo šnekem je tavenina dopravena do formy, která je po celou dobu uzavřena uzavírací jednotkou vstřikovacího stroje. [6, 21]

Základní části vstřikovacího stroje [12]:

- Uzavírací jednotka
- Vstřikovací jednotka
- Ovládací panel



Obrázek 7: Vstřikovací stroj [21]

Základní rozdělení vstřikovacích strojů [38]:

- Elektrické, hydraulické, kombinované
- Pístové, šnekové
- Jednošnekové, vícešnekové
- Pomaluběžné, rychloběžné
- Horizontální, vertikální
- S předplastikací, bez předplastikace
- Pro termoplasty, reaktoplasty, elastomery

4.1 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka zajišťuje pohyb nezbytný pro otevírání, zavírání a držení formy v zavřeném stavu během cyklu. Vyvíjí také síly nutné k otevření, uzavření a těsnému drže-

ní formy tak, aby nedocházelo k přetokům během vstřikovací a dotlakové fáze. Její základní části jsou vodící sloupy, pevná a pohyblivá deska a mechanismus zajišťující pohyb a vyvození sil, nicméně v dnešní době se některé uzavírací jednotky obejdou bez vodících sloupů. [12]

Podle druhu pohonu lze rozdělit uzavírací jednotku na hydraulickou, mechanickou, hydro-mechanickou, elektrickou, elektromechanickou. [10, 16]

4.2 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací nebo také plastikační jednotka šnekových vstřikovacích strojů má hlavní vliv na kvalitu výsledného výrobku. Její hlavní funkcí je doprava granulí polymeru spolu s přísadami, tavení, doprava taveniny podél šneku, míchání polymeru s přísadami, vstříknutí taveniny do dutiny a udržování tlaku během dotlakové fáze. Hmotnost jedné dávky by neměla překročit 90 % vstřikovací kapacity stroje. Funkce je podobná vytlačovacímu stroji až na to, že se během vstřikovacího cyklu se šnek axiálně pohybuje. [12, 29]

Nejdůležitější funkce vstřikovací jednotky [12]:

- Pohyb po vlastním suportu pro příjezd/odjezd k vtokové vložce
- Vyvození dostatečného tlaku pro těsné spojení mezi tryskou a vtokovou vložkou
- Rotace šneku během plnění
- Společný rotační a osový pohyb šneku
- Nastavení různých zdvihů, vstřikovacích rychlostí, rychlostí otáčení a tlaků
- Snadná montáž/demontáž šneku
- Automatická výměna celých plastikačních jednotek při změnách materiálu

4.3 Ovládací panel

Ovládací panel, potažmo ovládací systém má funkci sledování kvality během cyklu a zajištění splnění zadaných procesních parametrů. Ovládacím panelem je možno nastavovat teplotu oleje a válce plastikační jednotky, tlak oleje, objemové průtoky atd. Ovládání má čtyři základní prvky (příkazový modul, ovládání logiky, zdroj energie, ovladače topení). [12, 20]

Příkazový modul:

Je umístěn blízko bezpečnostních dvířek, odkud může obsluha sledovat formu. Tam má obsluha snadný přístup k tlačítkům aby mohla ovládat všechny funkce manuálně. [20]

Ovládání logiky:

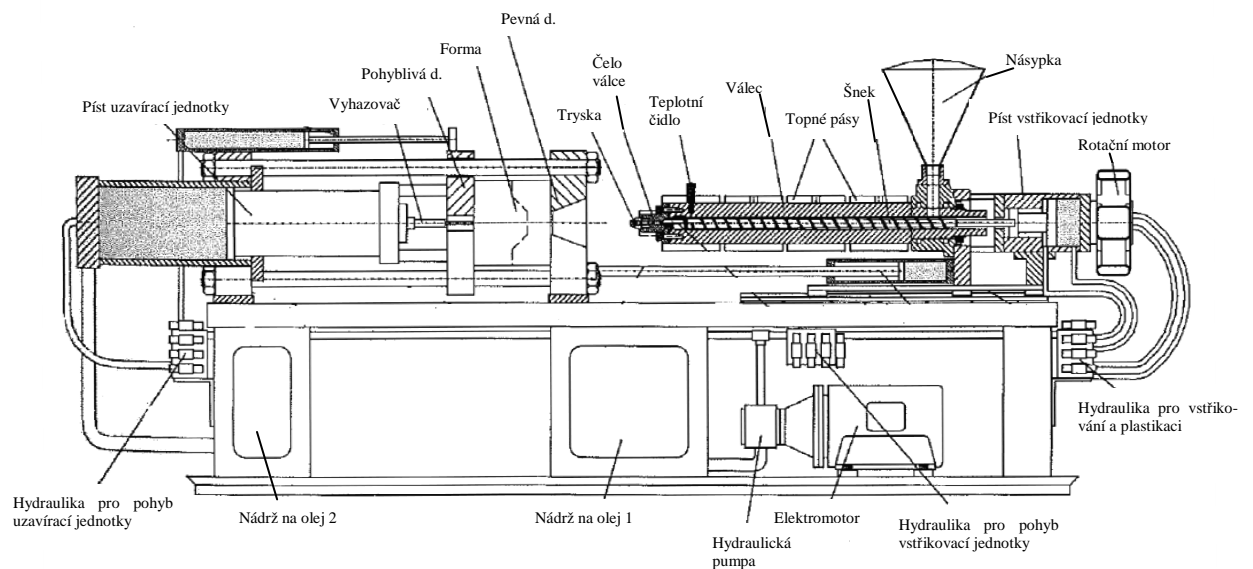
Uskutečňuje manipulaci a nastavení stroje pomocí signálů z polohových senzorů, časových spínačů atd., aby stroj pracoval správně. U dnešních strojů je ovládání logiky téměř výhradně zajištěno pomocí mikro počítačů. [20]

Zdroj energie:

Distribuce energie k motorům a topení atd. [20]

Ovladače topení:

Ovládání teploty stroje a formy. [20]



Obrázek 8: Základní části vstřikovacího stroje [12]

5 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je speciální zařízení sloužící k vytvarování roztaveného polymeru ve výsledný produkt, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Existují různé druhy forem jako stavebnicové formy, u kterých můžeme výměnou tvarových částí vyrábět odlišné výrobky, existují také tzv. multi-dutinové formy, kdy můžeme na jeden vstřikovací cyklus vyrobit rozdílné výrobky, ale vždy platí, že každá vstřikovací forma obsahuje dva základní prvky. Jsou to tvárník s tvárnicí a rám, ve kterém jsou upevněny. Nicméně téměř každá forma je originálem. [1, 3, 6]

Vstřikovací forma musí splňovat tyto základní požadavky [1]:

- Obsahovat dutinu a jádro, které vytvoří výsledný výrobek
- Poskytovat prostředí pro dopravu taveniny ze stroje do dutin
- Pracovat jako výměník tepla, který ochladí taveninu rychle a rovnoměrně
- Zajistit vyhození výrobku z formy
- Odolávat vysokým tlakům v průběhu vstřikování
- Zajisti rovnoměrné naplnění dutin taveninou u forem s více dutinami

Základní typy vstřikovacích forem [8]:

- Standardní (dvoudeskové)
- S bočními posuvovými čelistmi
- Se stírací deskou
- Třideskové
- S horkými vtoky
- Etážové formy

Konstrukční návrh vstřikovací formy, který předchází vlastní konstrukci, spočívá v posouzení tvaru a rozměrů výsledného výrobku a v jeho zaformování a určení dělicí roviny. Z takto vyhodnoceného konstrukčního návrhu téměř vyplyne koncepce formy. Doplňujícími faktory jsou pak násobnost, vyhazovací a temperační systém a vodící funkce rámu formy. To všechno s ohledem na použitý vstřikovací stroj a případné další zvláštní požadavky. [3]

5.1 Vtokový systém

Vtokový systém je jednou z nejdůležitějších částí pro úspěšné vstřikování polymerů. To platí hlavně u forem s více dutinami, kde musí být každá z dutin zaplněna stejnoměrně. Vtokovým systémem je rozváděn roztavený polymer z plastikační jednotky do jednotlivých dutin vstřikovací formy. Jeho konfigurace, rozměry a zvolené ústí ovlivňují plnění dutiny a tím i kvalitu výsledného výrobku. Při vstřikování rozlišujeme dva základní typy vtokových systémů, a to studený a horký vtokový systém. [1, 10, 17]

5.1.1 Studený vtokový systém

Při průtoku studeným vtokovým systémem dochází k okamžitému ochlazení taveniny a tuhnutí vnějšího povrchu. Tím dochází k postupnému nárůstu odporu do okamžiku zaplnění dutiny, kdy odpor prudce vzroste až do svého maxima. Další doplňování taveniny může nastat jen jejím elastickým stlačením. [3, 10]

Studený vtokový systém se skládá z vtokového kanálu, rozvodných kanálů a vtokového ústí. [3]

Vtokový kanál:

Vtokový kanál spojuje trysku plastikační jednotky s rozvodnými kanály. Vtokový kanál je vytvořen v tzv. vtokové vložce. Ta se vyrábí z pevné, houževnaté, ořezuvzdorné oceli a je tepelně zpracována, protože je velmi tepelně i mechanicky namáhána. [3, 10]

Rozvodné kanály:

Rozvodné kanály slouží k dopravě taveniny z vtokového kanálu skrz vstřikovací formu až do vtokového ústí, potažmo tvarové dutiny. Jejich délka a velikost je dána typem formy, charakterem výrobku, vlastnostmi taveniny a typem vstřikovacího stroje. [1, 3]

Rozvodné kanály musí splňovat tyto požadavky [1, 10]:

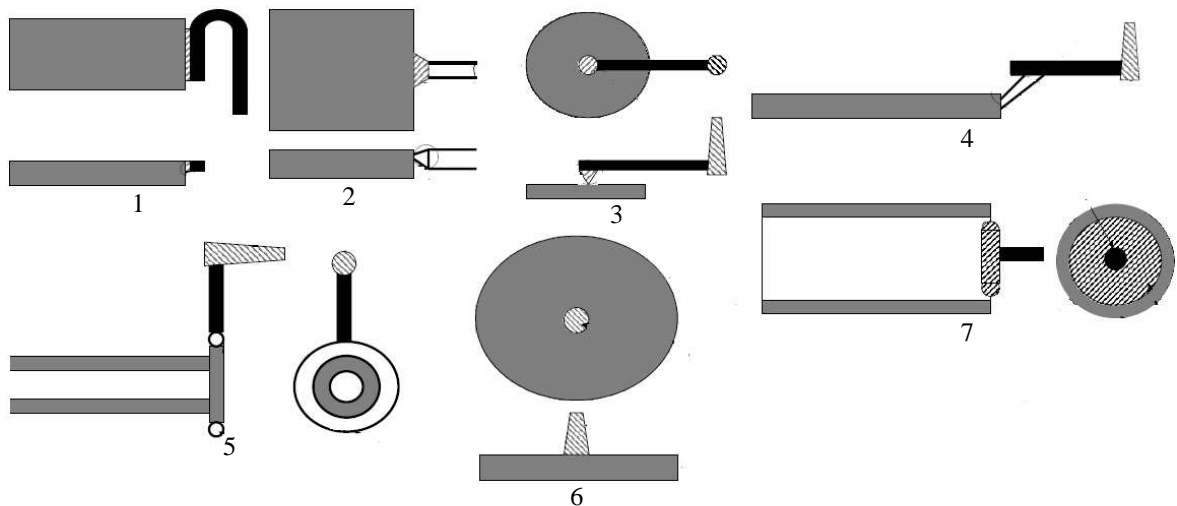
- Maximální objem při minimálním povrchu pro minimalizaci tepelných ztrát
- Dostatečnou velikost průřezu pro bezproblémové zaplnění dutiny
- Minimální možnou velikost průřezu pro redukci odpadu
- Rovnoměrné plnění všech dutin

Vtoková ústí:

Vtokové ústí je spojením mezi rozvodným kanálem a dutinou. Rozměr, tvar a umístění vtokového ústí může významně ovlivnit výsledný výrobek. Průměr vtokového ústí by měl být mezi 30 a 70 % tloušťky stěny výrobku. Menší průměr může způsobit problémy při plnění dutiny, větší zase zanechává velkou stopu. [1]

Požadavky na vtoková ústí [10]:

- Musí být umístěno, tak aby mohlo dojít k úniku vzduchu z dutiny
- Mělo by být umístěno tak, aby tavenina ihned po vtoku narazila na nějakou překážku a bylo tak zabráněno volnému toku
- Nemělo by být umístěno na funkční nebo pohledové stěně
- Mělo by být umístěno v nejtlustší stěně výrobku
- Mělo by být umístěno tak, aby vznikalo minimum studených spojů



Obrázek 9: Základní typy vtokových ústí [10]

1 – filmový vtok, 2 – vějířovitý vtok, 3 – bodový vtok, 4 – tunelový vtok, 5 – prstencový vtok, 6 – plný kuželový vtok, 7 – membránový vtok

Výhody studených vtokových systémů [17, 20]:

- Dlouhá životnost
- Větší svoboda při návrhu systému z hlediska rozměrů a balancování
- Nižší energetická náročnost
- Nižší cena

Nevýhody studených vtokových systémů [17, 20]:

- Vyšší tlakové ztráty
- Velké rozdíly ve viskozitě vlivem rozdílu teplot
- Vyšší spotřeba materiálu

5.1.2 Horký vtokový systém – izolované vtokové soustavy

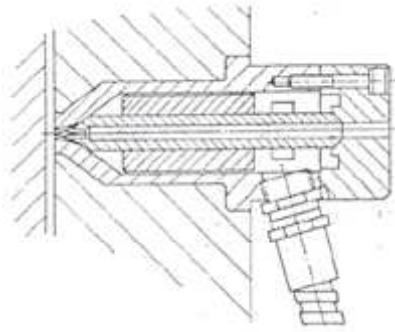
Pracují na principu vlastní termoplastické izolace v okrajových vrstvách vtokových kanálů, nebo předkomůrky. U tohoto systému tryska nemá vlastní vytápění. Její teplotu udržuje větší vrstva taveniny svou tepelně izolační vlastností. Tyto soustavy jsou použitelné jen při krátkém vstřikovacím cyklu. Nelze také vyloučit občasné strhávání ztuhlé taveniny z okrajových vrstev do výstřiku, proto se nepoužívají pro vzhledově i pevnostně náročné výstřiky. [3]

5.1.3 Horký vtokový systém – vyhřívané vtokové soustavy

Tento typ soustav umožňuje větší kontrolu nad teplotou vstřikovaného polymeru, stejně tak jako větší svobodu při návrhu zvláště mnoho dutinových vstřikovacích forem. U těchto soustav je nutná instalace také tzv. horkého rozvodného bloku, který definuje dráhu polymeru uvnitř formy a zároveň se chová jako takové prodloužení vstřikovací jednotky, protože uvnitř něj má polymer téměř stejnou teplotu a viskozitu jako uvnitř válce vstřikovací jednotky a také instalace vyhřívané vtokové trysky. Dále je nutná instalace kontrolních a ohřívacích elementů. Tyto vtokové soustavy si uživatel obvykle sám nevyrábí, ale nakupuje u specializovaných firem, které je nabízí v širokém konstrukčním provedení. [3, 10]

Vyhřívané trysky:

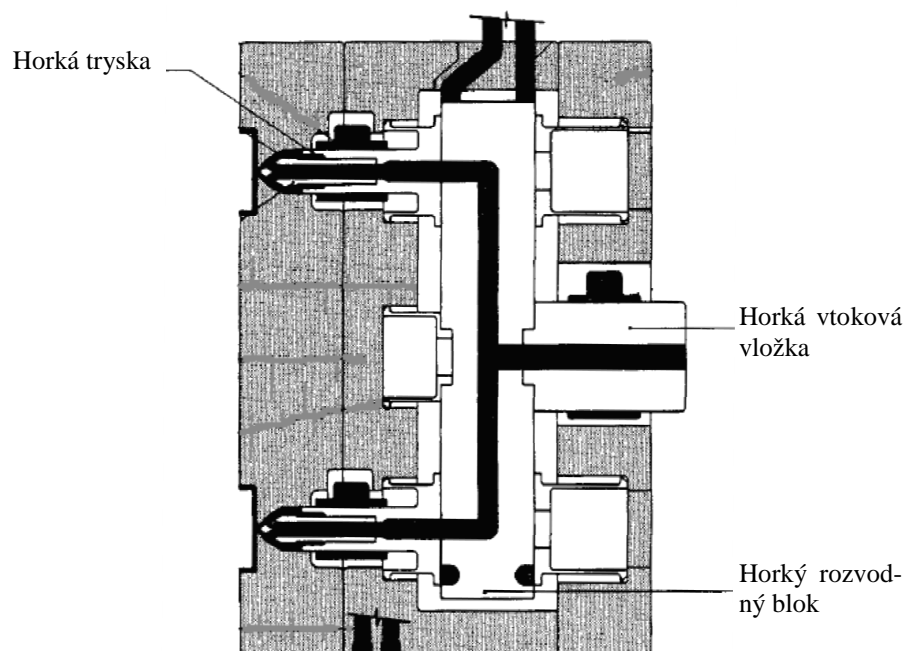
Jejich konstrukce umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy při dokonalé tepelné stabilizaci. Tryska má vlastní topný element i s regulací, nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Vyhřívaná tryska musí mít také takové vtokové ústí, které umožňuje, aby byl polymer na jedné straně tekutý a na druhé ztuhlý bez ucpávání, táhnutí vláknů, nebo vytékání. Rozlišujeme přímo a nepřímo vyhřívané trysky. [2, 3]



Obrázek 10: Příklad vyhřívání trysky [3]

Horké rozvodné bloky:

Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Jeho dobrá funkce je podmíněna rovnoměrným vytápěním, v opačném případě ovlivní tokové chování polymerní taveniny a její tlakové rozložení v jednotlivých tvarových dutinách. Rozvodný blok je ocelový a jeho tvar je konstrukčně přizpůsoben potřebné poloze rozváděcích kanálů. Musí být tepelně izolován od ostatních částí formy a je vytápěn nejčastěji zvenku elektrickým odporovým topením. [3]



Obrázek 11: Vyhřívání vtokové soustavy [21]

Hlavním rozdílem oproti studeným vtokovým systémům je v tom, že polymer zůstává v celé oblasti vtokového systému v tekutém stavu a nevzniká tak žádný vtokový zbytek, který by bylo nutné vyhodit, proto se těmto systémům říká také bezvtokové. [1, 10]

Výhody horkých vtokových systémů [2, 17]:

- Krátký čas cyklu
- Polymer zůstává taveninou v celé délce vtokových kanálů
- Snazší automatizace výroby
- Nižší vstřikovací tlak
- Nižší potřebná uzavírací síla
- Menší spotřeba materiálu
- Možnost působit dotlakem delší dobu
- Menší zdvih při otevírání formy
- Nižší tlakové ztráty

Nevýhody horkých vtokových systémů [2]:

- Nutnost kvalifikovanější obsluhy stroje
- Vysoké provozní a pořizovací náklady
- Obtížnější chlazení dutin na straně vyhřívané soustavy

5.2 Temperační systém

Temperace slouží k udržování konstantního teplotního režimu formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého vstřikovacího cyklu při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním případně ohříváním celé formy, nebo její části. Během vstřikování se do formy přivádí horký roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Vstřikovací forma se tedy chová jako výměník tepla. [1, 4]

Parametry nutné pro návrh temperace [20]:

- Typ vstřikovaného materiálu
- Materiál vstřikovací formy
- Vstřikovací stroj
- Očekávaná produktivita výroby
- Tvar výrobku

- Cena formy
- Cena údržby

Chlazení začíná okamžitě po vstupu polymeru do dutiny u forem s vyhřívanou vtokovou soustavou, případně vstupem do vtokového kanálu u forem se studenou vtokovou soustavou a trvá do té doby, dokud není forma otevřena a výrobek vyhozen. Je to tedy nejdelší část vstřikovacího cyklu. Špatně navržený temperační systém může způsobit výrazné prodloužení vstřikovacího cyklu a nerovnoměrné teplotní pole, což způsobí rozdílné smrštění a deformaci výrobku. U některých výrobků se však záměrně temperují různé části formy odlišně, aby se eliminovali deformace způsobené anizotropií smrštění polymeru. [4, 13, 17, 20]

Některé plasty se zpracovávají při vyšších teplotách formy, v takovém případě jsou tepelné ztráty formy větší, než její ohřátí taveninou a musí se naopak ohřívat. Také při zahájení výroby je třeba nejprve vyhřát formu na pracovní teplotu, jinak by nebyla zaručena dostatečná kvalita výrobků. Pokud má forma dostatečnou hmotnost a dobře řešený temperační systém, zvýší se její tepelná i rozměrová stabilita a sníží nebezpečí deformace při vysokých vstřikovacích tlacích. [4]

5.2.1 Charakteristika temperačního systému

Ohřívání případně ochlazování závisí na tepelné bilanci formy i okolního prostředí. Teplo se z formy odvádí/přivádí především temperačním systémem, mimo to se projeví ztráty tepla z formy vedením do upínacích ploch vstřikovacího stroje, dále odvodem tepla okolním vzduchem a také vyzářením do okolí. [4]

Teplota forem a zvláště jejich dutin není během vstřikování konstantní. Po vstřiku nejprve stoupá, pak klesá v důsledku odvodu tepla temperačním systémem. Kolísání teplot má být co nejmenší, proto je nutné optimalizovat temperační systém formy. [4]

Faktory ovlivňující temperaci forem [20]:

- Rozdíl teplot média na vstupu a výstupu
- Objemový průtok média
- Chemická struktura média
- Teplotní vodivost materiálu formy
- Rozměry vtokového systému
- Typ vtokového systému

- Rozměry a počet chladících kanálů

Tepelná bilance formy [4]:

$$Q_p = Q_t + Q_z [W] \quad (1)$$

Q_p – teplo přivedené polymerem [W], Q_t – teplo odvedené temperací [W], Q_z – ztráty tepla do okolí [W]

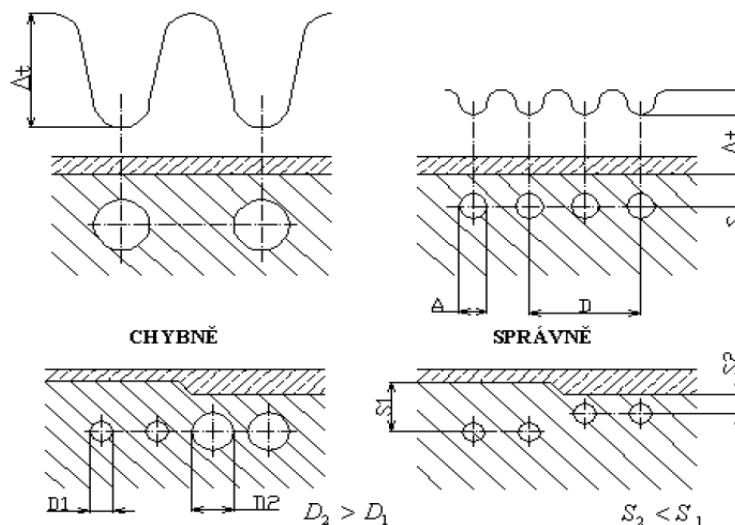
Ztráty tepla [4]:

$$Q_z = Q_v + Q_k + Q_r [W] \quad (2)$$

Q_v – ztráty tepla odvodem do upínacích ploch vstřikovacího stroje [W], Q_k – ztráty odvodem tepla do okolí [W], Q_r – ztráty tepla vyzařováním [W]

5.2.2 Obecné zásady volby temperačního systému

Temperační systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými se předává, nebo odvádí teplo z formy vhodnou kapalinou, nebo jiným zdrojem tepla. Rozměry a rozmístění temperačních kanálů se volí s ohledem na celkové řešení formy. Vzdálenost kanálů od funkční dutiny má být optimální a je třeba přitom dbát na dostatečnou tuhost a pevnost stěny funkční dutiny. Povrch temperačních kanálů slouží jako přestupová plocha pro teplo přestupující z formy do temperačního média, nebo opačně. Je vhodnější použít větší počet menších kanálů s malými roztečemi. Kolem dutiny formy se kanály rozmísťují rovnoměrně a všude ve stejné vzdálenosti. V oblasti tlustší stěny výrobku, případně v jiném místě o vyšší teplotě se kanály přiblíží k dutině formy. [4, 10]



Obrázek 12: Vhodné/nevhodné rozmístění kanálů [4]

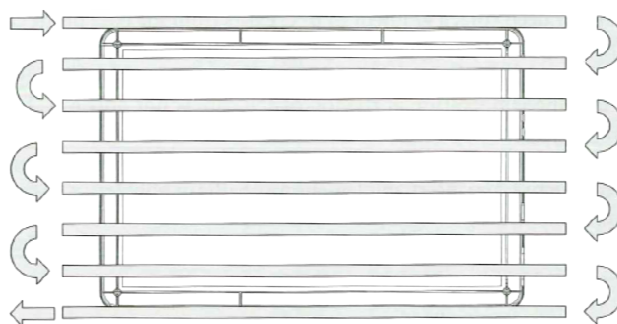
Při volbě temperačního systému je nutné dodržovat tato pravidla [4, 10]:

- Kanály umístit v dostatečné vzdálenosti od dutiny, při zachování její tuhosti
- Průtok regulovat tak, aby temperační médium proudilo od teplejšího místa k studenějšímu, u ohřevu naopak
- Z výrobních důvodů volit kruhový průřez kanálů
- Kanály mají procházet celistvým materiálem, pokud tomu tak není, je třeba je utěsnit
- Po cestě temperačního média se nemají vytvářet mrtvé kouty
- Neumísťovat kanály v blízkosti hran výrobku
- Průměr kanálů by neměl být menší než 6 mm
- Maximální počet záhybů kanálů by měl být 10, pro minimalizaci úbytku tlaku

Temperační kanály mohou být konstruovány jako sériové nebo paralelní, oba typy mají své výhody a nevýhody. [1]

Sériové chlazení:

U sériového chlazení je jeden vstup a jeden výstup s žádným větvením temperačních kanálů, z toho vyplývá relativně dlouhá dráha, kterou musí temperační médium urazit. Výhody sériového chlazení oproti paralelnímu spočívají ve snadnějším zapojení kanálů, větší jistotě, že objemový průtok bude v celé délce konstantní a jednoduché určení místa, kde došlo k případnému ucpání. Nevýhodou je, že může docházet k většímu poklesu tlaku oproti paralelnímu chlazení a tím většímu rozdílu teplot temperačního média na začátku a konci kanálů. [1]

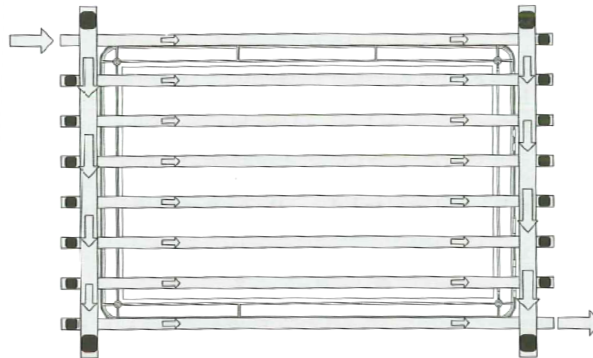


Obrázek 13: Sériové chlazení [13]

Paralelní chlazení:

U paralelního chlazení je temperační médium z jednoho vstupu rozváděno do mnoha větví, odkud zase jedním výstupem odchází pryč. V ideálním případě by mělo médium téct rov-

nomálně všemi větvemi, při stejné teplotě a objemovém průtoku. Výhodou je kratší délka toku média a tím menší rozdíl teplot na vstupu a výstupu a také vyšší objemový průtok. Nevýhodou je, že objemové průtoky v jednotlivých větvích jsou pouze podílem celkového objemového průtoku a že v různých větvích může být jiný odpor proti toku, což může vyústit v nerovnoměrné chlazení výrobků. [1]



Obrázek 14: Paralelní chlazení [13]

5.2.3 Aktivní temperační prostředky

Působí přímo ve formě a teplo do ní přivádí, nebo z ní odvádí. [4]

Kapaliny:

Proudí nuceným oběhem temperačními kanály vytvořenými uvnitř formy a dochází tak k přestupu tepla mezi formou a kapalinou. Obvykle se jako temperační médium používá voda, glykoly nebo olej. Jejich charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 1. [4]

Tab. 1. Vlastnosti kapalin [4]

Typ	Výhody	Nevýhody
Voda	Vysoký přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost	Použitelná do 90°C, vznik koroze, usazování kamene
Olej	Možnost temperace i nad 100°C	Zhoršený přestup tepla
Glykoly	Omezení koroze a ucpávání systému	Stárnutí, znečišťování prostředí

Vzduch:

Vzduch odvádí teplo z povrchu formy a z tvarových částí během otevření formy buď volnou konvekcí, nebo nucenou konvekcí působením přetlaku či podtlaku. [4]

Topné elektrické články:

Používají se k temperaci forem s požadovanou vyšší teplotou, pokud ztráty tepla do okolí jsou vyšší než teplo dodané vstříkovaným polymerem. Používají se většinou topné patrony a prstencová topná tělesa s větší povrchovou zátěží, které umožňují v relativně malých objemech předat značné množství tepla do vytápěné části formy. Základním pravidlem zvyšujícím spolehlivost je použití většího počtu topných článků, které nejsou využívány na plný výkon. [4]

5.2.4 Pasivní temperační prostředky

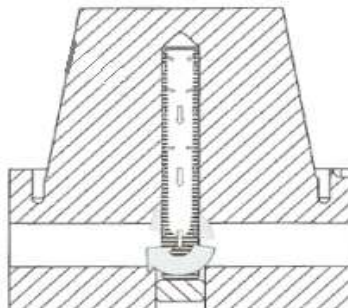
Tyto prostředky svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy. [4]

Tepelně izolační materiály:

Využívají se především pro omezení přestupu tepla do upínacích desek stroje a to v případech, kdy požadujeme vysokou teplotu formy. Volí se různě pevnostně a tepelně odolné materiály na bázi vyztužených reaktoplastů, nebo nekovových anorganických látek. Těmi to materiály jsou např. sklotextit ARV, nebo sklotextit SI. [4]

Tepelně vodivé materiály:

Používají se k odvodu, případně přívodu tepla z míst jiným způsobem obtížně temperovatelných do míst, kde již odvod resp. přívod tepla lze zajistit běžným způsobem. Nejúčinnějším prostředkem jsou tzv. tepelné trubice, které využívají výparného tepla látky, cirkulující uvnitř v důsledku teplotního spádu. [4]



Obrázek 15: Příklad použití tepelné trubice [13]

5.3 Vyhazovací systém

Vyhazování výstřiků z formy činnost, kdy se z dutiny nebo tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výrobek. K tomu slouží vyhazovací zařízení, které doplňuje formu a svou funkcí má zajišťovat automatický výrobní cyklus. Vyhození se skládá z pohybu dopředného, kdy je realizováno vlastní vyhození a z pohybu zpětného, kdy se vrací vyhazovací systém do původní polohy. [4]

Základní podmínkou dobrého vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Vyhazovací systém musí výrobek vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení a tím ke vzniku trvalých deformací. Vhodný vyhazovací systém musí vyvodit potřebnou vyhazovací sílu pro vyhození výrobku z formy. [4]

Další způsoby snížení potřebné vyhazovací síly [1]:

- Leštit dutinu ve směru vyhazování
- Snížit dobu chlazení
- Snížit dotlak a jeho délku
- Snížit teplotu formy

5.3.1 Mechanické vyhazování

Je nejrozšířenějším vyhazovacím systémem a používá se všude, kde je to možné. [4]

Vyhazovací kolíky:

Jsou nejběžnější a zároveň nejlevnější metodou vyhazování. Výhodou je tedy jejich cena, snadné použití a to, že působí zároveň jako odvzdušnění. Nevýhodou je, že na výrobek působí pouze malou plochou a při nedostatečném ochlazení může docházet k poškození výrobku. Alternativou jsou trubkové vyhazovače, které tuto nevýhodu částečně odstraňují, ale mohou být použity jen u výrobků s kruhovými otvory, kdy jádro vyhazovače je zároveň jádrem dutiny. [1, 20]

Stírací desky:

Stírací desky jsou výhodné zejména proto, že na výrobek působí relativně velkou plochou, nezůstává po nich žádná stopa na výrobku a není nutné, aby na výrobku byly válcové díry. Nevýhodou je, že vzhledem k velké ploše stírací desky může docházet k teplotním dilatacím a tím i ke špatnému vyhození. Avšak i tuto nevýhodu lze eliminovat použitím tvarových vložek upnutých ve stírací desce. [1, 4, 20]

Šikmé kolíky:

Jsou speciální formou mechanického vyhazování, kdy vyhazovací kolíky nejsou kolmé na dělicí rovinu, ale jsou k ní uloženy pod různými úhly. Využívají se k vyhazování malých a středně velkých výrobků s mělkým vnitřním nebo vnějším zápichem. [4]

Dvoustupňové vyhazování:

Umožňuje vyhazovat výrobky s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho velikosti. Využívá se také pro oddělování vtokových zbytků spolu s jejich vyhazováním. [4]

5.3.2 Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazování je vhodné pro vyhazování slabostěnných výrobků větších rozměrů ve tvaru nádob, které je nutné při vyhazování zároveň zavzdušnit, aby se nedeformovaly. Výhodou je zkrácení velikosti formy, jelikož není nutný velký zdvih vyhazovače, prodloužení životnosti formy, protože se nemusí konstruovat pohyblivé desky vyhazovačů a stlačený vzduch působí rovnoměrně na celou plochu výrobku. Nevýhodou je možnost použití jen na určité tvary výrobků. Pneumatické vyhazování je možno kombinovat s mechanickým. [4, 20]

5.3.3 Hydraulické vyhazování

Bývá součástí vstřikovacího stroje a používá se především k ovládnutí mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a větší flexibilitou. Vyznačuje se také velkou vyhazovací silou a kratším a pomalejším zdvihem. [4]

5.4 Odvzdušňování forem

Při plnění dutiny taveninou může dojít k uvěznění vzduchu, který může být příčinou nekvalitního vzhledu výrobku, nebo jeho nízkých mechanických vlastností. K předcházení těchto problémů je nutné umístit na vhodná místa odvzdušňovací kanály, které umožní únik vzduchu. [1, 4]

Umístění odvzdušňovacích kanálů souvisí s umístěním vtokového ústí, protože k uvěznění vzduchu dochází v místech, kde taveniny zateče jako poslední. V těchto místech je proto žádoucí umístit odvzdušňovací kanály. Dále je nutné zohlednit funkci výrobku, protože na

něm po odvodušňovacích kanálech zůstávají stopy, které mohou být mnohdy nežádoucí. [1, 4]

Velikost odvodušňovacích kanálů závisí na typu vstřikovaného polymeru, kdy u vysokoviskózních amorfních termoplastů je doporučována hloubka kanálu 0.03 mm a pro nízko-viskózní semikrystalické termoplasty 0.015 mm. Pro minimalizaci odporu při úniku vzduchu se délka kanálů volí relativně krátká, přibližně 2 mm, za nimi je kanál dostatečně rozšířen. Tvar odvodušňovacích kanálů je výhradně obdélníkový a šířka kanálů se dále volí dle potřeby. [1, 4]

U některých výrobků není třeba konstruovat žádné odvodušňovací kanály, protože vzduch stihne uniknout dělicí rovinou, nebo vůlí mezi pohyblivými částmi. U jiných výrobků nejsou dostatečné ani klasické metody odvodušňování, proto je u nich nutné použít vakuové odvodušňování, kdy jsou odvodušňovací kanály napojeny na hadice, které z dutiny při vstřiku odstraní veškerý vzduch. Při tomto odvodušňování je nutné oblast kolem dutiny dodatečně utěsnit. [1, 4]

Problém s odvodušňováním se vyskytuje zejména u nových forem s dobře těsnícími dělicími rovinami. V průběhu provozu vzniknou vlivem opotřebení větší vůle, které umožňují vzduchu stále více možností úniku. [1]

5.5 Materiály forem

Pro výrobu forem se používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Dává se přednost materiálům univerzálních typů se širokým rozsahem užitečných vlastností. Takové druhy představují oceli různých jakostí, nezelezné slitiny kovů a ostatní materiály. [4]

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci, proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu, ze kterého budou vyrobeny. [4]

Požadované vlastnosti ocelí [4, 17]:

- Dostatečná mechanická pevnost a tuhost
- Dobrá obrobiteľnosť
- Odolnosť proti korozi
- Vysoká tepelná vodivosť
- Odolnosť proti opotrebeniu

- Vysoká stabilita při tepelném zpracování
- Dobrá leštitelnost a brousitelnost

Většinu těchto vlastností vyžadují oceli používané na tvarové části a ostatní funkční vložky. Na pomocné díly jako je rám formy jsou dostačující jednodušší konstrukční oceli, protože jejich funkční požadavky jsou nižší, cena a vhodný sortiment dostupnější. [4]

Nejpoužívanější oceli na výrobu tvarových částí [17]:

- Cementační oceli
- Nitridační oceli
- Kalitelné oceli
- Martenzitické oceli
- Nerezové oceli
- Tvrzené slitiny

Další druhy používaných materiálů [4]:

- Slitiny hliníku
- Slitiny mědi

5.5.1 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování představuje souhrn takových operací, kterými se získávají požadované vlastnosti materiálu. Průběh je provázen změnou jejich struktury, ovlivňující především mechanické vlastnosti. [4]

Nejpoužívanější druhy tepelného zpracování ocelí [4]:

- Žíhání pro odstranění vnitřního pnutí
- Kalení pro zvýšení pevnosti a tvrdosti
- Popouštění v návaznosti na kalení
- Chemicko-tepelné zpracování (cementování, nitridování)

Tepelně se zpracovávají i používané slitiny neželezných kovů, pro zlepšení podmínek pro zpracování, nebo případně zvýšení pevnosti. [4]

Nejpoužívanější druhy tepelného zpracování slitin [4]:

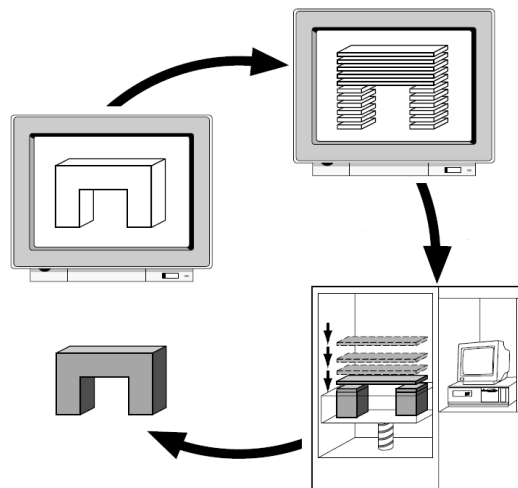
- Žíhání pro odstranění vnitřního pnutí
- Vytvrzování

6 RAPID PROTOTYPING

Principem technologie Rapid Prototyping je vytvoření reálného modelu přímým využitím 3D dat. Tato technologie patří mezi tzv. přídávací procesy, protože při výrobě dochází k přidávání materiálu, na rozdíl od procesů oddělovacích, jako je soustružení, frézování apod., u nichž dochází k oddělování materiálu. [9, 36]

Princip [9, 32, 36]:

- Vytvoření 3D dat modelu
- Převod modelu do formátu STL
- Rozdělení „STL“ modelu na jednotlivé vrstvy
- Nanášení jednotlivých vrstev materiálu ve formě kapaliny, prášku, nebo plátů a jejich spojování dohromady
- Očištění hotového výrobku



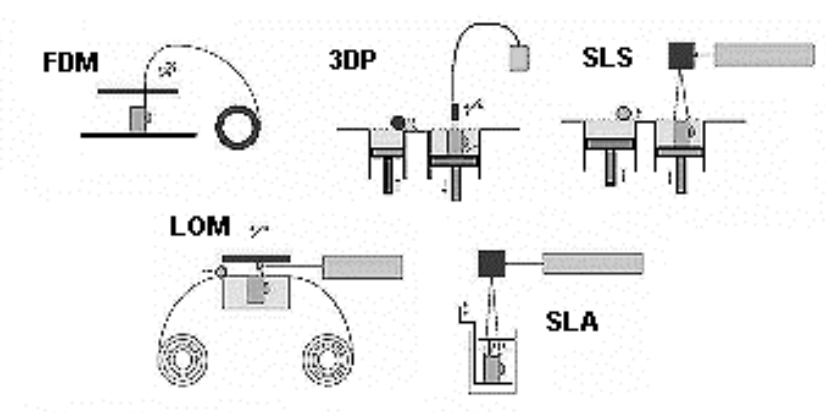
Obrázek 16: Postup výroby [9]

Existuje velký počet navzájem si konkurujících metod Rapid Prototypingu, které se liší hlavně způsobem vytváření jednotlivých vrstev. [32]

Nejpoužívanější metody Rapid Prototypingu [9, 26, 31]:

- SLA (Stereo Litography Aparatus) – nanášení tekutého akrylátu bod po bodu a spékání laserem
- SGC (Solid Ground Curing) – plošné nanášení tekutého akrylátu a spékání laserem
- SLS (Selective Laser Sintering) – spěkaný kompozit dvou prášků
- FDM (Fuse Deposition Modelling) – termoplast nanášený vytlačováním

- LOM (Laminated Object Modelling) – laminace papíru
- 3DP (3 Dimensional Print) – tisk po vrstvách slepováním prášku
- DMLS (Direct Metal Laser Sintering) – spékání kovového prášku laserem



Obrázek 17: Metody Rapid Prototypingu [31]

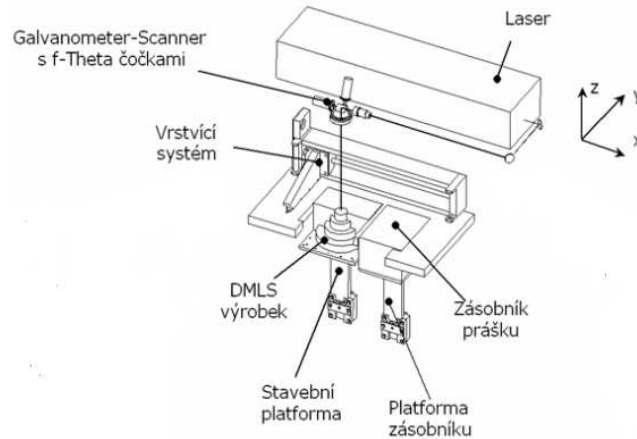
6.1 DMLS

DMLS neboli Direct Metal Laser Sintering je technologie umožňující vyrobit plně funkční kovové díly přímo z 3D CAD dat, přičemž odpadá investice do výrobních nástrojů a technologií, což přináší značnou úsporu nákladů a času. Kovové díly vyrobené technologií DMLS jsou z hlediska mechanických vlastností plně srovnatelné s obráběnými či odlévanými díly. [26]

Spektrum aplikací DMLS je velmi široké a to od prototypů, přes malosériové díly až po finální, individualizované výrobky. Výhody procesu rostou s tvarovou komplexností dílů, čím je geometrie výrobku složitější co do tvaru a četnosti výskytu detailních prvků, tím je technologie DMLS ekonomicky efektivnější. [26]

DMLS je technologie založená na postupném tavení velmi jemných vrstev kovového prášku pomocí laserového paprsku. 3D CAD model výrobku je nejprve „rozřezán“ na jednotlivé vrstvy, díl je pak stavěn vrstvu po vrstvě. Energie laserového paprsku lokálně taví kovový prášek pouze v konturách řezu, který je definován průnikem dané roviny (vrstvy) tělesem (3D CAD modelem) výrobku. V průběhu stavby dílu je nezbytná fixace správné polohy dílu pomocí podpůrné struktury, která je ukotvena k základní ocelové platformě. Podpůrné prvky jsou stavěny vrstvu po vrstvě zároveň s výrobkem. Minimální tloušťka vrstvy je 20 μm . Laser důkladně taví kov ve formě prášku a tím je zajištěno dokonalé spojení jednotlivých vrstev. Laserový paprsek je precizně řízen v „x“ a „y“ souřadnicích, osa

„z“ je řízena posunem platformy o 20 μm při změně vrstvy, což umožňuje dodržení tvarových tolerancí v rozmezí ± 0.1 mm. Po zakončení výrobního procesu je platforma s výrobky vyjmuta z pracovního prostoru zařízení a díly jsou odděleny od platformy. [26]

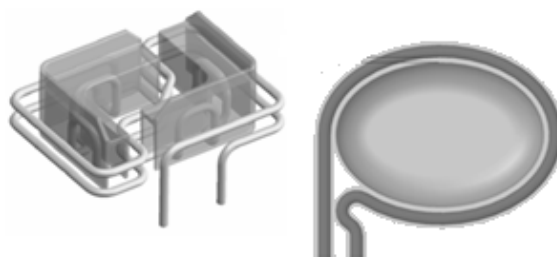


Obrázek 18: Schéma stroje [26]

Dokončovací operace jsou nezbytnou součástí výrobního procesu. Nejprve je nutno odstranit podpůrné struktury z povrchu výrobku, povrch lze dále tryskat, brousit, leštit či obrábět stejným způsobem, jako klasický kovový materiál. Principiální výhodou přímé výroby kovových dílů pomocí DMLS technologie je fakt, že odpadá potřeba výrobního nářadí (forem, lisovacích nástrojů...). Nespotřebovaný prášek je z 98 % znova využíván pro výrobu, čímž je proces ekonomický a zároveň ekologický. [26]

6.2 Konformní chlazení

Konformní chlazení je vyrobitelné pouze metodou DMLS. Konstruktor není při návrhu chladicího okruhu limitován klasickými výrobními postupy a návrh chlazení optimalizuje pouze s ohledem na výrobek a maximální odvod tepla v co nejkratším čase, což se projeví jako razantní zkrácení výrobního cyklu až o 50 %. U konformního chlazení je chladicí okruh navržený tak, aby v nejkratší možné vzdálenosti od stěny výstřiku kopíroval jeho povrch. [28]



Obrázek 19: Konformní chlazení [26, 28]

7 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byla popsána problematika vstřikovacího procesu se všemi jeho náležitostmi. Dále byly popsány jednotlivé druhy polymerů používané při vstřikování, přičemž nejvíce prostoru bylo věnováno termoplastům. V dalších kapitolách byly popsány vstřikované výrobky, jednotlivé části vstřikovacího stroje a vstřikovací formy, přičemž největší důraz byl kladen na temperaci forem.

V poslední kapitole byla diskutována, s ohledem na zadané téma diplomové práce, technologie Rapid Prototyping a zvláště metoda DMLS.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je navrhnout vstřikovací formu s dvěma odlišnými temperačními systémy vytvořenými v tvarových dutinách. První temperační systém by měl být vytvořen konvenčními metodami obrábění a druhý pomocí technologie DMLS. Oba systémy by měly být použitelné na stejné vstřikovací formě pouhou výměnou tvarových dutin.

Jednotlivé cíle diplomové práce:

- vypracovat literární rešerši na dané téma
- nakreslit 3D model vstřikovací formy
- nakreslit 3D model dutin vytvořených konvenčními metodami
- nakreslit 3D model dutin vytvořených nekonvenčními metodami
- nakreslit 2D sestavu vstřikovací formy a obou typů dutin
- porovnat vybrané dutiny mechanickými analýzami
- porovnat jednotlivé varianty tokovými analýzami
- porovnat jednotlivé varianty z ekonomického hlediska
- popsat jednotlivé návrhy a vyhodnotit výsledky

9 POUŽITÉ PROGRAMY

V praktické části byl použit program Catia V5R18, který sloužil jak pro nakreslení všech 3D modelů a všech potřebných výkresů, tak pro zhotovení mechanických analýz. Dále byl použit program Autodesk Moldflow Insight 2011, ve kterém byly zhotoveny všechny tokové analýzy.

9.1 Catia V5R18

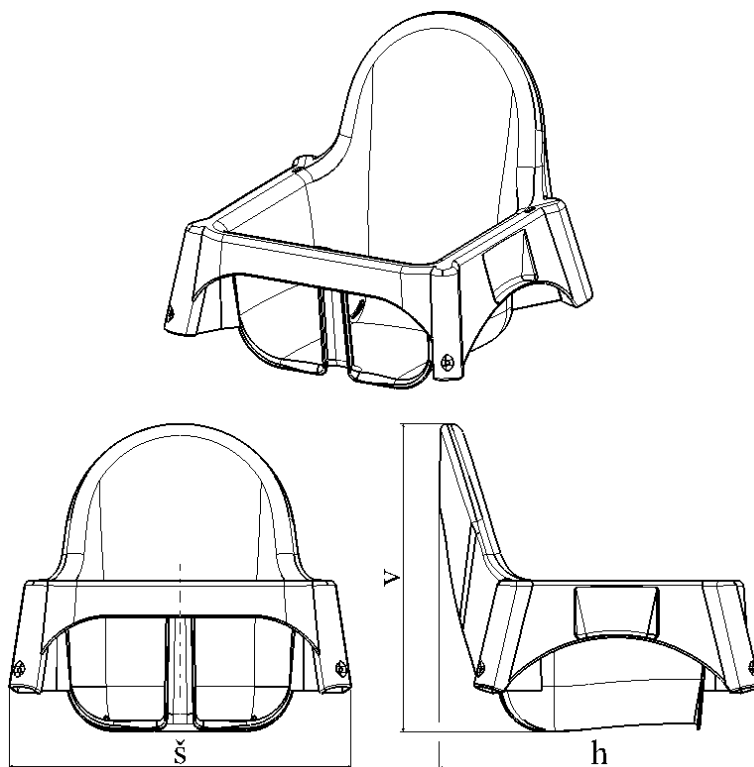
Catia je program vytvořený francouzskou firmou Dassault Systemes a poskytuje řešení pro integrované procesy vývoje produktu. Plně pokrývá celý proces od návrhu a upřesňování výrobku, přes integrovanou analýzu až po přípravu výroby. Do systému byly začleněny četné požadavky zákazníků včetně katalogů standardních součástí, kompletní integrace návrhu plechových součástí, strukturálního navrhování velkých sestav a správy kusovníku. Program Catia může být sestaven ze samostatných modulů, nebo rovněž jako zkompletované logické seskupení (konfigurace), které odpovídá obvyklým uživatelským profilům v průmyslových i výrobních oblastech. [27]

9.2 Autodesk Moldflow Insight 2011

Autodesk Moldflow je simulační software poskytující nástroje, které pomáhají vyhodnotit a optimalizovat konstrukci plastových dílů a vstřikovacích forem. Pomáhá předcházet vzniku potenciálních vad za pomoci predikce chování taveniny uvnitř dutiny. Součástí software je rovněž databáze více než 8000 polymerních materiálů, charakteristických pro technologii vstřikování. [37]

10 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaným výrobkem je dětská sedačka. Tento výrobek byl navržen s ohledem na co největší pohodlí, proto nesmí být na pohledových stranách žádné stopy a povrch musí být dokonale hladký. Základní rozměry výrobku jsou 359.1 x 398.8 x 373.8 mm (v x š x h). Sedačka patří do sortimentu společnosti IKEA a její obchodní název je ANTILOP.



Obrázek 20: Vstříkový výrobek

10.1 Materiál výrobku

Materiál výrobku byl vybírán dle základních požadavků, které byly, s ohledem na jeho zpracování a použití, zdravotní nezávadnost, dobré antistatické vlastnosti, vysoká tuhost, velmi dobré tokové vlastnosti, nízká cena a jeho snadná dostupnost. Vzhledem k těmto požadavkům byl vybrán polypropylén (PP).

Polypropylén patří mezi semikrystalické termoplasty s podílem krystalinity 60 – 75 %. Vzhledem ke své krystalinitě je polypropylén neprůhledný a používá se zejména na výrobky, u nichž je žádána tuhost, mechanická pevnost a dobré elektroizolační vlastnosti. Dále se vyznačuje dobrou chemickou odolností, dlouhodobou tepelnou použitelností kolem 100 °C a odolností proti korozi za napětí. [18]

Dodavatelem granulí materiálu byla zvolena firma Borealis. Obchodní název polymeru je Daplen BH 345 MO. Vyznačuje se vynikajícími antistatickými účinky, vysokou rázovou pevností, vysokou tuhostí a leskem a dobrými tokovými vlastnostmi. Materiál je zdravotně nezávadný, hoří, ale není klasifikován jako hořlavý a není chemicky reaktivní. Doporučené použití je na tenkostěnné výrobky, technické díly, uzávěry a na aplikace pro domácnost. [24, 25]

Základní charakteristiky jsou [24, 40]:

- Modul pružnosti v tahu $E = 1340$ [MPa]
- Modul pružnosti ve smyku $G = 481.3$ [MPa]
- Poissonova konstanta $\nu = 0.392$ [-]
- Index toku taveniny ITT = 45 [g/10min]
- Tvrdost = 89 [HRC]
- Smrštění ve směru toku = 1.332 [%]
- Smrštění kolmo na tok = 1.341 [%]
- Hustota taveniny = 0.717 [g/cm³]
- Hustota tuhé fáze = 0.868 [g/cm³]

Doporučené zpracovatelské podmínky jsou [24]:

- Teplota taveniny = 210 – 260 [°C]
- Dotlak = 200 – 500 [bar]
- Vstřikovací rychlost = nejvyšší možná

11 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací forma byla navrhována na vstřikovací stroj firmy Milacron, konkrétně se jedná o typ Maxima MM 725.



Obrázek 21: Vstřikovací stroj Milacron Maxima [34]

Základní parametry stroje [35]:

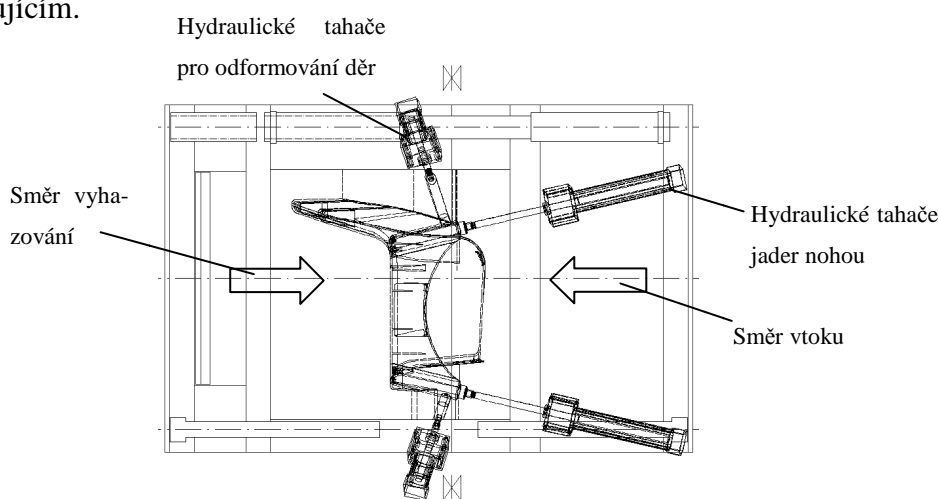
– Uzavírací síla	6450 [kN]
– Min/max. výška formy	300/1100 [mm]
– Maximální vzdálenost mezi upínacími deskami	2075 [mm]
– Maximální hmotnost formy	12011 [kg]
– Rozměr upínacích desek	1410 x 1410 [mm]
– Vzdálenost mezi vodícími sloupy	1080 x 1080 [mm]
– Maximální vstřikovací tlak	155.2 [MPa]
– Vstřikovací rychlost	787 [cm ³ /s]
– Maximální hmotnost vstřikované dávky	2977 [g]
– Maximální objem vstřikované dávky	3142 [cm ³]
– Průměr šneku	100 [mm]
– Zdvih šneku	400 [mm]
– Poměr šneku L/D	20 [-]
– Maximální tlak hydraulického systému stroje	20.3 [MPa]
– Rozměry vstřikovacího stroje (d x š x v)	9430 x 2642 x 3364 [mm]
– Hmotnost stroje (bez oleje)	34014 [kg]
– Výkon stroje	75 [kW]

12 PŘEDBĚŽNÉ NÁVRHY

Při návrhu konstrukce vstřikovací formy bylo vybíráno z několika variant, z nichž každá měla své klady a zápory.

První varianta:

U této varianty bylo uvažováno o hydraulických tahačích jak pro odformování nohou, tak pro odformování bočních děr, o horkém vtokovém systému a o mechanickém vyhazování na levé straně formy (obrázek 22). Vzhledem k tomu, že by vyhazovače působili na pohledovou stranu výrobku, na kterém by pak zůstávaly stopy, bylo toto řešení nakonec shledáno nevyhovujícím.



Obrázek 22: První varianta

Druhá varianta:

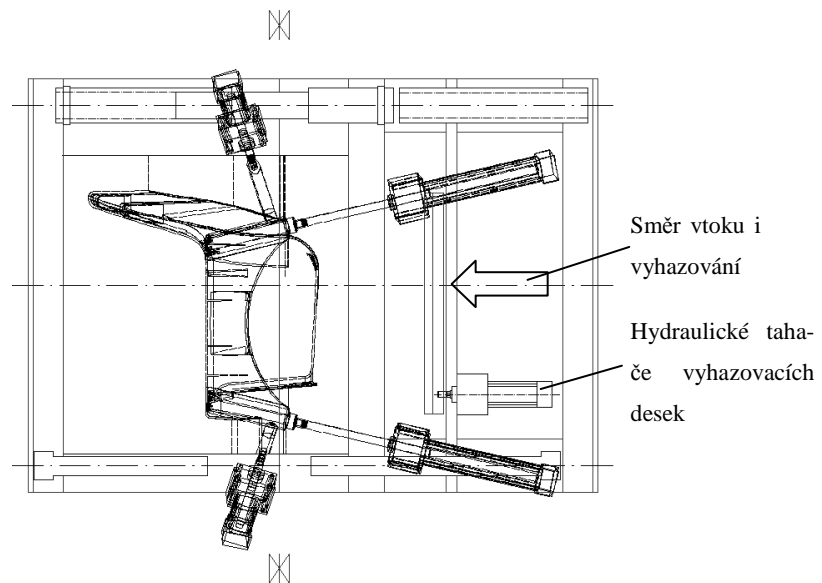
U druhé varianty bylo uvažováno opět o hydraulických tahačích a o horkém vtokovém systému, ale tentokrát o pneumatickém vyhazování na levé straně. I tato varianta byla nakonec nevyhovující kvůli možnosti vzniku stop na pohledové straně výrobku. Obrázek je totožný s obrázkem 22.

Třetí varianta:

V této variantě bylo uvažováno, stejně jako v předchozích variantách, o hydraulických tahačích a opět o mechanickém vyhazování na levé straně s tím rozdílem, že výrobek by se otočil o 180°, tak aby stopy po vyhození byly na nepohledové straně výrobku. Nicméně i tato varianta byla nakonec zamítnuta, protože by na pohledové straně zůstávala pro změnu stopa po vtoku.

Čtvrtá varianta:

U čtvrté varianty byl výrobek situován opět ve stejné poloze jako v prvních dvou variantách, ale vtokový i vyhazovací systém byl umístěn na stejné straně (obrázek 23). Jediná nevýhoda tohoto řešení je nutnost použití dalších hydraulických tahačů pro ovládání vyhazovacích desek. Nicméně se tímto rozmístěním vyřešili problémy s možnými stopami na pohledové straně.



Obrázek 23: Čtvrtá varianta

Pro výše popsané důvody byla jako nejvhodnější řešení zvolena čtvrtá varianta.

13 VSTŘIKOVACÍ FORMA

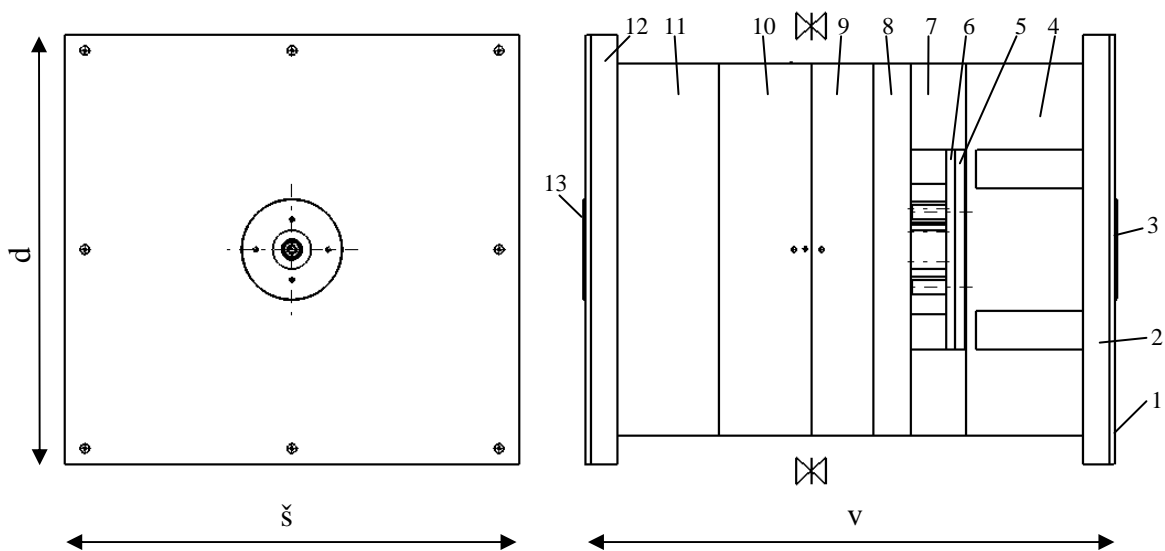
Vstřikovací forma byla navrhována s ohledem na vyměnitelnost tvarových dutin, proto se pro obě varianty nijak neliší.

13.1 Rám vstřikovací formy

Vzhledem k netradičnímu umístění vyhazovacího systému na straně vtokového systému a díky netradičním rozměrům rámu bylo nutné použít desek vlastní výroby. Jako materiál všech desek byla zvolena konstrukční ocel obvyklé jakosti třídy 11600, které odpovídá dle německé normy DIN ocel 1.0060. Výjimku tvoří izolační desky, které byly vyrobeny z tepelně izolačního materiálu, kterým je sklotextit SI. Ocel 1.0060 byla zvolena proto, že jednotlivé desky nejsou v přímém kontaktu s polymerem a nejsou tedy tak výrazně tepelně namáhány.

Dále byl rám dovybaven čtveřicí podpěr, které plní dvě funkce. Zvyšují tuhost rámu a izolují horké vstřikovací trysky od okolí. I tyto podpěry byly vyrobeny z oceli 1.0060.

Základní rozměry rámu vstřikovací formy jsou 746 x 790 x 919 mm (d x š x v).

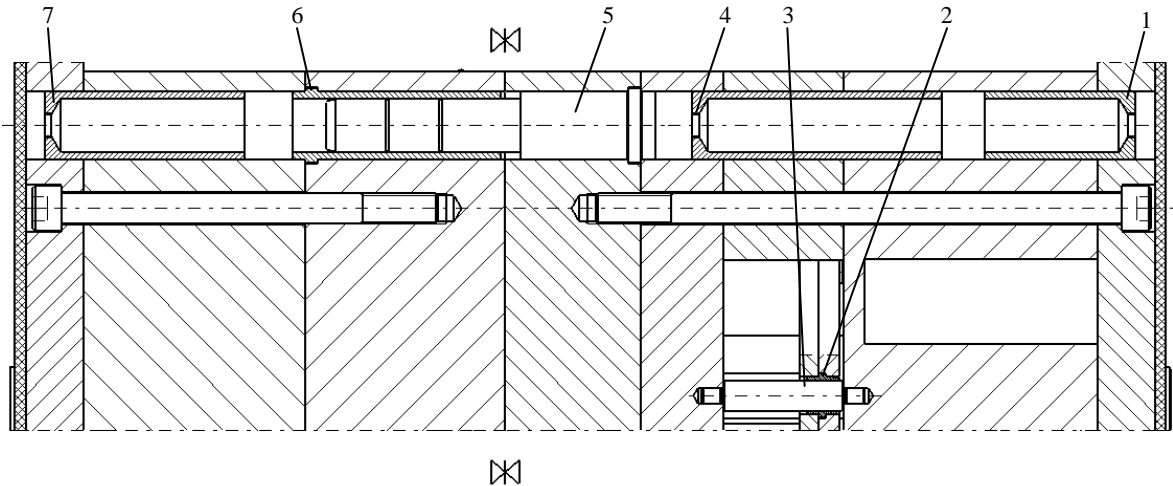


Obrázek 24: Rám vstřikovací formy

1 – izolační d., 2 – upínací d. pravá, 3 – středící kroužek pravý, 4 – mezideska, 5 - vyhazovací d. opěrná, 6 – vyhazovací d. kotevní, 7 – rozpěrná d., 8 – opěrná d. pravá, 9 – kotevní d. pravá, 10 – opěrná d. levá, 11 – kotevní d. levá, 12 – upínací d. levá, 13 – středící kroužek levý

Vodící a spojovací části rámu:

Vodící a spojovací části rámu byly vybrány z katalogu normálií firmy Hasco. Jako vodící části vyhadzovacích desek bylo použito vedení vlastní výroby, které zajišťuje nejen vedení vyhadzovacích desek, ale i vyztužení rámu formy. Toto vedení je vyrobeno z oceli 1.0402.



Obrázek 25: Vodící a spojovací části rámu

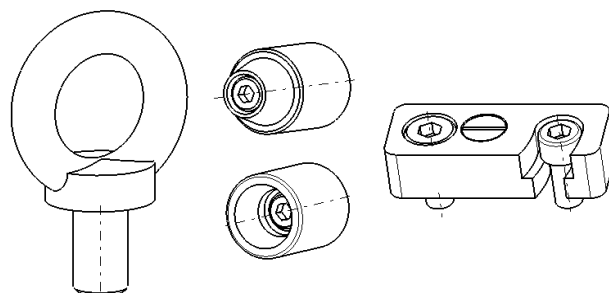
1 – středící trubka, 2 – vodící pouzdro vyhadzovacích d., 3 – vedení vyhadzovacích d., 4 – středící trubka, 5 – vodící čep, 6 – vodící pouzdro, 7 – středící trubka

Odvzdušnění vstříkovací formy:

Odvzdušnění vstříkovací formy je zajištěno dělicí rovinou, vůlí mezi jádry a vůlí mezi vyhadzovači.

Manipulační a středící systém vstříkovací formy:

Pro usnadnění manipulace byly obě poloviny formy osazeny čtyřmi závěsnými oky, dále byly pro přesné vystředění při uzavírání vybaveny středící jednotkou a v neposlední řadě zámkem dělicí roviny. Všechny součásti byly vybrány z katalogu normálií firmy Hasco.



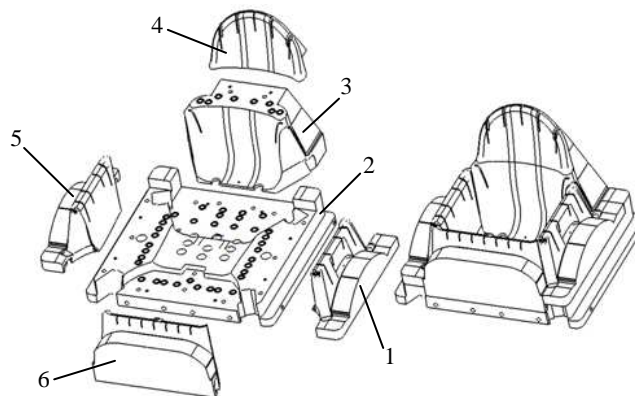
Obrázek 26: Manipulační a středící systém

13.2 Tvarová dutina vstřikovací formy

Vzhledem k velikosti výrobku bylo jako nejvhodnější řešení zvoleno jednonásobné uspořádání vstřikovací formy. Toto uspořádání je společné pro obě varianty temperačního systému.

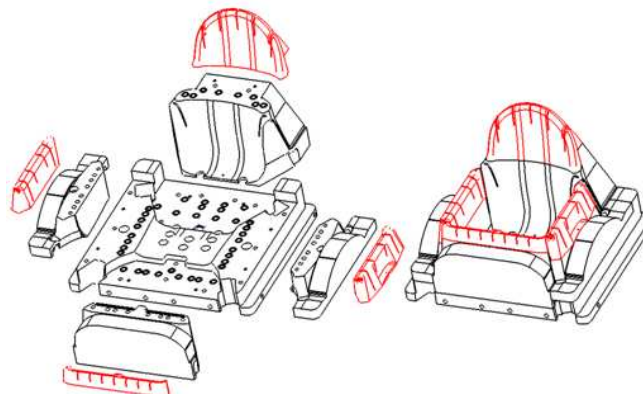
Tvárník:

Dutina tvořící tvárník byla rozdělena na 6 segmentů, které jsou navzájem spojeny pomocí šroubů a vycentrovány pomocí kolíků. Rozdělení dutiny usnadní nejen výrobu, ale i případné opravy, kdy postačí opravit pouze poškozený segment. Segmenty jsou pro obě varianty temperačních systémů totožné. Rozdíl je v tom, že segmenty s konvenčním chlazením byly vyrobeny z jednoho kusu obráběním a segmenty s nekonvenčním chlazením byly z části obráběny a z části vyrobeny pomocí DMLS. U obou variant byly jednotlivé segmenty vyrobeny z oceli 1.2709 a zakaleny na tvrdost 50HRC.



Obrázek 27: Tvárník – konvenční

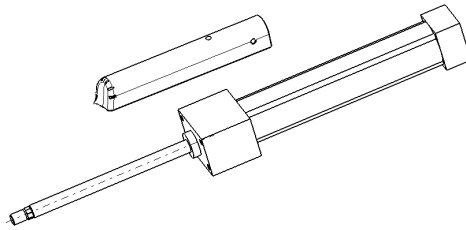
1 – levá opěrka, 2 – základna, 3 – záda, 4 – záda 1, 5 – pravá opěrka, 6 – čelo



Obrázek 28: Tvárník – DMLS

Červeně jsou vyznačeny části segmentů vytvořené technologií DMLS.

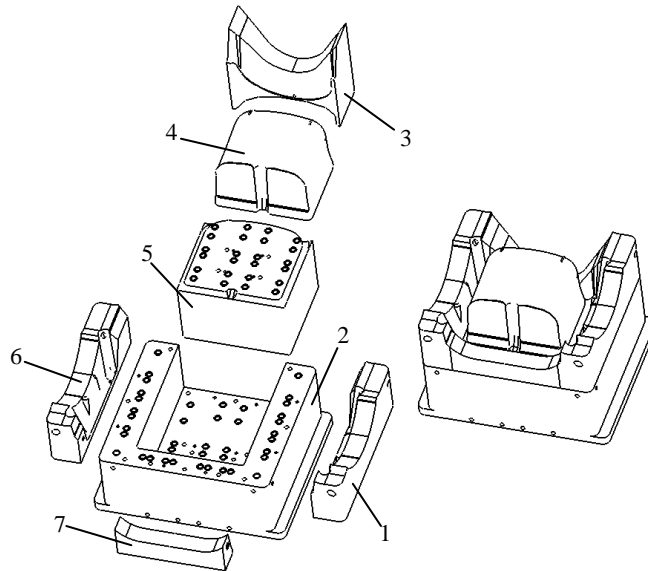
Pro zhotovení požadovaného tvaru byl tvárník ještě doplněn čtyřmi jádry, která tvoří nohy výsledného výrobku. Odformování těchto jader bude uskutečněno až po otevření vstřikovací formy, čímž dojde k přidržení výrobku na pravé straně. K odformování každého jádra byl použit hydraulický tahač firmy DME, konkrétně typ HZ 160 R – 25 – 160. Jádra byla stejně jako ostatní segmenty vyrobena z oceli 1.2709 a zakalena na tvrdost 50HRC.



Obrázek 29: Jádro s tahačem

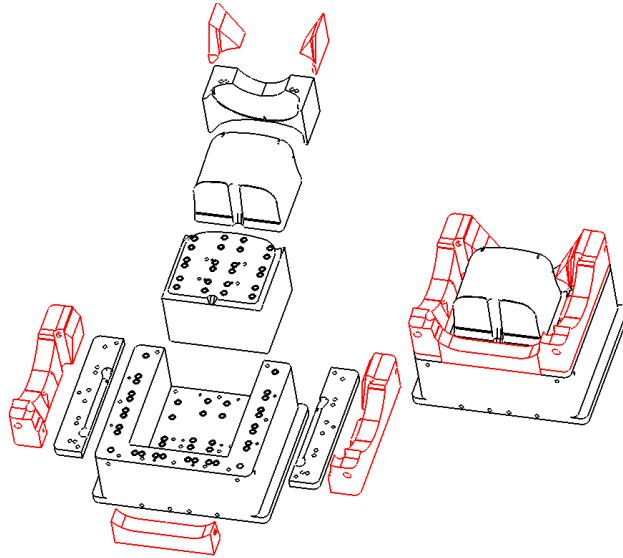
Tvárnice:

Dutina tvořící tvárnici byla rozdělena na 7 segmentů, které jsou také spojeny šrouby a vycentrovány kolíky. Materiál použitý na výrobu tvárnice byl jak u konvečně vyrobených segmentů, tak u segmentů vyrobených pomocí DMLS ocel 1.2709 zakalená na tvrdost 50HRC.



Obrázek 30: Tvárnice – konvenční

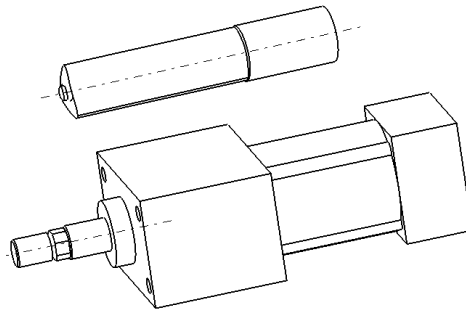
1 – pravá opěrka, 2 – základna, 3 – záda, 4 – sedák 1, 5 – sedák 2, 6 – levá opěrka, 7 – čelo



Obrázek 31: Tvárnice – DMLS

Červeně jsou vyznačeny části segmentů vytvořené technologií DMLS.

Pro zhotovení požadovaného tvaru byla tvárnice také doplněna čtyřmi jádry, která tvoří otvory na vnější straně nohou výrobku. Tyto jádra budou odformována před otevřením vstřikovací formy, aby nedošlo k poškození výrobku při odjezdu levé strany formy. K tomuto účelu byly použity hydraulické tahače firmy DME, konkrétně typy HZ 160 R – 25 – 20. Jádra byla taktéž vyrobena z oceli 1.2709 a zakaleny na tvrdost 50HRC.



Obrázek 32: Jádro s tahačem

13.3 Vtokový systém vstřikovací formy

Vstřikovací forma byla navrhována s horkým vtokovým systémem. Tento systém udržuje po celé své délce polymer v roztaveném stavu, čímž dochází ke snížení vstřikovacích časů a zvýšení produktivity výroby. Další výhodou je, že nevzniká odpad v podobě vtokového zbytku, čímž dochází zvláště u velkosériové a hromadné výroby k výraznému snížení nákladů.

Horká vtoková vložka:

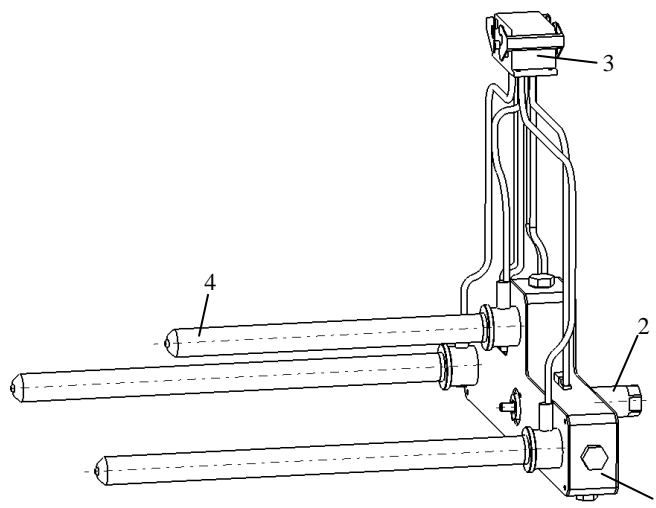
Vtoková vložka byla vybrána z normálíí firmy Hasco, jedná se o typ Z1055/2/30x85/12 s průměrem kanálu 12 mm.

Horký rozvodný blok:

Rozvodný blok slouží k rozvodu taveniny do tří vtokových trysek a bylo jej nutné navrhnout na míru, protože požadovanému tvaru neodpovídal žádný z bloků uvedených v katalogu normálíí firmy Hasco a DME. Na jeho výrobu byla použita ocel 1.2343, které dle ČSN odpovídá ocel třídy 19552. Průměr kanálů uvnitř bloku je 12 mm.

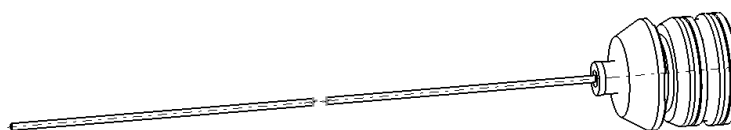
Horká vtoková tryska:

K dopravě taveniny z rozvodného bloku byly použity tři vtokové trysky. Dvě stejně dlouhé ústící do opěrek a jedna ústící do sedáku. Všechny tři bylo opět nutné navrhnout na míru a k jejich výrobě byla stejně jako u horkého bloku použita ocel 1.2343. Pro vyšší kontrolu nad plněním dutiny byly horké trysky dovybaveny pneumaticky ovládanými jehlovými ventily, které slouží k uzavírání vtokového ústí trysky. Průměr kanálu uvnitř trysky je 9.5 mm a ústí vtoku má průměr 4 mm. Průměr jehlového ventilu odpovídá průměru vtokového ústí tak, aby docházelo k úplnému uzavření.



Obrázek 33: Horký vtokový systém

1 – horký rozvodný blok, 2 – horká vtoková vložka, 3 – zásuvka, 4 – horká vtoková tryska



Obrázek 34: Jehlový ventil

13.4 Temperační systém vstřikovací formy

U obou variant bylo snahou navrhnout co nejlepší temperační systém, aby mohlo být určeno, vyplatí-li se vůbec použití DMLS při tvorbě tvarových dutin tohoto výrobku.

Dále bylo použito stejného temperačního média a stejných podmínek temperace pro obě varianty, aby mohly být navzájem srovnány a byla zaručena bezproblémová vyměnitelnost.

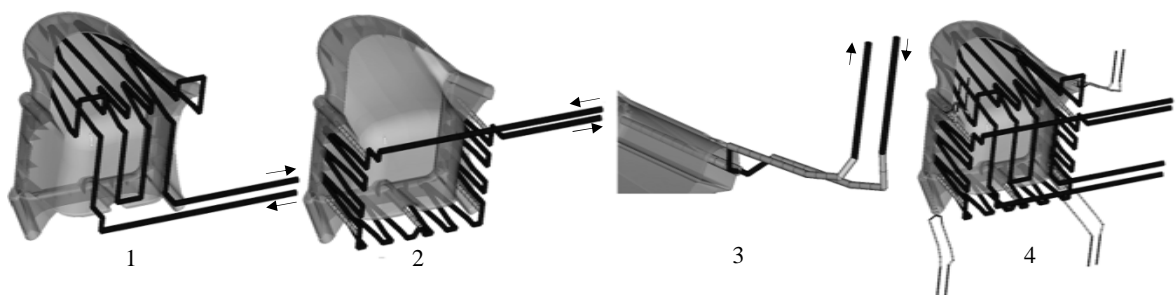
Temperačním médiem byla zvolena voda, která se vyznačuje vysokým koeficientem přestupu tepla a nízkou viskozitou, díky níž je zajištěna vysoká hodnota průtoku i poměrně malými kanály. Teplota temperačního média byla volena 30 °C a tlak média 3.5 bar. Jako temperační jednotky bylo zvoleno zařízení Regloplas 150 smart umožňující temperaci média do 90 °C a použití tlaku až 3.8 bar.

Tvárník:

Segmenty tvárníku vyrobené konvenčními metodami jsou chlazeny vrtanými kanály o průměru 12 mm. Kanály byly vrtány pod úhlem, aby se v horní části střetli a došlo k jejich vzájemnému propojení. Propojení spodní části bylo zajištěno podélně vrtaným kanálem. Dále byly po obvodu doplněny pěti obtokovými jádry o průměru 10 mm pro zajištění chlazení co největšího povrchu dutiny. Obtoková jádra byla vybrána z normálií firmy Hasco.

V neposlední řadě bylo nutné zajistit chlazení jader tvořících nohy výsledného výrobku. K tomuto účelu byly použity přepážky o průměru 5.8 mm umístěné uvnitř jader. Přívod a odvod vody z jádra je realizován dvojicí hadic, které se pohybují spolu s jádrem.

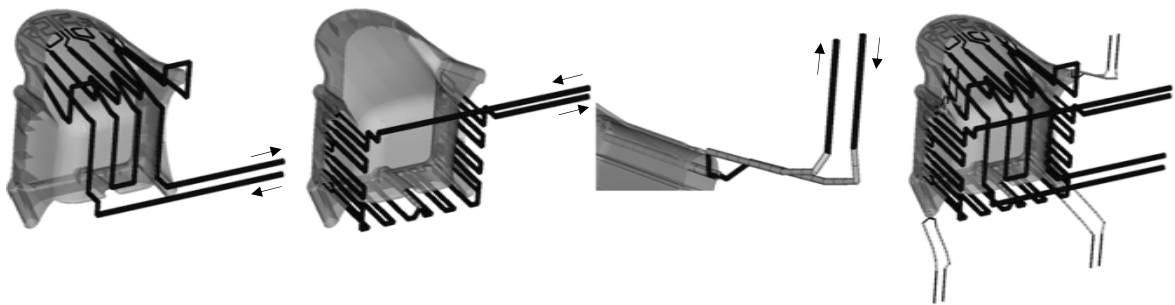
Chlazení jader je pro obě varianty dutin tvárníku stejné, stejně jako celkový počet temperačních okruhů.



Obrázek 35: Tvárník – konvenční

1 – chlazení zad a sedáku, 2 – chlazení obvodu, 3 – chlazení jádra, 4 – chlazení celého tvárníku

Při návrhu chlazení segmentů vyrobených pomocí DMLS bylo nutné zachovat umístění většiny kanálů tak, aby byla zaručena vyměnitelnost. Proto mají zachované kanály stejně jako u konvenční varianty průměr 12 mm, tyto kanály však plynule přechází do kanálů o průměru 8 mm, v případě bočních opěrek, nebo do kanálů o průměru 6 mm, v případě zad a čela v částech vytvořených nekonvenčně. Dále bylo použito jedno obtokové jádro o průměru 10 mm pro chlazení čelního segmentu tvárníku, které bylo také vybráno z normálí firmy Hasco.

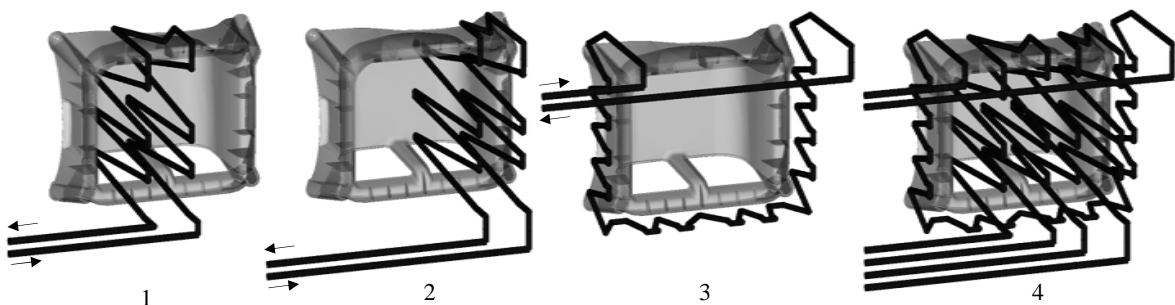


Obrázek 36: Tvárník – DMLS

Větší náhled tvárníků je uveden v příloze PII.

Tvárnice:

Chlazení segmentů tvárnice vytvořených konvenčně je zajištěno pouze vrtanými kanály o průměru 12 mm. Tyto kanály byly také navrtány pod úhlem pro jejich propojení v horní části a také byly propojeny jedním podélným kanálem v dolní části. Počet temperačních okruhů je stejný pro obě varianty dutin tvárnice.

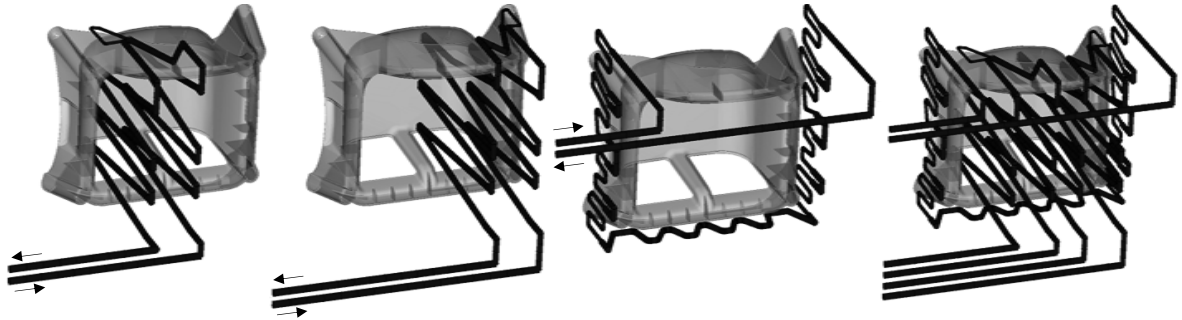


Obrázek 37: Tvárnice – konvenční

1 – chlazení pravé části zad a sedáku, 2 – chlazení levé části zad a sedáku, 3 – chlazení obvodu, 4 – chlazení celé tvárnice

Kanály segmentů tvárnice vyrobené pomocí DMLS byly opět navrženy tak, aby bylo zachováno jejich stejného umístění jako u tvárnice vyrobené konvenčně. Stejně tak zůstal

zachován průměr původních kanálů, které plynule přechází do kanálů o průměru 8 mm, v případě bočních opěrek, nebo do kanálů o průměru 6 mm v případě zad.

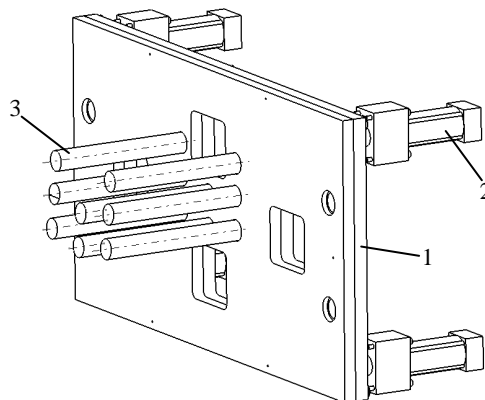


Obrázek 38: Tvárnice – DMLS

Větší náhled tvárnic je uveden v příloze PIII.

13.5 Vyhazovací systém vstřikovací formy

Vyhození výrobku je realizováno robotickou rukou s přísavkami a osmi válcovými vyhazovači. Vyhazovače slouží jako pomocné zařízení, které pomáhá oddělit výrobek nasmrštěný v dutině formy. Jako vyhazovačů bylo použito normálií firmy Hasco, konkrétně Z40/25x200, které byly následně upraveny tak, aby kopírovali tvar dutiny. Materiál vyhazovačů byla ocel 1.2343. K pohybu vyhazovacích desek, potažmo vyhazovačů, byla použita čtveřice hydraulických tahačů firmy DME, jedná se o typy Z 160 R – 25 – 50. Jejich pracovní zdvih je pouze 50 mm, nicméně je to dostatečná hodnota na oddělení výrobku od dutiny. Oddělený výrobek je zachycen robotickou rukou, která zabrání nešetrnému vypadnutí výrobku a přenese jej na požadované místo.



Obrázek 39: Vyhazovací systém

1 – vyhazovací desky, 2 – hydraulický tahač, 3 – vyhazovač

14 MECHANICKÉ ANALÝZY

Mechanické analýzy byly provedeny v program Catia V5R18 a to v modulu Generative Structural Analysis.

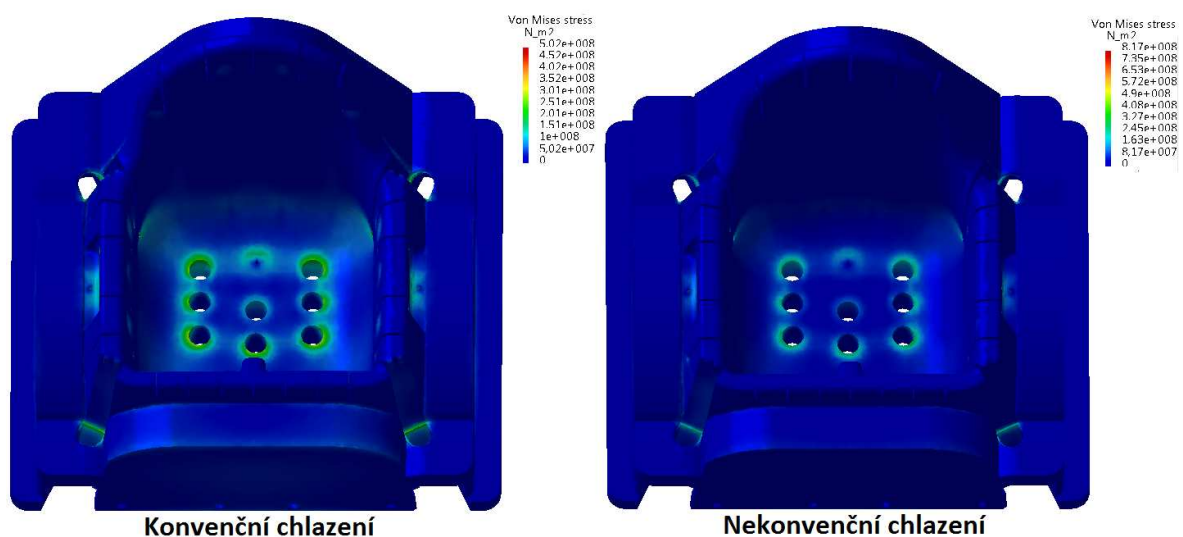
Porovnávanou dutinou byl zvolen tvárník, který byl zatížen zjištěným maximálním vstříkovacím tlakem a zkontrolován z hlediska vzniklé napjatosti.

Tvárník s konvenčním chlazením i tvárník s nekonvenčním chlazením byl vyroben, jak bylo popsáno výše, z oceli 1.2709 zakalené na tvrdost 50HRC. Maximální zjištěný vstříkovací tlak byl v obou případech zhruba 47 MPa, pro zvýšení bezpečnosti byl tvárník v mechanických analýzách zatížen tlakem 50 MPa.

Dovolené namáhání bylo určeno z meze kluzu uvedené v materiálových listech dané oceli, toto bylo následně upraveno koeficientem bezpečnosti k .

$$\sigma_D = \frac{\sigma_k}{k} = \frac{1900}{1.5} = 1267 [MPa] \quad (3)$$

σ_D – dovolené namáhání [MPa], σ_k – mez kluzu [MPa], k – koeficient bezpečnosti [-]



Obrázek 40: Průběh napětí

Maximální velikost Von Missesova srovnávacího napětí byla u tvárníku s konvenčním chlazením 502 MPa a u tvárníku s nekonvenčním chlazením 817 MPa. Obě hodnoty jsou nižší než určené dovolené namáhání, a proto tvárníky vyhovují. Rozdíl v napětích je způsoben rozdílným počtem kanálů a jejich rozložením uvnitř tvárníků.

15 TOKOVÉ ANALÝZY

Tokové analýzy byly provedeny v programu Autodesk Moldflow Insight 2011. Před spuštěním analýz bylo třeba výrobek zvětšený o smrštění a vložený ve správném formátu vysíťovat. Na výběr bylo ze tří typů sítí (midplain, dual domain a 3D síť). V našem případě byla zvolena 3D síť, s jejíž pomocí lze predikovat chování polymeru po celé tloušťce výrobku a výsledky analýz se tak mnohem více blíží realitě.

Před definováním všech potřebných parametrů byla provedena gate analýza, kterou byla zkontrolována vhodnost umístění vtoků. Nejprve bylo nutné provést analýzu pro určení vhodnosti jednoho vtoku a následně analýzu pro určení vhodnosti zbývajících vtoků s tím, že první vtok byl již definován. Námi zvolená umístění vtoků jsou dle gate analýzy vhodná z 96 % u prostředního vtoku a z 87 % u vtoků krajních. Proto bylo toto řešení shledáno vyhovujícím.

Po provedení gate analýzy byly nadefinovány ostatní nezbytné náležitosti. Mezi ně mimo jiné patřilo zvolení vhodného materiálu výrobku, materiálu formy a vstřikovacího stroje z databáze programu a dále nastavení procesních podmínek. Zvolený materiál výrobku je diskutován v kapitole 10.1, proto ho není třeba dále popisovat.

Materiál vstřikovací formy byl ponechán dle implicitního nastavení. Tento materiál je dle databáze označován jako nástrojová ocel P20, které dle DIN odpovídá ocel 1.2311 a její základní vlastnosti jsou [40]:

– Hustota	7.8 [g/cm ³]
– Měrná tepelná kapacita	460 [J/kg.°C]
– Tepelná vodivost	29 [W/m.°C]
– Modul pružnosti	200000 [MPa]
– Poissonova konstanta	0.33 [-]

Vzhledem k neaktuálnosti databáze vstřikovacích strojů bylo pro účely analýz nutné volit takový stroj, který svými parametry nejvíce odpovídal skutečnému zvolenému stroji. Proto byl nakonec vybrán stroj Milacron Magna 725 – C80. V tabulce 2 je srovnání jeho parametrů s parametry skutečného zvoleného stroje.

Tab. 2. Srovnání parametrů strojů [35, 40]

	Skutečný zvolený stroj	Stroj zvolený pro účely analýz
Zdvih šneku [mm]	400	360
Vstřikovací rychlost [cm ³ /s]	787	754
Průměr šneku [mm]	100	100
Tlak hydrauliky stroje [Mpa]	20.3	18.9
Uzavírací síla stroje [kN]	6450	6610

Při nastavování procesních podmínek byla nejprve provedena automatická analýza s výchozími procesními podmínkami a po prostudování výsledků byly procesní podmínky upraveny. Nicméně cílem diplomové práce nebyla optimalizace vstřikovacího procesu, proto byla pro finální analýzu upravena pouze velikost a doba dotlakové fáze.

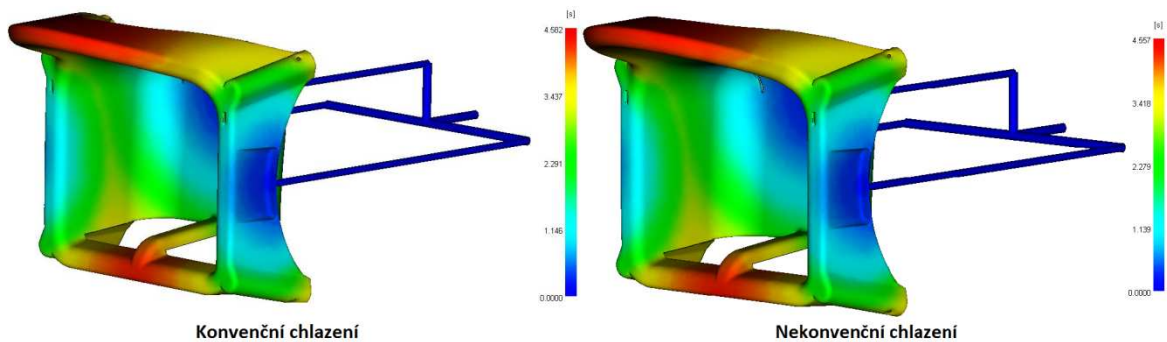
Tab. 3. Procesní podmínky [40]

	Výchozí procesní podmínky	Změněné procesní podmínky
Teplota povrchu formy [°C]	35	35
Teplota taveniny [°C]	200	200
Doba otevření formy [s]	5	5
Čas vstřikování + dotlaku + chlazení [s]	automaticky	automaticky
Ovládání plnění	automaticky	automaticky
Bod přepnutí	automaticky	automaticky
Ovládání dotlaku	plnicí tlak vs. čas: 0s – 80%, 10s – 80%	plnicí tlak vs. čas: 0s – 85%, 5s – 85%, 0s – 80%, 4s – 80%, 10s – 50%
Výpočet orientace vláken	ano	ne
Zahrnout teplotní roztažnost formy	ne	ano
Izolovat příčiny deformace	ne	ano
Zahrnout efekt rohů	ne	ano
Výpočtová matice	automaticky	automaticky

Čas plnění:

U obou variant tvarových dutin byla doba plnění téměř stejná. Dutina s konvenčním chlazením byla zaplněna za 4.582 s, dutina s nekonvenčním chlazením byla zaplněna za 4.557 s. Rozdíl v době plnění je minimální, protože při tak krátké době vstřiku je vliv rozdílných temperačních kanálů zanedbatelný. Ze stejných důvodů je minimální rozdíl

i v postupném plnění obou dutin, kdy byla nejdříve zaplněna dutina v místě vtoku a nejpozději v horní části opěrky.



Obrázek 41: Čas plnění

Tlak v místě vstříku:

Maximální tlak byl při plnění dutiny s konvenčním chlazením 46.57 MPa a při plnění dutiny s nekonvenčním chlazením 46.33 MPa. Ani u jedné varianty nebyl překročen maximální vstříkovací tlak stroje 155.2 MPa, a proto byl zvolen správně.

Maximální uzavírací síla:

Uzavírací síla byla opět v obou případech podobná. U dutiny s konvenčním chlazením byla 451.3 tun a u dutiny s nekonvenčním chlazením byla 450.1 tun. Maximální uzavírací síla, kterou je zvolený stroj schopen vyvinout je 645 tun. Při započtení bezpečnosti 20 % je uzavírací síla stroje 516 tun. Tato nebude dle analýz překročena, a proto byl stroj i z toho hlediska zvolen správně.

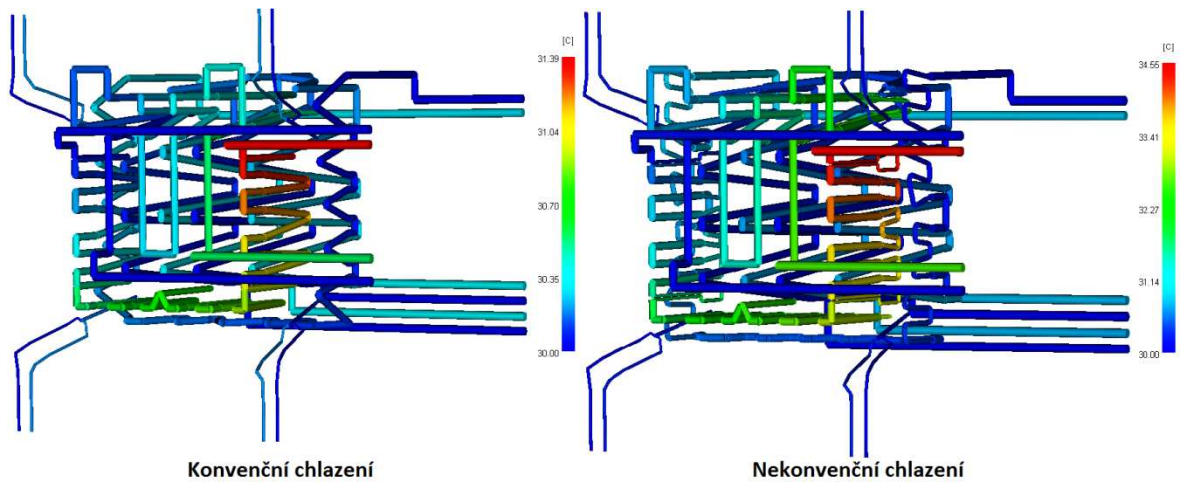
Rychlost smykové deformace:

I tato veličina byla u obou dutin přibližně stejná. U varianty s konvenčním chlazením byla maximální rychlost smykové deformace 90471 s^{-1} a u druhé varianty byla 90239 s^{-1} . Největší dovolená rychlost smykové deformace zvoleného materiálu je 100000 s^{-1} , tato hodnota nebyla překročena, a proto nedojde v průběhu vstříkování k degradaci materiálu.

Teplota temperačního média:

Pro co nejlepší účinnost odvodu tepla z dutiny formy by se neměla teplota temperačního média na vstupu a výstupu z kanálů lišit o více než $2 \text{ }^\circ\text{C}$. Tato podmínka byla u dutin s konvenčním chlazením splněna, protože maximální rozdíl teplot byl $1.39 \text{ }^\circ\text{C}$. U dutin s nekonvenčním chlazením tato podmínka splněna nebyla, protože maximální rozdíl teplot byl $4.55 \text{ }^\circ\text{C}$. To je způsobeno menším průměrem kanálů, díky čemuž v nich klesne obje-

mový průtok a temperační médium se více ohřeje. Může to mít za následek nerovnoměrné teplotní pole a s tím související vznik deformací. Řešení problému je možno dvojí, buď rozdělením kritického okruhu na dva kratší okruhy při zachování procesních podmínek, anebo zvolením vyššího tlaku temperačního média, čímž se zvýší i objemový průtok a sníží rozdíl teplot.



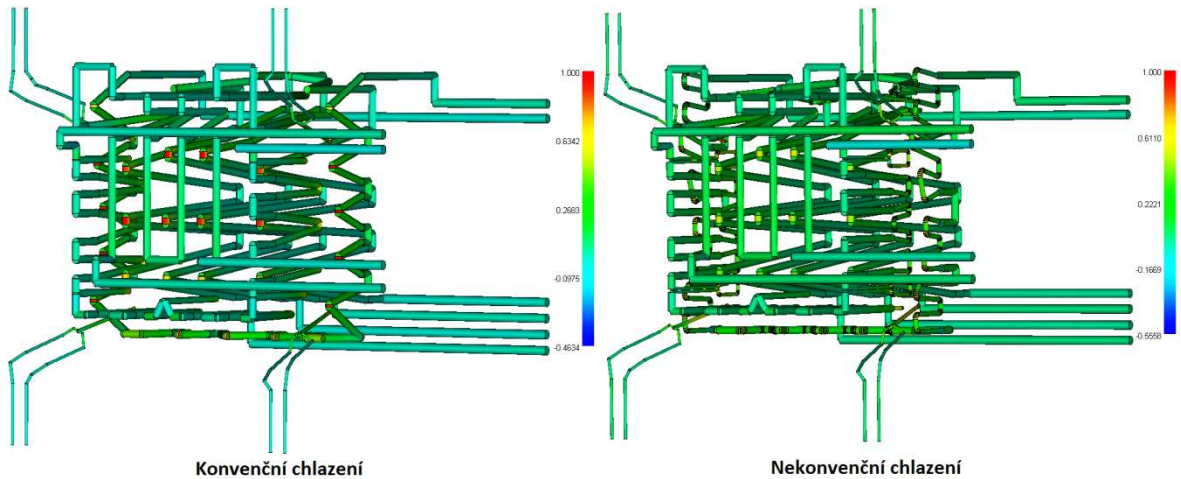
Obrázek 42: Teplota temperačního média

Reynoldsovo číslo:

Temperační médium by mělo při průtoku temperačními kanály pro co nejvyšší účinnost odvodu tepla proudit turbulentně. Turbulentní proudění je zajištěno, pokud je Reynoldsovo číslo vyšší než 4000. U dutin s konvenčním chlazením se Reynoldsovo číslo pohybovalo v rozmezí 18885 – 70516, u dutin s nekonvenčním chlazením se pohybovalo v rozmezí 8626 – 77424. V obou případech tedy docházelo k turbulentnímu proudění a požadavek byl splněn. Rozdíly mezi dutinami jsou způsobeny hlavně odlišnými trajektoriemi kanálů a jejich rozdílnými průměry.

Účinnost odvodu tepla:

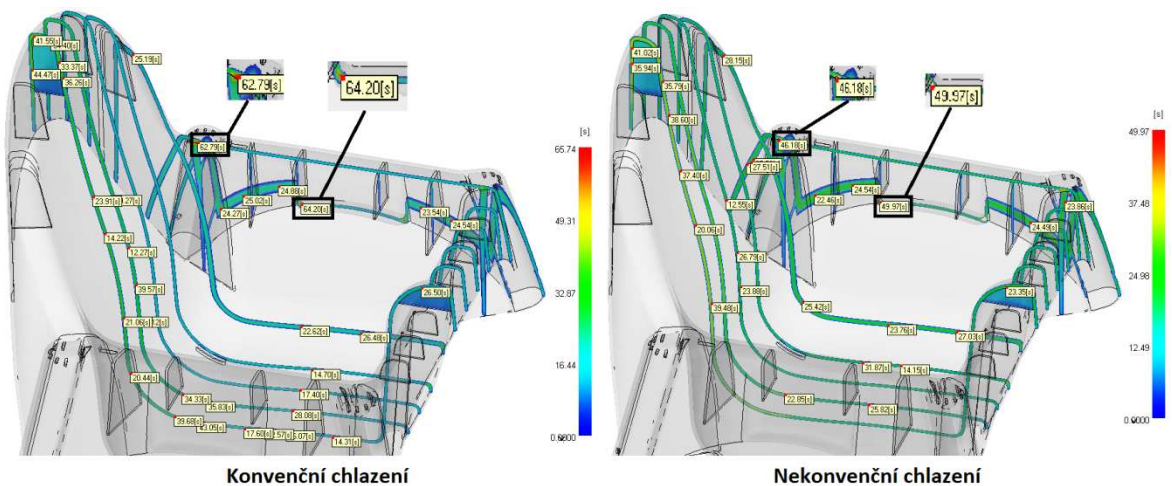
Tento výsledek je nejvíce vypovídající o účinnosti odvodu tepla z dutiny. V obou případech je účinnost odvodu tepla z kanálů kolem 25 %, nicméně u dutin s konvenčním chlazením dochází ke vzniku tzv. špiček efektivity. Tyto sice maximalizují účinnost odvodu tepla, ale zároveň zhoršují rovnoměrnost teplotního pole formy. U dutin s nekonvenčním chlazením je všude účinnost odvodu tepla přibližně stejná, a proto lze říci, že nekonvenční chlazení vytváří rovnoměrnější teplotní pole oproti konvenčnímu chlazení.



Obrázek 43: Účinnost odvodu tepla

Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty:

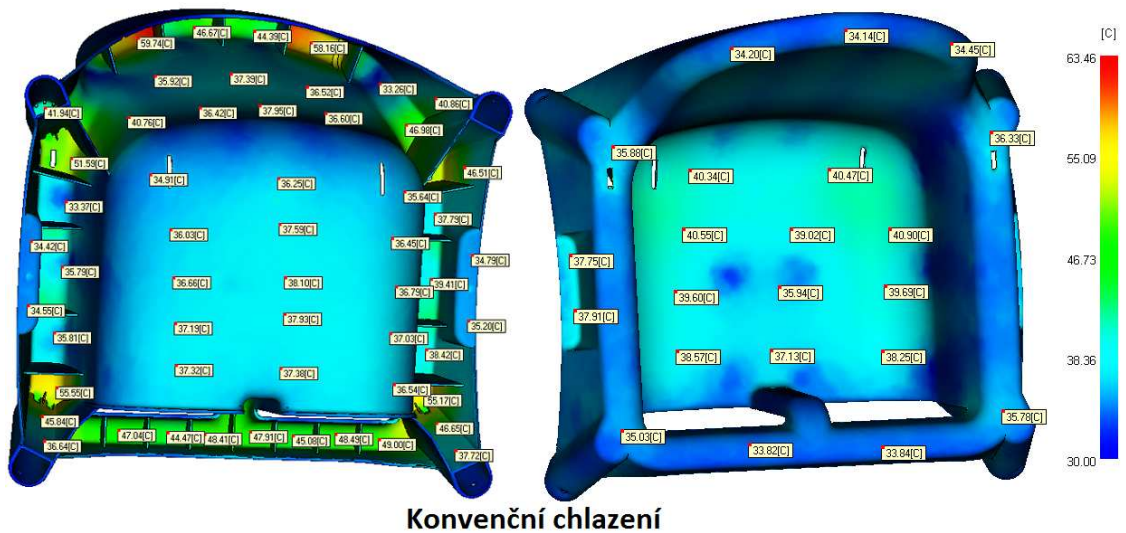
Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty je ovlivněn zvoleným materiálem, protože každý materiál má jiné kritéria pro vyhození. V našem případě tyto kritéria byly ochlazení výrobku na teplotu 115 °C v celém jeho objemu. U dutin s konvenčním chlazením dojde k ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu za 65.74 s, u dutin s nekonvenčním chlazením k tomu dojde za 49.97 s. Nicméně tak dlouhá doba je potřebná jen v určitých místech výrobku (obrázek 44), které nijak nebrání jeho vyhození a ten tak může být vyhozen dříve. Zkrácení doby chlazení, potažmo délky cyklu je ale nutno volit tak, aby v ne zcela ochlazených místech došlo k zatuhnutí povrchových vrstev a nemohlo tak dojít k nežádoucí deformaci. V našem případě bylo určeno, že výrobek bude vyhozen po 55 s u dutin s konvenčním chlazením a po 40 s u dutin s nekonvenčním chlazením.



Obrázek 44: Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

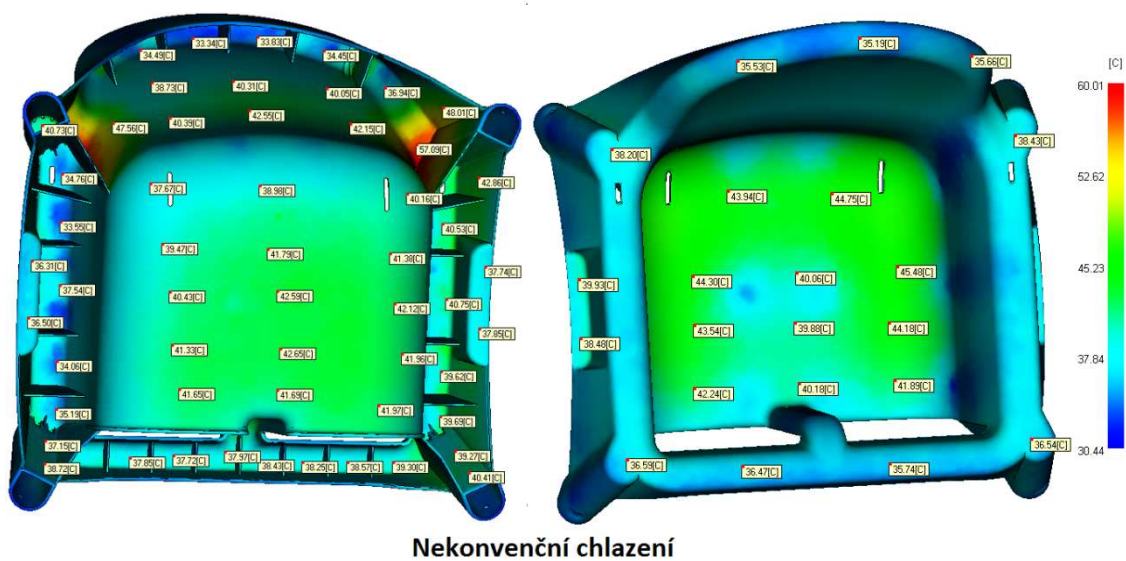
Teplota formy:

Tento výsledek zobrazuje průměrnou teplotu tvárníku/tvárnice v průběhu cyklu. U semi-krytalických termoplastů, kterým PP je, by rozdíl teploty mezi tvárníkem a tvárnicí měl být maximálně 5 °C. Této hodnoty je ale velice obtížné dosáhnout, obvykle je dosahován rozdíl teplot mezi tvárníkem a tvárnicí 10 – 30 °C. [40]



Obrázek 45: Teplota formy

U dutin s konvenčním chlazením byl rozdíl mezi teplotou tvárníku a tvárnice až 33.46 °C. Takto velký rozdíl vzniká především nemožností chladit žebrování na straně tvárníku (obrázek 45 vlevo).



Obrázek 46: Teplota formy

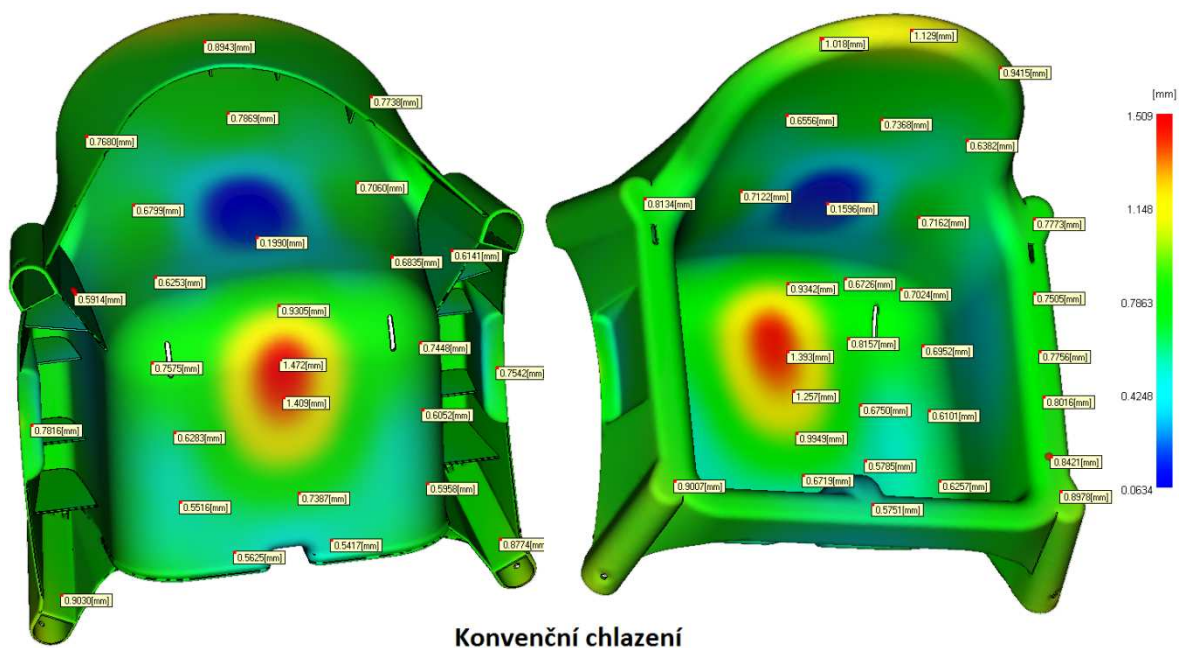
U dutin s nekonvenčním chlazením byly, jak je vidět na obrázku 46, dostatečně prochlaze-

ny i místa s žebry, přesto byl rozdíl mezi teplotou tvárníku a tvárnice až 29.57 °C. Nicméně tento rozdíl byl pouze v jediném místě a to na straně tvárníku v červeně označené oblasti (obrázek 46 vlevo), ve zbylém povrchu byl rozdíl teplot kolem požadovaných 5 °C. Poškozené místo nebylo dostatečně prochlazeno v porovnání se zbytkem dutiny, protože sinterovaná část začíná výše, nicméně jak ukázaly analýzy, ničemu to nakonec neškodilo.

Celkové deformace:

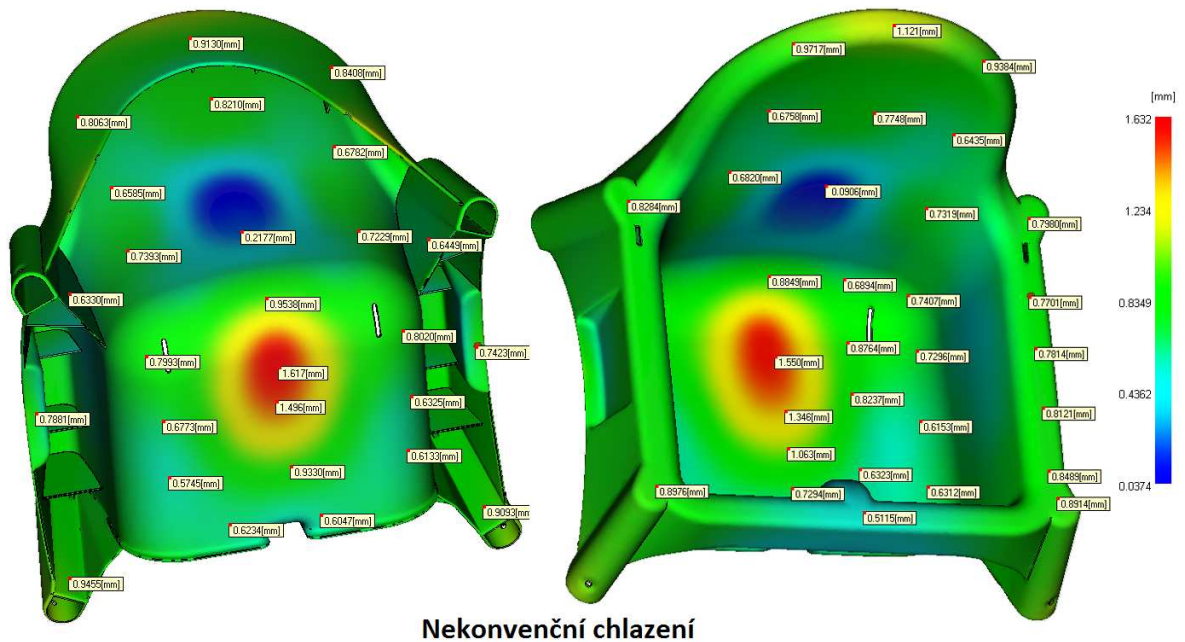
Pro přesné určení deformací je nutné zvolit tzv. odpočtovou rovinu, nicméně v našem případě toto nebylo možné, protože výrobek byl složen pouze z obecných ploch. Výsledné deformace jsou tak odečteny z implicitně nastaveného bodu, který je umístěn ve středu osového systému.

Celková deformace je výsledkem deformací ve všech směrech včetně smrštění. U obou typů dutin vzniká největší deformace v oblasti horké vtokové trysky ústící do sedáku, kterou je velmi obtížné uchládit.



Obrázek 47: Celkové deformace

U dutin s konvenčním chlazením je největší deformace 1.509 mm, tato deformace vzniká, jak bylo napsáno výše, v místě centrální horké vtokové trysky. Průměrná deformace výrobku je 0.7 mm, což lze považovat za velmi dobrou hodnotu vzhledem k velikosti výrobku.



Nekonvenční chlazení

Obrázek 48: Celkové deformace

U dutin s nekonvenčním chlazením je maximální deformace 1.632 mm a průměrná je stejně jako v předchozím případě 0.7 mm. Nicméně nedošlo k očekávanému poklesu deformace v porovnání s dutinami s konvenčním chlazením. To může být způsobeno zvýšením teploty temperačního média při průtoku temperačními kanály, které lze vyřešit, jak je popsáno výše, zvýšením tlaku temperačního média. Dále to může být způsobeno výrazně kratší délkou vstřikovacího cyklu. Jeho prodloužením by ale nekonvenční chlazení ztratilo svou výhodnost, vzhledem k faktu, že deformace jsou v obou případech podobné.

16 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomické zhodnocení bylo provedeno v programu Microsoft Excel 2007 na základě oceněných tvarových dutin, zvolených provozních nákladů a na základě zvolené délky vstřikovacího cyklu. Cena rámu vstřikovací formy, vstřikovacího stroje a dalšího příslušenství nebyla uvažována, protože je pro obě varianty stejná.

Náklady na výrobu dutin s konvenčním chlazením byly oceněny na částku 1 973 600 Kč, náklady na výrobu dutin s nekonvenčním chlazením byly oceněny na částku 2 831 210 Kč. Ocenění dutin s konvenčním chlazením bylo provedeno společností Spojené Kartáčovny a.s. a ocenění dutin s nekonvenčním chlazením bylo provedeno společností Innomia a.s.. Ceny jednotlivých segmentů jsou uvedeny v tabulce 4.

Tab. 4. Srovnání cen

Cena segmentů [Kč]			
		Konvenční	DMLS
Tvárník	Čelo	152 600	213 170
	Levá opěrka	163 000	253 000
	Pravá opěrka	163 000	253 000
	Záda	180 000	180 000
	Záda 1	153 900	345 570
	Základna	140 500	140 500
Tvárnice	Čelo	55 400	68 720
	Levá opěrka	139 900	268 200
	Pravá opěrka	139 900	268 200
	Sedák	207 000	207 000
	Sedák 1	201 900	201 900
	Záda	115 500	270 950
	Základna	161 000	161 000
Celkem		1 973 600	2 831 210

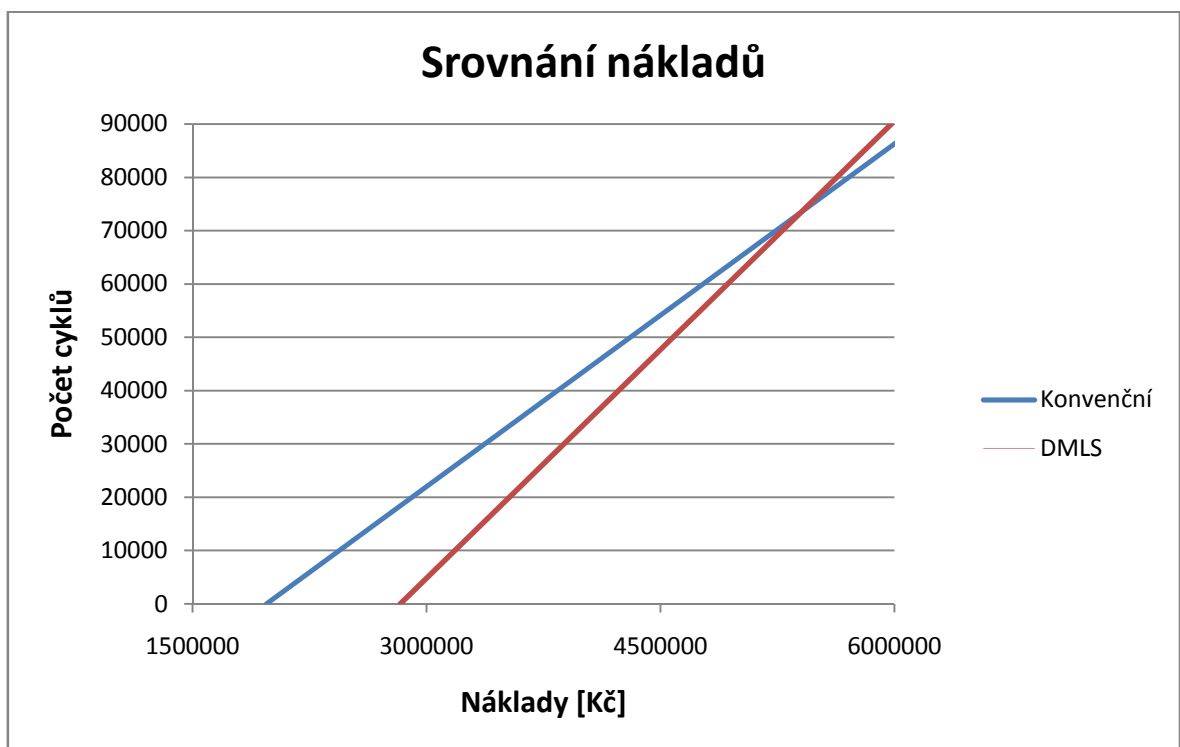
Náklady na provoz stroje byly voleny 2500 Kč/hod, hodinová mzda obsluhy stroje byla volena 200 Kč/hod, dodatečné náklady byly voleny 100 Kč/hod. Všechny tyto náklady se mohou u jednotlivých firem lišit.

Délka vstřikovacího cyklu byla pro dutiny s konvenčním chlazením volena 60 s, délka cyklu pro dutiny s nekonvenčním chlazením byla volena 45 s. V tabulce 5 jsou uvedeny všechny proměnné nutné pro ekonomické srovnání.

Tab. 5. Proměnné

	Cena dutin [Kč]	Provoz stroje [Kč/hod]	Mzda [Kč/hod]	Dodatečné náklady [Kč/hod]	Délka cyklu [s]
Konvenční	1 973 600	2500	200	100	60
DMLS	2 831 210	2500	200	100	45

Po zadání proměnných do programu a vytvoření grafu, kdy na osu x byly dosazeny náklady v čase 0 hod (1 973 600 – konvenční, 2 831 210 – DMLS) a ve zvoleném čase 2000 hod (7 573 600 – konvenční, 8 431 210 – DMLS) a na osu y byl dosazen počet cyklů za 0 hod a za 2000 hod, bylo z rovnic přímek vypočítáno, že ke srovnání nákladů dojde po 73512 cyklech, jak je vidět i z vytvořeného grafu (obrázek 49). Dále bylo vypočítáno, že při tomto počtu cyklů budou výrobní náklady 5 404 145 Kč.



Obrázek 49: Graf srovnání nákladů

Z vypočítaných hodnot lze říci, že se v tomto případě začne použití dutin s nekonvenčním chlazením vyplácet po zhruba 38,5 dnech, za předpokladu nepřetržitého provozu.

V příloze PIV je uveden postup výpočtu množství cyklů i výrobních nákladů.

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout dvě varianty tvarových dutin, resp. temperačních systémů pro stejný výrobek. Jedna varianta byla vyrobena konvenčními metodami obrábění a druhá pomocí nekonvenční technologie rapid prototyping – DMLS. Oba typy dutin byly navrhovány s ohledem na použitelnost na stejné vstřikovací formě. Dále bylo cílem obě navržené varianty porovnat pomocí mechanických analýz, kde se zkoumala pevnost dutin a pomocí tokových analýz, které sloužili k porovnání chování materiálu uvnitř dutin. Poslední porovnání mělo určit ekonomickou výhodnost.

Vstřikovaným výrobkem byla dětská sedačka patřící do výrobního portfolia firmy IKEA. Materiál zvolený na její výrobu musel splňovat určité kritéria, pro které byl nakonec jako nejvhodnější zvolen polypropylén. Vstřikovacím strojem, na kterém by měl být výrobek vstřikován, byl zvolen stroj Milacron Maxima MM 725.

Vstřikovací forma byla navrhována s ohledem na vyměnitelnost tvarových dutin, proto byla pro obě varianty totožná. Vzhledem k tvarové náročnosti výrobku muselo být použito netradiční řešení s vtokovým i vyhazovacím systémem na téže straně. Vtokový systém byl zvolen horký se třemi vtokovými tryskami, čímž bylo zajištěno bezproblémové plnění dutiny a navíc odpadly náklady související s vtokovým zbytkem. Vyhazovací systém bylo nutné, pro své umístění na pravé straně formy, opatřit čtveřicí hydraulických tahačů sloužících k zajištění pohybu desek. Nicméně vyhazovací systém slouží pouze jako pomocné zařízení pomáhající oddělit nasmrštěný výrobek z dutiny, o zbytek vyhození se stará robotická ruka.

Velikost výrobku byla limitujícím faktorem, při volbě násobnosti dutin, proto bylo nakonec zvoleno jednonásobné uspořádání tvarových dutin. Ty byly u obou variant rozděleny na stejný počet segmentů, což usnadní nejen výrobu, ale i případné opravy. U dutin vyráběných konvenčními metodami obrábění bylo použito, pro vytvoření temperačního systému pouze vrtaných kanálů, kdežto u dutin vyráběných pomocí technologie rapid prototyping bylo možno vytvořit jakýkoliv tvar temperačních kanálů, pouze s ohledem na zachování pevnosti dané dutiny. Jelikož byl jedním z hlavních požadavků zachování vyměnitelnosti, jsou přívodní i odvodní kanály temperace totožné. U obou variant tvarových dutin je celkový počet temperačních kanálů stejný, stejně jako temperační médium a jeho procesní podmínky.

Tokové analýzy potvrdily, že na plnění dutiny polymerem má temperace při krátkých

vstřikovacích časech velmi malý vliv, a proto jsou obě dutiny zaplněny téměř současně a i postupné plnění je totožné. Z hlediska plnění dále analýza potvrdila správnost volby a umístění vtokového systému, kdy je zajištěno rovnoměrné plnění dutiny všemi třemi vtoky, nicméně by stálo za to dále prozkoumat vliv velikosti vtokových kanálů na deformace výrobku, kdy by například zvětšení jejich průměru mohlo vést ke snížení deformací výrobku. Dále byla analýzou potvrzena správnost volby vstřikovacího stroje, kdy nedojde v průběhu vstřikování k překročení žádného z jeho parametrů. Nejdůležitější analýzy se týkaly teploty dutin, kdy byl posuzován její vliv zejména na chladnutí a deformace výrobku. U obou variant lze říci, že temperační médium splňuje požadavky na jeho chování, kromě jediného. Tímto nesplněným požadavkem je nedodržení maximálního rozdílu teploty 2 °C na vstupu a výstupu z temperačního kanálu. Toto nebylo dodrženo u dutiny s nekonvenčním chlazením, kde rozdíl stoupne až na 4.5 °C, nicméně problém lze jednoduše odstranit zvýšením tlaku temperačního média, případně rozdělením daného kanálu na dva kratší.

Při porovnání vlivu rozdílně situovaných temperačních kanálů na vstřikovaný výrobek je možno říci, že u dutin s nekonvenčním chlazením je zajištěno rovnoměrnější chlazení výrobku, což se projevilo zejména zkrácením doby nutné pro ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu ve prospěch nekonvenčního chlazení. Deformace jsou u obou variant přibližně stejné, takže z tohoto hlediska byl vliv rozdílného chlazení zanedbatelný.

Dále byly provedeny mechanické analýzy, při nichž byla kontrolována pevnost zvolených tvarových dutin při zatížení vstřikovacím tlakem. U obou variant byla splněna pevnostní podmínka a vzniklé napětí bylo nižší než dovolené.

Ekonomické srovnání ukázalo, že i přes mnohem vyšší investiční náklady je pro hromadnou výrobu výhodnější použití dutin vyrobených nekonvenčním způsobem, kdy při dodržení navrhované délky vstřikovacího cyklu 45 s je návratnost zaručena po 73512 cyklech. Při nepřetržitém provozu dojde vyrovnání nákladů s levnějším konvenčním řešením už po 38.5 dnech.

Dle výše popsaných důvodů shledávám variantu s nekonvenčním chlazením jako vhodnější řešení pro výrobu tohoto výrobku.

ZÁVĚR

Praktická část diplomové práce spočívala v návrhu dvou variant tvarových dutin, resp. temperačních systémů pro stejný výrobek. Varianty se od sebe lišily způsobem výroby, kdy jedna byla vyrobena konvenčními způsoby obrábění a druhá pomocí nekonvenční technologie DMLS. Dutiny byly navrhovány na stejnou vstřikovací formu s požadavkem jejich vzájemné vyměnitelnosti. Tento požadavek byl splněn i s ohledem na procesní podmínky, kdy i tyto se pro obě varianty nijak neliší.

Návrhy byly doloženy výkresovou dokumentací a srovnány jak pomocí tokových analýz v programu Autodesk Moldflow a mechanických analýz v programu Catia V5R18, tak i na základě ekonomické výhodnosti. Dle těchto analýz byla prokázána opodstatněnost použití návrhu s nekonvenčním chlazením.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] BEAUMONT, J. P., NAGEL, R. L., SHERMAN, R. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich : Hanser Publishers, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9.
- [2] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook : tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich : Hanser Publishers, 2007. 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.
- [3] BOBČÍK, L. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 1*. 2. upr. vyd. Brno: Uniplast, 1999. 133 s.
- [4] BOBČÍK, L. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 2*. 1. vyd. Brno: Uniplast, 1999. 214 s.
- [5] DUBOIS, John H. *Plastics*. 6th ed. New York : Van Nostrand Reinhold, 1981. 461 s. ISBN 0-442-26263-9.
- [6] DYM, J. B. . *Injection molds and molding : a practical manual*. 2nd edition. New York: Nostrand Reinhold, 1987. 395 s. ISBN 0-442-21785-4.
- [7] ELIAS, Hans-Georg. *An introduction to plastics*. 2nd completely rev. ed. Weinheim : Wiley-VCH, 2003. 387 s. ISBN 3527296026.
- [8] GASTROW, Hans. *Injection molds : 130 proven designs*. 3rd ed. Munich : Hanser, 2002. 313 s. ISBN 3446214488.
- [9] GEBHARDT, Andreas. *Rapid prototyping*. 1st ed. . Munich : Hanser Publishers, 2003. 379 s. ISBN 978-3-446-40269-0.
- [10] HARPER, Charles A. *Handbook of plastic processes*. Hoboken, N.J. : Wiley, 2006. 743 s. ISBN 9780471662556.
- [11] IRFAN, M.H. *Chemistry and Technology of Thermosetting Polymers in Construction Applications*. [s.l.] : Springer-Verlag, 1998. 285 s. ISBN 978-0-7514-0428-9.
- [12] JOHANNABER, Friedrich. *Injection molding machines : a user's guide*. 4th ed. Munich : Carl Hanser Publishers, 2008. 378 s. ISBN 978-1-56990-418-3.
- [13] KAZMER, David O. *Injection mold design engineering*. Munich : Hanser Publishers, 2007. 423 s. ISBN 978-1-56990-417-6.

- [14] KOLOUCH, J. *Strojní součásti z plastů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981. 258 s.
- [15] KOLOUCH, J. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986. 229 s.
- [16] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vyd. Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [17] MENGES, Georg. *How to make injection molds*. 3rd ed. Munich : Hanser, 2001. 612 s. ISBN 3446212566.
- [18] MLEZIVA, J.. *Polymery: Výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Praha: Sobotáles, 1993. 525 s. ISBN 80-90157041.
- [19] NOVOTNÝ, J., et al. *Technologie I*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2006. 227 s.
- [20] REES, H. *Mold engineering*. 2nd edition. Munich : Hanser, 2002. 688 s. ISBN 3-446-21659-6.
- [21] ROSATO, Dominick V.; ROSATO, Donald V.; ROSATO, Marlene G. *Injection molding handbook*. 3rd ed. Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000. 1457 s. ISBN 0792386191.
- [22] STOKLASA, Karel. *Zpracovatelské inženýrství - I : základy gumárenské a plastikářské technologie*. Zlín, 2007. 107 s. Skripta. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [23] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů : úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009. 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.

Internetové zdroje:

- [24] *Borealis* [online]. 4.12.2007 [cit. 2011-04-14]. Polypropylen datasheet 10012158. Dostupné z WWW: <<http://www.borealisgroup.com/datasheets/10012158>>.
- [25] *Borealis* [online]. 4.12.2007 [cit. 2011-04-14]. Polypropylen datasheet 10020399. Dostupné z WWW: <<http://www.borealisgroup.com/datasheets/10020399>>.
- [26] *DMLS* [online]. 2007 [cit. 2011-01-27]. Direct metal laser sintering. Dostupné z WWW: <<http://www.dmls.cz/>>.
- [27] *Dytron* [online]. 2008 [cit. 2011-04-14]. CATIA V5. Dostupné z WWW: <<http://www.dytron.cz/catia-popis/catia-v5.aspx>>.
- [28] *Innomia* [online]. 2006 [cit. 2011-01-27]. Konformní chlazení forem. Dostupné z WWW: <<http://www.innomia.cz/cs/konformni-chlazení-forem>>.

- [29] *Plastic Injection Moulding* [online]. c2000-2008 [cit. 2008-11-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=265>>.
- [30] *Plasty* [online]. [2002] [cit. 2008-11-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.ateam.zcu.cz/plasty.pdf>>.
- [31] *Rapid prototyping* [online]. 2004 [cit. 2011-01-27]. Rapid prototyping. Dostupné z WWW: <http://www.kvs.tul.cz/download/obor/rp2_skripta1.pdf>.
- [32] *Rapid Prototyping Primer*[online]. 2002 [cit. 2011-01-27]. Rapid Prototyping Dostupné z WWW: <<http://www.mne.psu.edu/lamancusa/rapidpro/primer/chapter2.htm>>.
- [33] *MG Plastics* [online]. 2007 - 2009 [cit. 2011-01-27]. Co je TPE?. Dostupné z WWW: <<http://www.mgplastics.cz/tpe.html>>.
- [34] *Milacron LLC – Plastic Machinery* [online]. 2008 [cit. 2011-04-14]. Maxima MM. Dostupné z WWW: <http://www.milacron.com/products/injectionmolding/hydraulic/maximamm/MAXIMA_MM_brochure_new2.pdf>.
- [35] *Milacron LLC – Plastic Machinery* [online]. 2008 [cit. 2011-04-14]. MM725 specs. Dostupné z WWW: <http://www.milacron.com/products/injectionmolding/hydraulic/maximamm/MM725_SPECS.pdf>.
- [36] *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002 [cit. 2011-01-27]. Technologie Rapid Prototypingu. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-rapid-prototypingu>>.
- [37] *Moldflow* [online]. 2011 [cit. 2011-04-14]. Moldflow Insight. Dostupné z WWW: <http://images.autodesk.com/adsk/files/moldflow_insight_detail_brochure_us.pdf>.
- [38] *Vstřikování* [online]. 2005 [cit. 2008-11-10]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/vstrikovani.pdf>.
- [39] *Vstřikování Plastů* [online]. 2005 [cit. 2008-11-10]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>.

Elektronické programy:

- [40] *Autodesk Moldflow Insight 2011* [počítačový program]. Ver. Educational Edition-ServicePack 1. Autodesk Inc., 2009 [cit. 2011-04-14].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	Trojrozměrný prostor
3DP	3 dimensional print
ν	Poissonova konstanta [-]
σ_D	Dovolené namáhání [MPa]
σ_k	Mez kluzu [MPa]
ABS	Akrylobutadienstyren
CAD	Computer aided design
ČSN	Česká státní norma
D	Průměr[mm]
DIN	Německá národní norma
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
E	Modul pružnosti v tahu [MPa]
FDM	Fuse deposition modelling
G	Modul pružnosti ve smyku [MPa]
GIT	Vstřikování pomocí plynu
h	Hloubka [mm]
HRC	Rockwellova tvrdost
ITT	Index toku taveniny [g/10min]
k	Koeficient bezpečnosti [-]
L	Délka [mm]
LOM	Laminated object modelling
PA	Polyamid
PB	Polybuten
PC	Polykarbonát
PET	Polyethylentereftalát

PMMA	Polymethylmetakrylát
PP	Polypropylén
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
Q_k	Ztráty tepla odvodem do okolí [W]
Q_p	Teplo přivedené polymerem [W]
Q_r	Ztráty tepla vyzařováním [W]
Q_t	Teplo odvedené temperací [W]
Q_v	Ztráty tepla do upínacích ploch stroje [W]
Q_z	Ztráty tepla [W]
SAN	Styrenakrylonitril
SGC	Solid ground curing
SLA	Stereo lithography aparatur
SLS	Selective laser sintering
STL	Stereo lithography
š	Šířka [mm]
T_g	Teplota skelného přechodu [°C]
v	Výška [mm]
WIT	Vstřikování pomocí vody

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Fontánový tok [1].....	13
Obrázek 2: Vstřikovací cyklus [22].....	13
Obrázek 3: Základní rozdělení polymerů [23].....	14
Obrázek 4: Oblast použití [3].....	15
Obrázek 5: Oblast použití [3].....	15
Obrázek 6: Tloušťka stěny [1].....	18
Obrázek 7: Vstřikovací stroj [21].....	20
Obrázek 8: Základní části vstřikovacího stroje [12].....	22
Obrázek 9: Základní typy vtokových ústí [10].....	25
Obrázek 10: Příklad vyhřívané trysky [3].....	27
Obrázek 11: Vyhřívaná vtoková soustava [21].....	27
Obrázek 12: Vhodné/nevhodné rozmístění kanálů [4].....	30
Obrázek 13: Sériové chlazení [13].....	31
Obrázek 14: Paralelní chlazení [13].....	32
Obrázek 15: Příklad použití tepelné trubice [13].....	33
Obrázek 16: Postup výroby [9].....	38
Obrázek 17: Metody Rapid Prototypingu [31].....	39
Obrázek 18: Schéma stroje [26].....	40
Obrázek 19: Konformní chlazení [26, 28].....	40
Obrázek 20: Vstřikový výrobek.....	45
Obrázek 21: Vstřikovací stroj Milacron Maxima [34].....	47
Obrázek 22: První varianta.....	48
Obrázek 23: Čtvrtá varianta.....	49
Obrázek 24: Rám vstřikovací formy.....	50
Obrázek 25: Vodící a spojovací části rámu.....	51
Obrázek 26: Manipulační a středící systém.....	51
Obrázek 27: Tvárník – konvenční.....	52
Obrázek 28: Tvárník – DMLS.....	52
Obrázek 29: Jádru s tahačem.....	53
Obrázek 30: Tvárnice – konvenční.....	53
Obrázek 31: Tvárnice – DMLS.....	54
Obrázek 32: Jádru s tahačem.....	54

Obrázek 33: Horký vtokový systém	55
Obrázek 34: Jehlový ventil	55
Obrázek 35: Tvárník – konvenční	56
Obrázek 36: Tvárník – DMLS	57
Obrázek 37: Tvárnice – konvenční	57
Obrázek 38: Tvárnice – DMLS	58
Obrázek 39: Vyhazovací systém.....	58
Obrázek 40: Průběh napětí.....	59
Obrázek 41: Čas plnění.....	62
Obrázek 42: Teplota temperačního média	63
Obrázek 43: Účinnost odvodu tepla.....	64
Obrázek 44: Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty	64
Obrázek 45: Teplota formy	65
Obrázek 46: Teplota formy	65
Obrázek 47: Celkové deformace.....	66
Obrázek 48: Celkové deformace.....	67
Obrázek 49: Graf srovnání nákladů	69

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Vlastnosti kapalin [4].....	32
Tab. 2. Srovnání parametrů strojů [35, 40].....	61
Tab. 3. Procesní podmínky [40].....	61
Tab. 4. Srovnání cen	68
Tab. 5. Proměnné	69

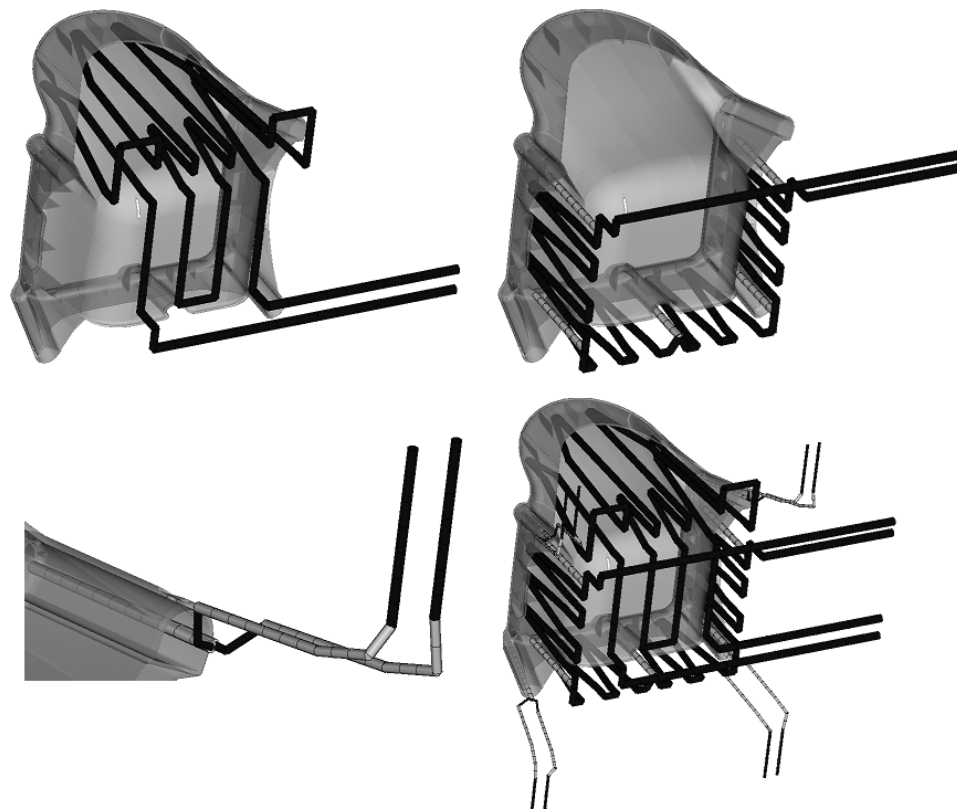
SEZNAM PŘÍLOH

- PI Vady výrobků
- PII Náhledy tvárníků
- PIII Náhledy tvárnic
- PIV Výpočet
- PV Technická dokumentace
- PVI Disk CD

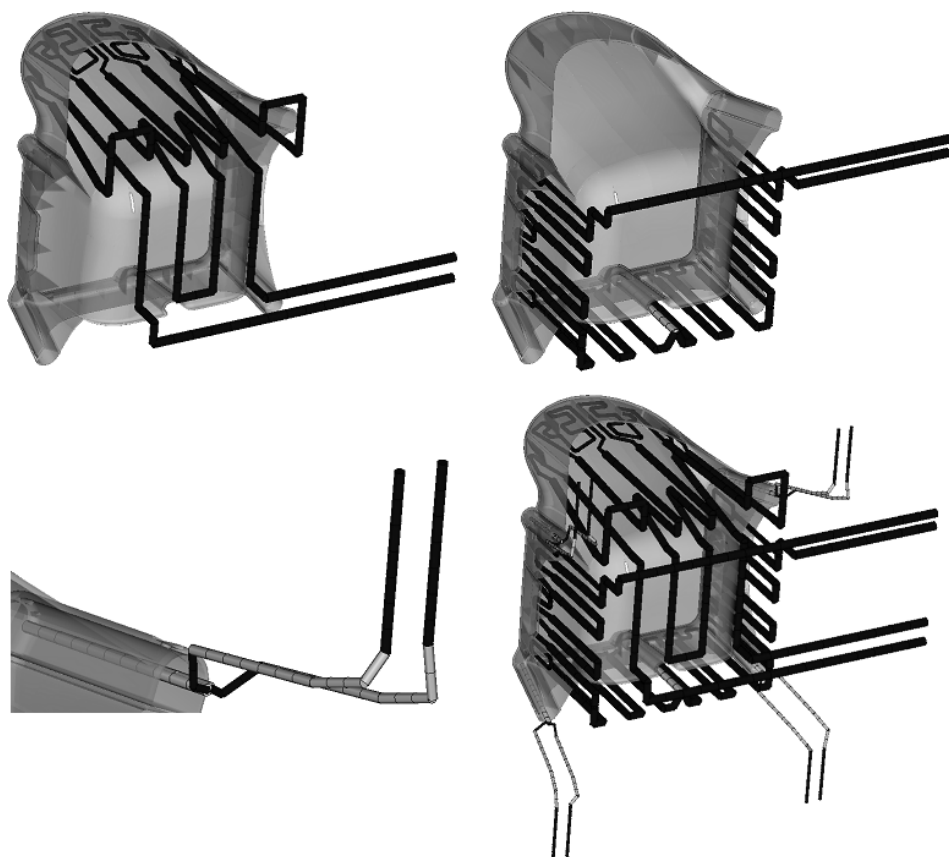
PŘÍLOHA P I: VADY VÝROBKŮ

Vada	Příčina	Řešení
Nedotečený výrobek	Nízký vstřík. tlak, nízká teplota taveniny	Zvýšit vstřík. tlak, zvýšit teplotu taveniny
Bubliny	Vstříkovací rychlost příliš vysoká, nízký vstřík. tlak	Snížit vstříkovací rychlost, zvýšit vstřík. tlak
Propadliny	Nízký vstřík. tlak, nízká vstřík. rychlost	Zvýšit vstřík. tlak, zvýšit vstřík. rychlost
Přetoky	Nízký vstřík. tlak, nízká uzavírací síla	Zvýšit vstřík. tlak, zvýšit uzavírací sílu
Spálená místa	Nedostatečné odvzdušnění, vysoká teplota formy	Upravit odvzdušnění, snížit teplotu formy
Štípání	Nízká vstříkovací rychlost, znečištění materiál	Zvýšit vstříkovací rychlost, vyčistit materiál
Studené spoje	Nízká vstříkovací rychlost, nízká teplota taveniny	Zvýšit vstříkovací rychlost, zvýšit teplotu taveniny
Deformace	Vysoká teplota formy, vysoká teplota taveniny	Snížit teplotu formy, snížit teplotu taveniny
Tryskový tok	Vysoká vstříkovací rychlost, nízká teplota taveniny	Snížit vstříkovací rychlost, zvýšit teplotu taveniny
Špatná homogenizace taveniny	Vysoká rychlost šneku, nízká teplota válce	Snížit rychlost šneku, zvýšit teplotu válce
Křehkost	Vysoká vstříkovací rychlost, vysoká teplota taveniny	Snížit vstříkovací rychlost, snížit teplotu taveniny
Stříbrné pruhy	Vysoká teplota taveniny, špatně vysušený materiál	Snížit teplotu taveniny, déle sušit materiál
Ulpívání výrobku v dutině	Vysoký vstříkovací tlak, malé úkosy výrobku	Snížit vstříkovací tlak, upravit tvar výrobku
Lunkry	Nízký vstříkovací tlak, krátká doba vstříkování	Zvýšit vstříkovací tlak, prodloužit dobu vstříkování
Černé skvrny	Špatně vyčištěný vstříkovací stroj	Lépe vyčistit vstříkovací stroj
Velké smrštění	Krátká doba chlazení, nízký vstříkovací tlak	Prodloužit dobu chlazení, zvýšit vstříkovací tlak
Vysoký lesk	Vysoká teplota formy, vysoká teplota taveniny	Snížit teplotu formy, snížit teplotu taveniny
Drsný povrch výrobku	Nízká teplota taveniny, nedostatečné odvzdušnění	Zvýšit teplotu taveniny, upravit odvzdušnění

PŘÍLOHA PII: NÁHLEDY TVÁRNÍKŮ

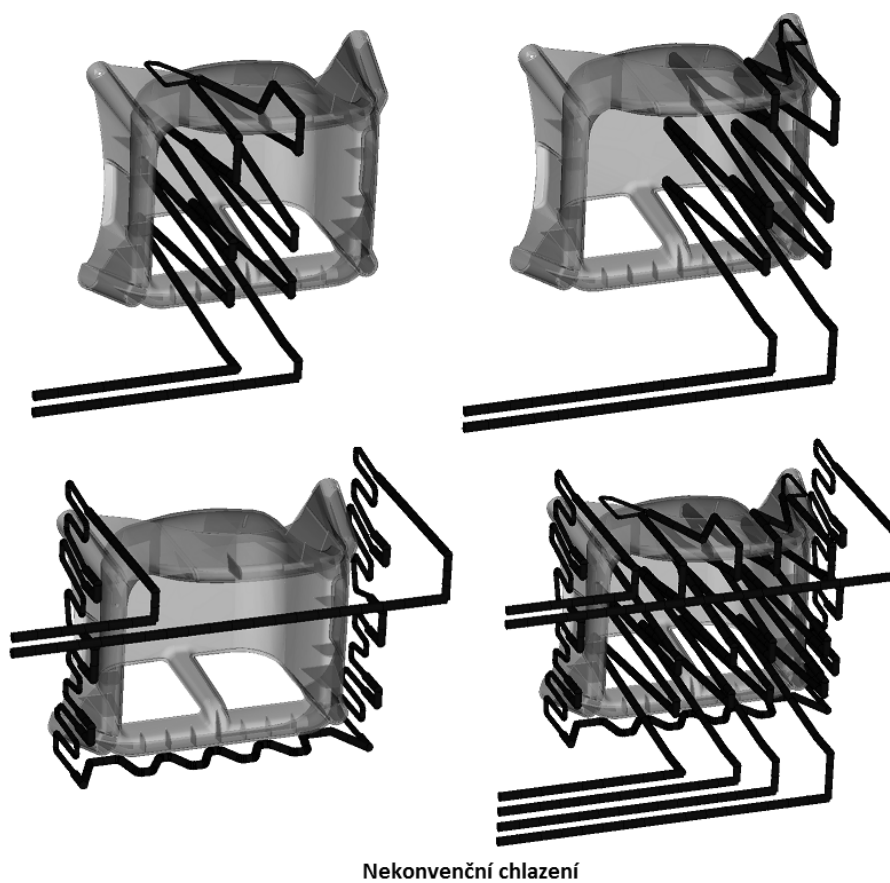
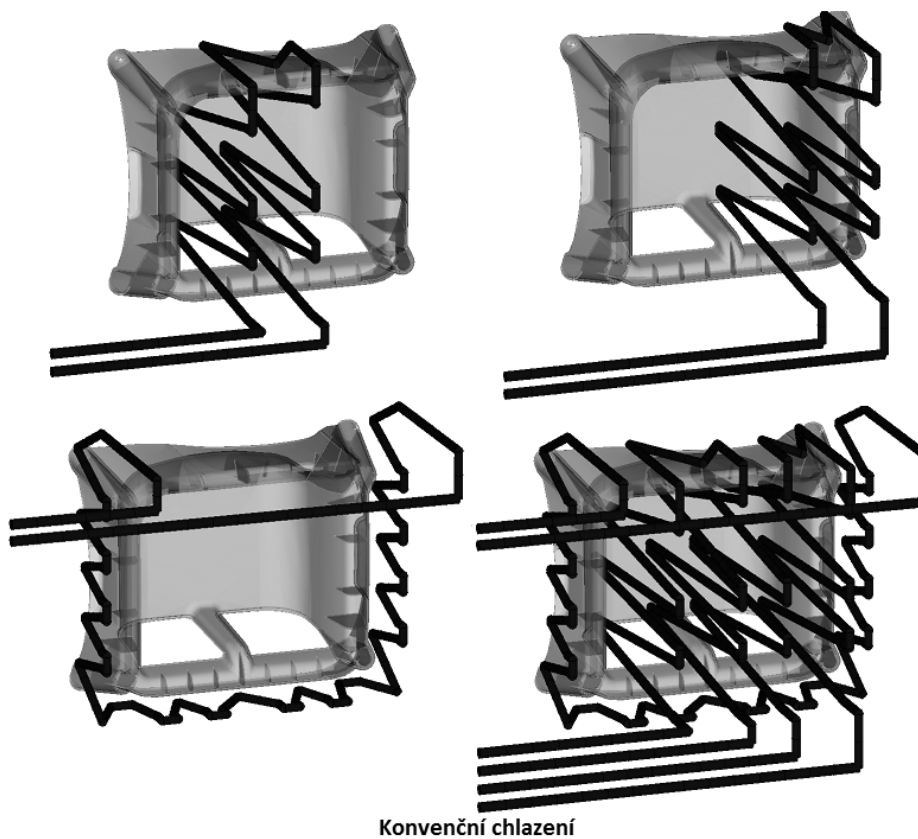


Konvenční chlazení



Nekonvenční chlazení

PŘÍLOHA PIII: NÁHLEDY TVÁRNIC



PŘÍLOHA PIV: VÝPOČET

Počet cyklů:

$$\text{Rovnice přímky – DMLS} \Rightarrow y = 0,028x - 80892$$

$$\text{Rovnice přímky – konvenční} \Rightarrow y = 0,021x - 42291$$

$$y = y$$

$$0,028x - 80892 = 0,021x - 42291$$

$$0,028x - 0,021x = 80892 - 42291$$

$$0,007x = 38601$$

$$x = \frac{38601}{0,007} = 5514428,6$$

$$y = 0,028 \cdot 5514428,6 - 80892 = 154404 - 80892 = \underline{\underline{73512 \text{ cyklů}}}$$

$$y = 0,021 \cdot 5514428,6 - 42291 = 115803 - 42291 = \underline{\underline{73512 \text{ cyklů}}}$$

Výrobní náklady:

$$\text{potřebný čas – DMLS} \Rightarrow 73512 \cdot 45 = 3308040s = 918,9\text{hod}$$

$$\text{výrobní náklady – DMLS} \Rightarrow 918,9 \cdot (2500 + 200 + 100) + 2831210 = \underline{\underline{5404130Kč}}$$

$$\text{potřebný čas – konvenční} \Rightarrow 73512 \cdot 60 = 4410720s = 1225,2\text{hod}$$

$$\begin{aligned} \text{výrobní náklady – konvenční} &\Rightarrow 1225,2 \cdot (2500 + 200 + 100) + 1973600 \\ &= \underline{\underline{5404160Kč}} \end{aligned}$$